

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ТЕМУ:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА»**

Виконав:

здобувач вищої освіти
освітнього ступеня «магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

Богдан ГРИЦЕНЮК

Керівник:

кандидат технічних наук,
доцент

Степан ЗАМОЙСЬКИЙ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«__» грудня 2025 р.

Допускається до захисту:

«__» грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія»,
кандидат технічних наук, доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	4
АНОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ .	7
ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ КОМБАЙНОБУДУВАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Аналіз та класифікація зернозбиральних комбайнів.....	10
1.1.1. Огляд існуючих систем класифікації зернозбиральних комбайнів	16
1.1.2. Аналіз сучасних тенденцій світового комбайнобудування.....	19
Висновки до першого розділу.....	21
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....	22
2.1. Визначення впливу параметричної надійності на ефективність використання зернозбиральних комбайнів	22
2.2. Аналітичний розрахунок пропускної здатності молотильно- сепаруючого пристрою зернозбиральних комбайнів.....	24
2.3. Визначення впливу нерівномірності урожайності по площі поля на пропускну здатність молотильно-сепаруючого пристрою.....	27
2.4. Визначення залежності продуктивності зернозбирального комбайну залежно від механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючого пристрою	29
Висновки до другого розділу	33
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1. Програма досліджень.....	34
3.2. Методика експериментальних досліджень	37
Висновки до третього розділу	53

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....	54
4.1. Визначення числових значень механічних втрат зерна	58
4.2. Визначення залежності механічних втрат зерна відпродуктивності зернозбиральних комбайнів V-го класу.....	66
4.3. Визначення залежності механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм комбайнів VI- го класу	68
4.4. Визначення залежності механічних втрат зерна за молотильно епаруючим пристроєм від швидкості руху зернозбирального комбайна VII-го класу та агробіологічного стану хлібної маси.....	70
4.5. Числові значення втрат зерна за молотаркою комбайнів залежності від факторів впливу.....	71
Висновки до четвертого розділу.....	76
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	77
5.1. Напрями підвищення ефективності використання зернозбирального комбайна V-го класу	77
5.2. Ефективність використання комбайнів VII-го класу	84
Висновки до п'ятого розділу.....	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	98
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей	106

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША
Освітній ступінь «магістр»
Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій РУДЬ

04 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачеві вищої освіти

ГРИЦЕНЮКУ
Богдану Вікторовичу

Тема роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА»

Керівник роботи: доцент ЗАМОЙСЬКИЙ Степан Михайлович

Затверджено наказом по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 04 квітня 2025 року № 355с.

Строк подання закінченої кваліфікаційної роботи 20 листопада 2025 року.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи зернозбиральних комбайнів.
2. Протоколи випробування зернозбиральних комбайнів.
3. Результати дослідження та випробування зернозбиральних комбайнів.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ.

1. Сучасний стан розвитку комбайнобудування та завдання досліджень.
 2. Дослідження техніко-технологічних параметрів на ефективність використання зернозбиральних комбайнів.
 3. Програма і методика експериментальних досліджень.
 4. Виробничі дослідження ефективності використання зернозбиральних комбайнів.
 5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності результатів досліджень.
- Загальні висновки і рекомендації.

Список використаних джерел.

Додатки.

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено дослідження та обґрунтування режимів роботи зернозбирального комбайна.

Аналіз опублікованих робіт дозволив виявити, що поза аналізом науковців залишилися дослідження ефективності використання технічних характеристик закладених в конструкції ЗК, зокрема завантаження двигуна, пропускної здатності МСП та енергетичних показників: питомої витрати потужності на обмолот, витрати палива на одну тонну і один га, механічних втрат зерна за комбайном. Теоретичні дослідження дозволили виявити вплив технічних і технологічних факторів, (строкатості урожайності, агробіологічного стану хлібної маси) на пропускну здатність і, відповідно, на продуктивність і, та на їх похідну – втрат зерна на МСП ЗК.

Аналітично визначено залежність швидкості руху комбайна в загінці від завантаження і потужності двигуна. Розроблено інтегральний метод визначення пропускної здатності МСП, досліджено вплив нерівномірності і флуктуації урожайності по площі поля на пропускну здатність МСП і зміну крутного моменту на валу барабана. Залежність продуктивності ЗК через пропускну здатність від відносних значень механічних втрат за МСП ЗК.

Виявлено, що підвищення продуктивності ЗК можливе за рахунок підвищення ефективного використання пропускної здатності МСП і підвищення завантаження двигуна на 20-30 % і тим самим зменшення питомої витрати палива на тонну і гектар в межах допустимих втрат зерна.

THE SUMMARY

The master's thesis presents research and justification of the modes of operation of the grain harvester.

The analysis of the published works allowed us to find out that outside the analysis of scientists there were studies of the effectiveness of the use of technical characteristics embedded in the design of the threshing machine, in particular engine loading, throughput capacity of the SME and energy indicators: specific power consumption for threshing, fuel consumption per one ton and one ha, mechanical losses of grain behind the harvester. Theoretical studies allowed us to reveal the influence of technical and technological factors (variety of yield, agrobiological state of grain mass) on throughput and, accordingly, on productivity and, and their derivative, on grain losses at the SME ZK.

The dependence of the speed of the harvester in the corral on the load and engine power is analytically determined. An integral method for determining the throughput capacity of the SME was developed, the influence of unevenness and yield fluctuations over the field area on the throughput capacity of the SME and the change in the torque on the drum shaft were investigated. Dependence of ZK productivity due to throughput on relative values of mechanical losses at SME ZK.

It was found that increasing the productivity of the ZK is possible due to the increase in the effective use of the throughput capacity of the SME and the increase of the engine load by 20-30% and thereby reducing the specific fuel consumption per ton and hectare within the limits of permissible grain losses.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 90 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 7 таблиць, 61 рисуноків, 67 найменування використаних джерел і презентаційного матеріалу на 16 аркушах.

Мета магістерської роботи присвячена питанням підвищення продуктивності зернозбирального комбайна за рахунок ефективного використання технічних і технологічних факторів із контролем механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм.

Аналіз опублікованих робіт дозволив виявити, що поза аналізом науковців залишилися дослідження ефективності використання технічних характеристик закладених в конструкції ЗК, зокрема завантаження двигуна, пропускної здатності МСП та енергетичних показників: питомої витрати потужності на обмолот, витрати палива на одну тонну і один га, механічних втрат зерна за комбайном. Теоретичні дослідження дозволили виявити вплив технічних і технологічних факторів, (строкатості урожайності, агробіологічного стану хлібної маси) на пропускну здатність і, відповідно, на продуктивність і, та на їх похідну – втрат зерна на МСП ЗК.

Аналітично визначено залежність швидкості руху комбайна в загінці від завантаження і потужність двигуна. Розроблено інтегральний метод визначення пропускної здатності МСП, досліджено вплив нерівномірності і флуктуації урожайності по площі поля на пропускну здатність МСП і зміну крутного моменту на валу барабана. Залежність продуктивності ЗК через пропускну здатність від відносних значень механічних втрат за МСП ЗК.

Виявлено, що підвищення продуктивності ЗК можливе за рахунок підвищення ефективного використання пропускної здатності МСП і підвищення завантаження двигуна на 20-30 % і тим самим зменшення питомої витрати палива на тонну і гектар в межах допустимих втрат зерна.

Ключові слова: ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНСТРУКТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕХНІЧНІ ФАКТОРИ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, ЗАВАНТАЖЕННЯ, ДВИГУН, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, ВТРАТИ ЗЕРНА, ВИТРАТА ПАЛИВА.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
ДРМ	Дипломна робота магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
МТА	Машинно-тракторний агрегат
m	маса проби в природному стані, кг
m_m	маса висушеної проби (твердої фази)
m_b	маса вологи (рідкої фази)
m_c	маси вологи і сухого ґрунту
W_n	польова (загальна) вологоємність
W_a	абсолютна вологість ґрунту
a	глибина заглиблення голок диска, м
k	коефіцієнт пропорційності, $k = 1,2$ кг/см
P	горизонтальна складова, Н
b	довжина лунки, м
n	число зубів на диску
R	радіус кола, при якому диск рухається без ковзання, м
d	діаметр голки, м
h	глибина обробітку, м
θ	кут сколювання ґрунту
φ	кут тертя голки об ґрунт
h_{max}	максимальна глибина обробітку
a	висота стерні
d	діаметр маточини
n	частота обертання уповільненого диска
n_o	частота обертання диска-шляховимірювача
a_n	деформація стискання пружини, см

ВСТУП

Актуальність роботи. В умовах реального виробництва потужність двигунів ЗК і пропускна здатність молотарки використовуються максимально до 57–63 % від номінального завантаження. Безумовно, низьке завантаження є основною причиною низької продуктивності, затягування термінів жнив і значних втрат зерна від біологічного осипання та перевитрат палива. Втрати вирощеного урожаю через осипання і низький відсоток збирання продовольчих класів зерна у встановлені агротерміни є причиною значних збитків (≈ 1 млрд \$) вітчизняних аграріїв. Ось чому тема дипломної роботи є актуальною, а сама робота має значну практичну цінність як для виробників ЗК, так і для їх користувачів, а також у навчальному процесі при підготовці інженерних кадрів сільськогосподарського виробництва.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень – підвищення техніко-технологічної ефективності використання ЗК шляхом раціоналізації завантаження двигуна та молотильно-сепаруючого пристрою (МСП) у межах нормативних втрат зерна.

Для досягнення мети дослідження розв'язувалися наступні задачі:

- 1) провести аналіз літературних джерел з ефективності використання потужності двигуна і пропускної здатності МСП ЗК;
- 2) визначити вплив зміни потужності двигуна при варіюванні швидкості руху в загінці залежно від експлуатаційного показника пропускної здатності МСП і характеристик хлібостою;
- 3) провести аналіз впливу стану зернових за площею поля з нерівномірним та флуктуаційним розподілом урожаю на пропускну здатність МСП, а також на величину механічних втрат зерна від фактичного завантаження молотарки ЗК хлібною масою;
- 4) визначити показники втрат зерна за соломотрясом і решітним станом залежно від завантаження ЗК та дати порівняльну оцінку експлуатаційних показників використання ЗК з урахуванням енергетичних затрат при обмолоті хлібної маси;
- 5) визначити в умовах виробничої експлуатації вплив технічних показників ЗК на фактичні втрати зерна та провести техніко-економічну оцінку наукових досліджень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес обмолоту зернових культур.

Предмет дослідження – вплив завантаження і техніко-технологічних характеристик ЗК на механічні втрати зерна під час обмолоту.

Методи дослідження. В дослідженні використано класичні методи теоретичної механіки, системного аналізу, інтегрального та диференціального числення, теорії надійності, сучасні методи математичного моделювання на ПК та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає:

– уперше аналітичним методом визначено залежність ефективності використання ЗК від зниження потужності двигуна, його робочої швидкості в загінці та строкатості урожайності, що дає змогу обґрунтувати раціональну швидкість руху ЗК;

– уперше методом інтегральної оцінки визначено показник пропускної здатності МСП залежно від технічного стану двигуна, систем, механізмів ЗК та агробіологічного стану хлібостою, що дозволяє корегування швидкості руху ЗК у загінці та планування термінів жнив;

– удосконалено метод визначення числових значень сумарних втрат зерна за МСП від його завантаження, який враховує ймовірність самоосипання урожаю і дає змогу визначити ці втрати з більшою точністю;

– дістав подальшого розвитку метод визначення показників завантаження двигуна і молотарки, енергетичних затрат на обмолот хлібної маси і питомих витрат палива.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтуванні: напрямів підвищення ефективності використання ЗК в межах допустимих втрат зерна за МСП; науково-прикладному методі визначення ефективності використання ЗК за допомогою електронного пристрою контролю числових значень механічних втрат зерна за МСП; методі підвищення продуктивності ЗК з оптимізацією механічних втрат зерна за МСП в процесі комбайнування; пристрою кількісного вимірювання та реєстрації втрат зерна на ЗК.

Результати досліджень впроваджено на базі ТзОВ «Адамівка Агро». З розробкою усіх необхідних для цього документів.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2024-2025 рр.).

Публікації. Основні результати дослідження відображені у 2 публікаціях, з них 2 статті у науково-фахових виданнях.

1. СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ КОМБАЙНОБУДУВАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз та класифікація зернозбиральних комбайнів

Світовий ринок ЗК нараховує 167 моделей і модифікацій. Основні технічні дані ЗК світового ринку наведені в таблиці 1.1. Із таблиці видно, що чотири фірми і корпорація AGCO (Massey Ferguson + Fendt + Gleaner) виробляють 138 моделей і модифікацій комбайнів класичної компоновки і роторних з потужністю двигунів від 92 до 400 кВт. Необхідно сказати, що підприємства Білорусі виробляють 9 моделей – ЗК Лідасільмаш = 1К+1R=2 одиниці і Гомельсільмаш (Полессе = 6К+1R=7 одиниць) (таблиця 1.1; [1-2]).

Спільне для всіх зарубіжних виробників ЗК – це високий технічний і технологічний рівень механічної частини, а також високий рівень електронізації і комп'ютеризації контролю технічних, технологічних характеристик та експлуатаційних показників [3-4].

Насичення комбайнів електронікою спрощує оператору виробничу експлуатацію. З іншого боку, це надто ускладнює пошук недоліків у службі сервісу і підвищує вартість комбайна. Відомо [3], що вартість кабіни з електронним забезпеченням та із системою датчиків на комбайні коштує до 25% від вартості самого комбайна. За висновком спеціалістів [5], споживчі характеристики кабін сучасних ЗК забезпечують меншу втомлюваність операторів і, за різними оцінками, сприяють підвищенню продуктивності на 8-12%.

Ефективна експлуатація сучасних ЗК в Україні – вкрай необхідна і складна задача. Сумарна потужність двигунів наявного парку зернозбиральних комбайнів дорівнює орієнтовно 13 млн. кінських сил. Якщо комбайни використовуються із завантаженням двигуна до 60% від номінального завантаження, то під час жнив у холосту працюють \approx 4 млн. кінських сил, або 16000 двигунів комбайнів типу ДОН-1500 (комбайн V-го класу) без обмолоту і зернові не збираються вчасно.

Основні технічні дані ЗК світового ринку

Виробник	Кількість моделей	L-жатки, м	N _a , кВт	Розміри барабана, d/l, мм	Кількість клавiш	Маса без жатки, т
CLAAS	28	3,05 9,12	92 390	450/1060 600/1700	4,5,6	0,732 17,95
Deutz-Fahz	16	3,1 7,2	85 331	500/1110 500/1521	5 6	5,8 12,72
John Deere	11	4,3 НД	152 395	610/1400 660/1670	5 6	10,5 15,66
Massey Ferguson	16	4,2 9,2	129 367	600/1600 600/1680	5 6	11,5 17,36
Fendt	11+1R	4,2 9,2	129 342	600/1340 600/1680	5 6	10,3 16,32
Case IH	6R	5,18 10,7	205 360	762/2623 762/2794	- -	14,47 16,624
New Holland	17+4R	3,66 7,32 5,18 10,7	125 298 286 400	607/1040 750/1200 750/1560 432/2638	4 5 6 -	8,1 13,52 14,8 16,7
Gleaner	7R	НД НД	224 276	700/3556 635/2235	- -	12,7 17,10
John Deere	11R	7,6 11	195 395	600/3130 750/3130	- -	13,917 15,636
Лiда	2+1R	6,3 9	191 239	600/1300 600/1600	- -	12,7 15,5
Гомель	6+1R	15	154 239	НД НД	- -	НД НД
PCM	6+1R	5,6 7,9	154 375	НД НД	- -	НД НД

Досвід збирання урожаю сучасними комбайнами свiдчить, що жнив без втрат вирощеного урожаю не буває. Втрати урожаю, за даними Міністерства

Аграрної політики і продовольства України, у 2024 році становили 7-8 млн. тонн, що дорівнювало до 17% від валового збору.

Втрати вирощеного урожаю потрібно прогнозувати при визначенні строків і темпів жнив із врахуванням кількості, структури, строків експлуатації ЗК та їх технічного стану. Не зовсім прогнозованими можуть бути природно-кліматичні умови протягом вирощування зернових культур і під час жнив – це об'єктивні фактори. Решта факторів – суб'єктивні, які можна розрахувати і прогнозувати.

Згідно з ДСТУ 70,8.1-0,7 до процесу збирання зернових культур висуваються такі агротехнічні вимоги:

- втрати зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм МСП ЗК $\leq 1,5$ %;
- чистота зерна, що надходить в бункер ЗК $\geq 97,0$ %.

Для порівняння наведемо характеристику парку ЗК станом на 2023 рік. Парк ЗК у статистичних звітностях Державного комітету статистики України характеризується такими показниками: кількість комбайнів, структура парку за типами і за роками експлуатації; середнє сезонне навантаження на один фізичний комбайн. Якщо використати зазначені характеристики, то за станом на початок 2025 року в Україні налічувалося близько 57435 одиниць різних типів, моделей, модифікацій провідних фірм виробників ЗК зі строком експлуатації від 1 до 30 років. З них 39091 од. – знаходиться у власності сільськогосподарських підприємств, а 18344 – в господарствах сільгоспвиробників. При цьому слід розрізняти два поняття: фізична наявність комбайнів і кількість технічно справних комбайнів. Зокрема, в 2017 році ситуація виглядала таким чином: фізичних комбайнів – 57435 одиниць, технічно справних – 45381 (79%). Тобто, 12054 комбайни на початок жнив знаходилися в ремонті. Стосовно якісного складу – близько 70% парку комбайнів становлять машини виробництва країн російського виробництва: ДОН-1500, ДОН-1500Б, ДОН-1200, Єнісей та Нива. З комбайнів вітчизняного виробництва – це Славутич, Лан (рис. 1.1, 1.2).

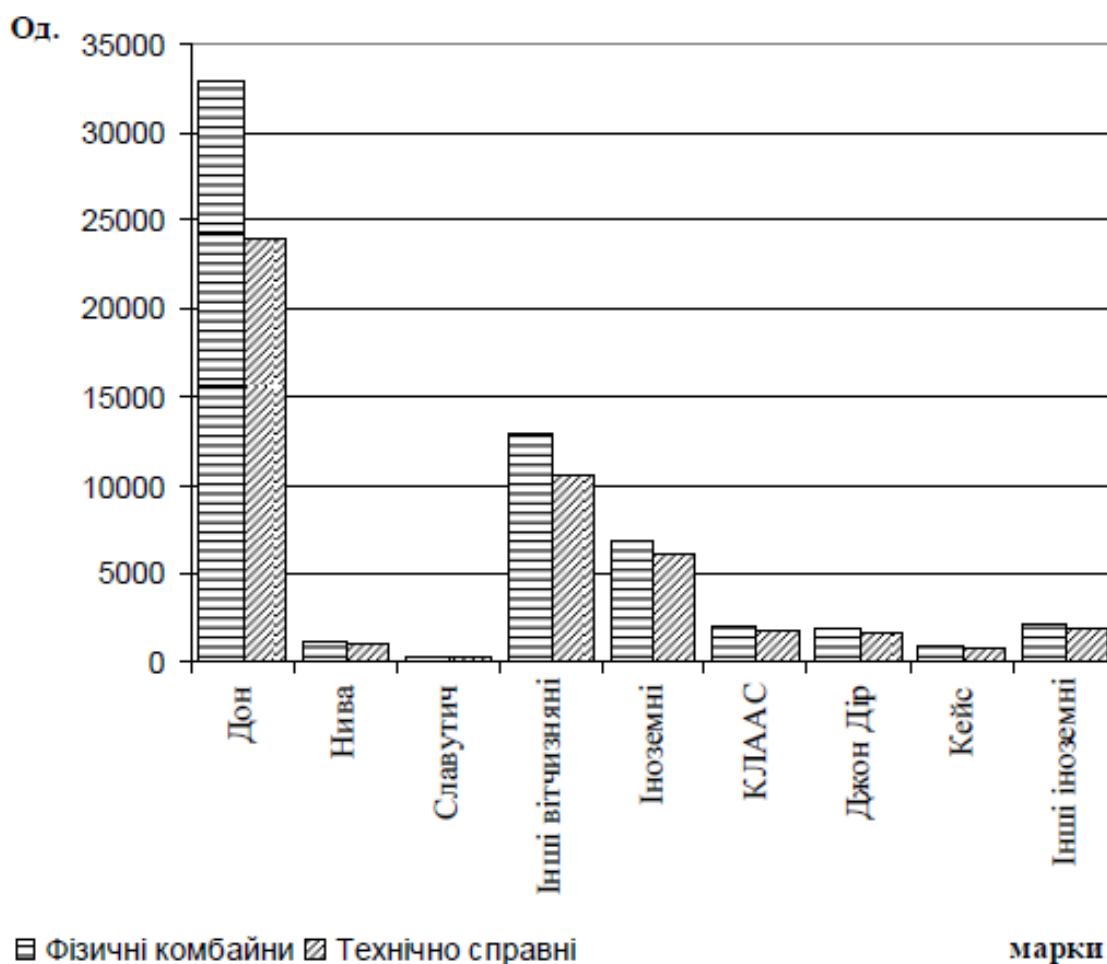


Рис. 1.1. Кількісний склад парку зернозбиральних комбайнів України на початок 2025 року

Низький технічний рівень переважної більшості наявних у сільгоспвиробників ЗК негативно впливає на їх надійність. Наробіток на відмову у більшості ЗК у 4-10 разів нижчий від зарубіжних аналогів (12-25 і 120-160 год відповідно) [13]. Що стосується техніки закордонного виробництва, то більше її половини становить техніка 8-10 року експлуатації. Це також негативно впливає на вартість підтримання їх у роботоздатному стані.

Порівняно з 2024 роком кількість ЗК, що знаходяться у сільгоспвиробників (57435), у 2024 році зменшилась до 53257 одиниць – на 4178 (<7,28%). Зменшення парку ЗК складало 1,45% або 836 одиниць щорічно.

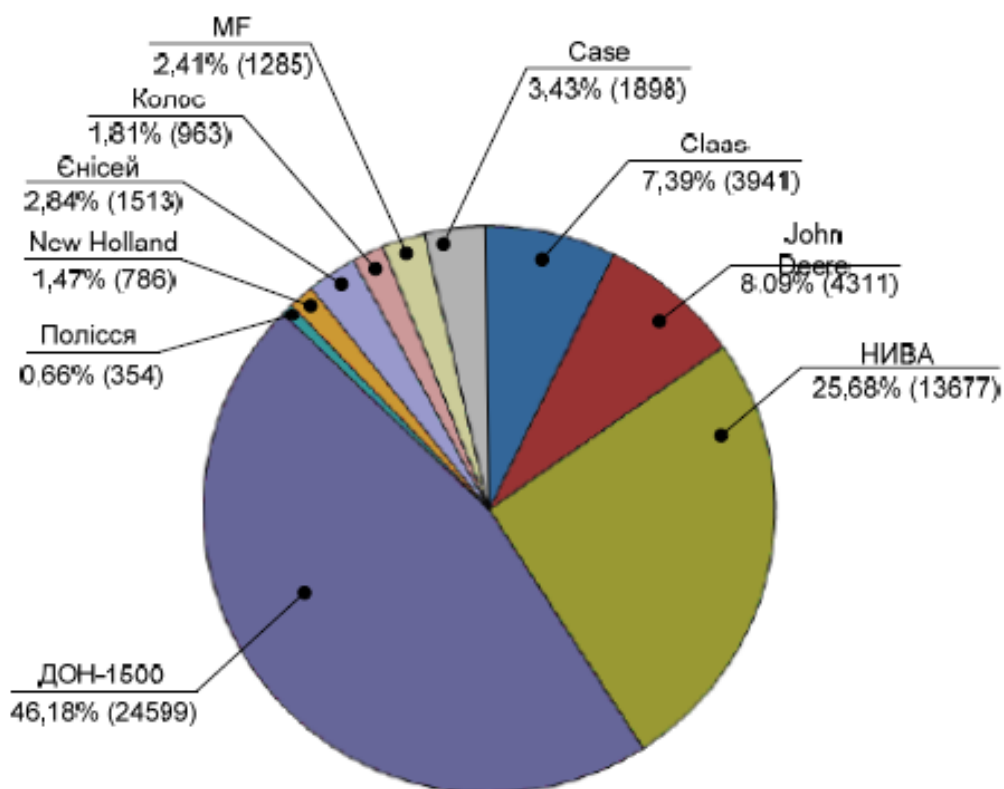


Рис. 1.2. Кількість комбайнів станом на початок 2025 року

Загалом середнє навантаження на 1 комбайн у 2024 році становило 270 га або 802 т (при урожайності 2,97 т/га), а, враховуючи технічний стан, (79% справних) – відповідно 340 га або 1020 т. При цьому кожний рік незмінно простежується тенденція до зниження кількості парку комбайнів.

Тенденція щодо зміни кількості комбайнів суттєво не змінилася – кількість комбайнів щорічно зменшується на 3-6%. Поповнюється парк ЗК у межах 1-1,5% з потужністю двигунів до 400 кВт, які здатні намолочувати за зміну до 200-250 т зерна. Кількість комбайнів провідних виробників ЗК збільшилася до 23%, (на 12100 од.) із загальної структури парку. В тому числі, John Deere – 4311од., CLAAS – 3941 од., Case IH – 1828 од., MB – 1285 од., New Holland – 786 од.

Недостатня забезпеченість господарств високопродуктивними ЗК, низька їх поновлюваність, незадовільний технічний стан (близько 70 % машин має термін служби понад 8-10 років) призвели до значного перенавантаження на комбайн. Низька ефективність використання наявного парку обумовлює затягування строків виконання збиральних робіт, порушення вимог агротехніки і, як наслідок,

значний недобір урожаю. За наявності 70% комбайнів виробництва країн СНГ з низькими коефіцієнтами готовності (приблизно 0,6) та ефективності використання значною мірою подовжувалися строки збирання урожаю на 25 і більше діб. Втрати зерна від осипання при цьому такі: у перші 7 діб після оптимальних строків – 2,6%; у другі 7 діб – 14,5%; у треті 7 діб – 21,6; у четверті – понад 30 % [13, 16].

Для розрахунку прийємо (за даними досліджень ННЦ «ІМЕСГ») 12 годин роботи на добу. Приймаємо, що урожайність становить 3,5 т/га. Тривалість жнив, виходячи з навантаження на 1 зернозбиральний комбайн (340 га з врахуванням кількості технічно справних комбайнів) при 12 годинах роботи на добу, буде становити $340 / 12 = 28,333$ діб [13]. За одну добу весь парк комбайнів збере урожай на $15468300 / 28,333 = 545940$ га.

На рис. 1.3 наведено розрахунковий валовий збір та втрати урожаю від осипання.

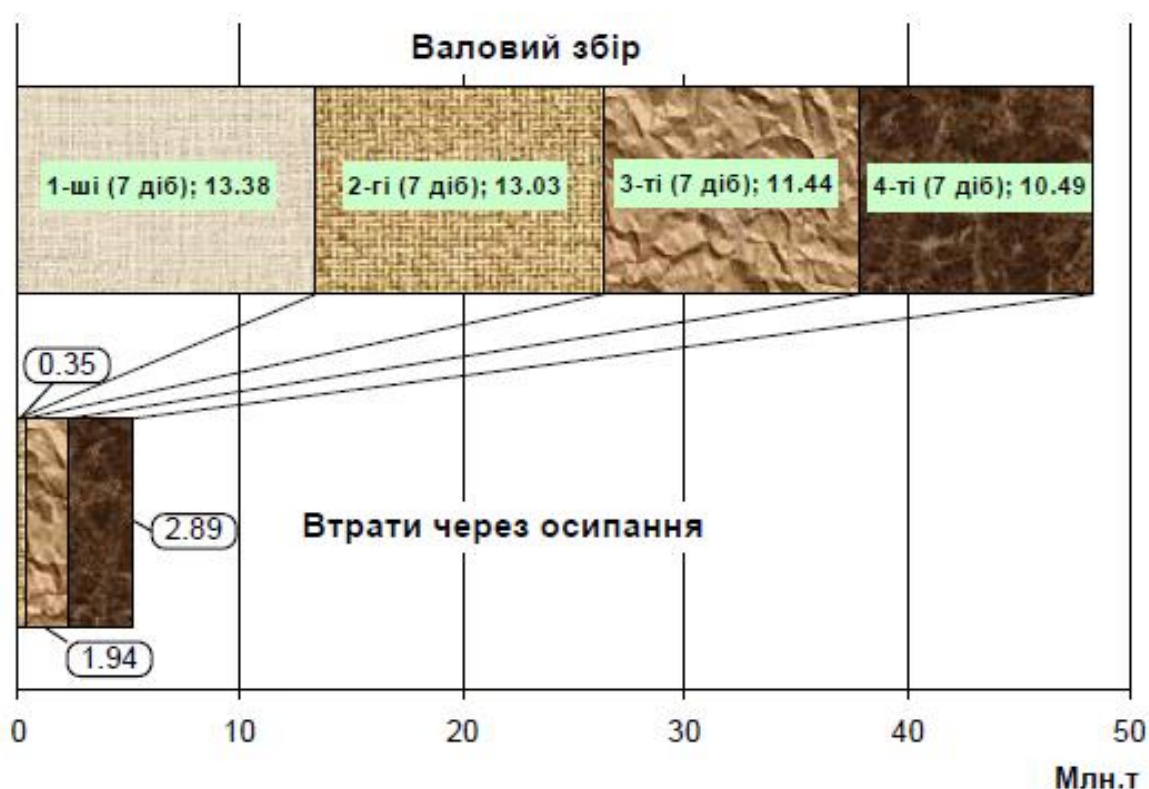


Рис. 1.3. Розрахунковий валовий збір та втрати урожаю від осипання

Втрачена сума лише від осипання дозволила б Україні придбати 2223 зернозбиральні комбайни John Deere 9660 STS, або понад 3100 одиниць Sampo SR 3065L, або 5500 комбайнів AGROS-530.

1.1.1. Огляд існуючих систем класифікації зернозбиральних комбайнів

У роботі [6] наведено аналіз досвіду США, Аргентини і країн СНД за системами класифікації зернозбиральних комбайнів. У США в 2013 році дозріло питання розробки й прийняття єдиної для національних виробників системи класифікації комбайнів. З цією метою Асоціацією виробників продукції (АЕМ) був створений комітет, в який увійшли представники всіх національних виробників-зернозбиральних комбайнів – "AGCO corporation", "CHN", "John Deere" і "CLAAS".

У 2024 році при черговому перегляді із системи класифікації був введений клас IV, оскільки комбайни з потужністю менше 215 к.с. не вироблялися більше 3 років. Діапазон класу VIII був розширений до 461 к.с. через появу на ринку комбайнів з потужністю двигуна в діапазоні від 411 до 461 к.с. Нижня межа класу IX тепер починалась з 461 к.с. [4, 5] (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Класифікація зернозбиральних комбайнів США (2022 рік)

Клас	Мінімальна потужність двигуна, к.с.	Максимальна потужність двигуна, к.с.
V	215	267
VI	268	322
VII	323	374
VIII	375	461
IX	461	

На етапі проектування пропускну здатність ЗК рекомендується розраховувати, використовуючи показник, в якому разом з іншими конструктивними параметрами, необхідно враховувати питому потужність на

одиницю пропускної здатності [2]. За висновками [6], значення цього показника (індивідуально для кожної конкретної конструкції комбайна визначається дослідженнями) має невисоку точність. Для ЗК ДОН-1200, ДОН-1500, Єнісей-1200 при виконанні розрахунків пропонується приймати значення питомих затрат потужності на виконання технологічного процесу в межах 10-12 кВт*с/кг [2, 6], тобто із 20%-ю погрішністю. Випробування показали, що визначити точну величину пропускної здатності досить проблематично.

Результати випробувань показують [7] значний розмах значень пропускної здатності у комбайнів однієї моделі (табл. 1.3)

Таблиця 1.3

Пропускна здатність зернозбиральних комбайнів

Марка комбайна	Пропускна здатність, кг/с		Відхилення паспортної пропускної здатності від середньої, %
	Паспортна	Середня, за даними випробувань при рівні втрат зерна 1,5%	
СК-5	5,0 – 5,5	4,4 (37)*	-12-(-27,3)**
Єнісей - 1200-1	6,0	5,47 (9)	-8,8
Кедр - 1200	5,5-6,0	6,31 (6)	+26,2-(+5,2)
ДОН - 1200	8,0	5,82 (15)	-3,0-(-10,5)
ДОН - 1500	10-12	6,78 (52)	-15,3
СК - 5	10-12	8,57 (19)	-17,9-(-28,6)
ДОН - 2600	12	8,19 (7)	-31,8
СК-6А	6,0-7,0	5,52 (8)	-8,0-(-25,7)

* - в дужках кількість проведених вимірювань; ** - (мінус) відхилення в меншу сторону, (+) - у більшу.

