

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.354.2(477.41)

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного

факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

менеджменту імені

М. П. Момотенка

Братішко В. В.

(підпис)

(ПІБ)

Роговський І. Л.

(підпис)

(ПІБ)

«~~11~~» ~~12~~ 2022 р.

«~~11~~» ~~12~~ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Обґрунтування складу машин для комплексного збирання пшениці

з одночасним пресуванням соломи у ТОВ «Обрій» Білоцерківського району

Київської області

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, с.н.с.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф.

Роговський Іван Леонідович

Виконав

Мартинюк Євгеній Іванович

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту
імені М. П. Момотенка, д.т.н., проф.
Роговський І. Л.

« _____ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТУ

Мартинюку Євгенію Івановичу

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма Агроінженерія

Магістерська програма Агроінженерія

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи **«Обґрунтування складу машин для комплексного збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи у ТОВ «Обрій» Білоцерківського району Київської області»**

затверджена наказом ректора НУБіП України від 21 грудня 2021 р. № 2218
«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25.10.2022

Вихідні дані до магістерської роботи науково-технічна література, результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах до вивчення технології обґрунтування складу машин для комплексного збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан проблеми і постановка задач дослідження.
2. Теоретичні дослідження.
3. Експериментальні дослідження.
4. Реалізація обґрунтування складу машин для комплексного збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи
5. Оцінка економічної ефективності технічних рішень.

Перелік графічного матеріалу електронна презентація на 15 слайдах

Дата видачі завдання «15» листопада 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
доктор технічних наук, професор

Роговський Іван Леонідович

Завдання прийняв до виконання _____

Мартинюк Євгеній Іванович

ЗМІСТ

НУБІП України

ВСТУП

5

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КОЛОСОВИХ КУЛЬТУР

НУБІП України

1.1 Основні вимоги до збирання зернових колосових культур та застосована техніка

7

1.2 Аналіз перспективних технологій комплексного збирання зернових колосових культур із застосуванням багатофункціональних агрегатів

12

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КОЛОСОВИХ КУЛЬТУР

19

2.1 Синтез багатофункціонального агрегату (МФА) на базі самохідного зернозбирального комбайна

19

НУБІП України

2.2 Тягово-потужний баланс МФА для збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи

22

2.3 Математична модель та алгоритм оптимізації параметрів та режимів роботи МФА на базі самохідного зернозбирального комбайна

28

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

36

3.1 Програма проведення досліджень

36

НУБІП України

3.2 Обладнання, прилади та апаратура, що застосовуються у дослідженнях

37

3.3 Методика динамометрування прес-підобирача ПРФ-180 у складі МФА

40

3.4 Методика оцінки якості роботи комбайна

42

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

55

4.1 Оптимальні параметри та режим роботи МФА на базі комбайна

з одночасним пресуванням соломи	55
4.2 Експлуатаційно-технологічна оцінка жнив МФА	60
4.3 Якість роботи комбайна у складі МФА та якість зерна	68
4.4 Методика інженерного розрахунку жнив МФА з одночасним пресуванням соломи	71

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	75
---	----

5.1 Нова технологія комплексного збирання пшениці МФА на базі самохідного комбайна з одночасним пресуванням соломи	75
5.2 Комплексна оцінка ефективності запропонованої технології	77

ВИСНОВОК	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку механізації збирання зернових та зернобобових культур, на жаль, поки що не дозволяє вирішувати давно відому проблему комплексного збирання: головне при цьому завдання

– мінімізувати простий машин через неузгодженість їхньої роботи, прибрати врожай в агротехнічні терміни та підготувати поле під посів майбутнього врожаю наступного року. Після збирання поле має бути негайно зоране. За добу неворане поле зі стернею втрачає до 100 т води з 1 га, а затримка підйому зябку на 2-3 дні знижує врожайність наступного року на 1,5-2 ц/га [41].

Як показує практика збиральних робіт, як і має місце простий машин, не витримуються ні передбачені агротехнічні терміни, ні обробка прибраних полів, і, як наслідок невеликий урожай [41]. Ні лушення стерні, ні оранка не виконуються в агростроки, через це знижується збереження ґрунтової вологи, урожай і підвищується опір ґрунту при подальшому його обробітку. Те саме відбувається і з пресуванням соломи.

Недолки сучасної технології збирання можна ще продовжити, але комбайнові технології збирання врожаю мають найширше поширення у світі і застосовуються на 99% збиральних площ [7].

Нині необхідні нові агротехнології, а головне їх основні складові технічні засоби, що забезпечують багаторазове підвищення продуктивності праці, колосальне зниження енерго- та грошових витрат, підвищення врожайності та якості продукції.

До недоліків сучасних технологій збирання зернових культур відносяться також втрати врожаю, низька якість зерна (дроблення, пошкодження), висока енергоємність збиральних машин (сильне ущільнення ґрунту, собівартість зерна та ін. У багатьох працях часто наголошується, що сучасні машинні технології в рослинництві порівняно із зарубіжними працездатні, енергоємні, металомісткі і не дозволяють вирішувати головне завдання мінімізувати втрати врожаю, простої машин, своєчасно прибрати врожай та підготувати основу врожаю наступного року.

Застосування на збиранні зерна комбайнів з білими молотильними барабанами призводить до високого травмування зерна, а також до додаткових непрямих втрат та зниження якості. Невипадково зерно мало затребуване там чи реалізується за низьким класом якості [11, 16]. Підвищити якість зерна можна за рахунок молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП) роторного типу з декою, що обертається [10].