Європейські вимоги до умов випробувань ЗК не менш жорсткі. Проте результати випробувань більшого мірою залежать від особливості культури, вологості соломи та інших критеріїв.

Провідними виробниками ЗК західних країн показник "пропускна здатність, кг/с" у доступних джерелах інформації (рекламних проспектах, інструкціях з експлуатації і т.п.) не наводиться. У роботі [6] відмічається, щов країнах Західної Європи і США максимально можливу продуктивність зернозбиральних комбайнів визначають при втратах за молотаркою 2% на високоврожайній пшениці (до 10 т/га). Співвідношення зерна і соломи штучно (за рахунок збільшення висоти стерні) знижують до 1:0,5-1:0,7, що відповідає значенням солومистості 0,33:0,41.

Збільшення місткості бункера [7] обумовлює підвищення маси комбайна не тільки від збільшення місткості самого бункера, а також і внаслідок підсилення несучих конструкцій бакових капотів, ведучого моста і монтажу приводу на міст керування, комплектування шинами підвищеної продуктивності. За даними [7], зростання витрати палива із збільшенням маси комбайна наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Залежність витрати палива від місткості бункера ЗК

Місткість бункера	Збільшення транспортної маси комбайна, т	Додаткова витрата палива на виконання транспортування з розрахунку на 1 т зібраного зерна при урожайності		
		1 т/га	2 т/га	3 т/га
3	2,6	0,35-0,45	0,175-0,200	0,117-0,133
6	4,6	0,36-0,40	0,430-0,485	0,200-0,320
12	9,6	2,42-2,75	1,21-1,38	0,81-0,92

Аналіз сучасних тенденцій світового комбайнобудування [5, 7] показує, що подальше підвищення продуктивності зернозбиральних комбайнів можливе за рахунок використання гідростатичної трансмісії ходової частини; підвищення енергонасиченості і пропускної здатності шляхом розвитку конструктивно технологічних схем; використання широкозахватних жаток; покращання умов праці обслуговуючого персоналу і ряду інших факторів.

Із таблиці 1.5 видно, що збільшення місткості бункера від 3 м³ до 12 м³ при урожайності 3 т/га приводить до збільшення витрати палива на 0,74 кг/т.

1.1.2. Аналіз сучасних тенденцій світового комбайнобудування

Німецька фірма CLAAS випускає широкий спектр зернозбиральних комбайнів: Lexion, Tusano, Mega, Medion, Dominator. Комбайни Lexion 600, 580, 570 і Tusano 480, 470 обладнані тангенціальною молотильною системою APS, молотильними барабанами [9].

Комбайни оснащуються дизельними двигунами потужністю від 282 до 390 кВт (від фірми Caterpillar, Daimler-Crhrysler, Mercedes-Benz); гідростатичною трансмісією ходової частини як колісного, так і напівгусеничного ходу Terra-Trac; гідрооб'ємним приводом мотовила з регульованою частотою обертання від 8 до 60 об/хв.; чотири- і восьмилопатеvim турбовентилятором, тримірною системою очищення із загальною площею решітного стану 4,4-6,2 м²; зерновими бункерами об'ємом 7,9-12 тис. м³ і жатками шириною захвату від 5,1 до 12 м.

На комбайнах Лексіон 510-560 для сепарації залишкового зерна із соломи використовують п'яти-шестиклавішні соломотряси площею 4,4 м²; площею сепарації 8,2-9,8 м². Всі комбайни цієї моделі оснащуються системою автоматичного регулювання решіт з індикацією втрат зерна на них, виведених на дисплей у кабіні оператора, соломоподрібнювачем Special Cut 2 з центробіжним розкидачем подрібненої соломи.

На комбайнах Tusano, Mega, Medion, Dominator встановлені двигуни потужністю 200-261 кВт, зерновий бункер об'ємом 3,2-9 тис.м³, соломотряс площею сепарації 4,13-7,0 м², соломоподрібнювач-розкидач Special Cut. Молотильний фланцевий барабан на комбайнах Dominator має діаметр 0,45 м, ширину 1,06 м і частоту обертання 650-1500 хв⁻¹.

Корпорація АГКО випускала моделі комбайнів MF 7200 і MF 9000. Моделі MF 7274 і MF 7278 Cerea з двигунами потужністю 280-285 кВт оснащені жатками системи PowerFlow шириною від 6,8 до 7,7 м з регульованим гідростатичним приводом (0-50 хв⁻¹); похилою камерою, оснащеною каменевловлювачем з боковим доступом; високоінерційним молотильним барабаном діаметром 0,6 м і шириною 1,68 м з частотою обертання 370-1080 хв⁻¹; восьмиклавішним п'ятиступінчатим

соломотрясом ($9,9 \text{ м}^2$); двома електрорегульованими решетами для очищення ($5,3 \text{ м}^2$) із системою контролю потоку на схилах; центробіжним вентилятором очищення з регульованим електроприводом ($450-1100 \text{ хв}^{-1}$); гідростатичною трансмісією із 4-ступінчастою КП і безступінчастим регулюванням швидкості на кожному діапазоні, зерновим бункером об'ємом $9,5-10,5 \text{ м}^3$ [1-3].

Роторні моделі MF 9690 і MF 9790 призначені для збирання зернових культур, кукурудзи, сої, рису і ріпаку. Вони оснащені двигунами SISU потужністю $221-257 \text{ кВт}$, гідростатичною трансмісією з 4-ступінчастою КП і безступінчастим регулюванням на кожному діапазоні швидкостей і зерновим бункером об'ємом 10500 л з вивантажувальним шнеком тунельного типу.

Похила камера має ланцюгово-пластинчастий транспортер шириною $1,13 \text{ м}$ з гідравлічним приводом і каменевловлювачем [1-3]. Система обмолоту і сепарації включає передній бітер діаметром $0,45 \text{ м}$ і шириною $1,11 \text{ м}$; аксіальний ротор діаметром $0,7 \text{ м}$ і довжиною $3,56 \text{ м}$ з гідростатичним реверсивним приводом і дводіпазонною частотою обертання $175-755$ і $175-980 \text{ хв}^{-1}$. Все це дозволяє пристосовувати ротор до важких умов збирання врожаю. Решітна система очищення зерна з площею сепарації $4,4-5,35 \text{ м}^2$ включає два решети. Очищення починається на верхньому решеті, де зерно накопичується і сепарується, а полова видувається потоком повітря, що створюється вентилятором.

Відомо [9], що на ринку країн СНГ доля техніки фірми CLAAS складала 35% в 2015 році, а в 2022 році досягла $53,8\%$. За висновками автора, зерно- і кормозбиральні комбайни фірми CLAAS характеризуються високими показниками продуктивності і сезонним наробітком, надійністю та якістю виконаного технологічного процесу. Наведені показники забезпечуються прогресивними конструктивними рішеннями, оптимізацією параметрів і кінематичними режимами робочих органів, а також схемами машин.

Опрацювавши масив експериментальних даних статистичними методами, автор [10] отримав графічні залежності диф і від подачі хлібної маси пшениці. Виявлено, що робота комбайна на I-му діапазоні характеризується надлишком підведеної до барабана енергії, а витрата палива на функціонування комбайна (при швидкості руху $4,6 \text{ км/год}$) порівняно з роботою на II діапазоні збільшується в середньому на $8,7\%$. На II діапазоні

найбільші затрати енергії на рух відповідають подачі хлібної маси 8 кг/с, що є ознакою обмеженої пропускної здатності комбайна.

У конструкції ДОН-1500 передбачена система автоматизованого контролю (АСК) [11], яка інформує комбайнера про відхилення від норми основних технічних і технологічних параметрів роботи комбайна. В умовах реальної експлуатації, при виході АСК з ладу її роботоздатність у більшості випадків не відновлюється. Це відбувається тому, що комбайн може виконувати технологічний процес збирання зернових культур і без АСК.

Дослідження показали, що у 82% комбайнів після 5-7 сезонів експлуатації АСК повністю або частково є нероботоздатними. Основні причини такого становища, як показав аналіз [12], це – відсутність технічного сервісу АСК і недооцінка ролі цієї системи в ефективності використання комбайна за призначенням.

За всіма показниками ефективність ЗК з АСК вища, чим без АСК – кількість відмов менше, коефіцієнт готовності вище на 9%, питомі сумарні затрати на ТО і ремонт менші на 39,8%, втрати зерна безпосередньо за комбайнами нижчі на 41,4%.

Висновки до першого розділу

1. На основі проведеного аналізу парку зернозбиральних комбайнів визначено, що переважна кількість техніки відпрацювала свій амортизаційний термін. Наявна техніка потребує значних ресурсів для підтримання її у роботоздатному стані.

2. Визначено що парк зернозбиральних комбайнів, які експлуатуються в Україні, не забезпечує проведення збиральних робіт у оптимальні агросроки.

3. Проведений аналіз існуючих систем класифікації зернозбиральних комбайнів показав, що найбільш розповсюдженою, технічно і технологічно раціональною є система асоціації виробників продукції (АЕМ) США.

4. Аналіз існуючих досліджень технічного стану зернозбиральних комбайнів і їх систем, а також ефективності їх використання виявив необхідність проведення наукових досліджень, скерованих на підвищення ефективності роботи зернозбиральних комбайнів, як нових, так і тих, що мають певний термін експлуатації.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Структура парку ЗК вітчизняних сільгоспвиробників щорічно змінюється за рахунок вибування (списування), фізичного і морального зношування, поповнення та оновлення агрохолдингів сучасними високопродуктивними зразками комбайнів провідних світових фірм.

У загальному випадку ефективність використання ЗК можна описати функціональною залежністю [14]

$$U_{\Sigma} = f \cdot (K_{Г}, \Delta N, K_{П}, \Delta U, K_1, K_2, K_3, K_4,), \quad (2.1)$$

де $K_{Г}$ - технічний стан ЗК через коефіцієнт готовності;

ΔN - ефективне використання потужності двигуна через оптимальну робочу швидкість, км/год;

$K_{П}$ - коефіцієнт параметричної надійності машини;

ΔU - відносні втрати зерна за МСП ЗК;

K_1, K_2, K_3, K_4 - коефіцієнти, що враховують культуру, агробіологічний стан хлібної маси, забур'яненість, площу і рельєф угідь.

Із збільшенням терміну експлуатації збільшується кількість відмов 2-ї і 3-ї груп складності – як наслідок зношування і підвищення затрат на усунення відмов під час жнив.

2.1. Визначення впливу параметричної надійності на ефективність використання зернозбиральних комбайнів

В умовах реальної експлуатації із збільшенням наробітку мотогодин потужність двигуна знижується через загальне зношування циліндро-поршневої групи, газорозподільного механізму, елементів паливної системи, а також загальної їх розрегульованості [14]. Це проявляється через зниження робочих швидкостей і переходу на нижчі передачі (з 3-ї на 2-у і 1-шу передачі), що прямо впливає на годинну, змінну продуктивність [15].

Визначимо V_p вважаючи, що вся потужність двигуна витрачається на швидкість і обмолот хлібної маси

$$V_p = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + 4A_1(N_{ен} - N_M - \Delta N)}}{2A_1} \quad (2.2)$$

Залежність зміни залишкової потужності двигуна ЗК від швидкості руху і фактичної потужності N_{ef} наведено на рис. 2.1. вплив зміни потужності на швидкість, розраховуємо за формулою (2.2), показано на рис. 2.1.

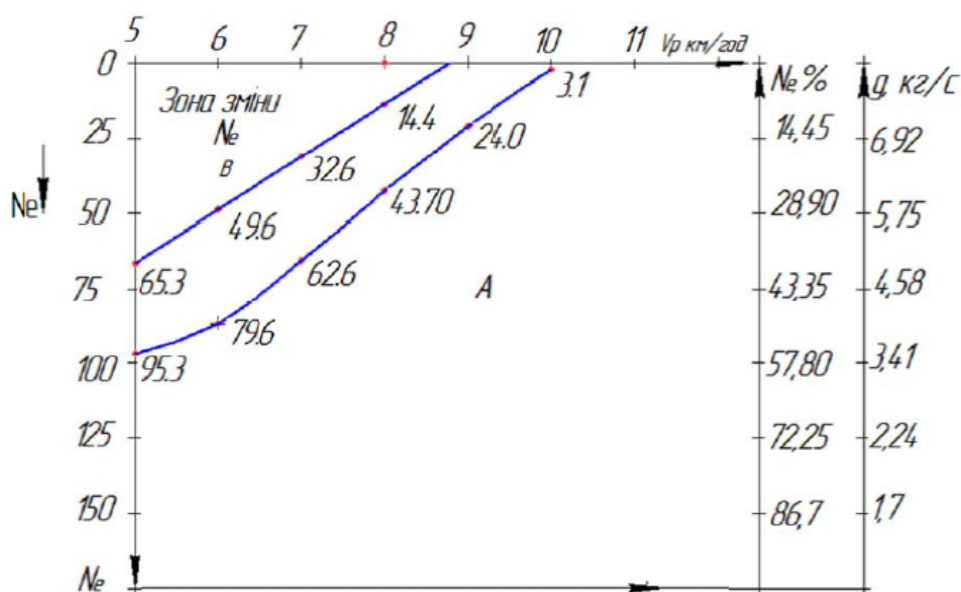


Рис. 2.1. Залежність зміни залишкової потужності двигуна ЗК від швидкості руху і фактичної потужності N_{ef} :

А - сектор використання потужності на рух ЗК і обмолот;

В - сектор залишкової потужності двигуна.

Розрахункові значення коефіцієнта A_2 наведені в табл. 2.1.

За наведеними формулами можна розрахувати числові значення залишкової потужності залежно від агробіологічного стану хлібної маси, урожайності, технічного стану двигуна, швидкості руху ЗК і визначити область допустимих змін, а також коефіцієнт завантаження двигуна (N_e), який може змінюватися тільки в межах залишкової потужності.

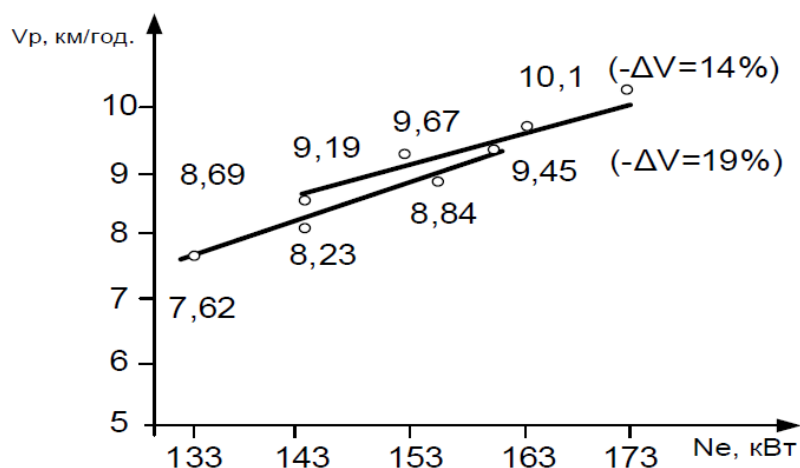


Рис. 2.2. Закономірності зміни швидкості руху ЗК від параметричної надійності двигуна

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнта A_2 залежно від урожайності т/га

Урожайність, т/га	2	3	4	5	6	7
Значення коефіцієнта A_2	8,79	12,64	15,72	18,74	20,55	21,76
A_2^2	77,24	159,65	247,38	351,55	422,56	473,63

Застосування формули (2.2) дозволяє більш точно розрахувати швидкості руху з врахуванням фактичної потужності двигуна і динаміки руху ЗК, допустимі значення робочих швидкостей для оптимізації завантаження молотарки.

2.2. Аналітичний розрахунок пропускної здатності молотильно-сепаруючого пристрою зернозбиральних комбайнів

Узагальнюючою техніко-технологічною характеристикою зернозбиральних комбайнів виступає пропускна здатність молотильно-сепаруючого пристрою, що має розмірність кг/с [13]. В останні роки фірмами-виробниками зернозбиральних комбайнів у технічній документації, що додається до комбайнів, показники пропускної здатності не наводяться.

Доведено, що ефективність використання ЗК залежно від недостатнього дослідження факторів можна описати функціональною залежністю

$$U_{\Sigma} = f(q, \%N_e, (\Delta U + \Delta(\Delta U)), \%U), \quad (2.3)$$

де q – експлуатаційна пропускна здатність МСП ЗК, кг/с;

N_e – експлуатаційна потужність двигуна, кВт;

$\Delta U + \Delta(\Delta U)$ – нерівномірність і флуктуація урожайності від середнього значення, кг/м;

$\%U$ – числові і відносні значення втрат зерна (%) МСП залежно від пропускної здатності, кг/с.

В останні роки виробники зернозбиральних комбайнів у технічній документації не наводять числових значень показників пропускної здатності, що входять у формули для визначення продуктивності при прогнозуванні темпів жнив або при виборі комбайна. Рішення знайдено при порівнянні формул продуктивності (40 ц/га) з двох рівнянь, в одне з яких входить потужність двигуна, а в друге – пропускна здатність. За таких умов експлуатаційний показник пропускної здатності МСП ЗК визначається із залежності

$$q_n = \frac{0,1 \cdot N_e \cdot \xi}{0,1 B_p \cdot U(1 + \delta_c)(N_M + N_{II}) + \frac{g \cdot f \cdot G_T}{\eta_{TP}}} \cdot \frac{1}{B_p \cdot U(1 + \delta_c)} + 0,2, \quad \text{кг/с}, \quad (2.4)$$

де N_e – ефективна потужність двигуна, кВт;

ξ – коефіцієнт завантаження двигуна;

B_p – робоча ширина захвату жатки, м;

U – урожайність, т/га;

δ_c – показник солomистості хлібної маси;

N_M – питома потужність на обмолот, кВт×с/кг;

N_{II} – питома потужність на подрібнення солomистої маси, кВт×с/кг;

g – прискорення земного тяжіння, м/с²;

f – коефіцієнт перекочування;

G_T – маса комбайна, т;

η_{TP} – ККД трансмісії.

В залежність (2.4) входять: п'ять технологічних та три технічні показники і три коефіцієнти, що дозволяє визначити з допустимою точністю експлуатаційний показник пропускної здатності для ЗК різного технічного стану і технологічних характеристик хлібостою.

Розрахункові значення пропускної здатності МСП комбайнів за формулою (2.4) наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахункові показники пропускної здатності МПС зернозбиральних комбайнів

Марка комбайна	Потужність, кВт/к.с	Маса, кг	Об'єм бункера, л	Об'єм паливного бака, л	Розрахункова пропускна здатність, кг/с (формула)		
					(12)	(8)*	(6)**
Lexion 580	330/450	16560	10500	800	17,0	62,06	–
Lexion 570	312/425	15725	10500	800	16,0	62,06	–
Lexion 560	265/360	14410	10500	800	14,0	62,06	–
Lexion 550	236/321	14410	9600	800	12,64	62,06	–
Lexion 540	210/286	14410	8600	700	11,83	62,06	–
Лида-1300	191/260	13360	6300	520	9,45	–	8-9
Лида-1600	239/325	17000	9000	650	10,9	–	12-14
ДОН-1500Б	173/235	13300	6000	500	8,55	13,82	9,5
Вектор 420	154/210	12700	6000	500	7,57	–	7,7
Нива -эф	106/145	8087	3000	300	5,57	–	5,6
ACROS 530	184/250	16440	9000	540	8,36	–	9,7

З врахуванням викладених вище змін показників, які входять у формулу (2.4), доцільно внести зміни у кількісні значення: ефективної потужності, питомої потужності на обмолот $N_{ПМ}$, к.к.д. трансмісії.

Для двигунів з турбонадувом і охолодженням повітря відмовою двигуна за показниками потужності називається такий стан, коли потужність знижується на 13% від номінального значення. Для конкретного випадку – 147 кВт.

Стартові значення приведених коефіцієнтів дорівнюють $\eta_{ГСТ} = 0,81$; $\eta_{ККП} = 0,9$; $\eta_{ТР} = 0,9$; $\eta_{В} = 0,9$. Коефіцієнти після наробітку 1500-2000 мотогодин приймають ймовірні значення: $\eta_{ГСТ} = 0,7$; $\eta_{ККП} = 0,85$; $\eta_{ТР} = 0,85$; $\eta_{В} = 0,85$.

Метод, запропонований, може застосовуватись для оцінки в статистиці теоретичної пропускної здатності молотильно-сепаруючого пристрою нових зразків комбайнів. Якщо розглядати пропускну здатність через конструктивні характеристики МСП ЗК, то вона має залишитися сталою величиною, а якщо через енергетичні характеристики (параметричні показники надійності – зміна потужності двигуна, зміна к.к.д. гідравлічних, механічних, пасових, ланцюгових передач), то її значення зменшується. Відповідно збільшується витрата палива на одиницю продукції.

2.3. Визначення впливу нерівномірності урожайності по площі поля на пропускну здатність молотильно-сепаруючого пристрою

Вплив стану хлібостою культури на завантаження двигуна може відбуватися не тільки протягом терміну жнив, а й протягом робочого дня чи протягом проходу робочої довжини гону одного поля. До зовнішніх факторів, що викликають зміну завантаження двигуна, які відчуються суб'єктивно, належать коливання моменту опору з боку приводу робочих органів через зміну секундної подачі хлібної маси, обумовлену зміною врожайності від середнього значення хлібної маси культури.

Для визначення швидкості ЗК в загінці з урахуванням динаміки руху із зміною потужності запропонована залежність

$$N_{руш} = [G_{mk} \cdot f_0 \cdot (1 + \rho(V_p - V_0))] \cdot \frac{V_p}{3,6}, \quad (2.5)$$

де G_{mk} – маса комбайнового агрегату, т;

f_0 – коефіцієнт перекочування;

p – коефіцієнт узгодження розмірності;

V_p і V_0 – робоча і початкова швидкість, км/год.

Значення залишкової потужності двигуна визначимо за формулою

$$N_z = N_e - N_M - V_p^2 \cdot A_1 + V_p \cdot A_2, \quad (2.6)$$

де
$$A_1 = \frac{10 \cdot G_{mk} \cdot f_0 \cdot \rho}{36 \cdot \eta_{mp}}; \quad A_2 = \frac{10 \cdot G_{mk} \cdot f_0 \cdot (1 - \rho \cdot V_0) + B_p \cdot U \cdot (1 + \delta_c) \cdot N_{nut} \cdot \eta_{mp}}{36 \cdot \eta_{mp}};$$

N_M – потужність, споживана на обмолот хлібної маси, а для зношеного і невідрегульованого двигуна із залежності

$$N_z = N_e - N_M - \Delta N_{\Pi} - V_p^2 \cdot A_1 + V_p \cdot A_2, \quad (2.7)$$

де ΔN_{Π} – зниження потужності двигуна внаслідок зношування і розрегульованості.

В остаточному вигляді рівняння (2.7) має вигляд:

$$V_p^2 \cdot A_1 + V_p \cdot A_2 - (N_e - N_m - N_z) = 0. \quad (2.8)$$

Визначимо значення V_p із залежності (2.8):

$$V_p = \frac{-A_2 \pm \sqrt{A_2^2 + 4A_1(N_e - N_M - \Delta N_{\Pi})}}{2 \cdot A_1}. \quad (2.9)$$

Вплив фактичної потужності двигуна ЗК V класу на швидкість руху показано на рис. 2.2.

Проведений аналіз показує доцільність врахування імовірного зниження потужності двигуна із збільшенням наробітку при прогнозуванні темпів жнив. Технологічна характеристика – нерівномірність і флуктуація урожайності по площі поля суттєво впливає на ефективність використання ЗК через ступінь завантаження МСП і на зміну механічних втрат. Флуктуаційна складова може накладатися на гармонічну нерівномірність (\pm) тривалістю 1–15 с. Визначено, що гармонічна складова нерівномірності (ΔU_{cp}) може досягти до 35 % від середнього значення урожайності U_{cp} , а флуктуаційна складова – (ΔU_{cp}) \pm 10 % від нерівномірності ΔU_{cp} . Для аналізу прийнято u_{cp} кг/м² хлібостою. Із урахуванням

наведених вище факторів урожайність по полю визначається залежністю з використанням випадкових функцій:

$$U_{XM} = U_{CP} \pm \Delta U_{CP} \pm \Delta(\Delta U_{CP}), \text{ кг/м}^2, \quad (2.10)$$

де U_{CP} – середня урожайність, кг/м²;

ΔU_{CP} – нерівномірність від середньої урожайності, кг/м²;

(ΔU_{CP}) – флуктуаційна складова від нерівномірності, кг/м².

З урахуванням гармонічної нерівномірності і флуктуаційної складової урожайності рівняння для визначення фактичної пропускну здатності можна записати у вигляді

$$q_{\phi} = \frac{0,1Ne^{\xi}}{0,1 \cdot B \cdot \left[Z_1 \cdot \text{Sin} \left(\frac{n_1 \cdot x_1}{\lambda_1} \right) (N_m + N_n) + Z_2 \cdot \text{Sin} \left(\frac{n_2 \cdot x_2}{\lambda_2} \right) (N_m + N_n) \right] + \frac{g \cdot f \cdot G_k}{\eta} + 0,2} \cdot B \cdot \left(Z_1 \cdot \text{Sin} \left(\frac{n_1 \cdot x_1}{\lambda_1} \right) + Z_2 \cdot \text{Sin} \left(\frac{n_2 \cdot x_2}{\lambda_2} \right) \right), \text{ кг/с} \quad (2.11)$$

де $Z_1 = U_{CP} \pm (0,25U_{CP} \pm 0,025U_{CP}^{-2})$; $Z_2 = \Delta U_{CP} \pm (0,125\Delta U_{CP} \pm 0,01\Delta U_{CP}^{-2})$;

η – ККД трансмісії;

f – коефіцієнт перекочування;

g – прискорення земного тяжіння, м/с².

Графічну інтерпретацію зміни врожайності по площі поля в залежності від агротехнологічних факторів показано на рис. 2.3.:

ΔU – нерівномірність урожайності;

(ΔU_{CP}) – флуктуація урожайності;

$\lambda_{xm1}, \lambda_{xm2}$ – період коливань нерівномірності і флуктуації.

2.4. Визначення залежності продуктивності зернозбирального комбайну залежно від механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючого пристрою

Вперше результати впливу подачі хлібної маси в МСП комбайнів на відносні значення механічних втрат за молотаркою показали фахівці фірми «CLAAS» для комбайна «Dominator 108 SL Maxi» (рис. 2.4). Молотарка в заданих

умовах спроможна обробити хлібну масу при подачі більше 12 кг/с, але при цьому втрати зерна перевищують 2,5%. Тому оптимальна пропускна спроможність даного комбайна – $q = 11,4$ кг/с, при якій механічні втрати не перевищують 1,5% нормативних значень від валового збору урожаю збираної культури [17].

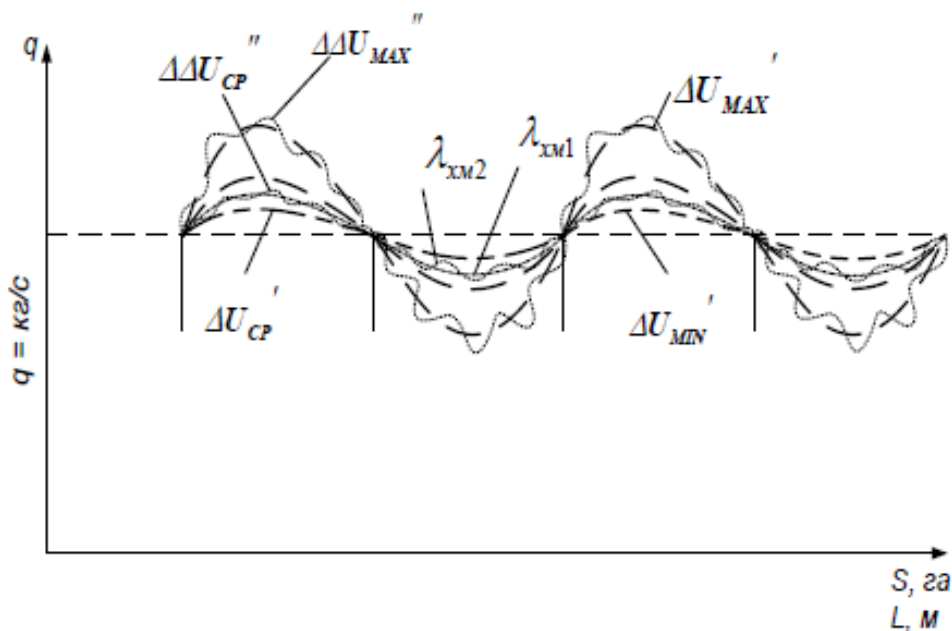


Рис. 2.3. Графічна інтерпретація зміни врожайності, пропускної здатності і моменту опору барабана від середнього значення від впливу агротехнологічних факторів

З графічної залежності (див. рис. 2.4) бачимо, що при завантаженні двигуна хлібною масою до 9,4 кг/с механічні втрати не перевищують 0,5%, а при збільшенні навантаження від 9 до 11,4 кг/с – втрати різко підвищуються до 1,5%.

Дана графічна залежність продуктивності від механічних втрат не знайшла теоретичного обґрунтування. Автори цієї графічної залежності не наводять аналогічну графічну залежність збільшення використання потужності двигуна на обмолот хлібостою 1 кг/с і на подрібнення її, затраченої потужності на рух комбайна.

З приведених характеристик невідомо, за рахунок якого чинника збільшується пропускна здатність, оскільки характеристики є величинами постійними: співвідношення зерна до соломи $1: 0,95 = const$; ширина захвату жатки $= const$; швидкість комбайна $V_p = 5$ км/год $= const$; витрата палива $= const$.

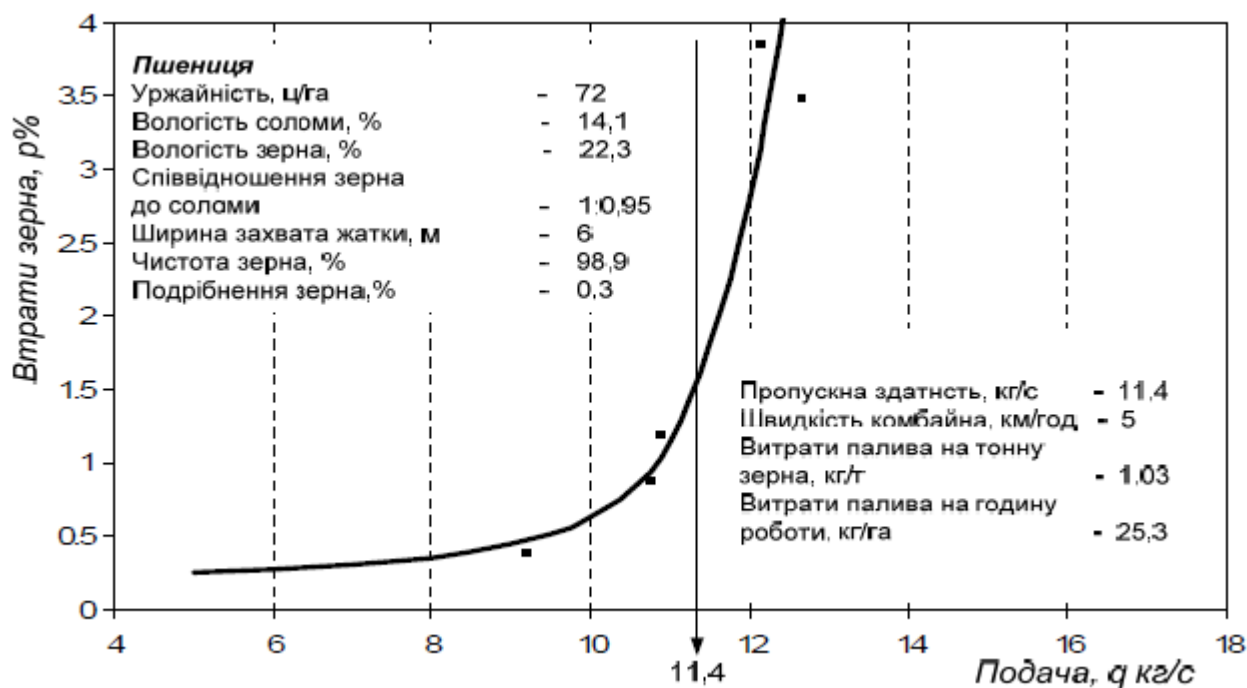


Рис. 2.4. Залежність втрат зерна за молотаркою комбайна «Dominator 108 SL Махі» від подачі хлібної маси

Корпорація AGCO наводить графічну залежність продуктивності від відносних значень втрат за молотаркою (рис. 2.5). У коментарях до рис. 2.5 подано такий текст. «Що означають втрати зерна? Чи можна виконувати збирання з більшою швидкістю? Допустима величина втрат залежить від поточної ситуації і умов, в яких проводиться збирання. Наприклад, може очікуватися зміна погоди, після якої за прогнозом одного-двох тижнів буде йти дощ. В цьому випадку збирання доведеться проводити з більшою швидкістю, щоб зібрати більше зерна, не зважаючи на те, що його втрати збільшаться».

При збиранні комбайнами традиційної конструктивної схеми з наближенням до межі пропускної здатності сепаруючого пристрою механічні втрати різко підвищуються. В результаті збільшенню втрат від 0,5% до 1,0% відповідає дуже незначний приріст продуктивності. Оскільки в роторних комбайнах сепарація виконується більш ефективно, приріст продуктивності буде вищий.

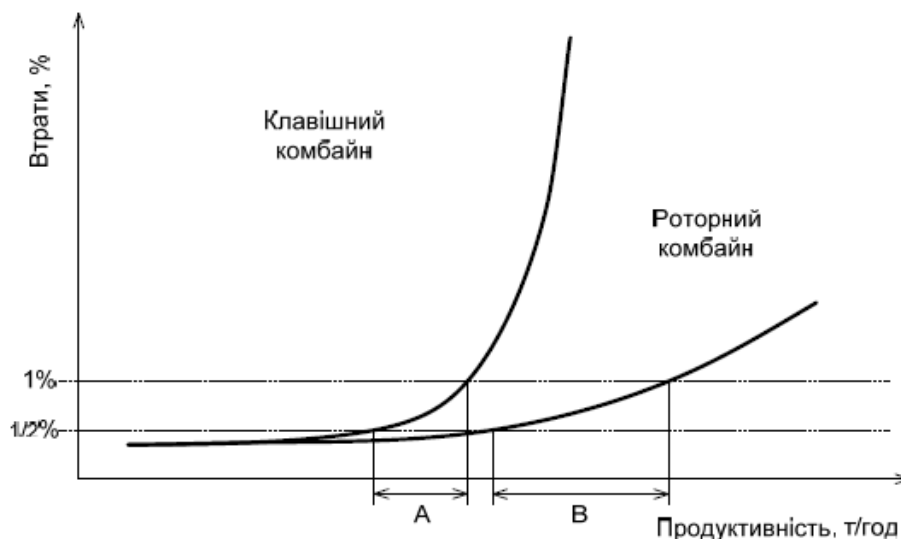


Рис. 2.5. Залежність механічних втрат за МСП ЗК від продуктивності ЗК

Гармонічна нерівномірність і флуктаційні складові є причиною зміни відповідно завантаження МСП і двигуна (при цьому приймаємо параметри, характерні для лісостепової зони, при $\Delta U_{max}=35\%$, $\Delta U_{cp}=25\%$ флуктуація $\Delta(\Delta U_{cp})=10\%$ від ΔU_{cp}).

Друга технологічна характеристика зернозбиральних комбайнів – механічні втрати зерна за МСП. Встановлено, що відносні значення втрати зерна за МСП в межах до 0,5–0,6 % не обмежують продуктивність.

Із збільшенням продуктивності ЗК через підвищення пропускної здатності відносні значення втрат зерна різко збільшуються – від 0,5–0,6 до 1,5 %, що суттєво обмежує подальше підвищення продуктивності. Рівняння відносних втрат від пропускної здатності описується залежністю

$$y = \frac{y_{zp} \cdot \exp(ky_{zp}q)}{\exp(ky_{zp}q) + 10y_{zp} - 1}, \quad \%, \quad (2.12)$$

де y_{zp} – граничне значення втрат, %;

k – коефіцієнт самоосипання, %, 0,125; 0,250; 0,5;

q – пропускна здатність, кг/с;

y – поточне значення втрат, %.

Графічна залежність після розв'язку рівняння (2.12), яка показана на рис. 2.6, не підтверджує зміну механічних втрат зерна залежно від підвищення завантаження молотарки і нагадує S-подібну криву. Точка перегину для функції

показує величину завантаження, при якому втрати починають зменшуватися. Закономірність зміни втрат матиме вираз (2.13).

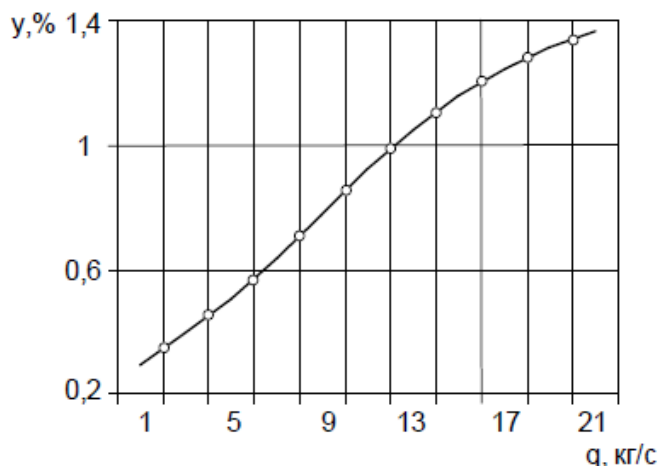


Рис. 2.6. Залежність механічних втрат зерна від пропускної здатності ЗК

Точка перегину функції, при якій втрати починають зменшуватися, значною мірою залежить від прийнятого значення k – коефіцієнта самоосипання (рис. 2.6):

$$q_n = \frac{\ln(10y_{зр.} - 1)}{ky_{зр.}}, \text{ кг/с.} \quad (2.13)$$

Висновки до другого розділу

1. Теоретично досліджено вплив параметричної надійності двигунів ЗК на швидкість руху в загінці. Встановлено, що із зниженням потужності від $N_e = 173$ до $N_\phi = 143$ кВт швидкість руху зменшується на $V_p = 19,37\%$.

2. Виведено аналітичну залежність визначення пропускної здатності МСП ЗК з врахуванням конструктивних, технічних, технологічних факторів, характеристик. Визначено, що пропускна здатність ЗК змінюється із зниженням фізичних і параметричних показників надійності.

3. Аналітично досліджено вплив нерівномірності і флуктуації урожайності по площі поля за зміну пропускної здатності МСП ЗК; зміну крутного моменту на привід барабана МСП.

4. Аналітично досліджено та графічно отримано закономірності зміни механічних втрат від ступеня завантаженості молотарки через пропускну здатність МСП.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма досліджень

Відповідно до мети і поставлених задач була розроблена програма експериментальних досліджень, яка передбачає отримання достатнього обсягу статистичних даних для визначення необхідних показників для оцінки ефективності використання зернозбиральних комбайнів [17, 18].

Мета експериментальних досліджень – оцінка ефективності використання зернозбиральних комбайнів шляхом визначення залежності механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм (МСП) від техніко-технологічної ефективності використання.

Задачі програми досліджень полягають у наступному. Перше, перевірити технічну ідею через лабораторну установку на базі стандартних комплектуючих, яка дозволяла б трансформувати відносні показники механічних втрат за МСП, на прикладі комбайнів ДОН-1500, ДОН-1500Б, у числові значення; розрахувати ймовірні числові значення попадання зерен на площу датчиків на клавішах і за решетами; розробити експериментальний електронний пристрій контролю і реєстрації механічних втрат протягом 5 годин для виробничої перевірки втрат під час жнив при збиранні зернових колосових культур; провести польові дослідження під час жнив мірними ящиками механічних витрат за МСП комбайнів ДОН-1500, ДОН-1500Б; Челенжер 647С (комбайн VI-го класу), Lexion 560 (комбайн VII-го класу). Друге, розробити план польових виробничих досліджень. Третє, обґрунтувати термін перевірки роботоздатності електронного пристрою реєстрації механічних втрат, Четверте, розробити і виготовити три зразки електронного пристрою втрат (ПРВ) з реєстрацією і записом числових значень втрат зерна протягом 300 годин. П'яте, розробити програми

функціонування ПРВ. Шосте, перевірити ПРВ у виробничих умовах під час жнив на двох комбайнах ДОН-1500. Шосте, провести статистичну обробку експериментальних даних і визначити закономірності зміни ефективності використання комбайнів. Сьоме, розробити метод визначення технічного рівня сучасних комбайнів з врахуванням експлуатаційних та конструктивних показників і характеристик.

Методикою виробничих випробувань передбачається визначення ефективності використання ЗК з відносними і числовими значеннями механічних втрат зерна.

Для проведення лабораторних досліджень був виготовлений спеціальний пристрій, який складається із спеціального контейнера, виготовленого з діелектричного матеріалу. У лабораторний контейнер під кутом 45° монтувалися два п'єзодатчики $BQ_1...BQ_2$. Монтувалась загальна схема електронного контролю з приладом 12 В. Встановлено, що для фіксації п'єзодатчиком імпульсів падіння зерна пшениці, ячменю з різної висоти під силами гравітації достатньою є висота боковини клавіші 50-100 мм. (рис. 3.1). Статистичні дані лабораторних досліджень числових значень реєстрації механічних втрат були покладені в основу технічної ідеї розробки дослідного зразка пристрою реєстрації втрат на корпусі БІП-Ц і записом показників на спеціальній енергозалежній платі. Лабораторні дослідження дозволили виявити, що необхідно розрахувати ймовірні значення попадання зерен від механічних втрат за МСП на конкретний датчик (див. рис. 3.1).



Рис. 3.1. Лабораторний пристрій для перевірки механічних втрат

Сигнали від зерен, що падають на датчики, підраховуються мікроконтролером і кожної секунди виводяться на цифрові індикатори окремо для втрат за соломотрясом і за очисткою. За кожні 10 хвилин сумарна кількість втрачених зерен окремо на соломотрясі при очищенні записується в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера, звідки може бути вилучена для аналізу роботи комбайна.

У більшості публікацій [19] тільки констатуються числові значення механічних втрат за молотильно-сепаруючим пристроєм зернозбиральних комбайнів. Проте, не розглядається і не аналізується сама система електронного контролю через конструктивні рішення розміщення датчиків. В інструкціях і методичних посібниках не даються орієнтовні значення відносних втрат зерна залежно від урожайності, солومистості та агробіологічного стану хлібної маси. Користування відносними значеннями ймовірних втрат залежно від суб'єктивної оцінки урожайності на площі поля, урожай з якого передбачається збирати, призводить до значних помилок комбайнерів при виборі робочих швидкостей для забезпечення високої продуктивності ЗК.

Згідно [58] с. показано Блоки БИП (рис. 3.2), УФИ (рис. 3.3) і датчики втрат ДПЗП-1 призначені для оперативного надання інформації про зміни інтенсивності втрат за соломотрясом і за очисткою з метою підтримання заданого рівня втрат. Датчики втрат BQ1...BQ2 призначені для перетворення енергії падаючих зерен в електричні сигнали BQ1...BQ4 і змонтовані в кінці двох середніх клавіш соломотряса, а датчики BQ5 і BQ6 (рис. 3.4) – під лотком половонабивача. УФИ-2 змонтований на лівій боковині молотарки над заднім контрприводом і призначений для підсилення електричних сигналів, що надходять з датчиків BQ1...BQ6, і формування імпульсів, що забезпечують роботу блока індикації БИП.

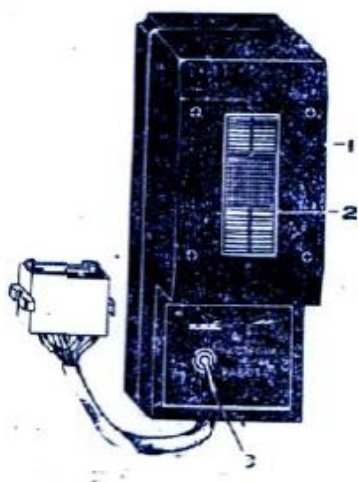


Рис 3.2. Загальний вигляд БІП:
1 – корпус; 2 – шкала індикації;
3 – перемикач режимів роботи

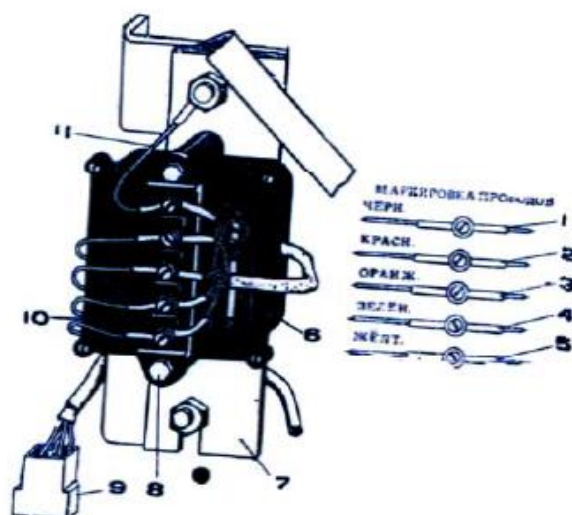


Рис 3.3. Загальний вигляд УФІ:
1-5 – дроти; 6 – підсилювач-формував
імпульсів УФІ-2; 7 – кронштейн;
8 – болт; 9 – колодка з'єднувальна;
10 – панель з'єднувальна; 11 – провід
«маса»

На попередньо відрегульованому (згідно з умовами збирання і стану збираної культури) робочу швидкість комбайна визначають шляхом пробних заїздів на ділянці 80...100 м поля, при якій втрати зерна за молотаркою не перевищують норми. Після визначення оптимальної швидкості руху проводились дослідження в робочому режимі. При зміні умов збирання, переході на інше поле або іншу культуру повторити правила переналадки БІП.

3.2. Методика експериментальних досліджень

Електронна система контролю відносних значень механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм комбайнів V-го класу має свої конструктивні особливості (рис. 3.4, 3.5, 3.6) [40].

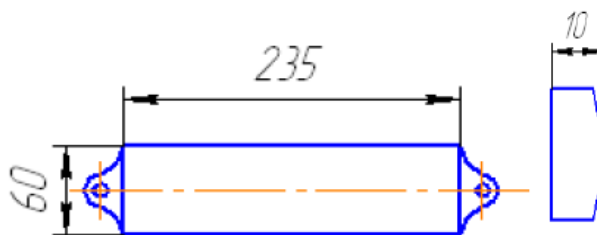


Рис. 3.4. Розміри датчика на клавішах соломотряса

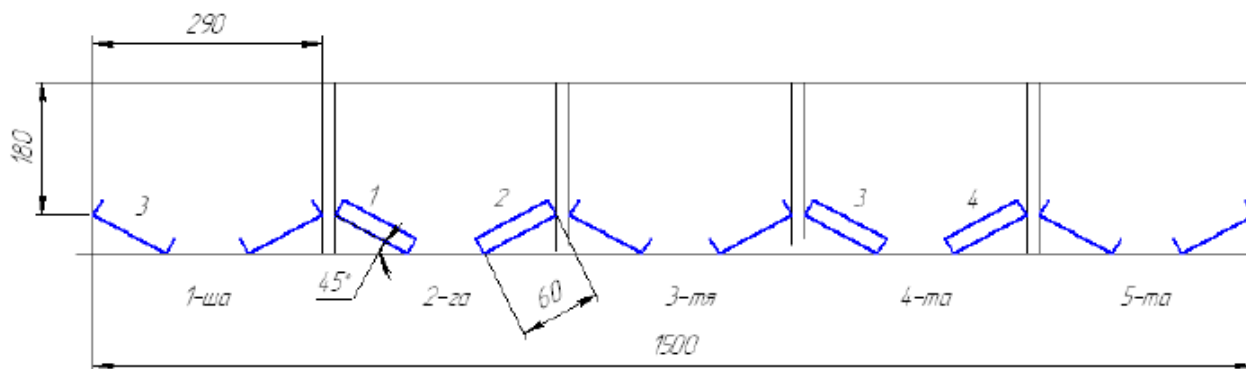


Рис. 3.5. Схема розміщення датчиків на клавішах соломотряса

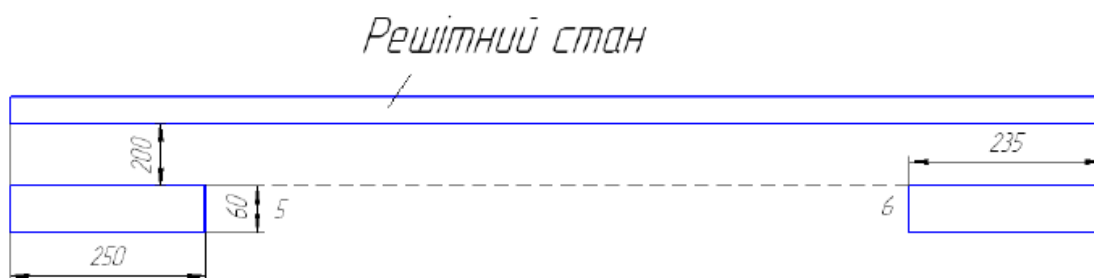


Рис. 3.6. Схема розміщення датчиків соломотряса за решітним станом

Чотири п'єзодатчики розміщені на 2-й і 4-й клавішах, поздовжньо по два датчики під кутом 45° (Q_1 і Q_2) – на другій клавіші, (Q_3 і Q_4) – на четвертій клавіші, (Q_5 і Q_6) – поперечно до напрямку руху за решітним столом. Сигнали від п'єзодатчиків на соломотрясі через прилад УФІ надходять на окремий інформаційний візуальний блок БП, а показники витрат за решітним станом – на паралельний інформаційний блок. Згідно з інструкцією з експлуатації комбайнів максимальні допустимі відносні втрати становлять 1,5%. Це означає, що відносні втрати можуть бути в межах по системах 0,75%, тобто втрати за соломотрясом і решетами мають бути рівнозначними. З прикладних досліджень відомо, що після барабана в соломі знаходиться до 19% зерна від маси урожаю, а через решітний стан проходить 100% зерна. Схема розміщення п'єзодатчиків у комбайні апріорі передбачає попадання зерна на контроль за законом рівної ймовірності. При нахилах вліво-вправо показання двох датчиків об'єднувалися в один

інформаційний сигнал. Для перевірки ймовірних значень попадання зерна на датчики були проведені відповідні прикладні розрахунки.

Таблиця 3.1

Маса тисячі зерен різних культур

Культура	МТЗ (г)	min-max	Зерен на кг (середнє значення)	Зерен на грам (середнє значення)
Пшениця	47	40-55	21,280	21,3
Ячмінь	47	40-55	21,280	21,3
Жито	35	30-40	28,570	28,8
Овес	37	30-45	27,027	27,03
Рис	25	23-27	40,000	40
Кукурудза	325	200-450	3,080	3,1
Горох	325	300-700	2,000	2
Рапс	4,5	3,5-5,5	222,220	222,2
Соняшник	45	30-60	22,220	22,2

Таблиця 3.2

Підрахунок втрат за масою і за кількістю зерен за молотаркою залежно від урожайності

Відносн і втрати від урожайності, %	Урожайність, т/га					
	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Втрати в кг на 1 га						
0,5	17,5	20	22,5	25	27,5	30
1,0	35,0	40	45	50	55	60
1,5	52,0	60	67,5	75	82,5	90
2,0	70,0	80	90	100	110	120
2,5	87,5	100	112,5	125	137,5	150
3,0	105	120	135	150	165	180

**Ймовірна кількість імпульсів від падаючих зерен на датчики за
соломотрясом і решетами**

Урожайність , т/га	1% дод. втрати, кг/га	1% на 1 м ² , г (1г=25 зерен)	Площа S _c на соломотрясі, м ² 0,03948	Площа S _p за решетами, м ² 0,194	Сумарна кількість імпульсів i _Σ на S _p + S _c
1	2	3	4	5	6
2,0	20	50	6,12	15,6	21,7
2,5	25	65,5	7,7	19,7	27,4
3,0	30	75	9,2	23,4	32,6
3,5	35	87	10,7	27,1	37,8
4,0	40	100	12,2	30,4	42,6
4,5	45	112	13,8	34,1	47,9
5,0	50	125	15,3	37,8	53,1
5,5	55	137,5	16,8	41,2	58,0
6,0	60	156	18,3	44,6	63,9
6,5	65	162,5	19,8	48,0	67,8
7,0	70	175	21,3	51,4	74,7
7,5	75	187,5	22,8	54,8	77,6
8,0	80	200	24,5	58,2	82,7
8,5	85	220	26,0	61,6	87,6
9,0	90	225	27,5	64,0	91,5
9,5	95	237,5	29	67,4	96,4
10	100	250	30,5	70,8	101,3

Маса тисячі зерен (МТЗ) різних культур наведена в табл. 3.1. Підрахунок допустимих відносних втрат по масі за молотаркою залежно від урожайності

наведено в табл. 3.2. Ймовірна кількість імпульсів від падаючих зерен на датчики за соломотрясом і решітним станом залежно від урожайності наведена в табл. 3.3.

Відповідно до рекомендацій інструкції з вибору робочої швидкості комбайна в загінці, механічні втрати за молотаркою складуть у середньому 1% від потенційного і фактично зібраного урожаю [20]. Відносне значення кількості імпульсів, що сприймають датчики за соломотрясом і решітним станом, визначається з формули

$$\Delta i = \frac{\Sigma_{ip}}{\Sigma_{ic}} = \frac{29}{11} = 2,64 \quad (3.1)$$

З розрахунків випливає, що датчики за решітним станом можуть сприймати в 2,64 раза більше імпульсів від падаючих зерен, ніж датчики за соломотрясом. Практичні дослідження показують, що кількість імпульсів за решітним станом по відношенню до кількості імпульсів на датчиках соломотряса за середнім значенням складають таке співвідношення – 0,8:1,0.

Збільшення кількості імпульсів за решітним станом більше 0,8 може бути наслідком впливу агробіологічного стану через забур'яненість, високу вологість хлібостою. В іншому випадку збільшення втрат є результатом невірного технологічного регулювання зазорів на верхньому решеті і, відповідно, регулювання зернового потоку із соломотряса на решетах.

1. Характеристика електронного пристрою контролю і реєстрації числових значень механічних втрат (ПРВ) за МСП ЗК і виробниче випробування під час жнив

Стандартна система автоматичного контролю механічних втрат за молотаркою комбайнів V-го класу складається (рис. 3.7) з датчиків втрат зерна ДПЗП-1, підсилювача-формувача імпульсів УФІ-2, розміщеного на лівій боковині молотарки над заднім контрприводом, і блоку вимірювання втрат БИП, який монтується в кабіні комбайна [21]. П'єзоелектричні датчики втрат ВQ₃...ВQ₆, що змонтовані в кінці соломотрясу (по два датчики у двох клавішах), і датчики ВQ₁...ВQ₂ за решітним станом, перетворюють енергію падаючих зерен в

електричні сигнали. Двоканальний підсилювач-формувавч УФІ-2 сприймає сигнали від датчиків і перетворює їх в електричні імпульси, що надходять до блоку БИП, де імпульси перетворюються у візуальні сигнали пропорційно інтенсивності втрат зерна. Чим більші втрати на обох каналах, тим вище світіння індикаторної панелі.

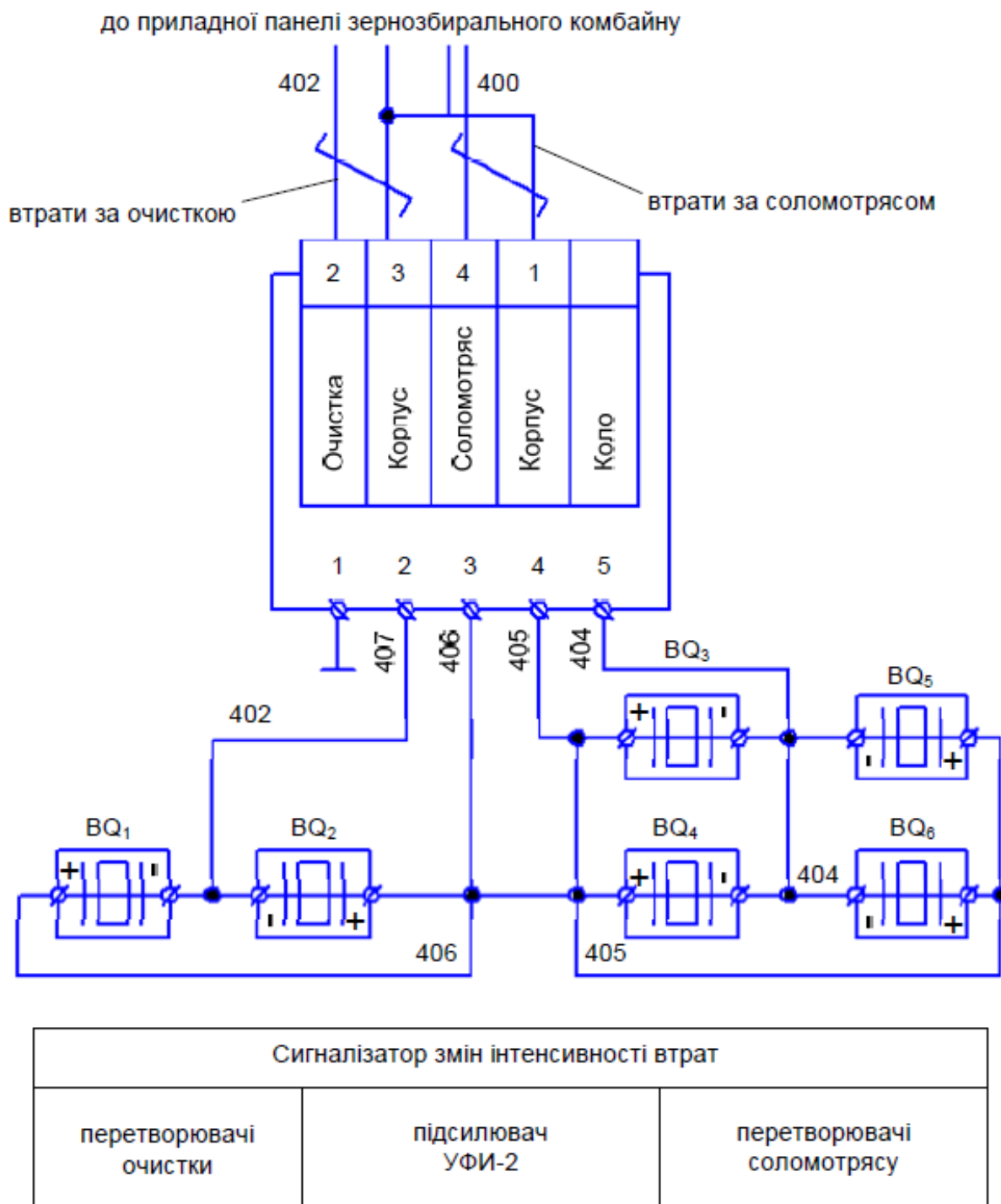


Рис. 3.7. Система автоматичного контролю втрат на комбайні V-го класу

Якісні показники технологічного процесу забезпечуються при правильному регулюванні робочих органів за умов, регламентованих ДСТУ 22611-08. Втрати (%) мають відповідати технічним умовам роботи комбайна в загінці: продуктивність по зерну основного часу – 14 т/год; за жаткою (не більше) 0,5%; при полеглості хлібної маси до 20% – 0,5%; за підбирачем – 0,5%; за молотаркою – 1,5%; подрібнення зерна (не більше) колосових культур – 2,0%, кукурудзи – 3,0%; соняшника – 3,0%; Вміст у зерновій масі бункера сторонніх домішок – не більше 2%.

Для об'єктивного визначення втрат за МСП був спроектований, виготовлений і випробуваний пристрій числового вимірювання поточних втрат і реєстрації протягом 5 год, а в подальшому – 300 год. Розроблений пристрій кожної секунди видає на індикатор кількість зерен, втрачених за соломотрясом, та після очистки. Ці втрати підсумовуються і фіксуються в енергозалежній пам'яті кожні 10 хвилин роботи [22]. Пристрій кількісного вимірювання та реєстрації втрат зерна складається (рис. 3.8) з електронної плати з розташованими на ній мікросхемами стабілізатора напруги 78L05, мікроконтролера DDI типу PIC16F628A, двох трирозрядних семисегментних індикаторів, транзисторів VT₁...VT₆ та електричних опорів. Плата розміщена в пластмасовому корпусі з прозорою кришкою, закріпленому на передньому боці штатного блоку індикації втрат зерна БИП-Ц. Це дозволяє порівнювати покази випробовуваного пристрою ПРВ з роботою стандартного блоку БИП-Ц.

Від двох груп датчиків втрат зерна ДПЗП-1 на соломотрясі та решетах через стандартний підсилювач-формував імпульсів УФИ-2 на випробовуваний пристрій ПРВ надходять ті ж самі сигнали, що й на стандартний блок БИП-Ц.

Сигнали від зерен, що падають на датчики, підраховуються мікроконтролером і кожної секунди виводяться на цифрові індикатори окремо для втрат за соломотрясом і за очисткою. За кожні 10 хвилин сумарна кількість втрачених зерен окремо на соломотрясі й на очистці записується в енергозалежну пам'ять мікроконтролера, звідки може бути вилучена для аналізу роботи комбайна. Габаритні розміри пристрою вимірювання втрат – 100x55x25 мм.

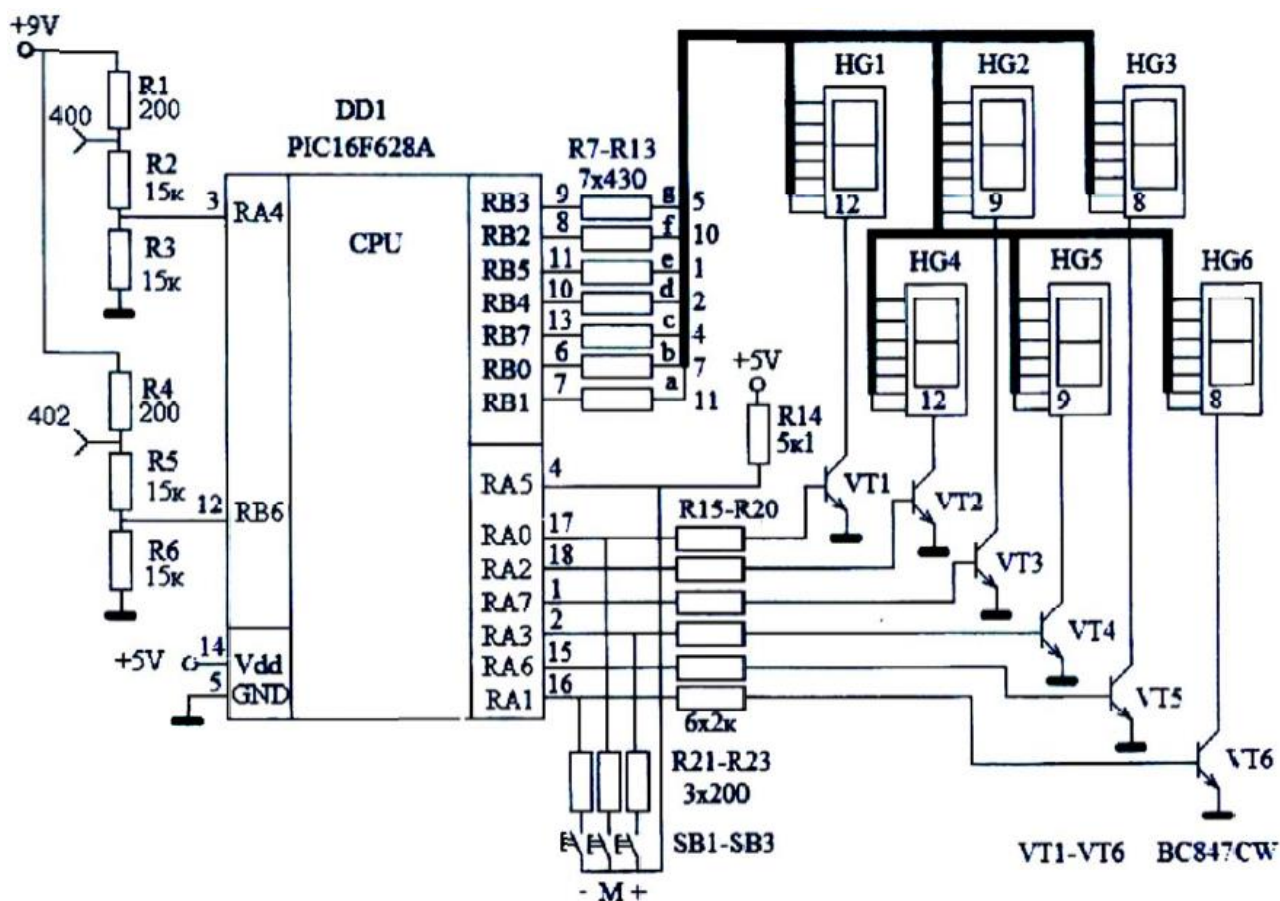


Рис. 3.8. Схема пристрою вимірювання та реєстрації втрат зерна

Маса пристрою вимірювання втрат зерна – 150 г.

Пристрій живиться від бортового джерела живлення комбайна напругою 12 В, споживає не більше 4 Вт потужності.