Таким чином, усунення зазначених недоліків застосовуваного комбайнового збирання можливе за рахунок створення та впровадження нових технологій комбайнового збирання на базі багатофункціональних збиральних агрегатів (МФА) з одночасним пресуванням соломи.

Великий внесок із сучасних розробок зробили наші вітчизняні вчені: Костянтинов М. М., Старцев А. С., Блідих В. В., Бур'янов А. І., Горбачов І. В., Дідманідзе О. Н., Жалнін Е. Ст. Ст., Кленін Н. І., Ізмайлов А. Ю., Лачуга І. Ф., Липкович Е. І., Льовшин А. Р., Маслов Р. Р., Плешаков Ст. Н., Трубілін Е. І., Табашніков А. Т., Чеботарьов М. І., Шабанов Н. І., Скорляков В. І. і багато інших. Їхні ідеї та рекомендації використовуються у вдосконаленні сучасних технологій збирання зерна. Принципово нові підходи в механізації збиральних процесів розроблені Липковичем Е. І., Бур'яновим А. І., Леженкіним А. Є., Абасвим В. В., Масловським В. І. та ін. Однак, потрібне доповнення теоретичних та експериментальних досліджень щодо суміщення технологічних операцій одночасно зі збиранням зерна, обґрунтування оптимальних параметрів багатофункціональних агрегатів (МФА) та режимів їх роботи. Це стосується також і збирального МФА з одночасним пресуванням соломи.

Мета дослідження - зниження витрат, підвищення продуктивності праці, комплексності робіт і якості зерна за прямого комбайнування.

Об'єкт досліджень – технологічний процес збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи.

Предмет досліджень - обґрунтування параметрів та режимів роботи технологічного процесу для одночасного збирання зерна та пресування соломи, а також показників якості зерна при збиранні.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КОЛОСОВИХ КУЛЬТУР

1.1 Основні вимоги до збирання зернових колосових культур

Високий внесок у розвиток сучасної теорії вдосконалення виробничих процесів збирання врожаю зернових колосових культур зробили найкращі вітчизняні вчені, нові способи збирання, інноваційні технології, застосування нової збиральної техніки та транспортування зерна від комбайнів, прями та непрямі втрати, витрата палива, підвищення продуктивності праці на прибиранні, комплексне проведення живих та зниження витрат.

Аналіз комбайнового збирання зернових колосових дозволив зробити висновок, що дотепер і на найближчу перспективу цей спосіб є основним. За даними досліджень [7] комбайновим способом забирається 99 % усієї прибиральної площі. Удосконалення технологій збирання спрямоване на подальше підвищення продуктивності праці, якості збирання [13], зниження втрат урожаю [14-17], витрат усіх видів (енергетичних, трудових, грошових) та шкідливого впливу збиральної техніки на екологію (ущільнення та розпилення) ґрунту важкими машинами, забруднення його ТСМ та ін). [19]

Розглянемо широко застосовувані технології збирання зернових колосових культур. Для збирання врожаю пшениці рекомендуються такі способи: пряме комбайнування, роздільне збирання, очес зерна на корені.

Незернова частина врожаю (НЧВ) використовується за трьома напрямками:

1) подрібнюється комбайнами або підбирачами РС-2 та розкидається по полю для мульчування або на добриво; 2) пресується в пакунки або рулони; 3) заготовляється у розсипному вигляді на господарські потреби – на підстилку тваринам, кормові добавки тощо (рисунки 1.8-1.10).

При роздільному збиранні до скошування хлібної маси у валки косаркою СС-1 (рисунок 1.1) приступають у середині воскової стиглості зерна, коли його вологість знижується до 30–32 %. Підбір валків повинен проводитися не пізніше ніж через 3-4 дні після скошування комбайнами (рисунки 1.1-1.2).

Прямим комбайнуванням збирають зерно, коли його вологість знизиться до 18-20 %. Збирання повинно проводитися в стислий термін, не більше 5 календарних днів, оскільки після цього терміну різко збільшується біологічні та механічні втрати врожаю, а також знижується його якість [145].

За результатами експертної оцінки із залученням кваліфікованих спеціалістів, встановлено раціональне поєднання способів збирання.



а)

б)

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд мобільного енергозасобу ES-1 з жнивваркою ЖХТ-9 (а) та комбайна СК-5М «Нива-Ефект» (б).

При цьому пряме комбайнування на збиранні пшениці повинне займати 50,9 % загальної площі, роздільне збирання – 13,8 %, загальна кількість зернових на корені – 35,3 %. Оптимальну тривалість збирання пшениці з урахуванням 4-5 соргів можна планувати 20-25 календарних днів, але кожен сорт має збиратися не більше ніж за 5 днів, щоб уникнути втрат урожаю та зниження якості зерна.

Організація збирання врожаю будується на основі збирально-транспортних комплексів (УТК) – тимчасових колективів з відповідним технічним оснащенням, що створюється на період збирання [49, 58, 94, 105, 138, 139, 140] УТК включає наступні 6 ланок:

Ланка підготовки полів: енергозасіб ES-1 з жнивваркою ЖХТ-9(18) (рисунок 1.1, а), трактор із плугом та засобами пожежогасіння; трактор із ємністю для води

Три-чотири збирально-транспортні ланки, у кожній з яких по 3...4

зернозбиральних комбайна та 2...3 накопичувача-перевантажувача зерна ПБН-20 з тракторами К-3180 (рисунки 1.1, 6, 12-17).