Випробування проведені під час збирання сільськогосподарських культур комбайном V-го класу з дотриманням технологічних вимог. Під час випробувань втрати зерна фіксувались штатним пристроєм ПИБ-Ц, випробовуваним пристроєм ПРВ та періодично вимірювались фактичні втрати після комбайна мірним ящиком.

Рівні сигналів, що надходять на лічильні входи мікроконтролера, забезпечують надійну фіксацію імпульсу. Зокрема, з осцилограм (рис. 3.9) видно, що імпульс утворено зміною напруги від 3,8 до 0,1 В тривалістю більше 10 мкс.

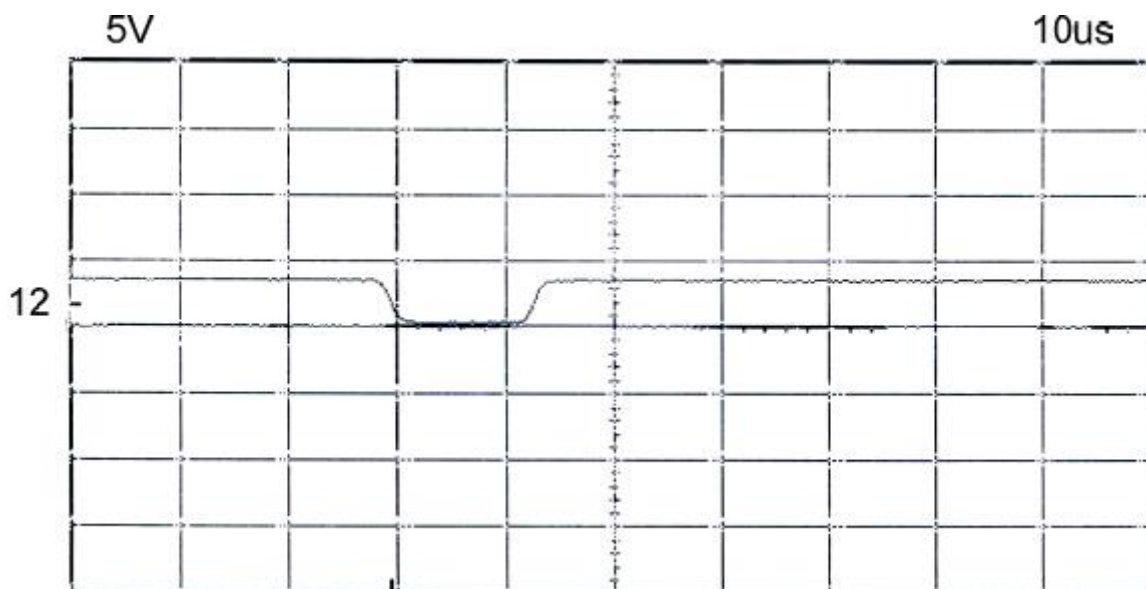


Рис. 3.9. Типова осцилограма сигналу від підсилювача-формувача імпульсів УФИ-2 на вхід підрахунку мікроконтролера

Відповідно до характеристик мікроконтролера PIC16F628A – пристрій надійно сприймає логічну одиницю при напрузі більше 2 В, а логічний нуль – при напрузі менше 1 В. Тривалість імпульсу має перевищувати 0,5 мкс.

Таким чином, мікроконтролер завжди вірно фіксує кожний імпульс, створений падінням зерна на датчик. Зовнішній вигляд електронної приставки показано на рис. 3.10 [23].



Рис. 3.10. Електронний пристрій ПРВ. Зовнішній вигляд

Випробування проведені на полях ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне Київської обл.). Культура – пшениця, площа 40 га. Сорти «Національний», «Куяльник», «Влада»; Урожайність – 34ц/га; забур'яненість – 40%.

Розрахунок втрат за кожні 10 хвилин наведено в табл. 3.4. Середня робоча швидкість у загінці $V_p = 3,6$ км/год (≈ 1 м/с). За 1с комбайн збирав $1,5$ м²; допустимі втрати $\approx 1,5\% = 6$ г/м²; фактичні втрати $\Delta U = 1,47\%$. Фактичні втрати за соломотрясом склали $75,5\%$, за очисткою $\approx 0,45\%$.

Середні втрати на полі № 1 при робочій швидкості руху комбайна $V_p = 3$ км/год = $0,83$ м/с становлять 34% від нормативних $1,5\%$. Отримані сумарні значення втрат у $4,4$ рази нижчі за нормативні. Високі втрати за соломотрясом ($75,5\%$) показують, що забур'яненість збираної комбайном ділянки поля більше 60% . Низькі показники втрат за решітним станом ($24,5\%$) пояснюються тим, що датчики запливають липкою рідиною, яка виділяється зеленою масою. До неї налипають пил, солома, остюки, соломка. Ці ділянки датчиків перестають реагувати на падіння зерен. Датчики необхідно регулярно оглядати та, в разі необхідності, очищати, оскільки забруднені датчики знижують чутливість. Дослідження показали, що при підвищеній забрудненості зернових культур система виміру втрат урожаю втрачає чутливість і є неефективною.

Контроль втрат спеціальним ящиком, який кидали під час руху комбайна під молотарку, дозволив зафіксувати до 200 зернин на 1 м², що становлять $1,4\%$ від урожайності. Числові значення, записані мікроконтролером рис 3.11, 3.12.

Існуюча на комбайнах ДОН-1500 та інших комбайнах електронна система визначення механічних втрат зерна за молотаркою через відносні миттєві показники у вигляді світлових лінійок не дозволяє об'єктивно оцінити їх кількісні значення і зафіксувати їх за час збирання.

Втрати зерна на полі № 1

Час,хв	Кількість втрачених зерен					Відносні втрати зерна, %
	за 10 хвилин		за 1 секунду			
	після соломотряса	після очистки	після соломотряса	після очистки	разом	
10	1769	5985	2,95	9,98	12,92	2,24
20	521	2069	0,87	3,45	4,32	0,75
30	578	13801	0,96	23,00	23,97	4,15
40	1195	8392	1,99	13,99	15,98	2,77
50	1467	1607	2,45	2,68	5,12	0,89
60	574	2466	0,96	4,11	5,07	0,88
70	1865	2253	3,11	3,76	6,86	1,19
80	2005	73	3,34	0,12	3,46	0,60
90	1512	1631	2,52	2,72	5,24	0,91
100	470	14	0,78	0,02	0,81	0,14
110	46	799	0,08	1,33	1,41	0,24
120	2360	7814	3,93	13,02	16,96	2,94
130	2118	2016	3,53	3,36	6,89	1,19
140	498	1971	0,83	3,29	4,12	0,71
150	645	6440	1,08	10,73	11,81	2,05
160	1209	9770	2,02	16,28	18,30	3,17
170	1799	8274	3,00	13,79	16,79	2,91
180	4322	6498	7,20	10,83	18,03	3,13
190	204	0	0,34	0,00	0,34	0,06
200	6	25	0,01	0,04	0,05	0,01
210	2	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Середні відносні втрати, %			2,0≈24,5%	6,5≈75,3%	8,2	1,47%

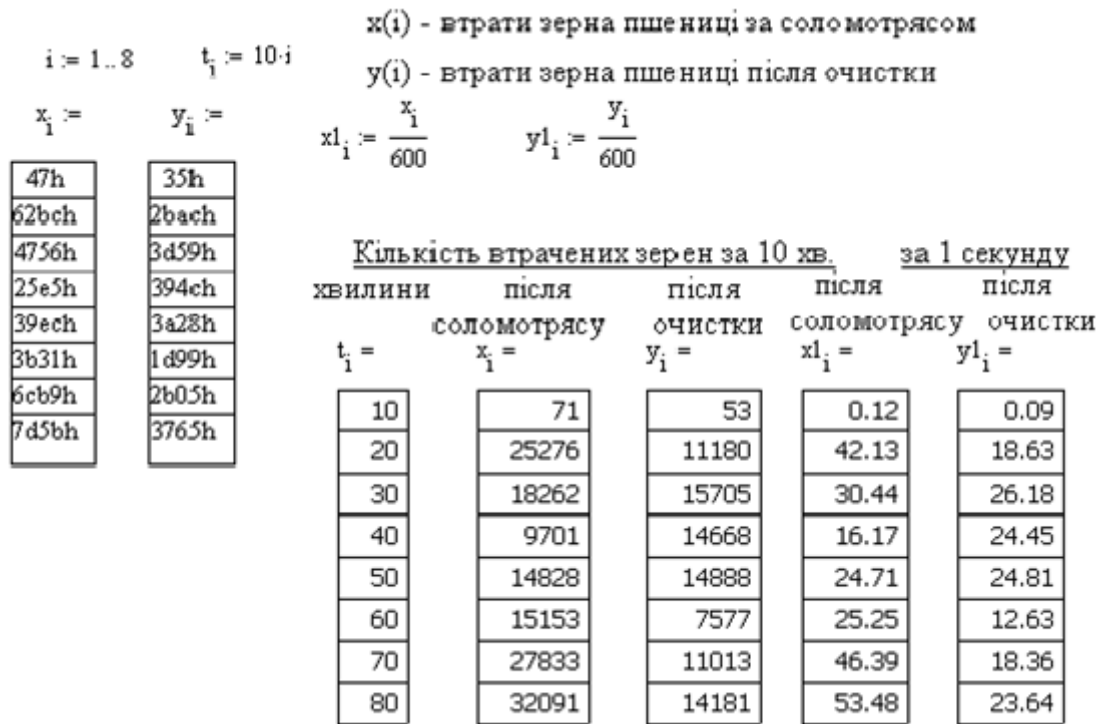


Рис. 3.11. Дослідження системи числового вимірювання втрат зерна після комбайну ДОН-1500 (поле поза сівозміною, площа 45 га, пшениця – сорт “Національний”, урожайність 38 ц/га)

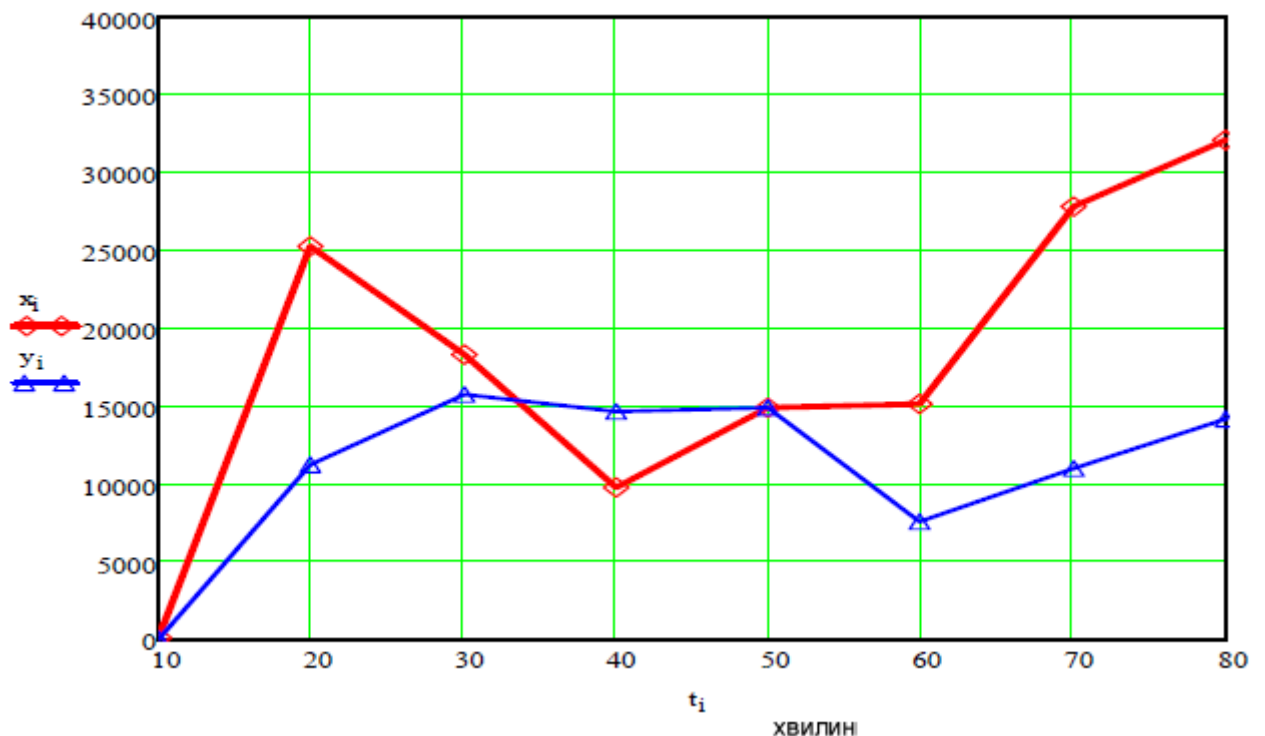


Рис. 3.12. Середня кількість втрачених зерен за кожні 10 хвилин

Виробничі дослідження функціонування електронної приставки ПРВ показали, що він роботоздатний, чітко фіксує і реєструє втрати за кількістю зерен, але потребує вдосконалення – розширення пам'яті запису і доповнення програми обробки числових значень протягом 300 год.

2. Контроль механічних втрат за молотильно-сепаруючим пристроєм зернозбиральних комбайнів

З метою об'єктивного контролю механічних втрат за МСП були виготовлені вісім ящиків розміром 200×500 мм = $0,01$ м² (рис. 3.13). Ящики під час руху комбайна в загінці з лівого боку від молотарки закидали в простір між переднім і заднім мостами. Обмолочена маса, що сходила з решітного стану і клавішів соломотряса, попадала в контрольні ящики.

Вибір плану досліджень залежав від техніко-експлуатаційних характеристик об'єкта досліджень. У конкретному випадку головним об'єктом досліджень були комбайни ДОН-1500, які в українських сільгоспвиробників є найбільш поширеними, не мають конструктивних та інших відмінностей, виготовлені за однаковою технологією, експлуатуються в ідентичних умовах [23, 24].



Рис. 3.13. Ящики для вимірювання втрат зерна за МСП

До початку випробувань повинно бути виконано регулювання машини відповідно до інструкції з експлуатації.

3. Метод визначення технічного рівня зернозбирального комбайна з урахуванням експлуатаційних та конструктивних показників і характеристик

Технічний рівень зернозбиральних комбайнів визначається сукупністю техніко-експлуатаційних, технологічних, економічних, естетичних та ергономічних показників, а також ступенем відповідності вимогам техніки

безпеки, гігієни і санітарії. Більшість з названих груп показників і характеристик регламентовані відповідними ГОСТами або галузевими стандартами і є обов'язковими при серійному виробництві. Експлуатаційні показники наведені в таблиці 3.5.

Відносний показник технічного рівня з урахуванням наближених числових значень можна визначити як добуток експлуатаційних показників через їх відносні показники:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = \prod K_i, \quad (3.2)$$

де K_1 – відносний показник технічного рівня ЗК через середнє значення коефіцієнтів готовності;

K_2 – показник довговічності, год;

K_3 – показник пристосованості до зберігання год;

K_4 – показник питомої маси, кг/к.с;

K_5 – показник паливної економічності кг/к.с. · год;

K_6 – ергономічний показник.

Значення розрахованих показників для експлуатаційної оцінки технічного рівня зернозбиральних комбайнів наведені в таблиці 3.6.

Експлуатаційні і конструктивні показники ЗК

Експлуатаційні показники	Конструктивні характеристики
1. Наробіток між відмовами, м-год	1. Потужність двигуна, к.с.(кВт)
2. Тривалість усунення відмов, год	2. Маса комбайна, кг
3. Довговічність, год	3. Ширина захвату жатки, м
4. Пристосованість до зберігання, год	4. Діаметр молотильного барабана, м
5. Продуктивність за 1 год чистого часу	5. Довжина молотильного барабана (ротора), м
6. Пропускна здатність, кг/с	6. Кут охопту підбарабання, град
7. Питома витрата палива, кг/к.с.·год	7. Площа підбарабання, м
8. ККД трансмісії	8. Площа соломотряса, м ²
9. Ергономічність кабіни і наявність автоматизованої (комп'ютеризованої) системи управління і контролю	9. Тип трансмісії (кількість передач п.х.)
10. Вартість комбайна, віднесена до потужності двигуна, грн./к.с.(кВт)	10. Ємкість бункера, л
11. Вартість комбайна, віднесена до маси комбайна, грн./кг	11. Ємкість паливного бака, л,
	12. Потужність на привід ГСТ, к.с. (кВт)

Враховуючи, що експлуатаційний коефіцієнт технічного рівня ЗК MF-7245 в 2,78 раза вище, ніж у комбайна ДОН-1500Б, причому відносна вартість потужності вище в 1,6 раза в ЗК MF-7245, ніж у ДОН-1500Б, то його технічний рівень вище в $\Delta K = 1,74$ раза.

Зведені дані показників розрахунків для комбайнів ДОН-1500Б і MF-7245

Показник	Марка, значення				Відносний показник
	ДОН-1500 Б	$K_{дон}$	MF-7245	K_{MF}	ΔK
Потужність двигуна, к.с.	235	1	255		+20
Маса комбайна, кг	13500+3000		12700+3000		-800
Питома потужність на обмолот, кВт · с/кг	9,1	1	9,1	1	-
Питома потужність на подрібнення, кВт · с/кг	2,1	1	2,1	1	-
Питома маса, кг/кс	56,59	1,12	49,80	1	-1,126
Пропускна здатність, кг/с	9,26	1	10,14	1,095	+1,095
Питома витрата палива, кг/квт.год.	0,234	1	0,204	1,042	+1,042
Продуктивність з урахуванням маси, га/год	3,20	1	3,65	1,109	+1,109
Коефіцієнт готовності	0,83	1	0,98	1,180	+1,180
Коефіцієнт нестационарної готовності	0,86	1	0,99	1,151	+1,151
Стационарний коефіцієнт оперативної готовності	0,47	1	0,90	1,914	+1,914
Нестационарний коефіцієнт оперативної готовності	0,49	1	0,92	1,877	+1,877
Середнє значення	0,64	1	0,95	1,484	+1,484
Коефіцієнт використання	0,62	1	0,77	1,241	+1,241

Висновки до третього розділу

1. Розроблена програма, згідно якої були проведені дослідження по перевірці лабораторної установки, яка дозволяла б трансформувати відносні показники механічних втрат за МСП комбайнів у числові значення; розраховані числові значення попадання зерен на площу датчиків на клавішах і за решетами; розробити експериментальний електронний пристрій контролю і реєстрації механічних втрат зерна.

2. Розроблено план польових виробничих досліджень.

3. Розроблено, виготовити і обґрунтовано термін і методи перевірки роботоздатності електронного пристрою реєстрації механічних втрат зерна.

4. Розроблено метод визначення технічного рівня сучасних комбайнів з врахуванням експлуатаційних та конструктивних показників і характеристик.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Виробничі дослідження направлені на на облік і реєстрацію числових значень втрат зерна за термін змін і строк жнив, їх статистичних характеристик (технологічний фактор) залежно від технічних факторів (потужність двигуна, пропускна здатність МСП), а також характеристик хлібостою (технологічний фактор) і рельєфу поля. Дослідження втрат за МСП ЗК проводилися на базі комбайнів V-го, VI-го та VII-го класу.

Дослідження експлуатаційних показників протягом зміни – на базі комбайнів VII-го класу з орієнтацією на основний показник – втрати зерна – і характерні експлуатаційні показники, від яких залежать ці втрати.

Виробничими дослідженнями під час жнив визначали:

- тривалість зміни комбайнування з навантаженням молотарки, коли втрати зерна за соломотрясом і решітним станом не дорівнювали нулю;
- продуктивність (в тоннах) зібраного урожаю за термін чистої роботи і за середнім значенням (т/год, га/год);
- пропускну здатність молотарки ЗК за середнім значенням продуктивності (кг/с, т/год);
- завантаження двигуна відповідно до середнього значення продуктивності, (%N/т/год);
- числові значення втрат зерна за соломотрясом і решітним станом, їх сумарне значення і відносні значення від нормативних;
- втрати зерна за МСП залежно від нерівномірності і флуктуації урожайності по площі і рельєфу поля;
- залежність втрат зерна за МСП від завантаження двигуна і молотарки;
- середні значення втрат зерна за термін зміни та їх коефіцієнта варіації;
- втрати за решітним станом залежно від розміщення датчиків контролю втрат;

- залежність втрат зерна від продуктивності і швидкості руху комбайнів VI-го і VII-го класів;

- питомі витрати палива на обмолот 1 тонни чистого зерна і 1 га зібраної площі ЗК V-го і VII-го класів;

- енергетичні витрати на обмолот 1 тонни хлібостою і 1 тонни чистого зерна ЗК V-го і VII-го класів;

- коефіцієнти кореляції між основними експлуатаційними показниками.

Виробничі показники збирання зернових культур приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Виробничі показники збирання зернових культур та витрата пального на роботу ЗК № 1

№ п/п Дата	Культура (Озима пшениця≈7,5 т/га; ячмінь≈6,7 т/га; гречка≈3,1 т/га)	Зібрано, т	Зібрана площа, га	Витрата пального	
				л	л/га
1	Озима пшениця	50,42	6,72	180	26,72
2	Ячмінь	26,71	4,99	100	26,04
3	Ячмінь	47,24	7,05	220	31,20
4	Ячмінь	95,76	14,29	320	22,39
5	Ячмінь	52,73	7,87	200	25,54
6	Озима пшениця	71,42	9,52	270	28,36
7	Озима пшениця	84,42	11,25	330	29,33
8	Яра пшениця	28,04	5,0	200	24,75
9	Озима пшениця	25,67	3,25	≈	24,75
10	Озима пшениця	1,3	0,174	80	
11	Гречка	25,49	8,22	260	31,63
12	Гречка	29,01	9,35	280	29,94
Всього		538,21	96,07	2440	

Експлуатаційні показники ефективності використання комбайна № 2 за термін жнив наведені в таблицях 4.2, 4.3, 4.4.

Середня продуктивність за масою намолоченого зерна за 1 годину терміну зміни складала: U_{cp} 7,07 т/год; S_{cp} 1,22 т/год; V_p 2,17 км/год.

Таблиця 4.2

Експлуатаційні показники ефективності використання

ЗК № 2 V-го класу

№ п/п Дата	Культура	Загаль- ний час роботи протягом зміни, год	Час чистої роботи протягом зміни, год	Зібрано зерна за зміну, т	Зібрано за зміну, га	Питома витрата палива, л/т	Вит- рата палива, л/га
1	Оз. пшениця	7,98	7,38	61,345	8,18	4,57	26,77
2	Ячмінь	4,20	4,2	29,27	4,36	4,48	30,07
3	Ячмінь	9,4	8,98	50,00	8,06	4,56	30,97
4	Ячмінь	12,3	12,00	92,16	13,75	4,44	29,75
5	Ячмінь	8,65	8,65	57,09	8,52	4,86	29,86
6	Оз. пшениця	11,15	11,00	84,26	11,23	4,92	29,41
7	Оз. пшениця	0,40	0,40	2,99	0,39	4,11	-
		54,08	52,58	377,11	54,03	≈4,56	≈29,47

У таблиці 4.3 наведені питомі показники витрати палива за 1 годину роботи в загінці, питомі витрати палива на 1 тонну намолоченого зерна, середній намолот зерна за 1 годину чистої роботи.

У повній версії вихідних матриць за термін жнив по трьох комбайнах було зафіксовано 1270 інтервалів обліку тривалістю 10 хв, тобто 211,66 год.

По ЗК № 1 – 576,78 інтервала тривалістю 96,13 год, з них 433,3 інтервала тривалістю 72,4 год – на збирання зернових. По ЗК № 2 – 320,4 інтервала тривалістю 53,4 год; по ЗК № 3 – 374,16 інтервала тривалістю 62,46 год.

Зведені експлуатаційні показники комбайнування (комбайн № 1)

№ п/п	Культура	Термін роботи	Продук- тивність, т за зміну	Заправка пальним, л	Продук- тивність,		Витрати палива	
					т/год	л/т	л/год	
1	Оз. пшениця	7,17	50,42	180	7,03		4,57	25,10
2	Ячмінь	3,82	26,71	100	6,99		7,48	26,18
3	Ячмінь	10,80	47,24	220	4,37		4,65	20,37
4	Ячмінь	12,47	95,76	320	7,7		3,34	25,66
5	Ячмінь	7,98	52,73	200	6,60		3,79	25,06
6	Оз. пшениця	9,32	71,42	270	7,66		4,78	28,96
7	Оз. пшениця	11,28	84,42	330	7,48		4,90	29,25
8	Оз. пшениця	8,13	25,67	200	5,87		4,72	24,60
	Яра пшениця		28,04					
9	27.07	Оз. пшениця	3,15	1,30	80	0,909		25,39
Σ			74,12	483,81	1990	6,07	4,57	26,55

Характеристика хлібостою збираних культур така – при середній урожайності пшениці 6,9-7,1 т/га солонистість знаходиться в межах $\delta_c = 0,9...1,1$, приймаємо $\delta_c = 1$. Тоді $U (1 + \delta_c) = 7 (1+1) = 14$ т хлібостою/га. Тоді для розрахунків приймаємо такі дані:

Пшениця $U = 6$ т/га, $\delta_c = 1,2...1,3$, тоді $U (1 + \delta_c) = 6 (1+1,25) = 13,5$ т/га;

Пшениця $U = 5$ т/га, $\delta_c = 1,3...1,4$, тоді $U (1 + \delta_c) = 5 (1+1,35) = 12$ т/га;

Ячмінь $U = 6,7$ т/га, $\delta_c = 0,7...0,8$, тоді $U (1 + \delta_c) = 6,7 (1+0,8) = 12,06$ т/га.

Вологість зерна при збиранні <17%.

4.1. Визначення числових значень механічних втрат зерна

Вперше числові значення інтервалів обліку тривалості змін і втрати за соломотрясом та решітним станом, зареєстровані електронним пристроєм, показані у частині вихідної матриці (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Вихідна матриця експлуатаційних показників реєстрації механічних втрат за МСП ЗК № 1 під час жнив

№п/п	Час*, год	Кількість втрачених зерен за 10 хв			№п/п	Час*, год	Кількість втрачених зерен за 10 хв		
		на соломотрясі	на решетах	разом			на соломотрясі	на решетах	разом
0	0	59	455	514	39	8,22	25	82	107
1	0,17	30	53	83	40	8,38	11	36	47
2	0,33	15	44	59	41	8,55	74	293	367
3	0,5	3	35	38	42	8,72	8	38	46
4	0,67	14	89	103	43	20,75	0	0	0
5	0,83	11	39	50	44	20,92	0	0	0
6	1	59	212	271	45	21,08	0	0	0
7	1,17	9	30	39	46	21,25	0	0	0
8	1,33	10	45	55	47	21,42	3	23	26
9	1,5	12	53	65	48	23,47	20	11	31
10	1,67	30	83	113	49	23,63	45	45	90
11	1,83	66	116	182	50	23,8	96	93	189
12	2	10	38	48	51	23,97	25	24	49
13	2,57	5	33	38	52	24,13	29	59	88
14	2,73	11	47	58	53	24,3	24	40	64
15	2,9	4	32	36	54	24,45	88	111	199

16	4,05	5	22	27	55	24,62	124	149	273
17	4,22	2	18	20	56	24,78	174	158	332
18	4,38	9	32	41	57	24,95	110	138	248
19	4,55	33	92	125	58	25,12	129	155	284
20	4,72	45	101	146	59	25,28	138	249	387
21	4,88	23	36	59	60	25,45	15	55	70
22	5,05	18	81	99	61	25,62	105	66	171
23	5,22	41	58	99	62	25,78	91	162	253
24	5,38	23	37	60	63	25,95	78	98	176
25	5,55	5	15	20	64	26,12	57	11	68
26	5,72	4	19	23	65	26,28	14	15	29
27	5,88	10	39	49	66	26,45	53	41	94
28	6,05	11	50	61	67	26,62	26	26	52
29	6,22	13	68	81	68	26,78	13	36	49
30	6,38	231	227	458	69	26,95	22	16	38
31	6,88	6	46	52	70	27,12	15	10	25
32	7,05	23	51	74	71	27,52	3	7	10
33	7,22	71	184	255	72	27,68	4	37	41
34	7,38	8	26	34	73	45,07	0	0	0
35	7,55	40	56	96	74	45,23	0	0	0
36	7,72	70	27	34	75	46,65	8	21	29
37	7,88	9	60	69	76	46,82	19	29	48
38	8,05	12	52	64	77	46,98	30	19	49

Результати статистичного аналізу числових значень наведені у вихідній матриці (табл. 4.5).

З числових даних, наведених у табл. 4.5, видно, що найвищі показники за кількістю втрат зерна за МСП зафіксовані під час збирання озимої пшениці за 1 годину зміни за соломотрясом $ms_i = 64,83$ зерна, за решітним станом $mr_i = 76,87$ зерна, сумарні втрати $ms_i + mr_i = 141,7$ зерна. За термін зміни тривалістю $t_c = 3,82$

год = 541 зерно = 21г = 0,021кг. Найменші втрати зафіксовані 27.07.2023 р. за 1 годину за соломотрясом – $ms_i = 5,36$ зерна; за решетами – $mr_i = 11,73$ зерна, сумарні втрати $ms_i + mr_i = 5,36 + 11,73 = 17,09$ зерна. За зміну тривалістю $t_c = 7,33$ год втрати склали 125,26 зерна масою 5 г (= 0,005 кг). За годину чистої роботи протягом терміну жнив середні значення втрат зерна дорівнюють $ms_i + mr_i = 93,62$ зерна. Різниця за кількістю втрачених зерен за МСП 18.07.2022 р. і 27.07.2023 р. дорівнює $141,7 : 17,73 = 18$ разів. Сумарні втрати за термін жнив тривалістю $t_{жс} = 91,23$ год. становлять = 57796 зерен масою 2225 г (= 2,225 кг).

Таблиця 4.5

**Результати статистичного аналізу експлуатаційних характеристик
числових значень ЗК № 1**

№п/п	Тривалість зміни t_j , год	Втрати за соломотрясом $ms_j=10$ хв	Втрати за решетами $mr_j=10$ хв	Сумарні втрати $ms_j+mr_j=10$ хв	Втрати за 1 хв (кількість зерен)	Втрати сумарні за 1 с (кількість зерен)
1	8,88	25,93	75,58	101,51	16,92	0,282
2	3,82	64,83	76,87	141,7	23,62	0,394
3	10,8	56	83,54	139,54	15,58	0,388
4	12,47	61,28	32,21	93,49	14,93	0,26
5	7,98	57,15	32,46	89,6	14,93	0,249
6	9,32	33,82	15,52	49,34	8,22	0,137
7	11,28	46,24	60,91	107,15	17,86	0,298
8	10,53	51,43	13,22	64,65	10,77	0,18
9	7,33	5,36	11,73	17,09	2,85	0,047
10	8,82	52,08	80,08	132,15	22,03	0,367
Σ	91,23	50,23	53,53	103,76	17,28	0,29

Для наочності числові значення з вихідної матриці (див. табл. 4.5) побудовані у вигляді гістограми (рис. 4.1).

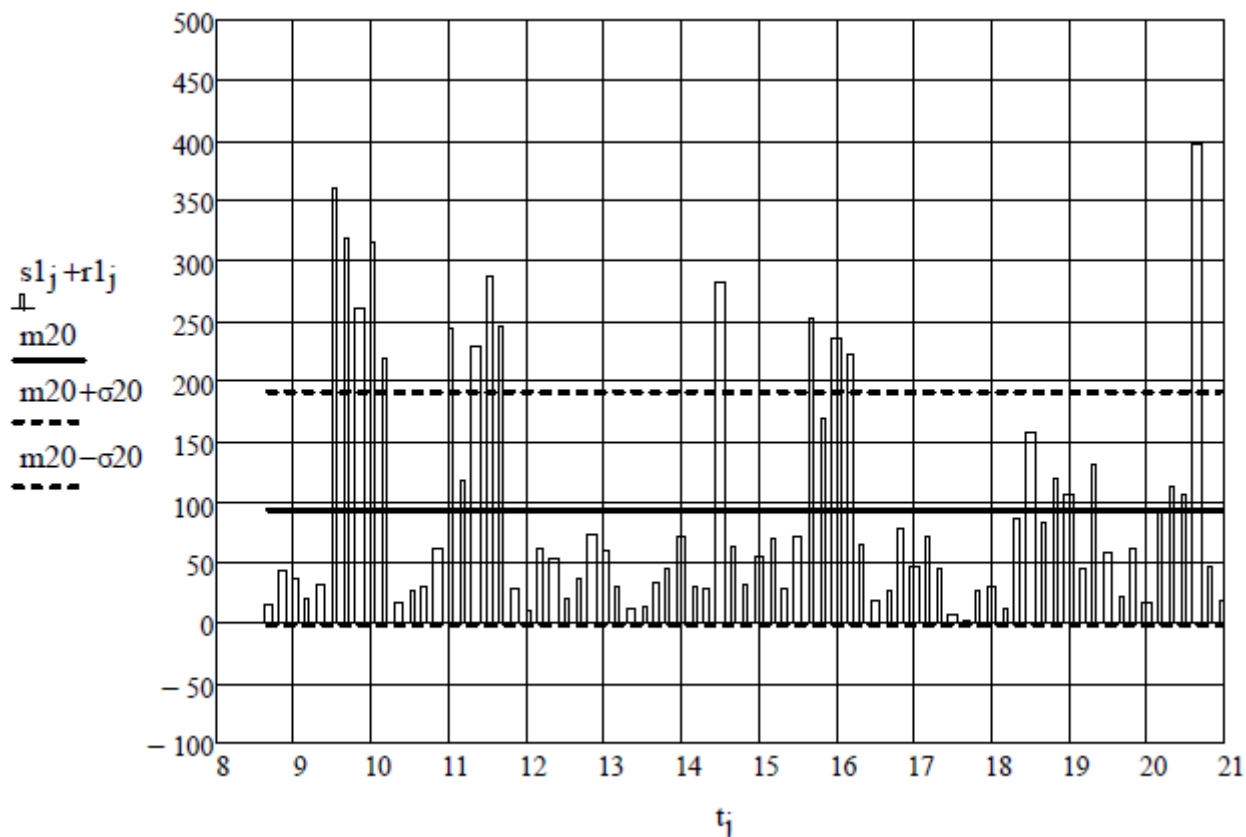


Рис. 4.1. Сумарні втрати зерна за кожні 10 хв

Гістограми наочно характеризують розподіл числових значень втрат за соломотрясом і за решітним станом. З наведених вище гістограм не простежується чіткої кореляції між числовими значеннями втрат зерна за соломотрясом і за решітним станом, але спостерігається значне збільшення кількості втрат зерна як на соломотрясі, так і за решетами. На соломотрясі (як приклад) показані чотири викиди в межах 200, 260 і 300 зерен, що більше в 3...4 рази середніх значень за зміну. За решітним станом спостерігається шість викидів у межах від 300 до 570 зерен від середнього значення втрат (≈ 142 значення). Подібні суттєві збільшення механічних втрат мають місце протягом всього терміну жнив.

Такі різкі збільшення можна пояснити впливом наступних чинників і факторів: нерівномірністю урожайності по площі поля; різною кількістю стебел на 1 м^2 ; висотою стебел і довжиною колосків; їх наповненням, з чого формується

неоднорідний потік хлібної маси перед барабаном при обмолоті і соломи на соломотрясі.

Експлуатаційні показники використання комбайна № 3 за термін жнив наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Експлуатаційні показники використання комбайна № 3

№п/п	Зібрано, т	Зібрано, га	Паливо, л	Паливо, л/т	Паливо, л/га	Продуктивність га/год.	V _в , км/год
1	48,90	10,19	250	5,10	24,55	1,1	2,98
2	27,60	6,00	130	4,71	21,66	1,0	2,77
3	55,60	11,56	260	4,69	23,63	0,95	2,64
4	15,90	3,00	80	5,03	26,66	1,0	2,77
5	52,75	10,14	245	4,63	24,10	0,92	2,62
6	28,18	5,33	120	4,41	22,60	1,00	2,77
7	26,40	5,39	125	4,73	23,40	0,92	2,62
8	46,25	9,63	235	5,43	24,20	0,86	2,34
9	5,73	1,22	30	4,70	24,60	0,73	2,00
Σ	307,31	62,15	1475	4,82	23,94	0,94	2,61

Статистичні показники механічних втрат зерна за МСП комбайна № 3 у вигляді гістограм сумарних витрат за кожні 10 хвилин показані (як приклад) на рисунках. 4,2; 4,3; 4,4; 4,5 і табл. 4.7 середні числові показники втрат зерна та квадратичні відхилення середніх значень підтверджують теоретичні висновки про резерви підвищення продуктивності зернозбиральних комбайнів, технічно справних і будь-якого терміну експлуатації.

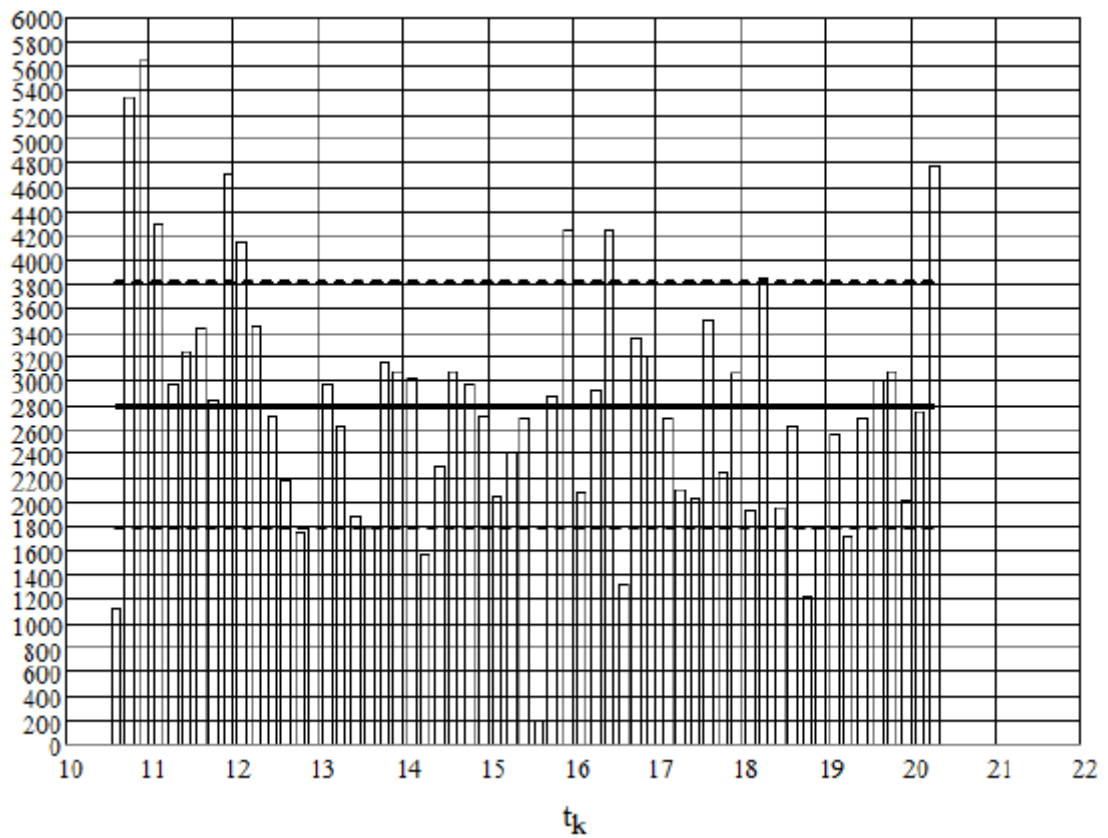


Рис. 4.2. Сумарні втрати зерна за кожні 10 хв за 08.07.2025 р.

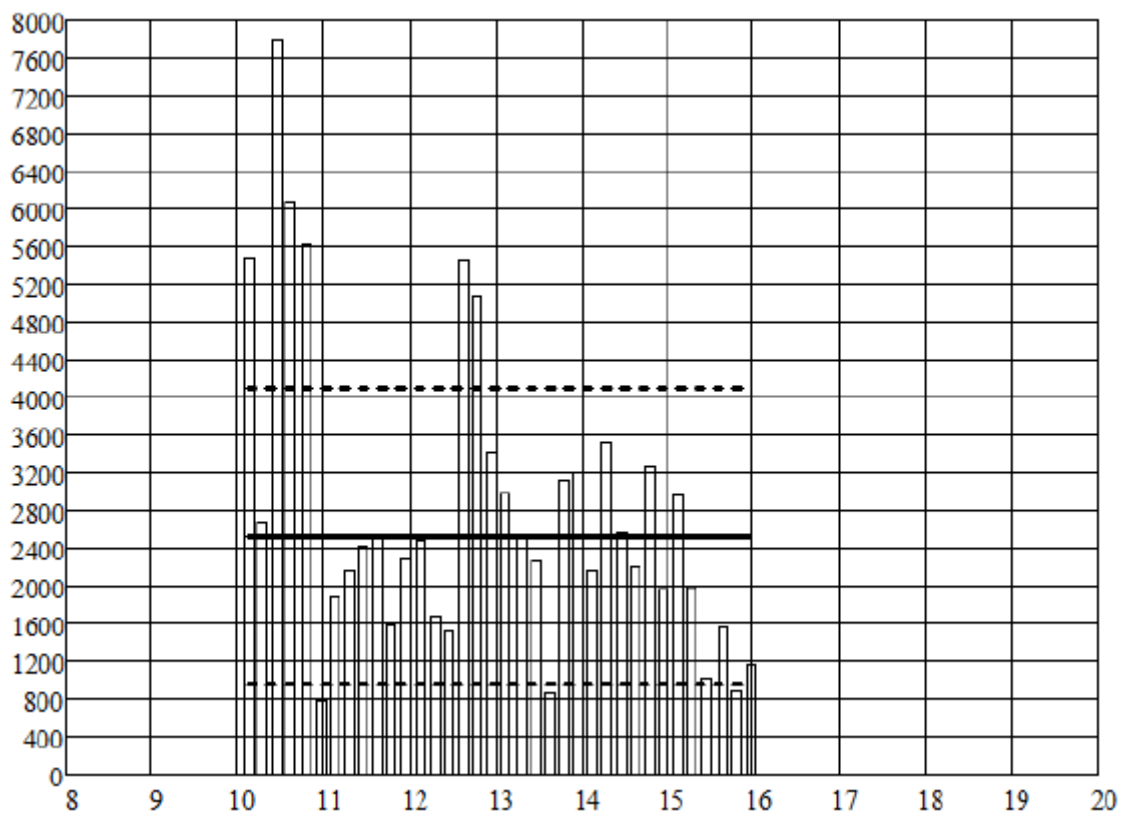


Рис. 4.3. Сумарні втрати зерна за кожні 10 хв за 09.07.2025 р.

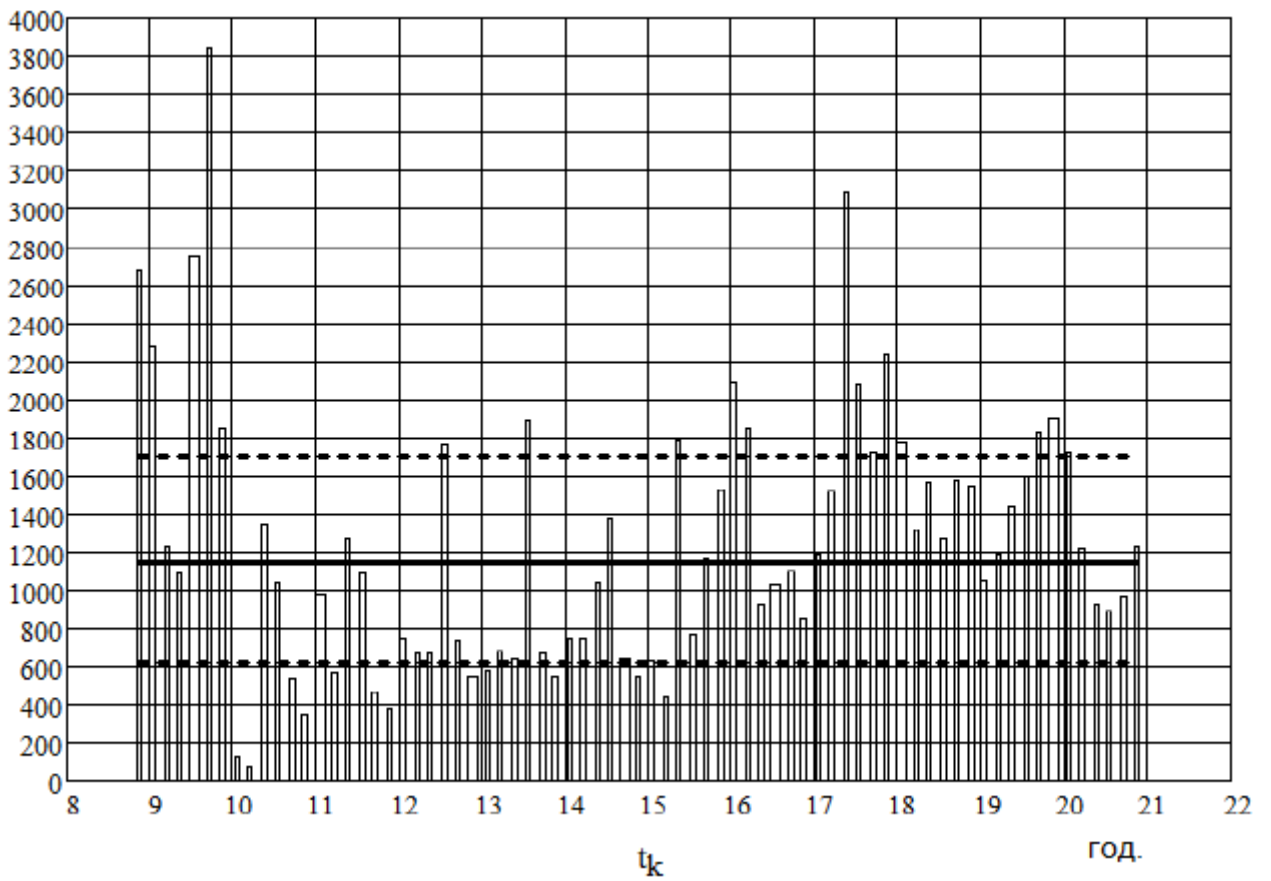


Рис. 4.4. Сумарні втрати зерна за кожні 10 хв за 10.07.2025 р.

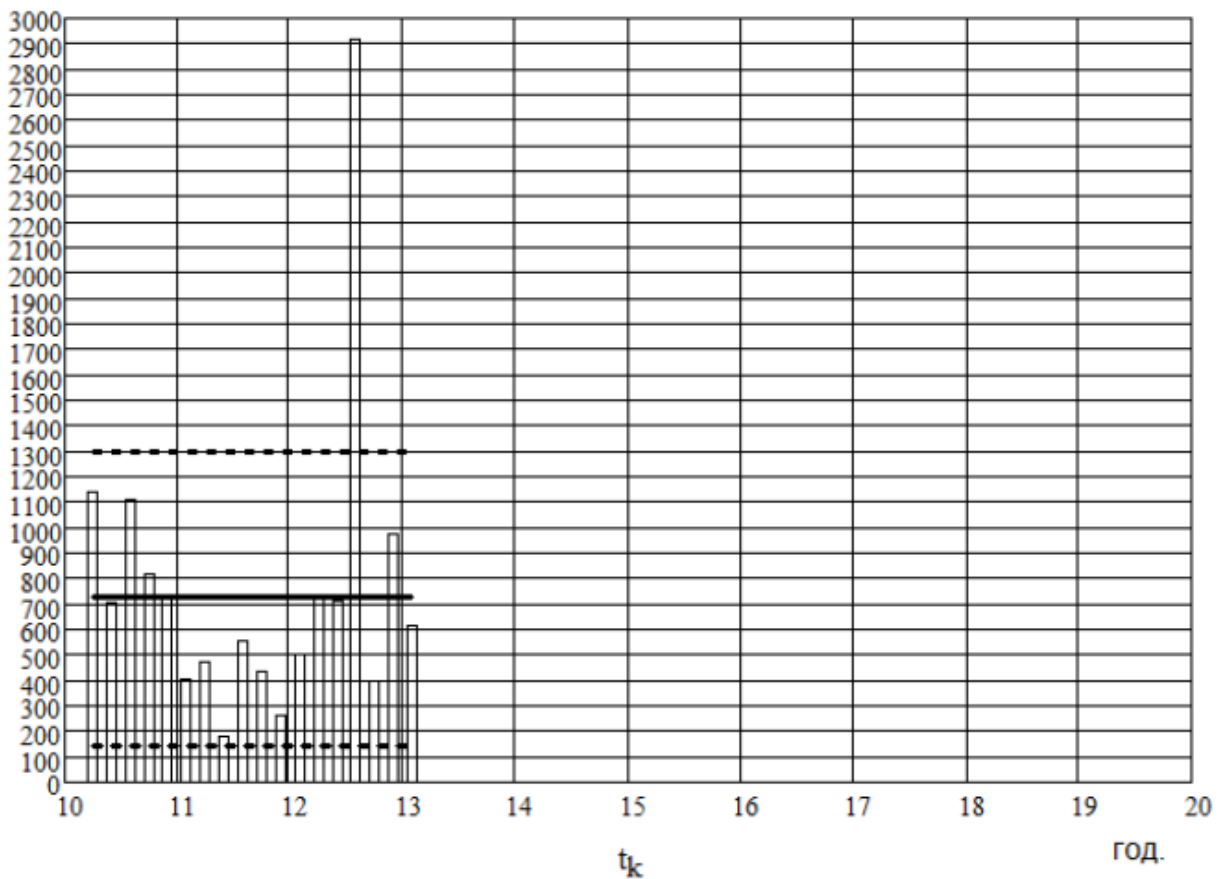


Рис. 4.5. Сумарні втрати зерна за кожні 10 хв.

Числові значення втрат зерна по датах комбайнування

№п/п	Термін зміни, t_j , год	Втрати за соломотрясом за 10 хв, m_{sj}	Втрати за решетами за 10хв, m_{rj}	Сумарні втрати за 10 хв, $m_{sj} + m_{rj}$	Сумарні втрати за 1хв, $m_{sj} + m_{rj}$	Сумарні втрати за 1 с, $m_{sj} + m_{rj}$
1	9,5	385	2370,81	2755,81	459,3	0,7655
2	6	415,97	2370,81	2786,81	459,3	0,7655
3	12,7	514,42	718,67	1233,1	205,52	0,3425
4	3	310,78	445,39	756,17	126,03	0,21
5	11	223,44	408,64	632,08	105,35	0,1756
6	5,33	140,88	1879,34	2020,22	336,7	0,5612
7	5,83	235,71	2338,23	2573,94	428,99	0,715
8	11,17	248,28	1613,81	1862,09	310,35	0,5172
9	1,67	1348,6	565,5	1914,1	319,02	0,5317

Для прикладу проведено розрахунок експлуатаційних показників механічних втрат при збиранні озимої пшениці ЗК № 3, визначено такі показники:

Результати статистичної обробітки числових втрат за середнім значенням комбайнування наведені в табл. 4.8.

**Статистичні характеристики числових значень механічних втрат за
МСП ЗК № 3**

№п/п	Зібрано, тонн	Зібрана площа, га	$\Sigma S_u,$ t_3	$\Sigma r_u,$ t_3	$\sigma,$ 10хв	$\Sigma S_u+r_u,$ t_3	Kv
1	48,40	10,19	22132	141405	1031	163637	0,37
2	27,60	6,0	24343	92289	1540	116632	0,57
3	55,60	11,56	28185	46126	571	74311	0,51
4	15,90	3,00	5785	8509	584	14294	0,78
5	52,75	10,14	14556	26478	284	41034	0,45
6	28,18	5,33	4508	60139	1454	64647	0,72
7	26,40	5,39	8250	81838	1486	90088	0,58
8	46,25	9,63	16349	106866	1307	123215	0,64
9	5,73	1,22	9343	4335	1506	13678	0,88
Σ	307,31	62,46	120457	567480	1084	701536	0,61

4.2. Визначення залежності механічних втрат зерна від продуктивності зернозбиральних комбайнів V-го класу

З числових значень механічних втрат зерна за МСП, записаних приладом контролю і реєстрації (ПРВ), було визначено, що комбайн № 1 при збиранні зернових за строк жнив відпрацював $t_{жс} = 71,47$ год; комбайн № 2 – $t_{жс} = 54,08$ год. Середній намот за 1 год чистої роботи протягом терміну жнив комбайном № 1 склав $U = 6,8$ т/год; середнє значення продуктивності зібраних колосових культур за 1 год терміну жнив $W = 0,97$ га; середнє значення робочої швидкості комбайна в загінці $V_p = 1,747$ км/год.

Експлуатаційні показники, що характеризують ефективність використання комбайнів № 1 і № 2, наведені в табл. 4.9 і 4.10.

Таблиця 4.9

№п/п	Намолоче- но, т	Зібрано, га	Термін зміни, год	Тонн/г од	Завантажено МСП, кг/с	Завантаження двигуна,%	ΔU (1,5%), кг	$\Delta(\Delta U)$, кг
1	50,42	6,72	6,57	7,04	4,60	50,2	756,30	0,158
2	26,71	3,99	3,82	6,99	4,60	50,0	400,65	0,130
3	47,24	7,05	10,80	4,37	2,84	31,2	708,60	0,370
4	95,76	14,29	12,47	7,7	4,99	55,0	1436,4	0,460
5	52,73	7,87	7,98	6,60	4,29	47,1	790,95	0,280
6	71,42	9,52	9,32	7,66	4,98	54,7	1071,3	0,190
7	84,42	11,25	11,28	7,48	4,60	53,42	1266,3	0,444
8	53,71	8,25	9,23	6,60	4,20	47,84	805,65	0,323
Σ	481,80	68,94	71,47	6,80	4,45	48,69	7236,15	2,225

Експлуатаційні показники використання комбайна № 1

Таблиця 4.10

Допустимі і фактичні втрати зерна за МСП комбайна № 2

№п/п	Маса зібраного зерна, тонн	Зібрана площа за зміну, га	Зібрано зерна за 1 год., тонн	Термін чистої роботи, год	Допустимі втрати, 1,5%, кг	Сумарні механічні втрати за m_i / г)	% від U
1	61,345	8,18	7,739	7,98	920,175	0,532	0,8
2	29,27	4,36	6,954	4,20	439,05	0,501	0,10
3	50,10	7,36	5,491	8,98	751,5	0,463	0,06
4	92,16	13,75	7,677	12,0	1382,4	0,932	0,07
5	57,09	8,52	6,599	8,65	856,35	0,501	0,06
6	84,26	11,23	7,649	11,01	1263,9	2,056	0,16
Σ	374,225	53,4	7,01	52,82	5613,375	4,985	0,09

**Фактичні втрати зерна за МСП ЗК № 2 V-го класу черезпоказники
середніх значень**

№п/п	Маса зібраного зерна за зміну, т	Зібрана площа за зміну, га	Допустимі втрати, кг/год	Маса зібраного урожаю за 1 год, т	Термін чистої роботи, год	Сумарні механічні втрати за 1 год, кількість зерна/г	Кількість / маса зерна, г за зміну
1	61,345	8,18	105,31	7,439	7,98	1796/72	14332/532
2	29,27	4,36	103,51	6,954	4,2	2980/119	12516/501
3	50,00	7,36	81,52	5,491	8,98	1289/52	11584/463
4	92,16	13,75	114,50	7,677	12,0	1942/78	23304/932
5	57,09	8,52	98,74	6,599	8,65	1449/58	12540/501
6	84,26	11,23	114,74	7,649	11,00	4674/187	51413/2056
Σ	377,11	54,03	105,38	6,968	52,82	14130/567	125689/4985

Якщо прийняти, що механічні втрати зерна за МСП не повинні перевищувати 1% від валового збору зернових, то допустимі втрати від урожаю в обсязі 377,2 т мають становити 3742 кг. Фактичні втрати за сумарною кількістю зерен за термін жнив дорівнюють $\Delta m = 5$ кг. Тоді

$$\Delta U, \% = \frac{4,985 \approx 5}{377220} = 0,0014\%$$

4.3. Визначення залежності механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм комбайнів VI- го класу

Результати виробничих досліджень і розрахунків наведені в таблиці 4.12. При ширині захвату жатки 7,6 м фактична ширина захвату змінювалася в загінці $\pm 0,3$ м, робоча швидкість – у межах ± 200 м. Заповнення бункера відбувалося по горизонту ємності $\pm 250...300$ кг. Контролювались: ширина захвату жатки;

відносні втрати – за показниками монітора; швидкість руху – за спідометром; маса зібраного урожаю – по квитанціях з господарських вагів; кількісні втрати зерна комбайнів – за допомогою спеціальних ящиків.

У стабільному режимі роботи комбайна мірні ящики площею $500 \cdot 200 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}^2$ закидалися по ходу комбайна з лівого боку між переднім і заднім мостами під молотарку через 5-6 метрів (5 штук) у трикратній повторності в одну загінку. Результати досліджень наведені в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12

Показники ефективності використання ЗК VI-го класу

№	Показники	Робоча швидкість, км/год (м/с)			
		$V_p = 4,6(1,3)$	5,9(1,64)	6,6(1,83)	7,7(2,14)
1.	Завантаження двигуна, %, N	$\approx 54\%$	$\approx 67\%$	$\approx 74\%$	$\approx 83\%$
2.	Пропускна здатність, кг/с, q_i	6,49	8,20	9,20	10,34
3.	Числові значення, кількість, $1 \text{ м}^2, m$	57	102	136	188
4.	Середній термін наповнення бункера, хв	$\approx 24 \times 3 = 72$	$\approx 19 \times 3 = 57$	$\approx 17 \times 3 = 51$	$\approx 14 \times 3 = 42$
5.	Зібрано за 1 год чистого часу, га W	$\approx 3,22$	$\approx 4,13$	$\approx 4,62$	$\approx 5,40$
6.	Зібрано за 1 год чистого часу, т/год	17,71	22,17	26,9	27,15
7.	Відносні втрати 1 м^2 , %, $\Delta U \%$	$\approx 0,38$	$\approx 0,68$	$\approx 0,91$	$\approx 1,23$

Ефективність експлуатації ЗК полягає в підвищенні змінної продуктивності за рахунок зростання робочої швидкості по зібраній площі, збільшення маси урожаю на 20-30%, поліпшення якості своєчасно зібраного зерна; зменшення питомої витрати палива через оптимальне завантаження двигуна комбайна.

4.4. Визначення залежності механічних втрат зерна за молотильно епаруючим пристроєм від швидкості руху зернозбирального комбайна VII-го класу та агробіологічного стану хлібної маси

Під час жнив 2024 і 2025 років були проведені польові дослідження ефективності використання комбайна VII-го класу. Комп'ютерна система комбайна дає можливість контролювати робочу швидкість, витрату палива, продуктивність, шлях, пройдений у загінці. Детально розглянемо залежність втрат за молотаркою від продуктивності комбайна. Культура, яку збирали під час досліджень – пшениця озима; урожайність – від 4,83 т/га до 6,37 т/га; забур'яненість – до 5%; вологість соломи – 16,8%; вологість зерна – 13,9...14,2%; хлібостій без вилягання; висота хлібостою від 60 до 75 см; кількість зерен у колосі від 35 до 52 одиниць; кількість стебел на 1 м² від 280 до 320 одиниць; співвідношення зерно-солома – 1,1...1,3.

Таблиця 4.13

Порівняльні дані ефективності використання зернозбирального комбайна VII-го класу за середніми значеннями залежно від швидкості руху

Назва показника лічильника ЗК VII-го класу	Робоча швидкість, км/год (м/с)			
	6,282(1,74)	7,21(2,0)	7,792(2,16)	8,833(2,22)
Час роботи:	0,17	0,15	0,13	0,147
хвилин	10,2	9	7,8	8,86
секунд	612	540	468	532
Час роботи подрібнювача, хв	0,17	0,15	0,13	0,147
Площа, га	0,739	0,750	0,745	0,733
Ділянка шляху, км	1,058	1,082	1,013	1,180
Маса урожаю із загінки, т	3,56	4,70	4,65	4,00
Вологість, %	13,9	14,5	14,2	13,3

Витрата палива: л	9,01	10,01	10,01	9,01
т/год	21,38	31,35	34,85	34,27
га/год	4,43	5,00	5,54	6,28
т/га	4,83	6,27	6,24	5,42
л/год	54,0	60,0	67,5	61,01
л/га	12,19	12,00	12,079	12,280
л/т	2,589	1,914	1,937	1,781

Експлуатаційні показники ефективності використання комбайна V-го класу наведені в таблиці 4.13. При такій швидкості прогнозована продуктивність комбайна була в межах 4,3 га/год; продуктивність у тоннах – 21,38 т; середня урожайність із зібраної площі – 4,83 т/га; витрата палива за 1 годину робочого часу – 54 л/год; питома витрата палива на 1 га зібраної площі – 12,19 л/га; питома витрата палива на 1 тону зібраного зерна – 2,58 л/т.

4.5. Аналіз ефективності використання зернозбиральних комбайнів VII-го класу

Нове покоління зернозбиральних комбайнів фірми CLAAS оснащено сучасними електронними системами поточного контролю, технологічних і експлуатаційних показників, характеристик, із записом їх у пам'ять бортового комп'ютера (додатки).

Інформація по технологічних і експлуатаційних показниках по закінченні роботи комбайна передається в центр фірми CLAAS. Керівники і спеціалісти сільгоспідприємств, власники комбайнів повну інформацію щодо експлуатаційних показників за конкретний або загальний термін збирання для аналізу не використовують з різних причин. Основна причина – великий масив даних для статистичного аналізу (в межах 90-100 сторінок машинного тексту), до 3000 одиниць показників за термін зміни.

Статистичний аналіз цих даних потребує певної кваліфікації і, головне, значної затрати часу для виявлення кореляційних залежностей. Ці причини є стимулюючим фактором для поглибленого аналізу експлуатаційних показників з боку споживачів. Комп'ютерні системи дозволяють роздрукувати в кольорі у

вигляді діаграм за термін зміни шість експлуатаційних показників. Діаграми дають можливість наочно оцінити межі і закономірності коливання кожного з експлуатаційних показників, що характеризують ефективність роботи комбайна у загінці. Із 54 фіксованих у комп'ютерах показників для оцінки вибрані 10 найбільш інформативних; дата і час роботи; швидкість руху комбайна, км/год; частота обертання двигуна, об/хв; відносний ступінь завантаження двигуна, %; частота обертання молотильного барабана, об/хв; відносні витрати за соломотрясом, %; відносні витрати на решетах, %; сумарні витрати за МСП, %; продуктивність, т/год; витрати палива, т/га.

Таблиця 4.14

Коефіцієнти кореляції між експлуатаційними показниками і характеристиками

№ п/п	Показник	Середні значення					
		№ комбайна					
		1515	1768	1518	1771	1766	1769
1	Ступінь завантаження – витрати палива	0,74	0,91	0,94	0,92	0,93	0,94
2	Ступінь завантаження – втрата зерна	0,61	0,17	0,53	0,55	0,44	0,44
3	Ступінь завантаження – швидкість руху	0,24	0,67	0,62	0,47	0,62	0,42
4	Ступінь завантаження – продуктивність	0,44	0,42	0,49	0,51	0,41	0,52
5	Продуктивність – швидкість руху	0,20	0,17	0,34	0,12	0,16	0,22
6	Втрати – швидкість руху	0,13	0,13	0,315	0,14	0,27	0,06
7	Втрати – продуктивність	0,41	0,38	0,45	0,54	0,31	0,65
8	$\sum K_v$	2,77	2,85	3,69	3,25	3,14	3,35
9	$\sum K_v / 7$	0,40	0,41	0,53	0,46	0,45	0,48

У таблиці 4.14 наведені коефіцієнти кореляції між експлуатаційними показниками. Як видно з числових значень, по 6 комбайнах на першому місті

знаходяться значення кореляції між показниками: середнє значення ступенів завантаження двигуна (%) – витрата палива (л/год). По 5 комбайнах коефіцієнт корекції має такі значення: 0,91; 0,94; 0,92; 0,93; 0,94. Середнє значення $\approx 0,928$. Тільки на одному комбайну (№ 1515) коефіцієнт кореляції знизився до 0,74. Суттєве зниження коефіцієнта пояснюється низьким показником ступеня завантаження двигуна $\approx 14,9\%$ внаслідок низької робочої швидкості в загинці $V_p = 4,59$ км/год. Показник кореляції між ступенем завантаження і робочою швидкістю руху $K_v \approx 0,24$.

На рисунку 4.6 показані залежності ступеня завантаження двигуна (%), основних експлуатаційних показників, середнього значення завантаження двигуна – середніх значень витрати палива за год (л/год), продуктивності за годину (т/год), робочої швидкості в загинці (км/год), питомої витрати палива (л/год), відносних значень втрат зерна за МСП (%). Наближено всі залежності можна трактувати як лінійні.