Ланка заготівлі соломи МТЗ-920+ПШР-120, К-3180+Big Pack; МТЗ-920+ПШР-10; МТЗ-920+ТП-Ф-45; МТЗ-82.1 + ПКС-1,6; МТЗ-920+ПІС-2.

Ланка технічного обслуговування польового ремонту: МТЗ+920+ПА-ТОР з газоелектрозварювальним обладнанням.

Ланка пущення стерні: трактор з дисковою бороною чи пуцильником

Ланка побутового обслуговування операторів: польова їдальня, автобус, вагончик для відпочинку під час цілодобової роботи.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд комбайнів ДОН-1500Б (а) та «Вектор-410»

(б)

Практика показала, що застосування УТК забезпечує високу ефективність, скорочуючи терміни проведення жнив, що дозволяє закласти міцну основу майбутнього врожаю.

Комплекс рекомендованих жнив представлений на рисунках 1.1-12



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд комбайнів «Acres-550» (а) та «TCRUM-

740» (б)



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд жнивarki двобарабанної очисної «Агро-Союз-Слов'янка»



Рисунок 1.5 – Загальний вид жатки, що очисує (Великобританія)

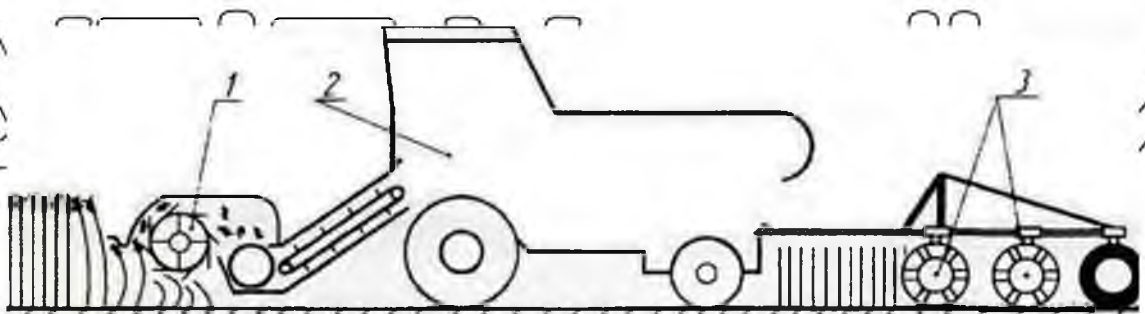


Рисунок 1.6 – Технологічна схема МФА на базі зернозбирального комбайна: 1 – жнивarka; 2 – комбайн; 3 – ґрунтообробний агрегат



Рисунок 1.7 – Загальний вид бункера-накопичувача, що перевантажує



Рисунок 1.8 – Процес вивантаження зерна на току великовантажними причепами ПВН-20 (Україна)

бункера-накопичувача, що перевантажує вивантаження зерна на току

великовантажними причепами

ПВН-20 (Україна)

Особливу актуальність є транспортування зерна від комбайнів. Вирішення

цієї проблеми має ефективно позначатися на економічних та екологічних показниках збирального процесу: повинні бути відсутні ущільнення ґрунту важким автотранспортом та простої комбайнів та транспортних засобів.

Успішно вирішується завдання з використанням на відвезенні зерна від комбайнів у полі перевантажувальним бункера-перевантажувача ПБН-20 (рисунк 1.7) зі зважувальним пристроєм.

Аналіз застосовуваних технологій та літературних джерел [22, 27, 33, 41, 49, 60] дозволив сформулювати основні вимоги до збирання зернових

колосових культур: 1) комплексне проведення всіх робіт збирального періоду

збирання та доробка зерна, сівба проміжних культур [81, повинна обробка ґрунту [66] або оранка [41], заготівля соломи з пресуванням [10] та ін.; 2) потоковість та ритмічність виконання збиральних робіт [7, 17, 18, 42]; 3)

організація збирально-транскравців (ОТК) [13, 42, 63]; 4) дотримання

операційної технології збирання врожаю [14] (підготовки полів, агрегатів, робота на загоні, контроль якості); 5) суворо дотримуватись особливостей

збирання сильних і цінних пшениць [15]; 6) не використовуються прогресивні прийоми на збиранні врожаю: причіпні комбайни, «невійка» [13, 24-25, 31],

найбільш якісні накопичувачі-перевантажувачі зерна, високопродуктивні транспортні засоби для зерна з вивантажувальними шнеками; 7) відсутні у

товаровиробника плани збирання врожаю з оптимальною системою технічних засобів для складних умов збирання та ін; 8) не витримуються оптимальні

терміни збирання (5 днів) та кількість сортів пшениці з різними термінами

дозрівання; 9) відсутнє цілеспрямоване технічне оснащення збиральною технікою для зниження травмування зерна; 10) відсутній зв'язок розробників

нової техніки з товаровиробниками, які навіть не знають нових перспективних конструкцій та їх переваг; 11) важкі самохідні комбайни ущільнюють ґрунт,

руйнують його структуру, знижують родючість ґрунту, особливо шкідливий

вантажний транспорт на полі, який має бути замінений накопичувачами-перевантажувачами зерна.

Усі ці недоліки вимагають негайного усунення.

1.2 Аналіз перспективних технологій комплексного збирання зернових колосових культур із застосуванням багатofункціональних агрегатів

Перспективні розробки за новими технологіями збирання зернових колосових культур проводяться багатьма вченими [1, 8, 12, 24, 31, 39, 44, 56, 57, 59]. Цікаві результати збирання пшениці з одночасним лушенням стерні МФА отримано д.т.н. В. В. Абаєвим. Хоча цією технологією займалися ще в 80-ті роки минулого століття академік Адамчук В. В. ННЦ «ІМЕСГ», але вона не набула широкого поширення через низький технічний рівень прибиральних машин того часу. І тільки зараз, коли з'явилися потужні повнопривідні комбайни TORUM-740(786), енергозасіб УЕС-450, можна на практиці реалізувати суміщені операції збирання зерна в одному агрегаті з іншими супутніми роботами (пресування соломи, сівба проміжних культур, обробка ґрунтів з внесенням мінеральних добрив [10].