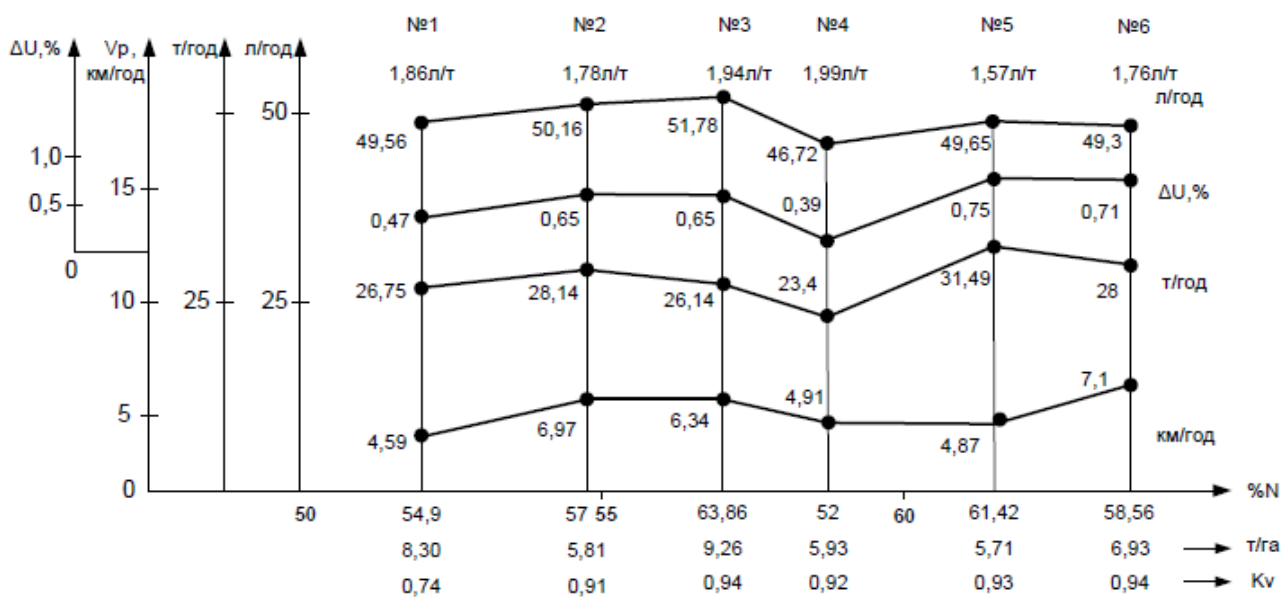


Рис. 4.6. Статистичні показники ефективності використання ЗК VII-го класу (№ – номери ЗК)

На цьому місці за числовим значенням знаходиться кореляційний зв'язок між втратами урожаю і швидкістю руху комбайна в загинці. Середнє значення коефіцієнта кореляції $K_k \approx 0,20$. Висновок – у п'ятій і шостій позиції необхідно підвищувати робочі швидкості комбайнів в загинці. Комбайнер після намолоту

зерна першого і другого бункерів зменшував робочу швидкість з урахуванням показань на моніторі відносних значень втрат зерна за МСП. Результати розрахунків наведені в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15

**Розрахункові значення експлуатаційних показників
роботи ЗК VII-го класу**

Позначення	№ комбайна						
	1515	1518	1771	1768	1769	1770	Σ/n_i
Q_r , л/год	49,57	51,72	49,68	45,12	46,46	38,15	46,78
$Q_{га}$, л/га	8,30	8,90	14,61	14,34	10,72	14,78	11,94
ΔQ , л/т	1,86	1,94	1,58	2,20	1,71	2,28	1,94
ΔU , %	5,26	28,23	21,37	13,0	33	10,67	18,58
ΔS , м ²	30,60	43,60	32,50	33,0	43,68	24,6	34,66
U_a , т/зміну	384,82	499,68	475,03	125,67	183,88	120,82	189
Δm , од	35<208	94<146	150<23 0	41<237	107<14 2	67<165	182<18 8
$\Delta \Delta U$, %/м ²	0,17<1 %	0,65<1 %	0,65<1 %	0,39<1 %	0,75<1 %	0,41<1 %	0,5<1%
W_a , га/зміну	46,13	83,41	51,44	37,36	36,26	30,11	28,52
га/год	3,24	4,58	3,40	3,45	4,59	2,58	3,64
$U_{га}$, т/га	8,30	5,81	9,26	5,93	5,71	6,62	6,93
T_a , год	14,44	18,75	15,09	5,35	7,90	7,07	
	26,64	26,6	31,48	20,45	23,41	17,0	

**Статистичні характеристики відносних значень механічних втрат
зерна відносно середніх значень по номерах комбайнах**

№ п/п	Середні значення						
	№ комбайна						
	1515	1518	1771	1766	1768	1769	1770
$\Delta U, \%$	5,26	28,24	21,37	28,31	12,99	32,93	10,17
Д	34,24	544,79	380,20	259,62	122,33	462,27	80,96
σ	5,85	23,34	19,50	16,12	11,06	21,50	8,99
K_v	1,11	0,83	0,91	0,57	0,85	0,653	0,86

Суттєвими для виробників служать такі питомі показники: витрата палива на збирання 1 га зернової культури (л/га) і питома витрата палива на збирання 1 тонни зерна (л/т). Найменша витрата палива 8,30 л/га була за комбайном № 1515 при збиранні зернової культури (пшениця) урожайністю $U_{га}=8,30$ т/га, завантаження двигуна $\eta_e=14,9\%$. Сумарні витрати за термін зміни за середніми значеннями дорівнюють 5,26%. Питомі відносні втрати зерна за МСП становлять 0,17% на 1 м² а при 1,5%, що складає 18,33% від нормативного значення. Числове значення фактичних втрат зерна на 1 м² становить 35 одиниць при нормативних 208 одиницях. Якщо у виробничих умовах оператор у виборі робочої швидкості в загінці керується відносними значеннями візуального приладу, розміщеного в кабіні, то робочу швидкість можна підвищувати до 6 км/год, тобто продуктивність можна збільшувати на 30%. Намолот зерна за 1 годину збільшиться від 26,65 до 35 т/год, у гектарах – від 3,21 до 4,26 га/год, за контрольований термін можливо зібрати ≈ 60 (га), намолот зерна – до 500 т.

Висновки до четвертого розділу

1. Виробничими дослідженнями, з використанням електронного пристрою, було встановлено, що при загальному намолоті за термін жнив 483,31 т фактичні зафіксовані втрати склали від 2,225 кг до 4,985 кг (відповідно 0,05% - 0,09% від валового збору).

2. У результаті досліджень було встановлено, що питома витрата палива становить $\Delta Q = 4,71$ л/т, або $\Delta Q = 26$ л/га при завантаженні двигуна $\text{max} \approx 55\%$.

3. Дослідження дали можливість встановити, що втрати за масою становлять $\Delta U = 28,61$ кг, що становить 0,010% від валового збору 307 т (допустимі $1,5\% = 4602$ кг). Визначено, що коефіцієнт варіації середнього значення втрат по змінах протягом жнив становить від $K_V = 0,37$ до $K_V = 0,72$, а квадратичне відхилення – від 284 до 1540 зернин.

4. Польові дослідження ефективності використання комбайнів VI-го і VII-го класів дозволили визначити, що завантаження двигуна та МСП становить 55% від нормативної продуктивності. У межах відносних втрат зерна до $\Delta = 1,23\%$ вдалося підвищити продуктивність ЗК на 30%.

5. Статистичний аналіз ефективності використання ЗК VII-го класу протягом зміни дозволив встановити ступінь завантаження двигуна – від 52,0 до 63,86%; продуктивність обмолоту склала від 23,4 до 31,49 т/год. Питомі показники мають такі значення: $Q = 1,58 - 2,20$ л/т, відносні витрати $\%/m^2 = 0,31$ до 0,75%; втрати зерна $< 1,5\%$. Розраховані такі коефіцієнти кореляції між експлуатаційними показниками: міра завантаження – витрата палива, $K_V = 0,91 - 0,94$; міра завантаження – швидкість руху, $K_V = 0,42 - 0,67$; міра завантаження – втрати зерна, $K_V = 0,44 - 0,61$ *V K*. Визначено коефіцієнт варіації середніх та відносних значень втрат за комбайнами – від $K_V = 0,57$ до $K_V = 0,91$.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Напрями підвищення ефективності використання зернозбирального комбайна V-го класу

Технічний стан наявного парку ЗК та його продуктивність визначаються показниками фізичної і параметричної надійності. Фізичні показники надійності визначаються через коефіцієнт готовності, а параметричні – через зниження потужності двигунів від зношування та розрегульованості; для інших передаточних, виконавчих агрегатів, механізмів, систем – через зниження ККД редукторів, механізмів, ланцюгових, пасових передач, гідронасосів, гідророзподільників.

Допустимим є зниження потужності двигунів з турбонаддувом, якими оснащені ЗК, до 12-13% від N_i . [23]. У таких самих межах допустиме зниження ККД механічних, гідравлічних механізмів і систем. Для розрахунків приймаємо середнє значення показників параметричної надійності двигунів і механізмів (5...6%). У сумі $\Delta N_s = N_D + N_{mb} = 5...6 + 5...6 = 10...12\%$. Сумарна потужність двигунів комбайнів з пропускною здатністю > 9 кг/с становить ≈ 13 млн. кВт.

З врахуванням зазначених вище значень сумарна параметрична надійність (10...12%) знизилася на $\Delta N\Sigma = \Sigma \cdot \Delta N_s = 13000000 \cdot 0,10 \cdot 0,12 = 1,0...1,8$ млн. кВт. При середній потужності двигунів ЗК ≈ 200 кВт у полі працюють $\approx 5000...5600$ комбайнів на номінальних обертах без обмолоту хлібної маси. Це одна з причин перевитрати палива близько 100000 л/год і подовження терміну жнив.

Як показують польові випробування, значним резервом підвищення ефективності використання ЗК є застосування технічних характеристик, закладених в їх конструкції – це максимальне використання потужності двигуна на оптимальну робочу швидкість руху в загінці для завантаження МСП

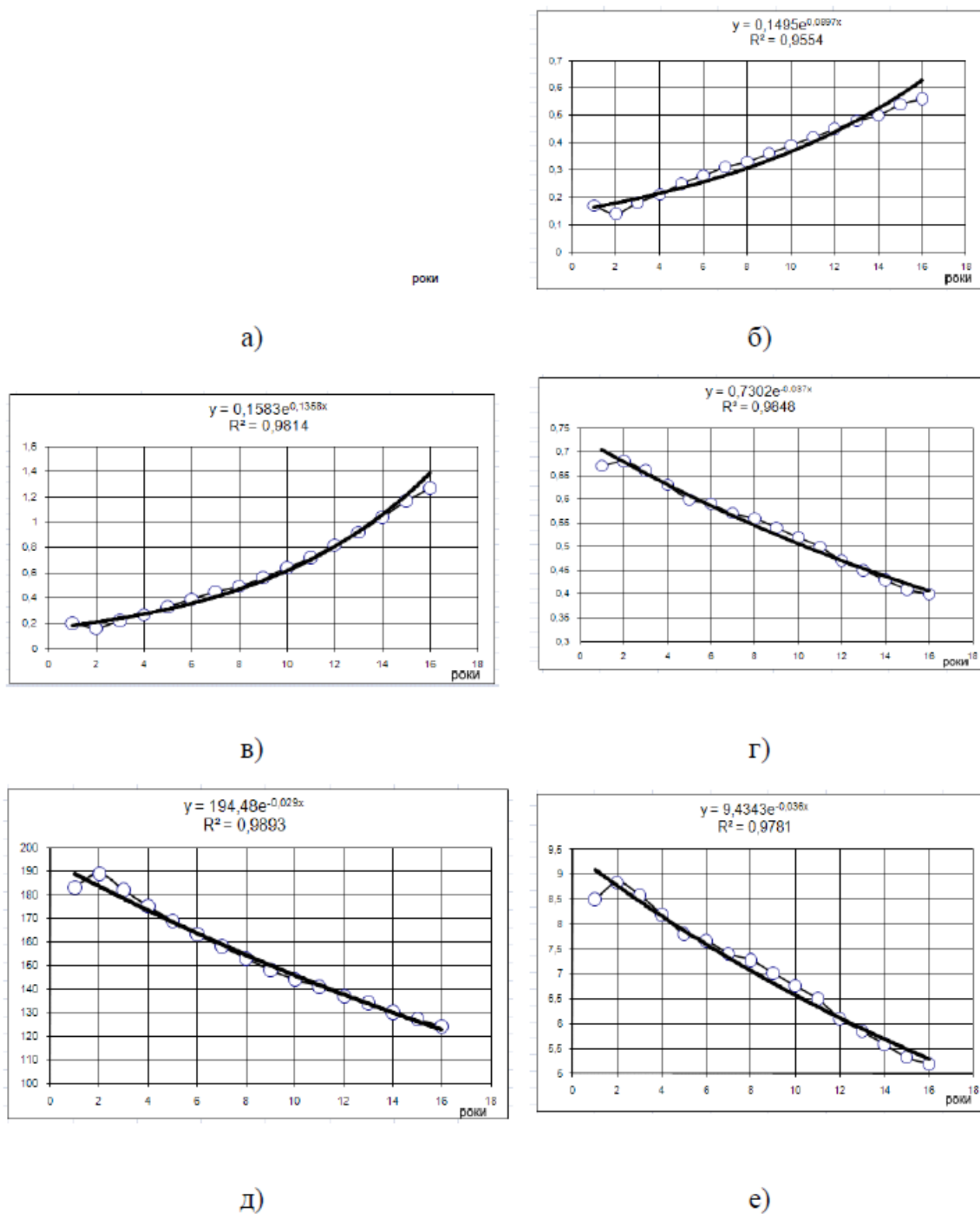


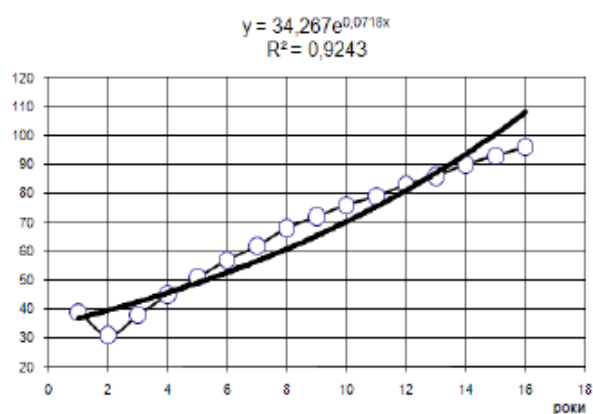
Рис. 5.1. Графічний вираз ймовірної зміни показників технічного стану і експлуатаційних характеристик із збільшення терміну експлуатації (років) ЗК V-го класу:

а) коефіцієнт готовності; б) коефіцієнт відновлення; в) відносний показник технічного стану; г) коефіцієнт використання часу зміни; д) час чистої роботи протягом зміни; е) тривалість чистої роботи протягом зміни

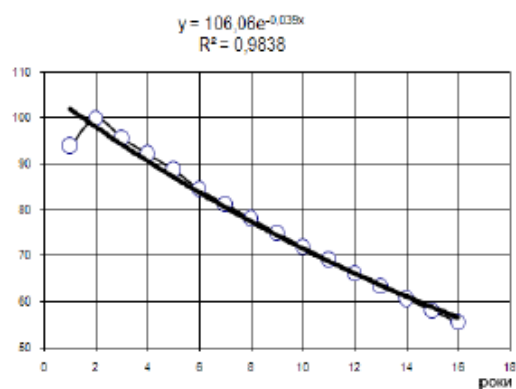
Випробування ЗК під час жнив показали, що завантаження двигунів досягає $\max - 60\%$ при втратах зерна за МСП у ЗК V-го класу в межах $\Delta\Delta U \approx 0,0001...0,068\%$, а у комбайнах VII-го класу $\max \approx 0,68\%$, і сигнали в кабіні з датчиків втрат слугують обмежувальним фактором підвищення швидкості. Визначимо залежність продуктивності від ефективного використання потужності двигунів через завантаження МСП і технічного стану ЗК через коефіцієнт готовності та інші експлуатаційні показники.

З графіків (рис. 5.1, 5.2, 5.3) видно, що із зміною технічного стану через зниження коефіцієнта готовності продуктивність ЗК V-го класу за 13 сезонів експлуатації зменшується на 27%, а через невисоке завантаження двигуна і МСП – щорічно знижується на понад 30%.

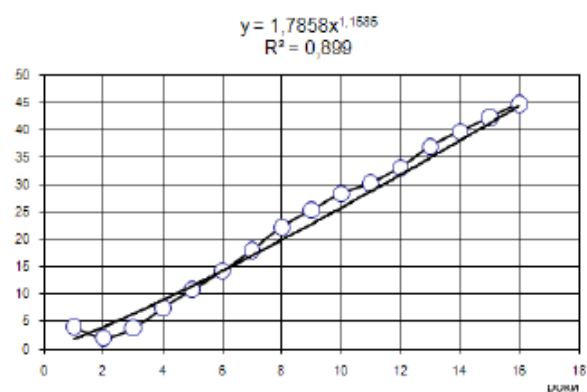
З рисунку 5.4 видно, що на продуктивність ЗК впливають його технічний стан і завантаження МСП. При зниженні завантаження двигуна від 82% до $\approx 50\%$ від $i N_i$ МСП від 7,5 до 4,5 кг/с продуктивність зменшується понад 30%. Простої через зниження коефіцієнта готовності від $K_r = 0,86$ до 0,61 під час жнив збільшуються від $T_n = 31$ год до 76 год.



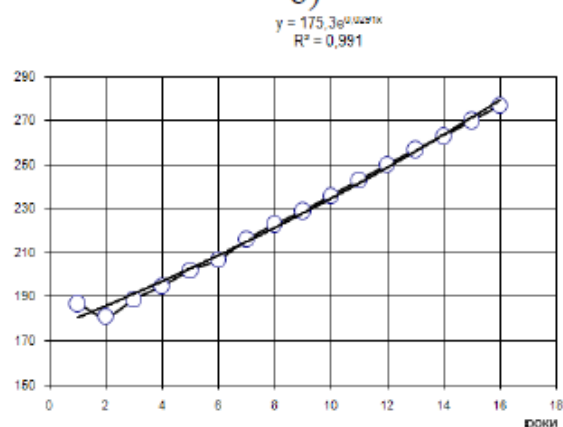
а)



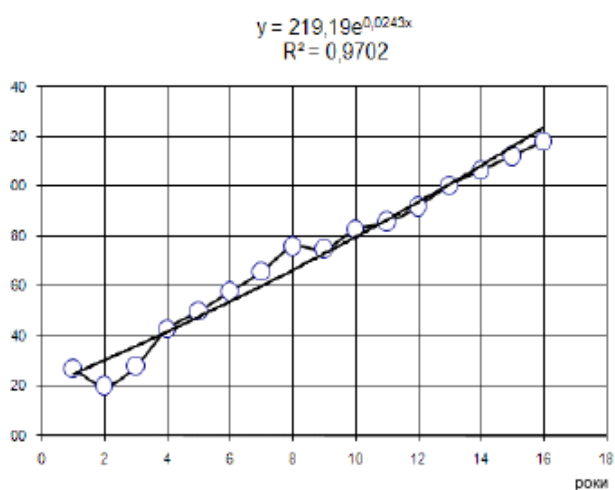
б)



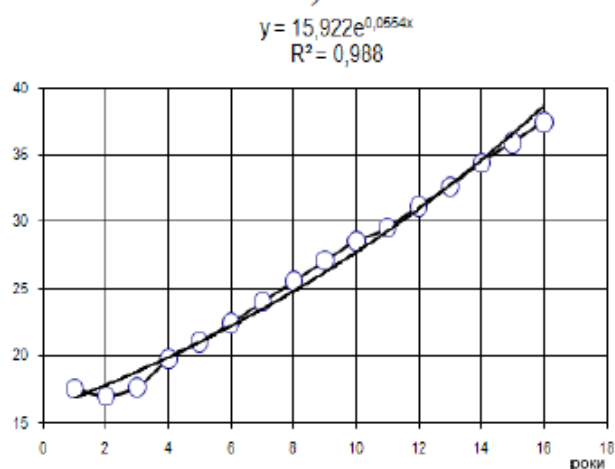
в)



г)



д)



е)

Рис. 5.2. Графічний вираз зміни експлуатаційних показників із збільшенням терміну експлуатації (років) ЗК V-го класу:

- а) тривалість простоїв протягом жнив; б) відносний показник роботоздатності, %;
в) зниження роботоздатності, %; г) збільшення робочого часу для виконання програми;
д) збільшення календарного часу для виконання програми; е) збільшення кількості робочих днів для виконання програми

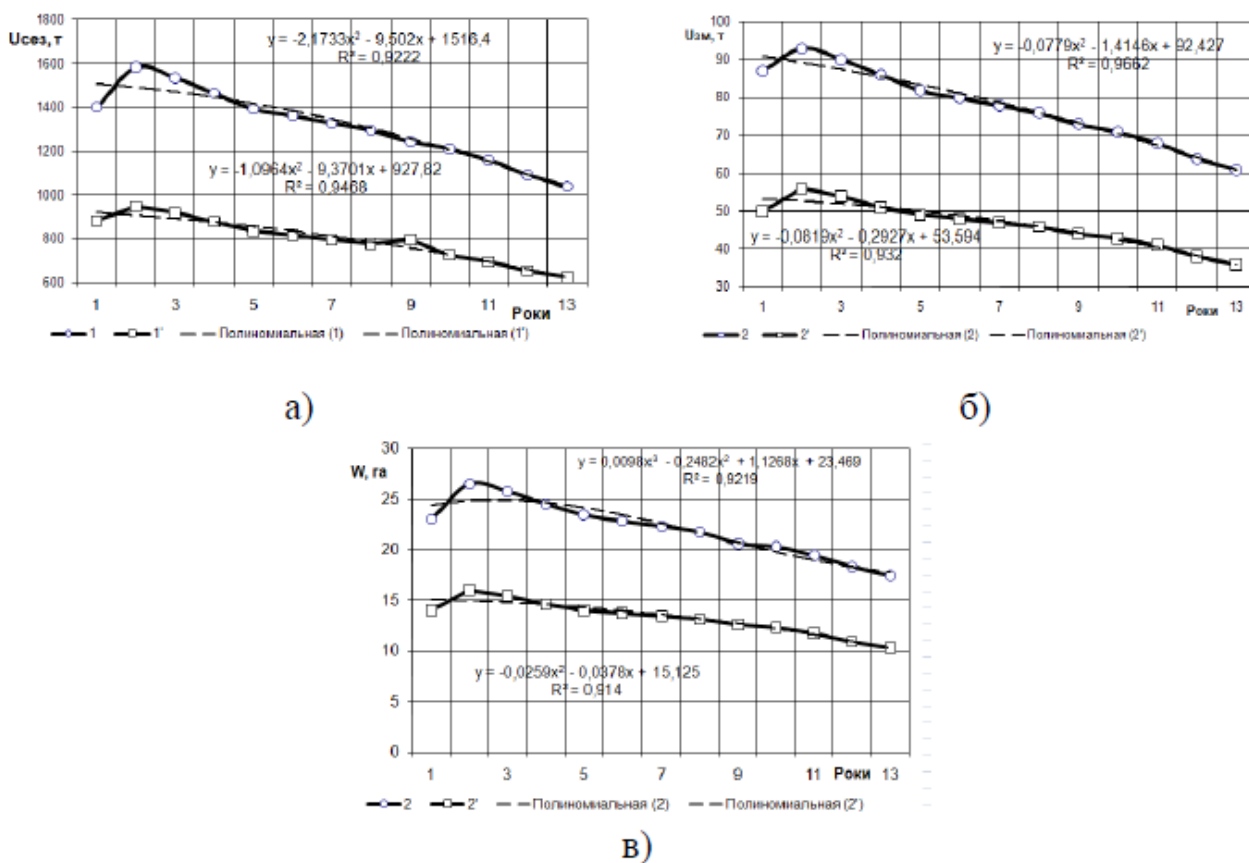
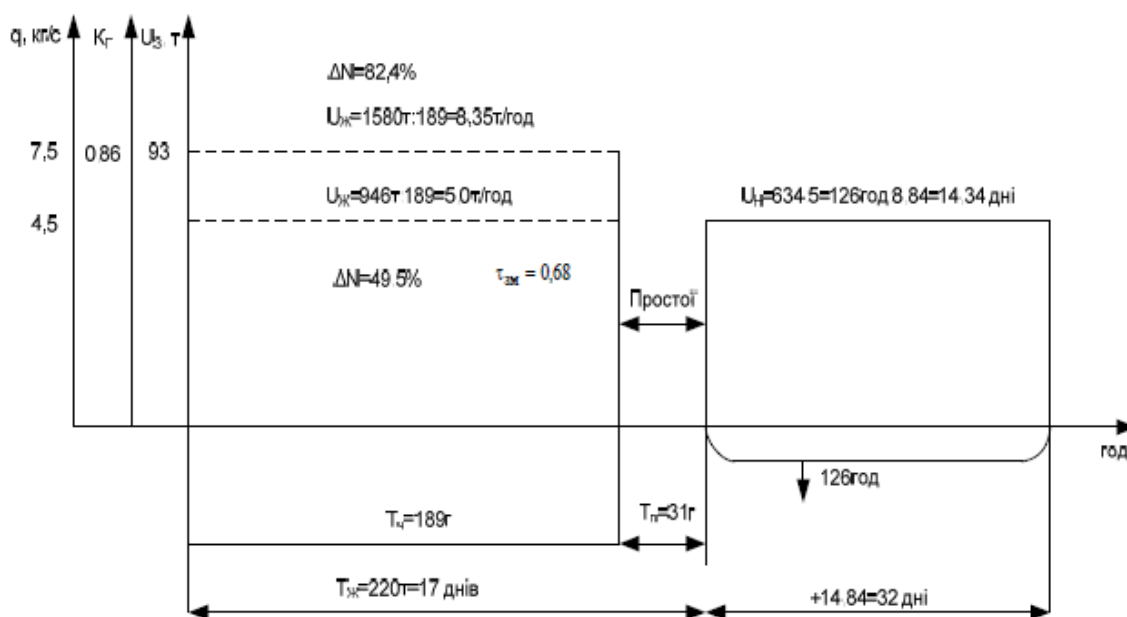


Рис. 5.3. Ймовірність зміни сезонної продуктивності залежно від пропускної здатності МСП, зміни технічного стану і терміну експлуатації ЗК:

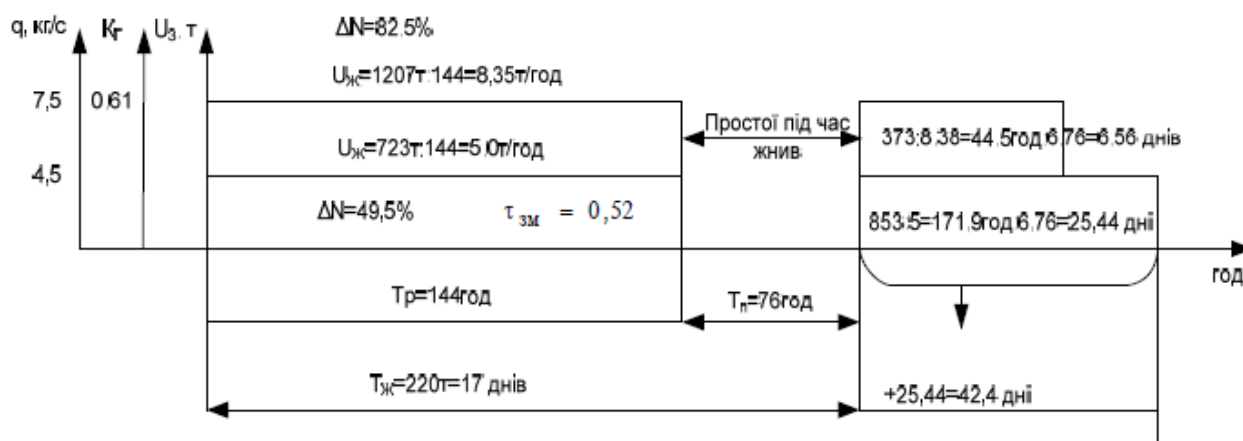
а) ймовірність зміни сезонної продуктивності залежно від пропускної здатності МСП; б) змінна продуктивність; в) площа, зібрана за зміну (верхня лінія – при завантаженні молотарки $q_i = 7,5$ кг/с, нижня лінія – при завантаженні $q_i = 4,5$ кг/с)

Практика показує, що жнив без втрат не буває. На рис 5.5. показані графічні залежності відносних значень біологічних втрат зерна від осипання різних культур: на 20-й день втрати зростають до 20...30%. Відносні втрати на 19-й день проходження жнив перевищують допустимі механічні втрати (1,5%) в 12...20 разів, а фактичні втрати зерна за МСП V-го класу (0,0001...0,068%) – більше як у 2000 разів.

Для аналізу сформульовано виробниче завдання – зібрати урожай озимої пшениці (урожайність 6 т/га) з площі 263 га за агрострок 17 днів (220 годин).



а) 2-й рік експлуатації



б) 10-й рік експлуатації

Рис. 5.4. Схематичний вираз впливу завантаження молотарки і технічного стану на зміну продуктивності ЗК V-го класу

На рис. рис. 5.6 схематично показано, що при завантаженні молотарки $q_n = 7,5$ кг/с комбайном V-го класу другого року експлуатації при $K_{\text{ЗМ}} = 0,68$, тривалості зміни 13 год, терміні чистої роботи 189 год, середній продуктивності $U_{\text{Г}} = 8,35$ т/год ймовірно зібрати $U_{\text{Ж}} = 1580$ т.

При зниженні завантаження молотарки до $q_n = 4,5$ кг/с продуктивність за годину знизиться до $U_{\text{Г}} = 5$ т/год; за термін чистої роботи протягом агростроку $T_2 = 189$ год можна зібрати $U_{\text{Ж}} = 946$ т. Поза термін жнив залишається незібраними

634 т. На збирання зазначеної маси необхідно додатково 126 годин при тривалості чистої роботи протягом зміни $T_2 = 8,84$ год, або 14,34 дня. Загальна тривалість жнив становитиме 32 дні, біологічні витрати – 20%, або 126 т маси зібраного урожаю.

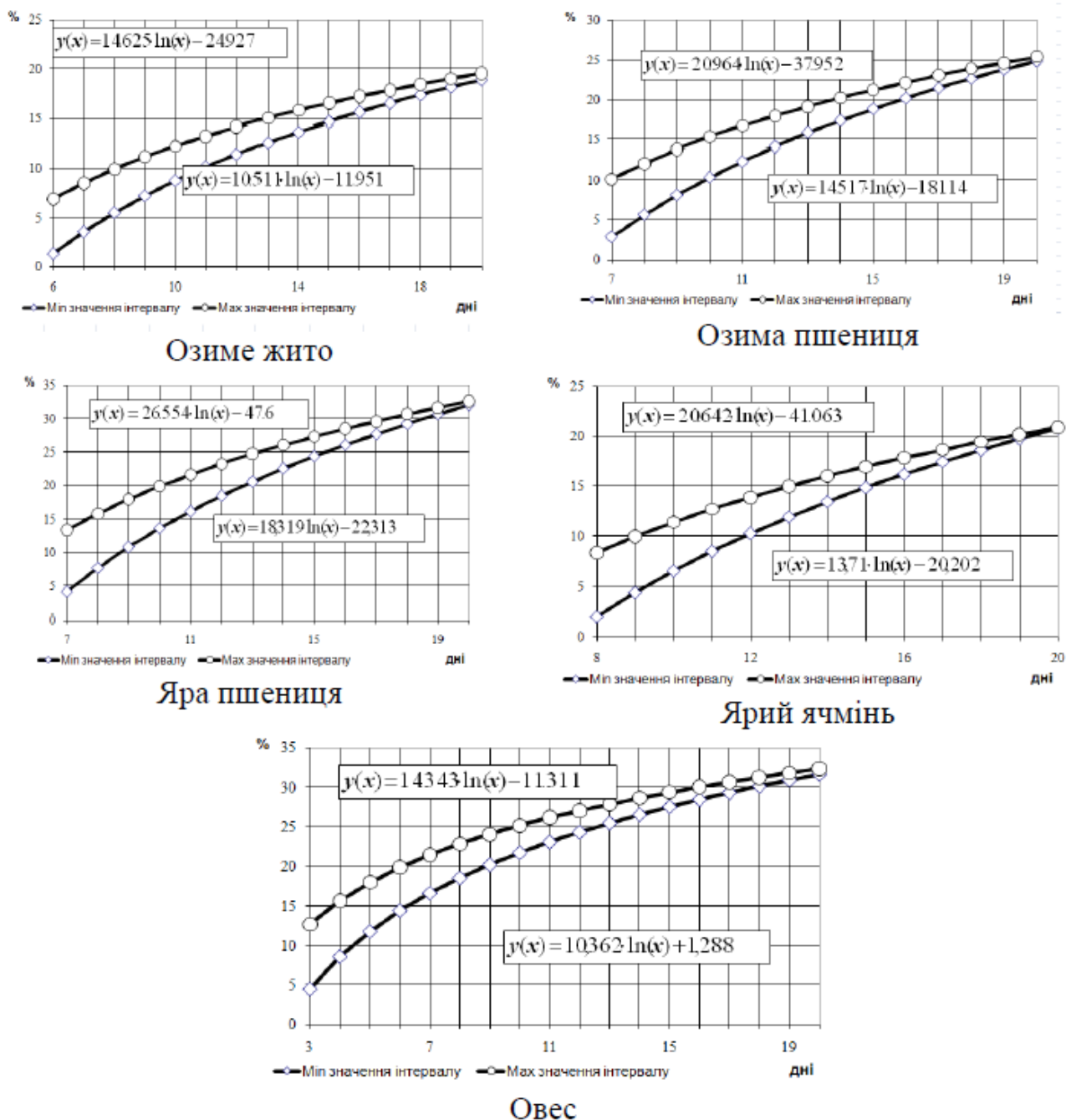


Рис. 5.5. Графічні залежності відносних значень біологічних втрат зерна залежно від терміну збирання культур

При використанні комбайна з терміном експлуатації 10 років ймовірні показники продуктивності такі: коефіцієнт готовності знижується до 0,52, $K_A = 0,61$; коефіцієнт використання часу зміни знижується; тривалість чистої роботи

протягом жнив зменшується від $T_2 = 189$ год до $T_2 = 144$ год. При завантаженні молотарки $q_i = 7,5$ кг/с за термін жнив буде зібрано $U_{ж} = 1207$ т. Незібраними в агрострок залишаться $U_3 = 373$ т. Для збирання показаної маси необхідно додатково 44,5 год жнив, або 6,56 дня.