Академіком Б. І. Липковичем виконано експерименти на суміщені операції прибирання колосових з поєднанням окремих післязбиральних операцій [5].

Відомий комбінований агрегат для збирання врожаю та обробітку ґрунту [6]. Особливо ефективно проводяться дослідження з очесу колосових культур на корені [56, 57, 2, 13]. Дослідженнями д.т.н. А. П. Леженкіна [40] доведено можливість збирання колосових очесом зерна на корені на невеликих фермерських ділянках.

Технологію збирання зернових колосових за методом очесу зерна на корені виконано [12, 13]. Економічне обґрунтування за пропонуваною технологією збирання колосових культур з поділом вороху на стаціонарі підтвердило її високу ефективність порівняно з комбайновою.

У такий спосіб вже почався період наукових досліджень з комплексного збирання колосових МФА з поєднанням операцій збирання зерна та інших робіт післязбирального періоду [1, 66]. Одним із них є запропонований нами МФА для виконання операції збирання зерна з одночасним пресуванням соломи [16].

За цим напрямом досліджень ще мало теоретичних розробіток.

Наприклад, д.т.н. В. В. Абасвим обґрунтовано оптимальні параметри та режими роботи МФА для збирання зерна з одночасним лушенням стерні [1] на базі самехідного зернозбирального комбайна TORUM-740 з дисковою бороною БДТ-7А.

За критерієм – мінімум сукупних витрат – на роботу збирально-транспортної ланки (ЗТЛ) автором [1] встановлено ефективну потужність двигуна для МФА (492,5 кВт), ширину захвату жнивarki – 8 м, роботу швидкість руху 8 км/год, ємність бункера для зерна 10,5 м³, маса комбайна 19,8 т, маса причіпної зброї 2 т. Агрегат може забезпечити продуктивність зерна 39,9 т/год змінного часу. Одночасно визначено оптимальні параметри накопичувача-перевантажувача, що входить до складу ЗТЛ: ємність бункера 12 м³, маса 5,6 т, агрегується з трактором потужністю двигуна 68,6 кВт, масою 3,9 т. Такі агрегати з розрахунку автора повинні застосовуватись на 65% площі зернових колосових.

Для розрахунку сукупних витрат енергії використано сукупні витрати енергії на роботу ЗТЛ, віднесеної до одиниці площі, що забирається [1]:

$$E_z = E_{рр} + E_t + E_{ж} + E_M + E_{пр}, \quad (1.1)$$

де E_z - сучасні витрати енергії на роботу ЗТЛ, грн/га; $E_{рр}$ - енерговитрати на робочий процес машини, грн/га; E_t - енерговитрати на використання палива, грн/га; $E_{ж}$ - енерговитрати живої праці, грн/га; E_M - енергія, витрачена на виробництво та обслуговування машин ЗТЛ, грн/га; $E_{пр}$ - енерговитрати на використання виробничих та підсобних приміщень, грн/га.

Кожна зі складових формули (1) розраховується за відомою методикою та широко застосовується в інженерних розрахунках [50-54]

Нам видається, що в даний час деякі нормативні коефіцієнти, які використовуються в розрахунках складових енерговитрат, вже застаріли та вимагають нових досліджень для їхнього доопрацювання. Наприклад, при розрахунку енерговитрат на виробництво та обслуговування машин, що входять до складу ЗТЛ, використовують формулу:

$$Q = \frac{G_m E a_p}{T_r W_r}$$

де Q - енерговитрати на виробництво та обслуговування машин, МДж/га; G_m – маса машини, кг; E – енергетичний еквівалент, МДж/кг, α_p – частка відрахувань на амортизацію, ремонт та технічне обслуговування машин; T_r – річне завантаження машини, год; W_r – годинна продуктивність машини на заданій роботі, га/год.

На жаль, коефіцієнти $E_i T_2$ вже вимагають уточнення, оскільки їх було прийнято методами Радянського періоду. Сучасна техніка та сільгоспмашинобудування повністю змінилися, тому емпіричний коефіцієнт E та річне завантаження машини потребує детального обґрунтування.

Також потребує заміни енергетичний еквівалент витрат праці 1,26 МДж/чол.-год. В даний час при приватній власності на техніку та землі ці коефіцієнти мають бути ринкові.

У зв'язку з цим необхідна інша математична модель оптимізації параметрів МФА та режимів його роботи та інший критерій оптимізації.

Для оптимізації параметрів та режимів його роботи машинних агрегатів краще використовувати планування експерименту або якості критерію оптимізації – функцію витрат та втрат [16].

При використанні цієї функції для обґрунтування параметрів МФА на базі самохідного комбайна можна обґрунтувати оптимальну тривалість збирання, потужність двигуна комбайна з різною пропускною здатністю молотілки, ємність бункера, балансову вартість агрегату, собівартість робіт при прямому комбайнуванні з виконанням додаткової операції, визначити вартість втрат урожаю та мінімальне значення функції витрат та втрат (цільова функція математичної моделі), яка і визначає всі необхідні параметри агрегату.

На рисунку 1.9 показано характер зміни складових функції залежно від тривалості збирання зерна.

Після комп'ютерних розрахунків цільова функція, а також СП, СЗ та пр будуються їхньою залежністю від пр за спеціальною програмою.

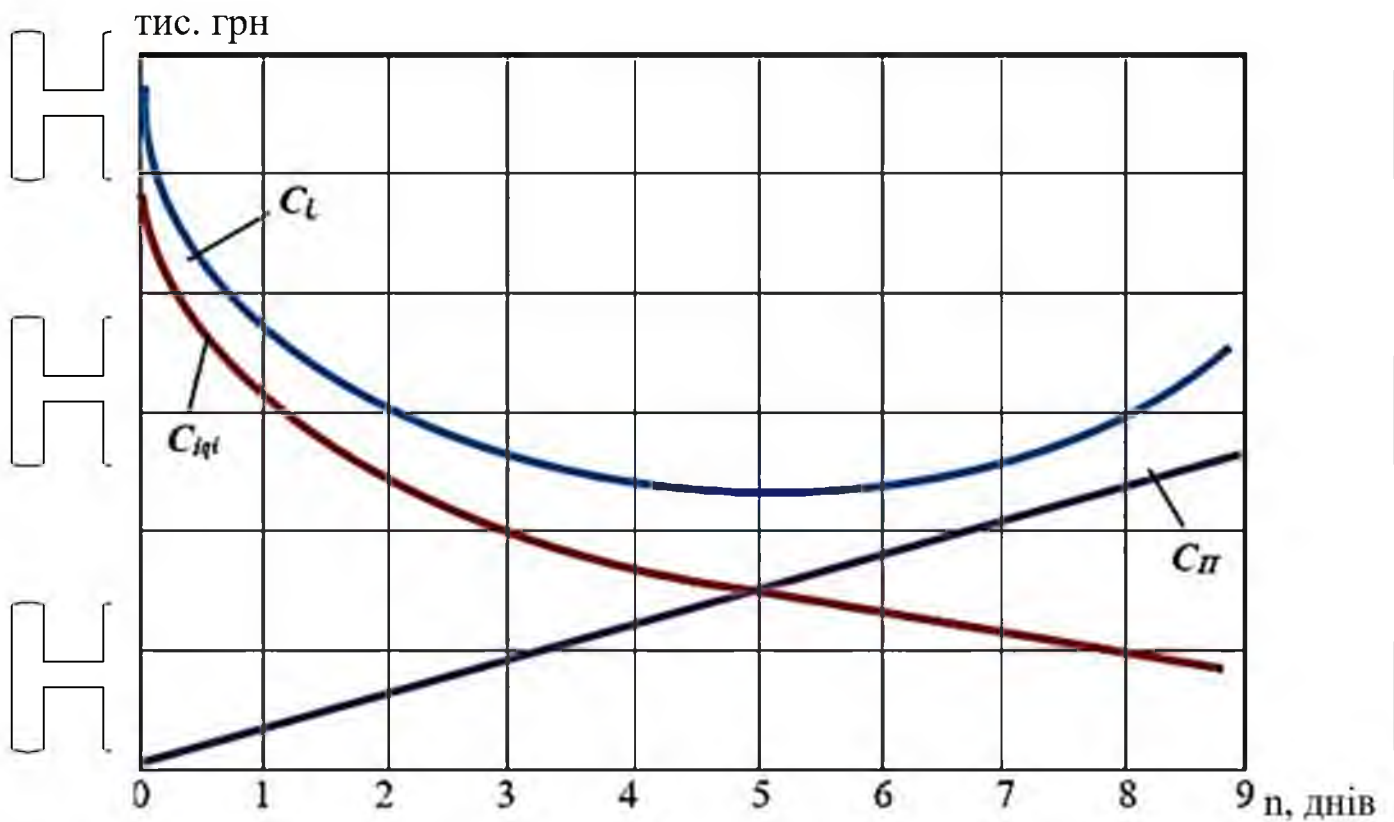


Рисунок 1.9. Графік залежності C_t , C_n , C_{sp} від n : C_t , C_n , C_{sp} – вартість відповідно витрат, вграг; n – тривалість збирання врожаю, днів.

У роботі [1] як цільову функцію використано коефіцієнт біоенергетичної ефективності K_6 , що є відношенням отриманої енергії від прибраного врожаю E_n до витрат енергії на його отримання E_3 :

$$K_6 = \frac{E_n}{E_3} > 1$$

При значенні критерію оптимізації менше одиниці технологія вважається неефективною.

Моделювання параметрів і режимів роботи машинних агрегатів проводиться з давніх-давен і завжди було ефективним методичним прийомом [9, 5, 10, 11].

Інтерес представляють також наукові розробки з організації ЗТЛ з ієрархічним технологічним контролем [13], методи вдосконалення систем збирання врожаю [16], розрахунок параметрів животно-двигунових агрегатів твар [11], техніко-економічний супровід машинних агрегатів виробництва зерна [9],

комплексний метод оцінки технічного стану тракторів та

сільськогосподарських машин [8], оптимізація часу роботи агрегатів [5], теорія систем [12], теорія масового обслуговування [8, 9] та інші підходи.

Розроблено також [1, 15] математичні моделі та алгоритми для обґрунтування оптимальних параметрів та режимів роботи багатофункціонального збирально-грунтообробного агрегату (ЗГА), що поєднує за один прохід технологічні операції збирання зерна та лушення стерні. При цьому маса комбайна склала 19781 кг, ємність бункера 10,5 м³, тягове зусилля повнопривідного комбайна при агрегуванні грунтообробної зброї – 22 кН, маса останнього 1084 кг [10].