Визначення техніко-технологічної ефективності використання ЗК V-го класу

Аналітичні і виробничі дослідження продуктивності ЗК з оцінкою фактичних втрат зерна за МСП дозволяють через узагальнюючий показник визначити ефективність використання комбайна, який можна виразити функціональною залежністю як суму окремих показників впливу найбільш технічних і технологічних факторів

$$E_{\Sigma} = f \cdot (\Delta U, \%U, \Delta Q) = E_1 + E_2 + E_3 = (C_2 - C_1) \cdot m_1 + (K_2 - K_1) \cdot m_1 + (\Delta Q_1 - \Delta Q_2) \cdot m_2, \quad (5.1)$$

де E_{Σ} – узагальнюючий показник економічної ефективності використання ЗК;

$\Delta U = E_1$ – економічна ефективність використання ЗК за рахунок підвищення продуктивності та збирання продовольчих класів зерна в агростроки із збільшенням завантаження двигуна і МСП (т/год);

$\%U = E_2$ – економічна ефективність через зниження ймовірних втрат зерна від осипання продовольчих і фуражних класів через скорочення терміну жнив (т/год);

$\Delta Q = E_3$ – показник зменшення питомої витрати палива на обмолот 1 тонни зерна із збільшенням завантаженості двигуна.

Значення узагальнюючого показника економічної ефективності використання ЗК V-го класу становить:

$$E_{\Sigma} = 500 + 315 + 85,5 \approx 900 \text{ грн./год.}$$

5.2. Ефективність використання комбайнів VII-го класу

Аналіз та оцінка експлуатаційних показників ЗК Лексіон 560 під час жнив дозволяють виявити резерви ймовірної направленості підвищення ефективності використання імпортих ЗК на прикладі конкретної моделі.

На рис. 5.7, 5.8 у вигляді діаграм і числових значень наведені основні експлуатаційні показники, які визначають ефективність використання ЗК і на підставі аналізу яких можна сформулювати напрям і резерви підвищення ефективності їх використання.

Оціночні експлуатаційні показники використання ЗК Lexion 560, дозволяють визначити техніко-економічні напрями підвищення їх продуктивності.

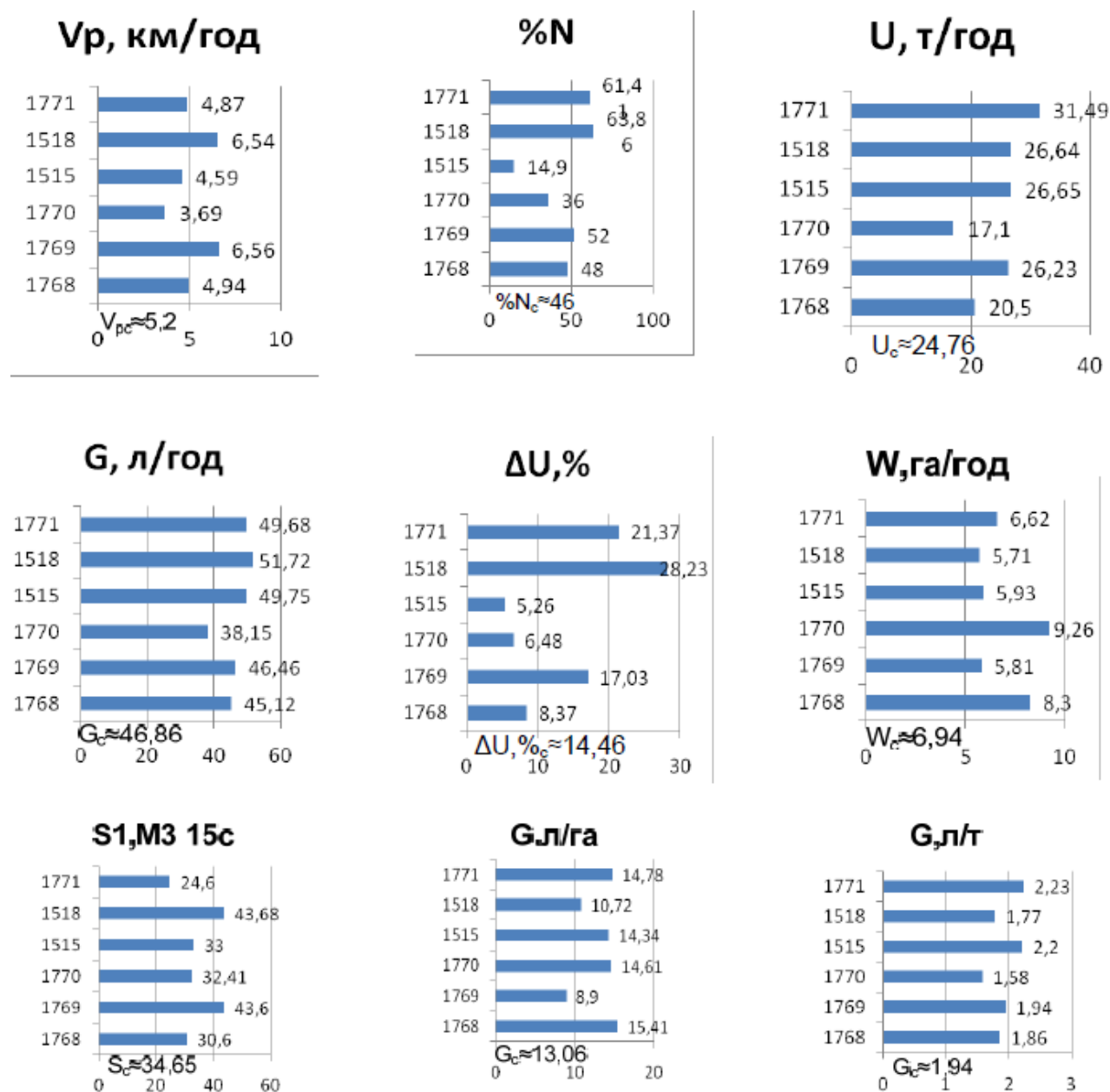


Рис. 5.7. Схематичний вираз середніх значень експлуатаційних характеристик роботи протягом зміни шести комбайнів Лексіон 560:

V_p – швидкість у загінці, км/год; %N – завантаження двигуна, %; U – зібрано, тонн/год; G – витрата палива, л/год; ΔU – середні значення відносних втрат за зміну, %; W_r – продуктивність, га/год; S_1 – площа, пройдена молотаркою за 15 с, м²; G – витрата палива, л/га; G – витрата палива, л/т

Порівняльні показники ефективності використання комбайнів V-го і VII-го класів показані на рис. 5.10.

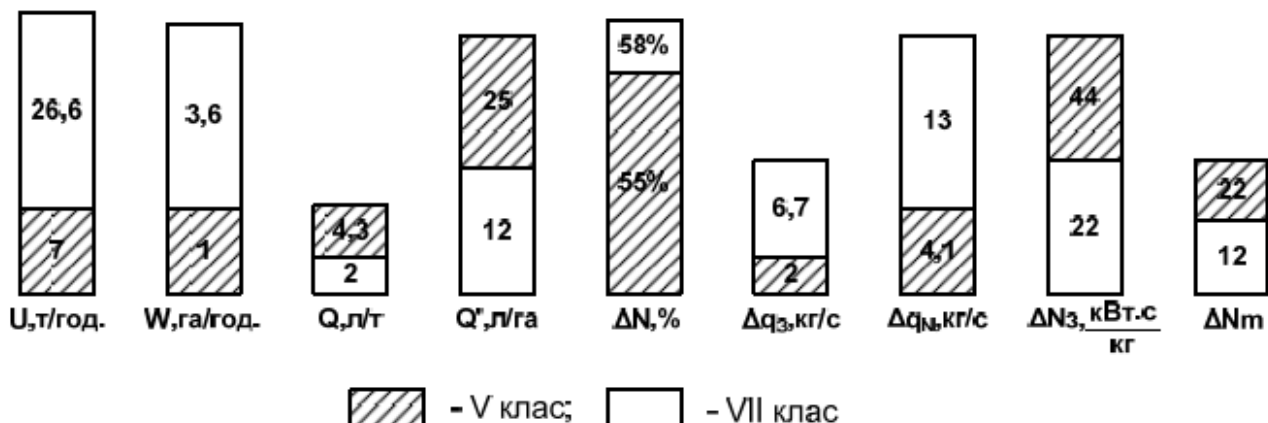


Рис. 5.10. Порівняльні експлуатаційні показники ефективності використання ЗК V-го і VII-го класів

Експлуатаційні показники використання комбайнів V-го і VII-го класів наочно характеризують різницю у продуктивності за 1 годину – 7 т/год і 26,6 т/год відповідно. Питомі витрати палива – 4,6 л/т і 2 л/т відповідно; завантаження двигуна – max 55 % і 58 % відповідно; пропускна здатність: по чистому зерну – 2 кг/с і 6,7 кг/с, по масі хлібостою – 4,6 кг/с і 13 кг/с; питома потужність на обмолот зерна – 44 кВт·с/кг і 22 кВт·с/кг, на масу хлібостою – 22 кВт·с/кг і 12 кВт·с/кг; втрати зерна – 0,067% і 0,68%.

За наведеною методикою розрахунку узагальнюючого показника економічної ефективності (5.18) визначаємо його числове значення за 1 годину для ЗК VII-го класу

$$E_{\Sigma} = (2000 - 1800) 7 + (0,08 - 0,01) 7 + (2 - 1,5) 16 = 2530 \text{ грн./год.}$$

За результатами теоретичних і виробничих досліджень зміни техніко-експлуатаційних характеристик ЗК можна зробити висновок про необхідність ефективного використання потенційної продуктивності ЗК будь-якого терміну експлуатації через завантаження двигуна і МСП. При розрахунку технологічних карт на збирання урожаю і прогнозуванні строків жнив сільгоспвиробникам необхідно враховувати ймовірне зниження показників технічного стану і відповідно продуктивності із збільшенням терміну експлуатації. Відповідно до зниження показників технічного стану і продуктивності як узагальнюючого

вихідного параметра потрібно поповнювати парк комбайнів пропорційно відсоткам зниження показників технічного стану і продуктивності.

Висновки до п'ятого розділу

1. Ймовірні показники продуктивності ЗК V-го класу залежать від величини завантаження двигуна і молотарки, причому зниження їх завантаження від $q_n = 7,5$ кг/с до $q_n = 4,5$ кг/с ($< 33\%$) зменшує годину продуктивність.

2. Встановлено, що фактичні значення відносних механічних втрат за МСП ЗК V-го класу знаходитимуться у межах $\Delta U = 0,0010$ до $0,068$ % при допустимих $1,5\%$. Максимальне завантаження двигуна досягає $N_3 = 60$ % при питомій витраті потужності на обмолот 1 тонни зерна $\approx \Delta N_0 = 12$ кВт/т, причому невикористана потужність двигуна становить $N_3 = 74-84$ кВт. Таким чином, використання такої інформації дозволяє підвищити продуктивність за 1 годину до $U_T = 11-12$ т/год при середніх $U_T = 6,5 \dots 7,5$ т/год (на $45-55\%$). Підвищення завантаження двигуна дозволяє зменшити питому витрату палива на $1 \dots 1,5$ л/т.

3. Середня продуктивність ЗК VII-го класу за 1 годину досягає $U_T = 26,61$ т при втратах зерна за МСП $\Delta U \approx 0,68\%$ і середньому завантаженні двигунів $N_\phi \approx 58-60\% = 159$ кВт. Значення невикористаної потужності становить $N_3 = 106$ кВт, що дозволяє підвищити продуктивність процесу збирання в межах коефіцієнта варіації $K_V \approx 0,56$ до $U_T = 35$ т/год, зменшити питому витрату палива ΔQ від 2 до $1,5$ л/т.

4. Узагальнюючий показник економічної ефективності для ЗК VII-го класу складатиме 2530 грн/год.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Робота присвячена вирішенню актуального інженерного завдання підвищенню техніко-технологічної ефективності використання зернозбиральних комбайнів.

1. Проведений аналіз літературних джерел показав, що більшість робіт присвячених дослідженню впливу технічних і технологічних рішень щодо ефективності використання ЗК не дав відповіді на вплив продуктивності ЗК від їх технічних і технологічних параметрів, закладених у конструкцію ЗК, характеристик хлібостою, а також механічних втрат зерна за МСП.

2. Визначено вплив зниження потужності двигунів при зношуванні і розрегульованості ЗК на їх продуктивність. Теоретично доведено, що при зниженні ефективної потужності двигуна на 14% робоча швидкість ЗК в загинці зменшується на 16% за лінійною залежністю. Враховуючи те, що можливість вибору оптимальної робочої швидкості в загинці зменшується, то знижується і продуктивність ЗК. Доведена необхідність постійного моніторингу стану двигуна ЗК і превентивної оцінки його стану на необхідність технічного обслуговування, або ремонту двигуна ЗК, або врахувати це при прогнозуванні термінів жнив.

3. Методом інтегральної оцінки визначено значення експлуатаційного показника пропускної здатності МСП, при якій розрахункова продуктивність ЗК при заданій потужності двигуна і пропускній здатності МСП рівнозначні. Визначено раціональний показник пропускної здатності ЗК. Доведено, що пропускна здатність МСП не є сталою величиною. Із загальним зниженням потужності двигуна до 17%, ККД гідросистем, пасових і ланцюгових передач, механічних систем і механізмів до 10% пропускна здатність МСП зменшується на 28%.

4. Теоретично обґрунтовано, що нерівномірність (до $\pm 35\%$) і флуктуація ($\pm 10\%$) урожайності по площі поля впливають на пропускну здатність МСП. Зміна величини пропускної здатності МСП приводить до зміни значень зернових втрат за МСП. Встановлено, що для збільшення пропускної здатності ЗК за умови підвищення завантаження МСП механічні втрати зерна зростають за S-подібною залежністю. Вказане слугує однією з причин строкатості і варіації значень втрат за інтервалами обліку.

5. Визначено, що відносні значення втрат зерна за соломотрясом становлять 17,17% від загальних втрат зерна, а за решітним станом – 82,83%. Механічні

втрати зерна при обмолоті складають 0,6% при допустимих 1,5%. Квадратичне відхилення середніх сумарних значень втрат зерна змінюється від $\delta = 284$ до $\delta = 1540$ з коефіцієнтом варіації K_V від 0,37 до 0,88 (середнє $K_{Vc} = 0,61$).

6. Проведені виробничі дослідження показали, що в реальних умовах експлуатації завантаження двигуна і МСП становить $\approx 55\%$ від номінальних значень. При цьому за ЗК з продуктивністю 6,5–7 т/год реєструються фактичні втрати зерна 0,01...0,068% при допустимих 1,5%, а питомі витрати палива становлять 4,6 л/т, або 26 л/га.

7. Доведено, що при обрахуванні втрат зерна за МСП необхідно показувати не фіксоване значення, а середнє з імовірним коефіцієнтом варіації в межах 0,3–0,8. При енергетичній оцінці ефективності роботи ЗК потрібно враховувати два показники: пропускну здатність у чистому зерні і солонистій масі (кг/с), що дозволяє порівнювати енерговитрати (кВт·с/кг) на обмолот чистого зерна і проходження солонистої маси через молотарку.

8. В результаті експериментальних досліджень доведено, що найвищі показники за кількістю втрат зерна за МСП за 1 год зміни наступні: за соломотрясом $ms_i = 64,83$; за решітним станом $mr_i = 76,87$ зерен; у сумі $ms_i + mr_i = 141,7$. За термін зміни тривалістю $t_3 = 3,82$ год ≈ 541 зерен = 21 г $\approx 0,021$ кг, найменші втрати за 1 год – $ms_i = 5,36$ і ms зерен; $mr_i = 11,73$ і mr зерен, у сумі $ms_i + mr_i = 5,36 + 11,73 = 17,09$ зерен. За зміну тривалістю $t_3 = 7,33$ год втрати склали 125,26 зерен масою 5 г $\approx 0,005$ кг.

9. Експлуатаційні показники використання ЗК V і VII-го класів наочно характеризують різницю у продуктивності за годину – 7 т/год. і 26,6 т/год. відповідно. Питомі витрати палива – 4,6 л/т і 2 л/т; завантаження двигуна – max 55% і 58%; пропускну здатність по чистому зерну – 2 кг/с і 6,7 кг/с, по масі хлібостою – 4,6 кг/с і 13 кг/с; питома потужність на обмолот зерна – 44 кВт·с/кг і 22 кВт·с/кг, на масу хлібостою – 22 кВт·с/кг і 12 кВт·с/кг; втрати зерна – 0,067% і 0,68%.

10. Оцінка техніко-економічної ефективності проведених досліджень показала, що їх впровадження дозволять підвищити завантаження двигуна наявних ЗК на 20–25%. Вказане дає можливість додатково зібрати 2–5 т/год, зменшити втрати зерна від осипання на 10% і питому витрату палива на 0,5 л/т. При цьому максимальне значення втрат зерна не перевищуватиме нормативний показник.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коваль С. Напрямки розвитку конструкцій і узагальнені технічні показники зернозбиральних комбайнів. Техніка АПК. 2008. №4. С.28-31.
2. Коваль С., Кумпан В. Основні напрямки розвитку зернозбиральної техніки та ефективного її використання. Техніка АПК. 2008. №3. С. 4-8.
3. Демидко М. О., С. А. Демко Визначення впливу техніко-експлуатаційних показників і характеристик на продуктивність зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2004. Вип.73. С.198-206.
4. Грушецький С. М., Громик І. В. Аналіз ефективності використання зернозбиральних комбайнів VII-го класу. Матеріали IV Всеукр. наук.-прак. конф., «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» : зб. наук. праць / за заг. ред. С. С. Добранський. Житомир : АТК, 2018. С. 112-114.
5. Грушецький С. М., Громик І. В. Закономірності зміни швидкості руху зернозбирального комбайна V класу від зниження потужності двигуна. Матеріали XII Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, “Перші наукові кроки – 2018” : зб. наук. праць / за заг. ред. Ю.І. Панцира, Т.Д. Іщенко, В.І. Дуганця, О.М. Семенова. Кам’янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2018. С. 68.
6. Удовиченко Г.А. Випробування зернозбиральних комбайнів. Полтавський інститут АПВ ім. Вавілова Вісн. Полт.держ. аграр. акад. 2007. Вип.3. С. 133-137.
7. Войтюк В. Д., Демко А. А., Демко О. А. Визначення впливу використання зернозбиральних комбайні ДОН-1500 на їх експлуатаційні показники. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2009. Вип. 134. Ч. 2. С. 131-138.
8. Демко О.А. Вплив кваліфікації операторів на ефективність використання машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2009. Вип. 134. Ч. 2. С. 159-169.
9. Демко О. А., Демко А. А. Аналіз чинників, що визначають технічний стан комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

- природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 144. Ч. 2. С. 81-91.
10. Обґрунтування оптимального терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів (на прикладі комбайнів ДОН-1500) / М. О. Демидко, А. А. Демко, О. В. Надточій, О. А. Демко. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 144. Ч. 3. С. 299-306.
 11. Дубровін В. О., Демко О. А. Техніко-економічне обґрунтування прогнозованої роботи здатності зернозбиральних комбайнів із врахуванням терміну експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 144. Ч. 4. С. 29-39.
 12. До проблем ефективності використання сучасних зернозбиральних комбайнів / Л. В. Аніскевич, В. Д. Войтюк, А. А. Демко, О. В. Надточій, О. А. Демко. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 144. Ч. 4. С. 73-81.
 13. Моніторинг комбайнового ринку України / Д. Г. Войтюк, О. В. Надточій, В. Д. Войтюк, А. А. Демко, О. А. Демко. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2010. Вип. 144. Ч. 5. С. 197-207.
 14. Метод визначення технічного рівня сучасних зернозбиральних комбайнів з урахуванням експлуатаційних і конструктивних характеристик / В. О. Дубровін, А. А. Демко, О. В. Надточій, О. А. Демко. Техніка і технології АПК. 2011. № 11 (26). С. 32–36.
 15. Техніко-економічна оцінка рівня сучасних зернозбиральних комбайнів / В. О. Дубровін, А. А. Демко, О. В. Надточій, О. А. Демко. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 170. Ч. 1. С. 51–60.
 16. Визначення числових значень механічних втрат за молотаркою зернозбиральних комбайнів / О. А. Демко, А. А. Демко, А. А. Руденський, В. Е. Лукін, В. М. Решетюк. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 169–178.

17. Демко О.А. Вплив нерівномірності урожайності по полю на продуктивність зернозбиральних комбайнів / О. А. Демко, А. А. Демко, О. В. Надточій. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2013. Вип. 97. Т. 2. С. 450–456.
18. Дослідження залежності продуктивності ЗК від механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм (МСП) комбайнів / О. А. Демко, О. В. Надточій, Р. Я. Якимів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки та технологій для сільського господарства України*. 2014. Вип. 18 (32). Кн. 1. С. 165–177.
19. Демко О.А. Методика розрахунку ймовірних втрат зерна за МСП комбайнів ДОН-1500Б. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2014. Вип. 196. Ч. 1. С. 80–86.
20. Вплив механічних втрат зерна за молотильно-сепаруючим пристроєм комбайнів на їх продуктивність / Дубровін В. О., О. А. Демко, А. А. Демко, О. В. Надточій, Р. Я. Якимів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2014. Вип. 196. Ч. 2. С. 80–86.
21. Вплив техніко-технологічних факторів на ефективність використання зернозбиральних комбайнів / В. Д. Войтюк, С. С. Карабинеш, О. А. Демко. *Scientific Journal Innovative Solutions in Modern Science*. 2016. Vol. 5. P. 16–26.
22. Патент на корисну модель 70102, Україна, А01D 41/12. Пристрій для роздільного вимірювання втрат зерна / Демко А.А., Демко О.А., Дубровін В.О., Лендел Т. І., Лукін В.Е., Решетюк В.М., Руденський А.А.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201113793; заявлено 23.11.2011; опубліковано 25.05.2012, Бюл. № 10.
23. Демко О.А. Аналіз ефективного використання зернозбиральних комбайнів. *Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, присвячена 115-й річниці від дня народження академіка П. М. Василенка, м. Київ, 17-19 жовтня 2015 року: тези доповіді*. Київ, 2015. С. 18.
24. Демко О.А. Вплив параметричної надійності на ефективність використання зернозбирального комбайна. *Технічне забезпечення виробництва органічної продукції та біопалива в АПК: XXVIII Міжнародна агропромислова виставка*

- «АГРО-2016», м. Київ, 08–11 червня 2016 року: тези доповіді. Київ, 2016. С. 192–194.
25. Бойко А. І., Мороз М. М., Думенко К. М. Сучасні підходи до вирішення проблем забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського Національного технічного університету ім. П.М. Василенка. Харків. 2010. Вип 100: Проблеми надійності машин та засобів с.г. виробництва. С. 12-16.
 26. Визначення коефіцієнта відновлення ресурсу агрегатів / В. Д. Войтюк, А. А. Демко, О. В. Надточій, С. А. Демко. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ, 2003. Вип. 60. С. 273-280.
 27. Войтюк В. Д., Демко А. А., Надточій О. В. Визначення експлуатаційного показника технічного стану зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ, 2005. Вип. 80. ч.1. С. 171-177.
 28. Вплив технічного стану зернозбиральних комбайнів на їх продуктивність / В. Д. Войтюк, Демко А. А., Надточій О. В., Демко С. А. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ, 2003. Вип.60. С. 128-133.
 29. Войтюк В. Д., Демко А. А., Демко С. А. Вплив строків експлуатації на модель зміни працездатності комбайнів. Техніка АПК. 2005. №8. С.14-18.
 30. Демко С. А. Визначення впливу терміну використання зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні характеристики: автореферат дисертаційної роботи на здобуття кандидата технічних наук: 05.05.11. Київ : Національний аграрний університет. Київ, 2007. 20 с.
 31. Демко К.М. Розробка науково-технічних засобів забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів шляхом удосконалення систем їх технічного обслуговування. Кіровоград національний технічний університет. Кіровоград, 2012.
 32. Пат. 70102 Україна, Пристрій для роздільного вимірювання втрат зерна / Демко А.А, Демко О.А. Руденський А.А. / Заявник і патентотримач Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u 168 2011 13793 номер заявки, 23.11.2011 подача заявки, 25.05.2012 публікація відомостей, Бюл. №10.
 33. Рожанський О., Крейсал В. Оцінка рівня втрат зерна озимої пшениці у разі перестоювання врожаю на корені. Техніка і технології АПК. 2011. №3. С. 24-26.

34. Войтюка Д. Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : Київ : Вища освіта, 2005. 483 с.
35. Сидорчук О.В. Планування механізованих зернозбиральних робіт і проектів. Агроінженерно наука-виробництву. с. Глеваха. 2013. 153с.
36. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Технічне обслуговування машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2023. 360 с.
37. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
38. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / М. А. Ружицький, В.І. Рябець, В. М. Кіяшко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2010. 617 с.
39. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
40. Мельника І. І. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. Київ : Кондор, 2004. 284 с.
41. Лімонт А. С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві. Київ : Кондор, 2009. 280 с.
42. Павліський В. М., Нагірний Ю. П., Мельник І. І. Проектування технологічних систем рослинництва : навч. посіб. Тернопіль : Збруч, 2003. 264 с.
43. Проектування механізованих технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 556с.
44. Основи механізації сільськогосподарського вирощування : навч. посіб. / І. І. Ріпка та ін. Львів : ЛНАУ, 2013. 224 с.
45. Головчук А. Ф., Лімонт А. С., Бондаренко М. Г. Машиновикористання та екологія довкілля. Київ : Грамота, 2007. 360 с.
46. Квашук О. В. Сучасні інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008. 482 с.
47. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. / С. М. Грушецький та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 680 с.
48. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. / Бендера І. М., Грушецький С. М., Роздорожнюк П. І., Михайлович Я. М. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. 320 с.
49. Костюк М. І., Грушецький С. М. Ефективність використання зернозбиральних комбайнів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : матеріали ІХ

- Міжнар. наук.-прак. конф., м. Житомир, 5 квіт. 2023 р. Житомир : АТК, 2023. С. 148-149.
50. Костюк І. М. Закономірності зміни швидкості руху зернозбирального комбайна V класу від зниження потужності двигуна. *Перші наукові кроки – 2023* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2023. С. 33.
 51. Грушецький С. М., Костюк І. М., Овчарук О. В. Статистичні показники ефективності використання зернозбиральних комбайнів. Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика. Присвячена 125-річчю кафедри рослинництва НУБІП України матеріали V міжнародної науково-практичної онлайн конференції (м. Київ, 25-27 жовтня 2023 р.) / НУБІП України, 2023. С. 254-256.
 52. Гриценюк Б. В. Вплив потужності двигуна на швидкість руху зернозбиральних комбайнів V-класу. *Перші наукові кроки – 2025: збірник наукових праць XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (17 квітня 2025 р., м. Кам'янець-Подільський)*. Кам'янець-Подільський, 2025. С. 28.
 53. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
 54. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
 55. Левицька Ю. О. та ін. Основи агрономії. Київ : Аграрна освіта, 2008. 382 с.
 56. Кравченко М. С. Томашевський З. М. Практикум із землеробства. Київ : Мета, 2003.
 57. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярового в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Аналітичний огляд та результати дослідження : монографія. Суми : Унів. кн., 2007. 228 с.
 58. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівному обробітку. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
 59. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
 60. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.

61. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
62. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.
63. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І. Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
64. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
65. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового вирощування». 2-ге видання доп. і перероб. І. М. Бендера, та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
66. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 600 с.
67. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.

ДОДАТКОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
 КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ І СИСТЕМОТЕХНІКИ
 ІМЕНІ МИХАЙЛА САМОКИША

**Кваліфікаційна робота**

на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ
 ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА»**

здобувач вищої освіти освітнього ступеня «Магістр»
 освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
 спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання
ГРИЦЕНЮК Богдан Вікторович

Науковий керівник:
 кандидат технічних наук, доцент
ЗАМОЙСЬКИЙ Степан Михайлович

м. Кам'янець-Подільський, 2025 р.

2

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження підвищення техніко-технологічної ефективності використання ЗК шляхом раціоналізації завантаження двигуна та молотильно-сепаруючого пристрою (МСП) у межах нормативних втрат зерна.

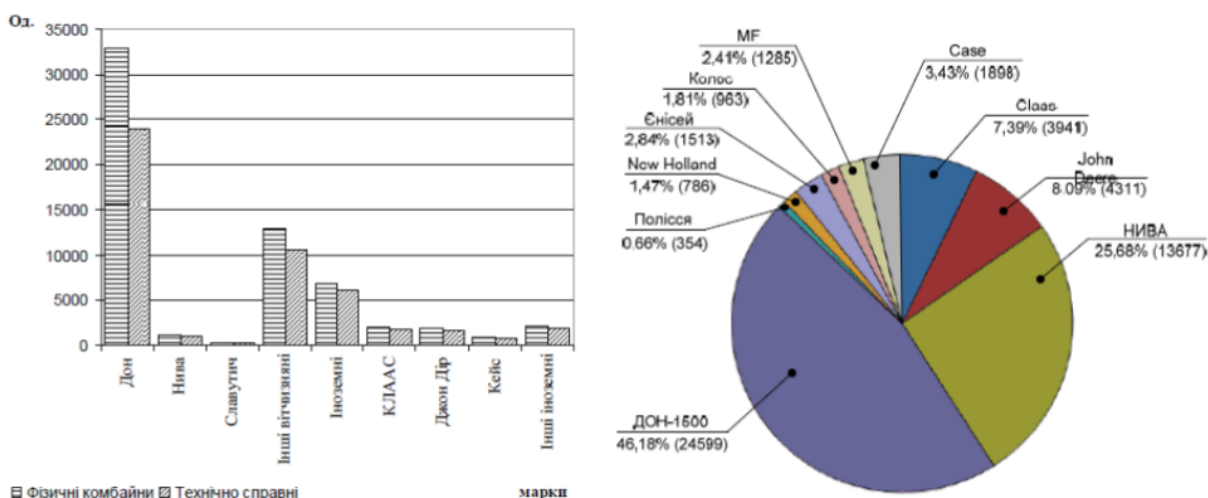
Об'єкт дослідження: технологічний процес обмолоту зернових культур.

Предмет дослідження: вплив завантаження і техніко-технологічних характеристик ЗК на механічні втрати зерна під час обмолоту.