Пропонований багатофункціональний агрегат забезпечує комплексне проведення жнив – збирання врожаю з одночасним післязбиральним розпушуванням ґрунту з продуктивністю 4,4 га/год при врожайності зерна 5 т/га. Ця технологія має застосовуватись на 65 % площі.

Новий спосіб збирання відповідає екологічним вимогам шляхом зниження ущільнення ґрунту за рахунок виконання кількох операцій за один прохід агрегату, а також використання накопичувача-перевантажувача зерна при відвезенні його від комбайнів. Оптимальна ємність кузова накопичувача-перевантажувача 12 м³, маса 5609 кг, потужність двигуна трактора, що агрегує причіп, 68,3 кВт, маса 3902 кг, час циклу роботи транспортного агрегату 0,31 год [1].

Залежності техніко-економічних та експлуатаційних показників багатофункціонального ЗГА (N_e , V_b , K_b , V_{np} , $G_{пес}$, G_b , G_T , G_M , E , C_b та ін.) від умов та режимів роботи адекватні, підтверджені критерієм Кохрена та підтверджують ефективність запропонованого способу збирання врожаю з одночасною обробкою ґрунту.

Одночасно з оптимізацією типу та структури комбайнового парку визначаються раціональні терміни збирання зернових колосових культур (4-9 робочих днів), а на підставі методу експертної оцінки – поєднання варіантів технологій та їх графова модель. Так, для збирання 1120 тис. га озимої пшениці в краї 36 % площі повинно забиратися прямим комбайнуванням з подрібненням та розкиданням соломи та одночасною її закладенням у ґрунт пропонованим

ЗГА (таких агрегатів необхідно 2893 до комбайнів 8 кг/с, 12 та 15); 28,4 % з очесом на корені та одночасним посівом сидеральних культур; 14,5 % - роздільне збирання зернових з подальшим підбиранням валків соломи, подрібненням та розкиданням причіпним подрібнювачем; 7,1 % – роздільне комбайнове прибирання з наступним підбором валків соломи та транспортуванням тюків на ферму; 6,9 % – очес на корені без одночасного розпушування ґрунту; 6,7 % – роздільне прибирання з подальшим пресуванням соломи з валків, їх підбором, транспортуванням та складуванням. Пропонована нами технологія збирання зернових колосових культур із застосуванням УПА має велику перевагу порівняно з базовою, зокрема. Витрати енергії знижуються на 17,8%, а витрати – у 2,8 разу. Агротехнічна оцінка ЗГА [1, 105] на базі повнопривідного зернозбирального комбайна РСМ-181 та дискової зброї БДЛ-7 дозволяє зробити висновок про його працездатність та виконання затверджених вихідних вимог відповідно до нормативної документації: втрати та дроблення зерна озимої пшениці не перевищували 0,5 %, середня глибина обробітку ґрунту склала 4,5 см при відхиленні $\pm 0,9$ см, якість кришення ґрунту 80 % (фракції грудок розміром менше 5 см), див. відсутні.

Енергетична оцінка ґрунтообробних знарядь (дискової борони БДЛ-7 шириною захвату 7 м) підтвердила, що при агрегуванні на різних передачах забезпечується якість виконання лушення стерні, що задовольняє вимогам нормативної документації з необхідною потужністю на виконання технологічного процесу 14,2- 1 кВт.

Залежно від швидкості руху ЗГА в інтервалі 5,1-10,6 км/год [5].

Розроблена методика інженерного розрахунку ЗГА дозволяє визначити тяговий та енергетичний баланс агрегату, розрахувати гідропривід ходової частини комбайна, а також обґрунтувати типорозмірний ряд ЗГА для зернозбиральних комбайнів різного класу.

Оптимальний типаж та структура комбайнового парку, обґрунтовані з використанням мінімального значення функції витрат та втрат, забезпечать зниження експлуатаційних витрат на збирання зерна пшениці озимої на 7,1 %.

Комбайновий парк за сучасного розподілу врожайності зерна по збиральних

площа повинен мати 6 класів комбайнів [1].

Наразі ця концепція переглядається. Головне в експлуатації комбайна раціональне завантаження молотарки для ефективного використання потужності двигуна, зниження втрат урожаю, витрат на збирання, ущільнення ґрунту та необґрунтованої багатомарності комбайнів.

Враховуючи викладене, нами сформульовано робочу гіпотезу: зниження втрат урожаю, підвищення продуктивності праці та якості зерна багатифункціональними агрегатами (МФА) буде забезпечено застосуванням аксіально-роторних МСП, суміщенням технологічних операцій збирання зерна

(пшениці в нашому випадку) з одночасним пресуванням; основний спосіб збирання – «невійка» з поділом вороху на стаціонарні сепараторами МН-230 (Канада) та додатковим сортуванням зерна для високої якості після збирання дозрівання.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КОЛОСОВИХ КУЛЬТУР

НУБІП України

2.1 Синтез багатофункціонального агрегату (МФА) на базі самохідного зернозбирального комбайна

НУБІП України

Як було зазначено вище, запропонований склад МФА включає: повнопривідний самохідний зернозбиральний комбайн TORUM-740, причіпний до нього прес-підбирач соломи ПРФ-180 з механізмом приводу та зчіпку для агрегування (рисунок 2.1), виготовлену нами.

НУБІП України

Технологічна схема МФА включає до свого складу також передові наукові досягнення, що сприяють збереженню родючості ґрунту шляхом усунення її переущільнення та розпилу за рахунок використання конверсійних гусеничних систем (КГС) (рисунок 2.1, а), підвищення продуктивності праці та зниження витрат за рахунок суміщення операцій, застосування системи дистанційного автоматизованого контролю (САК) за роботою машин (рисунок 2.1, а) [32].

НУБІП України

Конверсійна гусенична система (КГС) розроблена компанією CAMSO для змінної установки на рамі комбайна, колісного трактора, накопичувача-перевантажувача та інших машин. Вона підвищує зручність переміщення на полях з м'яким ґрунтом, велика площа гусениць (3,41 м² на одну пару) зменшує ущільнення ґрунту, не розпорошує ґрунт, підвищує продуктивність та якість робіт. Обладнання самохідного комбайна TORUM-740 у складі МФА забезпечить збереження родючості ґрунту за рахунок зниження на 65% питомого тиску неї.

НУБІП України

Розрахунковий тиск базового МФА на ґрунт із конверсійною гусеничною системою (КГС) можна представити так:

НУБІП України

$$p = \frac{0,01(G_k + G_{kgs} + \gamma V_0)}{F_{оп}} = \frac{0,01(18840 + 8416 + 800 \cdot 10,5)}{4,54} = 67,8 \text{ кПа}$$

де q_f – розрахунковий тиск МФА на ґрунт, кПа; G_k – маса комбайна у складі МФА, 18840 кг G_{kgs} – маса конверсійної гусеничної системи, 8416 кг; γ –

щільність зерна, 800 кг/м³; V_б - ємність бункера комбайна, 10,5 м³; F_{оп} – площа опорної поверхні гусениці на чотири гусеничні системи до комбайна, 4,64 м².
У 2,2 рази знижується тиск на ґрунт при використанні КГС на двох мостах агрегату та в 1,11 разів – на одному передньому.

Обґрунтування вибору комбайна TORUM-740 у складі МФА:

Повнопривідний комбайн TORUM-740 у складі МФА прийнятий за причинам:
1) висока енергонасиченість з двигуном 294 кВт і пропускна здатність молотілки до 14 кг/с, що забезпечить оптимальне навантаження рулонного прес-підбирача ПРФ-180Б; 2) висока продуктивність на збиранні зерна (до 34 т/год за 1 годину чистого часу); 3) низьке травмування зерна порівняно з комбайнами (з білими молотильними апаратами, що знижує непрямі втрати врожаю); 4) задовільні тягово-зчіпні властивості для агрегування зчіпних машин, зокрема прес-підбирача [73].

Таким чином, комбайн TORUM-740 – як енергозасіб у складі МФА (рисунок 2.1 а) – головна складова частина синтезу агрегату.

Обґрунтування вибору прес-підбирача ПРФ-180 у складі МФА: Рулонний прес-підбирач ПРФ-180Б (рисунок 2.2, б) підібраний до TORUM-740 відповідно до пропускної спроможності комбайна (до 14 кг/с) та прес-підбирача (7 кг/с), враховуючи співвідношення маси зерна до маси соломи як 1:0,25].

2.1.3 Агровимоги ПРФ-180Б здійснюються за допомогою спеціально виготовленого зчеплення (рисунок 2.2). Робочі органи прес-підбирача наводяться від гідросистеми комбайна через гідромотор ГМШ-50. При включенні крана в кабіні комбайна) масло надходить із бака до гідромотора ГМШ-50, від якого наводиться карданний вал. А від нього – усі робочі органи прес-підбирача.



Рисунок 2.1 – Загальний вид машин для складання МФА
 а) зернокомбайн TORUM-740; б) прес-підбирач ПРФ-180Е

Підбирач ПРФ-180 під час руху агрегату підбирає обмолочену комбайном соломку і подає її в пресувальну камеру. Після формування рулон обмотується шпагатом, гідроциліндр відкриває капот і рулон скачується на землю скатною дришкою. Нова порція соломи підбирачем знову подається в пресувальну камеру і процес триває до формування рулону заданої густини. Рулони на полі збирають транспортером-навантажувачем ТП-12 з трактором МТЗ-80 та перевозять на ферму для складування та використання МФА.

Пропонована технологічна схема МФА вироблена та перевірена в роботі на пресуванні рулонів соломи.



Рисунок 2.2 – Складові синтезу МФА для збирання зерна з пресуванням

СОЛОМИ

За допомогою спеціально виготовленої гідронавіжки виконано динамометрування прес-підбирача, дані якого використані при розробці МФА та розрахунку його оптимальних параметрів та режимів роботи.

2.2 Тягово-потужний баланс МФА для збирання пшениці з одночасним пресуванням соломки

Відповідно до наукової гіпотези запропонований МФА повинен забезпечити підвищення продуктивності праці в збиральному процесі пшениці та зниження витрат.

Очевидно, що суміщення операцій збирання зерна та пресування соломки вивільняє трактор для агрегування прес-підбирача, що забезпечить зниження витрат та матеріаломісткості. У цьому розділі ми розглянемо тягово-потужний баланс МФА. Для різних складів МФА він уже певний [15]. Нами виконано додаткові уточнення до тягово-потужного балансу МФА стосовно його складу з урахуванням пресування соломки (рисунок 2.3).

Тяговий баланс зернозбирального комбайна TORUM-740 з прес-підбирачем

Комбайн TORUM-740 обладнаний провідним заднім керованим мостом. До нього за допомогою демпферного пристрою [10] кріпиться єниця прес-підбирача (рисунок 2.3).