Основні завдання досліджень:

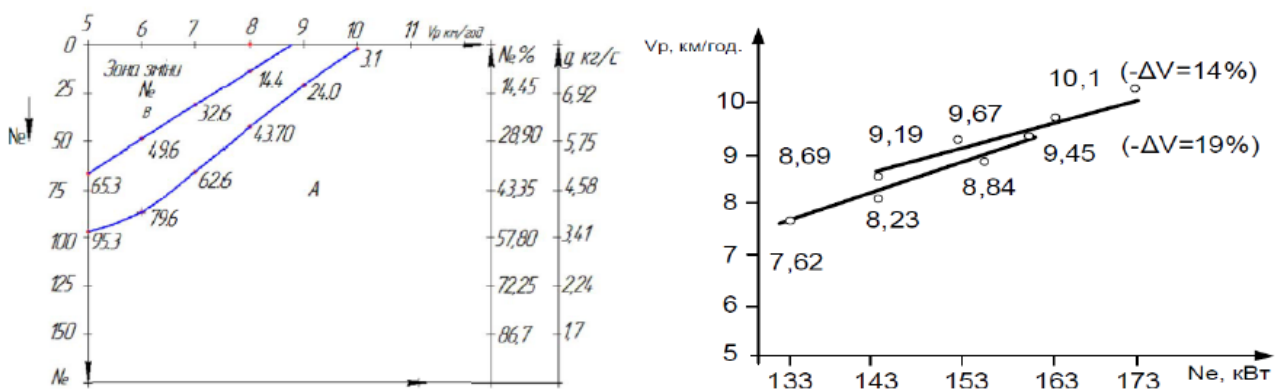
- провести аналіз літературних джерел з ефективності використання потужності двигуна і пропускної здатності МСП ЗК;
- визначити вплив зміни потужності двигуна при варіюванні швидкості руху в загінці залежно від експлуатаційного показника пропускної здатності МСП і характеристик хлібостою;
- провести аналіз впливу стану зернових за площею поля з нерівномірним та флуктуаційним розподілом урожаю на пропускну здатність МСП, а також на величину механічних втрат зерна від фактичного завантаження молотарки ЗК хлібною масою;
- визначити показники втрат зерна за соломотрясом і решітним станом залежно від завантаження ЗК та дати порівняльну оцінку експлуатаційних показників використання ЗК з урахуванням енергетичних затрат при обмолоті хлібної маси;
- визначити в умовах виробничої експлуатації вплив технічних показників ЗК на фактичні втрати зерна та провести техніко-економічну оцінку наукових досліджень.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРКУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ УКРАЇНИ



Загалом середнє навантаження на 1 комбайн у 2025 році становило 270 га або 802 т (при урожайності 2,97 т/га), а враховуючи технічний стан (79% справних) – відповідно 340 га або 1010 т. При цьому кожний рік незмінно простежується тенденція до зниження кількості парку комбайнів.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ



Залежність зміни залишкової потужності двигуна ЗК від швидкості руху і фактичної потужності $N_{eф}$:

Закономірності зміни швидкості руху ЗК від параметричної надійності двигуна

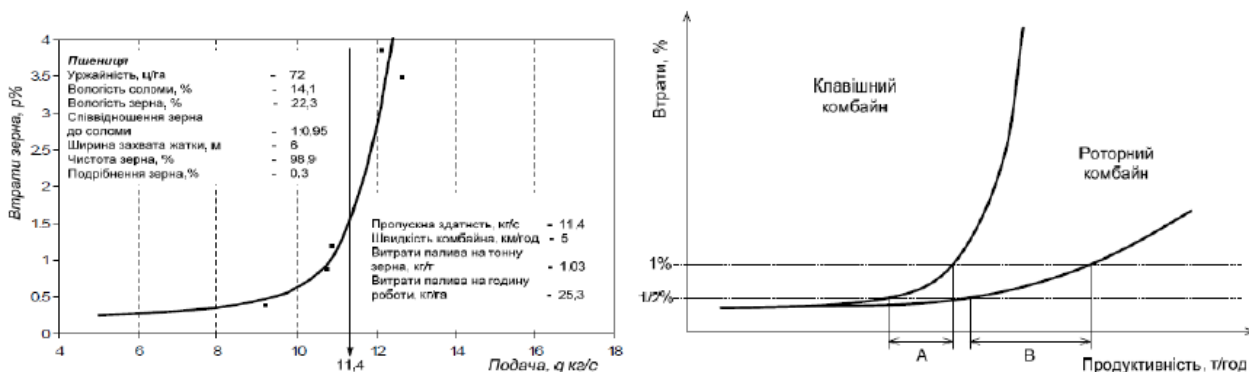
A - сектор використання потужності на рух ЗК і обмолот;

B - сектор залишкової потужності двигуна.

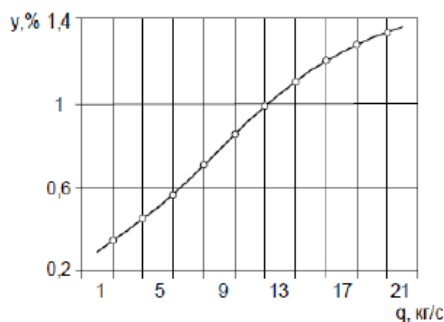
РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МПС ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Марка комбайна	Потужність, кВт/к.с	Маса, кг	Об'єм бункера, л	Об'єм паливного бака, л	Розрахункова пропускна здатність, кг/с (формула)		
					(12)	(8)*	(6)**
Lexion 580	330/450	16560	10500	800	17,0	62,06	–
Lexion 570	312/425	15725	10500	800	16,0	62,06	–
Lexion 560	265/360	14410	10500	800	14,0	62,06	–
Lexion 550	236/321	14410	9600	800	12,64	62,06	–
Lexion 540	210/286	14410	8600	700	11,83	62,06	–
Лида-1300	191/260	13360	6300	520	9,45	–	8-9
Лида-1600	239/325	17000	9000	650	10,9	–	12-14
ДОН-1500Б	173/235	13300	6000	500	8,55	13,82	9,5
Вектор 420	154/210	12700	6000	500	7,57	–	7,7
Нива -эф	106/145	8087	3000	300	5,57	–	5,6
ACROS 530	184/250	16440	9000	540	8,36	–	9,7

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНУ



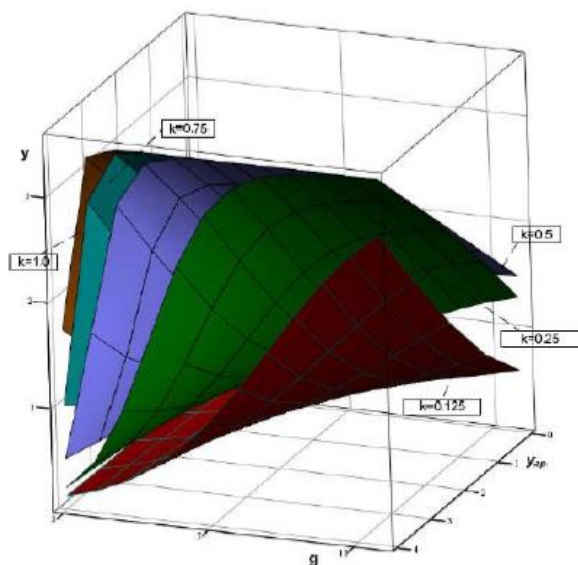
Залежність втрат зерна за модотаркою комбайна «Dominator 108 SL Maxi» від подачі хлібної



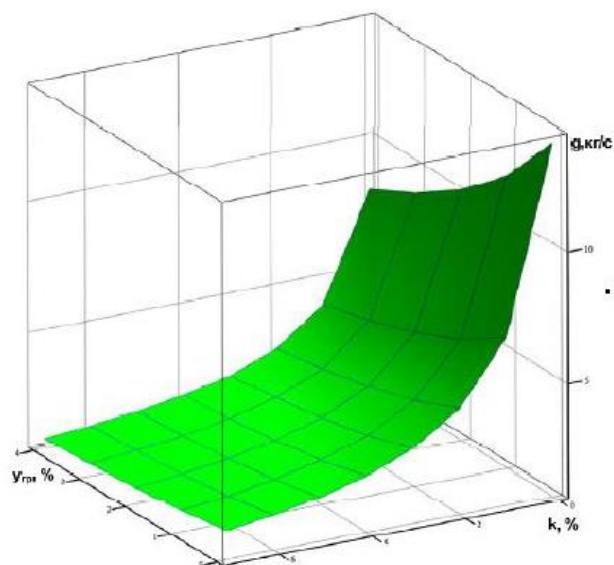
Залежність механічних втрат зерна від пропускної здатності ЗК

Залежність механічних втрат за МСП ЗК від продуктивності ЗК

ПОВЕРХНІ ВІДГУКУ



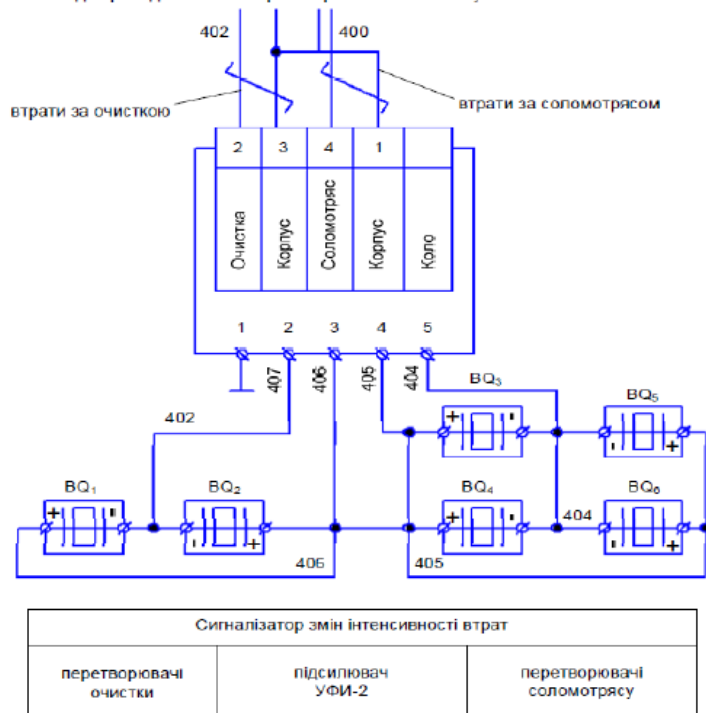
Поверхні відгуку зміни механічних втрат від ступеня завантаженості молотарки через пропускну здатність, кг/с



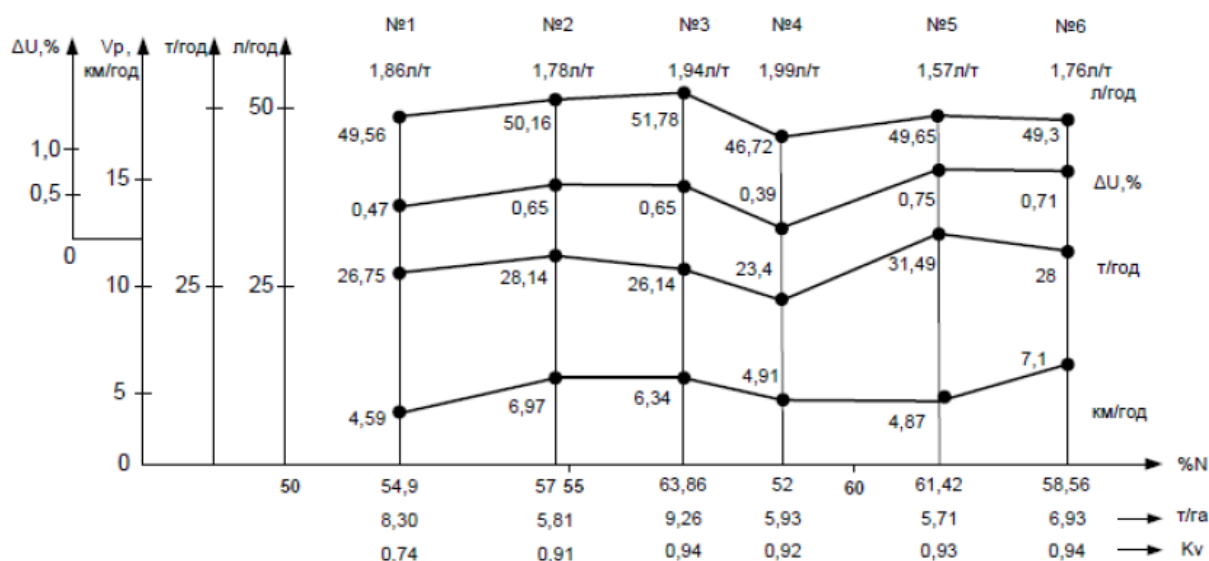
Характеристична залежність пропускну здатності від коефіцієнта осипання зерна (k) та граничного значення втрат за МСП

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВТРАТ НА КОМБАЙНІ V-ГО КЛАСУ

до приладної панелі зернозбирального комбайну



СТАТИСТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗК VII-ГО КЛАСУ



Залежності ступеня завантаження двигуна (%), основних експлуатаційних показників, середнього значення завантаження двигуна – середніх значень витрати палива за год (л/год), продуктивності за годину (т/год), робочої швидкості в загінці (км/год), питомої витрати палива (л/год), відносних значень втрат зерна за МСП (%).

РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИ X ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЗК VII-ГО КЛАСУ

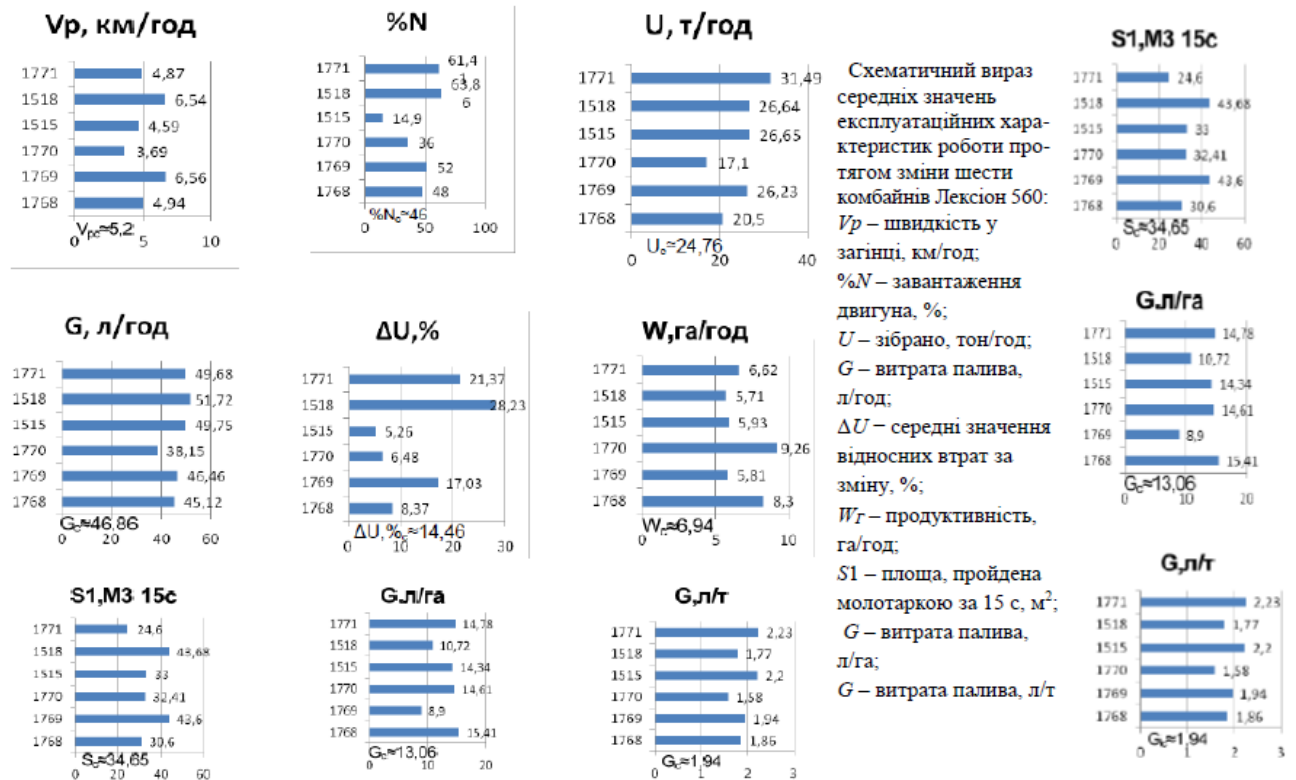
Позначення	№ комбайна						
	1515	1518	1771	1768	1769	1770	Σ/n_i
Q_r , л/год	49,57	51,72	49,68	45,12	46,46	38,15	46,78
Q_n , л/га	8,30	8,90	14,61	14,34	10,72	14,78	11,94
ΔQ , л/т	1,86	1,94	1,58	2,20	1,71	2,28	1,94
ΔU , %	5,26	28,23	21,37	13,0	33	10,67	18,58
ΔS , м ²	30,60	43,60	32,50	33,0	43,68	24,6	34,66
U_s , т/зміну	384,82	499,68	475,03	125,67	183,88	120,82	189
Δm , од	35<208	94<146	150<23 0	41<237	107<14 2	67<165	182<18 8
$\Delta \Delta U$, %/м ²	0,17<1 %	0,65<1 %	0,65<1 %	0,39<1 %	0,75<1 %	0,41<1 %	0,5<1%
W_s , га/зміну	46,13	83,41	51,44	37,36	36,26	30,11	28,52
га/год	3,24	4,58	3,40	3,45	4,59	2,58	3,64
U_n , т/га	8,30	5,81	9,26	5,93	5,71	6,62	6,93
T_s , год	14,44	18,75	15,09	5,35	7,90	7,07	
	26,64	26,6	31,48	20,45	23,41	17,0	

СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДНОСНИХ ЗНАЧЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ ЗЕРНА ВІДНОСНО СЕРЕДНІХ ЗНАЧЕНЬ ПО НОМЕРАХ КОМБАЙНАХ

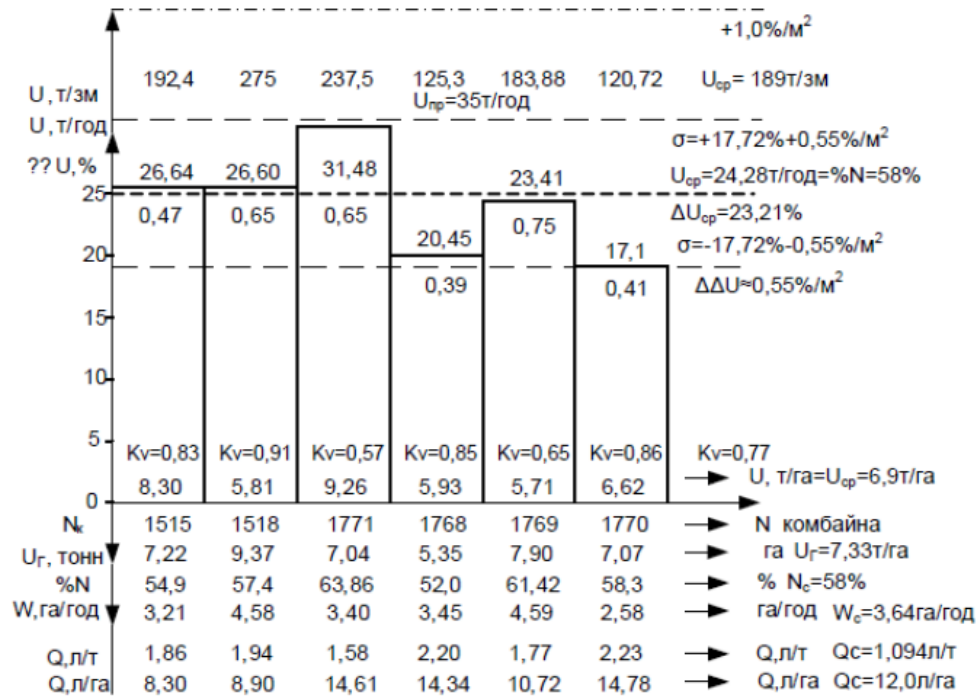
№ п/п	Середні значення						
	№ комбайна						
	1515	1518	1771	1766	1768	1769	1770
$\Delta U, \%$	5,26	28,24	21,37	28,31	12,99	32,93	10,17
Д	34,24	544,79	380,20	259,62	122,33	462,27	80,96
σ	5,85	23,34	19,50	16,12	11,06	21,50	8,99
K_v	1,11	0,83	0,91	0,57	0,85	0,653	0,86

Суттєвими для виробників служать такі питомі показники: витрата палива на збирання 1 га зернової культури (л/га) і питома витрата палива на збирання 1 тонни зерна (л/т). Найменша витрата палива 8,30 л/га була за комбайном № 1515 при збиранні зернової культури (пшениця) урожайністю $U_{га}=8,30$ т/га, завантаження двигуна $N_e=14,9\%$. Сумарні витрати за термін зміни за середніми значеннями дорівнюють 5,26%. Питомі відносні втрати зерна за МСП становлять 0,17% на 1 м² а при 1,5%, що складає 18,33% від нормативного значення. Числове значення фактичних втрат зерна на 1 м² становить 35 одиниць при нормативних 208 одиницях. Якщо у виробничих умовах оператор у виборі робочої швидкості в загінці керується відносними значеннями візуального приладу, розміщеного в кабіні, то робочу швидкість можна підвищувати до 6 км/год, тобто продуктивність можна збільшувати на 30%. Намолот зерна за 1 годину збільшиться від 26,65 до 35 т/год, у гектарах – від 3,21 до 4,26 га/год, за контрольований термін можливо зібрати ≈ 60 (га), намолот зерна – до 500 т.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБАЙНІВ VII-ГО КЛАСУ



ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБАЙНІВ VII-ГО КЛАСУ



Експлуатаційні показники використання Lexion 560 за термін змін
 Узагальнюючий показник економічної ефективності для ЗК VII-го класу складатиме 2530 грн./год.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ІД»
 НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
 ІМЕНІ С.З. ГРИЦЬКОГО
 ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІ ЛАН»
 ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА
 НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
 СТУДЕНТІВ ТА
 МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

«Перші наукові кроки – 2025»

17 квітня 2025 р.

Кам'янець-Подільський
2025

Міністерство освіти і науки України
 Ministry of Education and Science of Ukraine
 Вищий навчальний заклад «Подільський державний університет»
 Higher Educational Institution-Podilsk State University
 Інженерно-технічний факультет
 Faculty of Engineering and Technology
 Кафедра технічного сервісу і загальноосвітних дисциплін
 Department of Technical Service and General Technical Subjects
 Варшавський університет прикладних наук
 Warsaw University of Life Sciences
 Університет прикладних наук у Тернополі
 University of Applied Sciences in Ternopol
 Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонташа
 University of Agriculture in Krakow
 Державна академія прикладних наук у Хмельні
 State Academy of Applied Sciences in Chelm
 Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
 International Academy of Applied Sciences in Lomza
 Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
 Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
 National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
 Ніжинський національний аграрний університет
 Vinnytsya National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:
 виклики і можливості»
 «Modern Technologies and Technical Service:
 Challenges and Opportunities»**

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ
 CONFERENCE PROCEEDINGS**

I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
 1st International Scientific and Practical Internet Conference

16 жовтня 2025 року
 October 16, 2025
 м. Кам'янець-Подільський
 Kamianets-Podilskiy

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Робота присвячена вирішенню актуального інженерного завдання підвищенню техніко-технологічної ефективності використання зернозбиральних комбайнів.

1. Проведений аналіз літературних джерел показав, що більшість робіт присвячених дослідженню впливу технічних і технологічних рішень щодо ефективності використання ЗК не дав відповіді на вплив продуктивності ЗК від їх технічних і технологічних параметрів, закладених у конструкцію ЗК, характеристик хлібостою, а також механічних втрат зерна за МСП.

2. Визначено вплив зниження потужності двигунів при зношуванні і розрегульованості ЗК на їх продуктивність. Теоретично доведено, що при зниженні ефективної потужності двигуна на 14% робоча швидкість ЗК в загінці зменшується на 16% за лінійною залежністю. Враховуючи те, що можливість вибору оптимальної робочої швидкості в загінці зменшується, то знижується і продуктивність ЗК. Доведена необхідність постійного моніторингу стану двигуна ЗК і превентивної оцінки його стану на необхідність технічного обслуговування, або ремонту двигуна ЗК, або врахувати це при прогнозуванні термінів жнив.

3. Методом інтегральної оцінки визначено значення експлуатаційного показника пропускної здатності МСП, при якій розрахункова продуктивність ЗК при заданій потужності двигуна і пропускній здатності МСП рівнозначні. Визначено раціональний показник пропускної здатності ЗК. Доведено, що пропускна здатність МСП не є сталою величиною. Із загальним зниженням потужності двигуна до 17%, ККД гідросистем, пасових і ланцюгових передач, механічних систем і механізмів до 10% пропускна здатність МСП зменшується на 28%.

4. Теоретично обґрунтовано, що нерівномірність (до $\pm 35\%$) і флуктуація ($\pm 10\%$) урожайності по площі поля впливають на пропускну здатність МСП. Зміна величини пропускної здатності МСП приводить до зміни значень зернових втрат за МСП. Встановлено, що для збільшення пропускної здатності ЗК за умови підвищення завантаження МСП механічні втрати зерна зростають за S-подібною залежністю. Вказане слугує однією з причин строкатості і варіації значень втрат за інтервалами обліку.

5. Визначено, що відносні значення втрат зерна за соломотрясом становлять 17,17% від загальних втрат зерна, а за решітним станом – 82,83%. Механічні втрати зерна при обмолоті складають 0,6% при допустимих 1,5%. Квадратичне відхилення середніх сумарних значень втрат зерна змінюється від $\delta = 284$ до $\delta = 1540$ з коефіцієнтом варіації K_V від 0,37 до 0,88 (середнє $K_{Vc} = 0,61$).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

6. Проведені виробничі дослідження показали, що в реальних умовах експлуатації завантаження двигуна і МСП становить $\approx 55\%$ від номінальних значень. При цьому за ЗК з продуктивністю 6,5–7 т/год реєструються фактичні втрати зерна 0,01...0,068% при допустимих 1,5%, а питомі витрати палива становлять 4,6 л/т, або 26 л/га.

7. Доведено, що при обрахуванні втрат зерна за МСП необхідно показувати не фіксоване значення, а середнє з імовірним коефіцієнтом варіації в межах 0,3–0,8. При енергетичній оцінці ефективності роботи ЗК потрібно враховувати два показники: пропускну здатність у чистому зерні і соломистій масі (кг/с), що дозволяє порівнювати енерговитрати (кВт·с/кг) на обмолот чистого зерна і проходження соломистої маси через молотарку.

8. В результаті експериментальних досліджень доведено, що найвищі показники за кількістю втрат зерна за МСП за 1 год зміни наступні: за соломотрясом $ms_i = 64,83$; за решітним станом $mr_i = 76,87$ зерен; у сумі $ms_i + mr_i = 141,7$. За термін зміни тривалістю $t_s = 3,82$ год ≈ 541 зерен = 21 г $\approx 0,021$ кг, найменші втрати за 1 год – $ms_i = 5,36$ і $mr_i = 11,73$ і mr_i зерен, у сумі $ms_i + mr_i = 5,36 + 11,73 = 17,09$ зерен. За зміну тривалістю $t_s = 7,33$ год втрати склали 125,26 зерен масою 5 г $\approx 0,005$ кг.

9. Експлуатаційні показники використання ЗК V і VII-го класів наочно характеризують різницю у продуктивності за годину – 7 т/год. і 26,6 т/год. відповідно. Питомі витрати палива – 4,6 л/т і 2 л/т; завантаження двигуна – max 55% і 58%; пропускна здатність по чистому зерну – 2 кг/с і 6,7 кг/с, по масі хлібостою – 4,6 кг/с і 13 кг/с; питома потужність на обмолот зерна – 44 кВт·с/кг і 22 кВт·с/кг, на масу хлібостою – 22 кВт·с/кг і 12 кВт·с/кг; втрати зерна – 0,067% і 0,68%.

10. Оцінка техніко-економічної ефективності проведених досліджень показала, що їх впровадження дозволять підвищити завантаження двигуна наявних ЗК на 20–25%. Вказане дає можливість додатково зібрати 2–5 т/год, зменшити втрати зерна від осипання на 10% і питому витрату палива на 0,5 л/т. При цьому максимальне значення втрат зерна не перевищуватиме нормативний показник.

ДОДАТОК Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

**ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ ТА
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ**

«Перші наукові кроки – 2025»

17 квітня 2025 р.



*Кам'янець-Подільський
2025*



Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Higher Educational Institution «Podillia State University»



Інженерно-технічний факультет
Faculty of Engineering and Technology
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Department of Technical Service and General Technical Subjects

Варшавський університет природничих наук
Warsaw University of Life Sciences

Університет прикладних наук у Тарнові
University of Applied Sciences in Tarnow

Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая
University of Agriculture in Krakow

Державна академія прикладних наук у Хелмі
State Academy of Applied Sciences in Chelm

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
International Academy of Applied Sciences in Lomza

Інститут механіки та автоматизації агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Вінницький національний аграрний університет
Vinnitsia National Agrarian University

**«Сучасні технології та технічний сервіс:
ВИКЛИКИ І МОЖЛИВОСТІ»**

**«Modern Technologies and Technical Service:
Challenges and Opportunities»**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ CONFERENCE PROCEEDINGS

**I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
1st International Scientific and Practical Internet Conference**



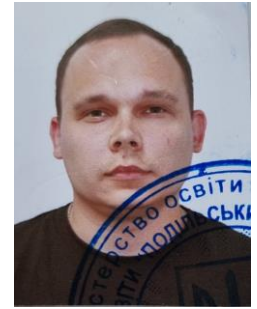
16 жовтня 2025 року
October 16, 2025

м. Кам'янець-Подільський
Kamianets-Podilskyi

ВПЛИВ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА НА ШВИДКІСТЬ РУХУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ V-КЛАСУ

Гриценюк Б.В. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
Керівник – канд. техн. наук, доцент Грушецький С.М.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»



Навантаження на один фізичний зернозбиральний комбайн складає 189 га, на технічно справний – приблизно 218 га або 770 т. Понад 70 % комбайнів мають термін експлуатації до 30 років з ймовірним значенням коефіцієнта готовності 0,4-0,7, які намолочують 200-600 т; втрати від біологічного осипання досягають мінімум 10 % від валового збору [1]. Причинами значних втрат вирощеного урожаю є високе фізичне навантаження на комбайн і низька ефективність використання наявного парку за потужністю двигуна та пропускною здатністю молотарки, агробіологічним станом хлібної маси, втратами зерна за молотаркою та ін.

В умовах реального виробництва потужність двигунів зернозбиральний комбайн і пропускна здатність молотарки використовуються максимально до 57-63 % від номінального завантаження. Ось чому тема роботи є актуальною, а сама робота має значну практичну цінність як для виробників ЗК, так і для їх користувачів, а також у навчальному процесі при підготовці інженерних кадрів сільськогосподарського виробництва.

Вплив фактичної потужності двигуна зернозбирального комбайна V класу на швидкість руху та показники призначення зернозбиральних комбайнів показано на рис. 1.

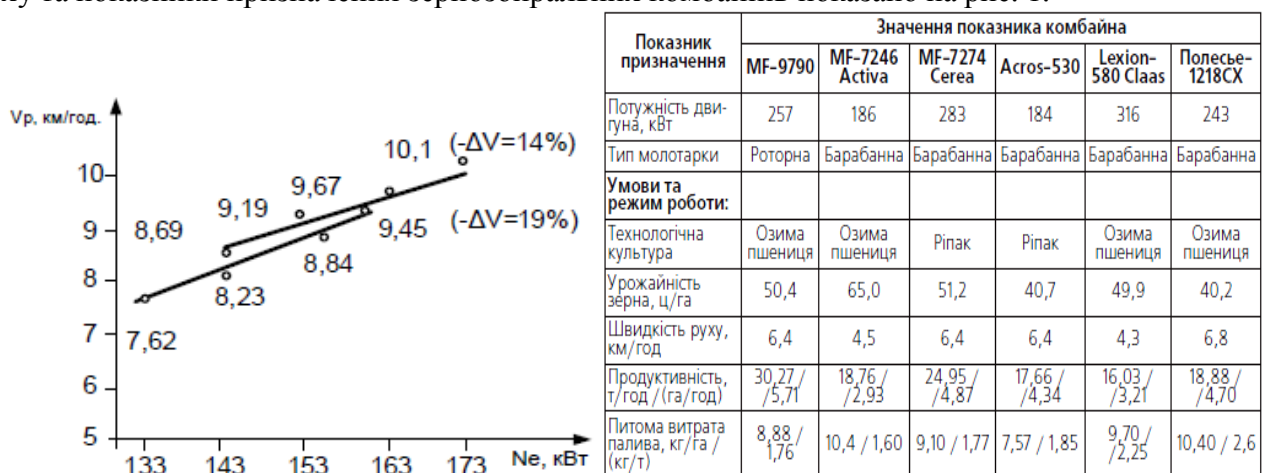


Рис. 1. Закономірності зміни швидкості руху ЗК V класу від зниження потужності двигуна

Висновки. Проведений аналіз показує доцільність врахування імовірного зниження потужності двигуна із збільшенням наробітку при прогнозуванні темпів жнив. Технологічна характеристика – нерівномірність і флуктуація урожайності ($U(1+\delta_c) = U_{cp}$) по площі поля суттєво впливає на ефективність використання ЗК через ступінь завантаження МСП і на зміну механічних втрат.

Список використаних джерел

1. Грушецький С.М., Громик І.В. Закономірності зміни швидкості руху зернозбирального комбайна V класу від зниження потужності двигуна. *Матеріали XII Всеукр. наук.-прак. конф. студ. та молодих науковців, «Перші наукові кроки – 2018»*. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2018. С. 68.