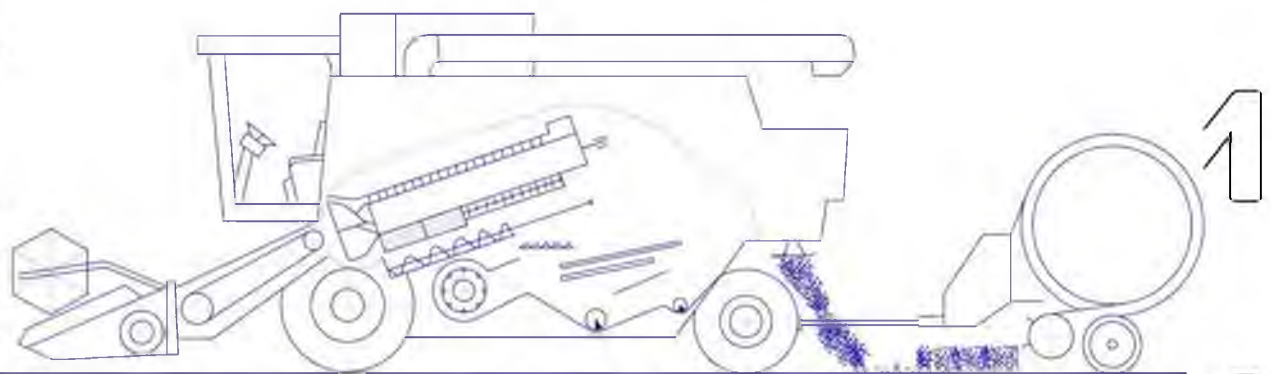


Рисунок 2.3 – Схема комбінованого агрегату

При агрегуванні прес-підбирача ПРФ-180Б активний міст у стані

забезпечуватиме переміщення причіпної зброї, враховуючи що тягове зусилля прес-підбирача нижче, ніж зусилля, що створюється мостом, що становить 22 кН згідно з дослідженнями [5].

Встановлено залежність тягового зусилля, що створюється заднім провідним керованим мостом зернозбирального комбайна TORUM-740 (рисунок 2.4) від його зчіпної ваги $G_{сч}$ при агрегуванні комбайном TORUM-740 дисковою бороною БДЛ-7.

P_T , кН

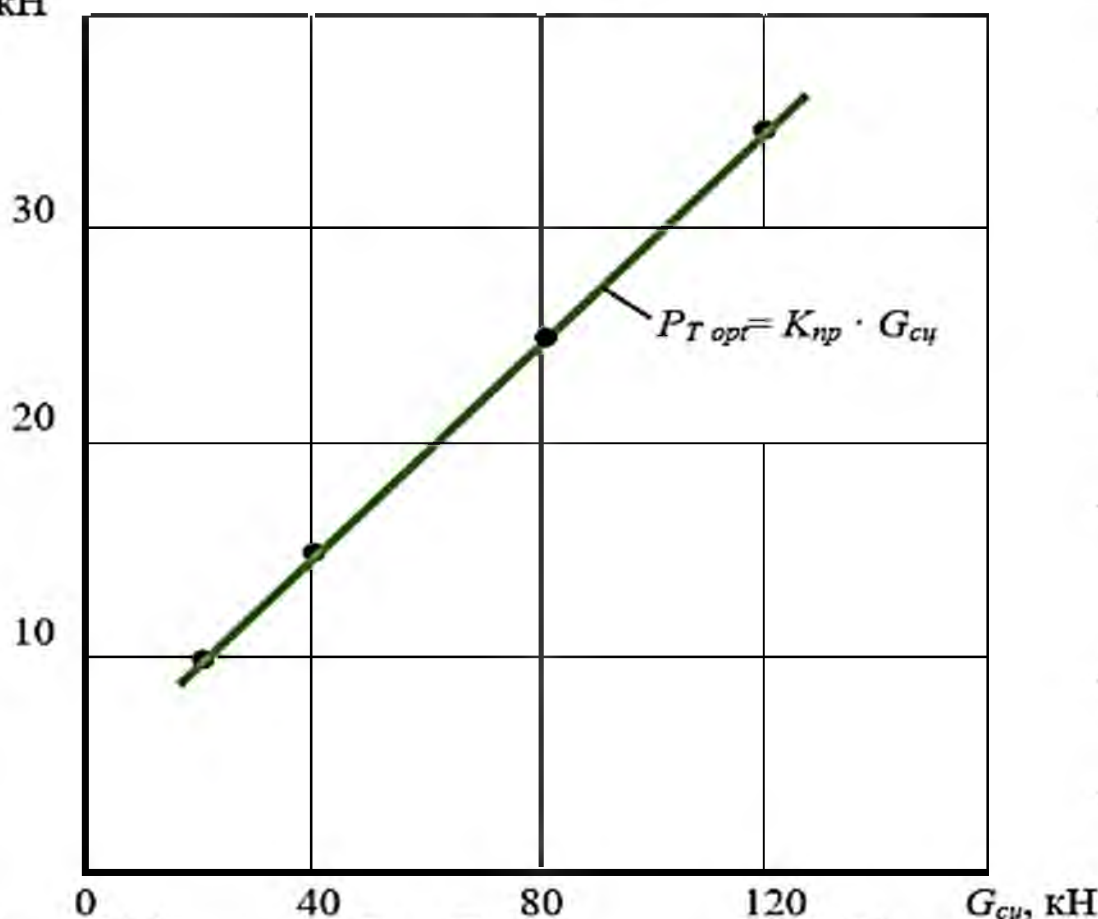


Рисунок 2.4 Графік залежності тягового зусилля комбайна від зчіпної ваги

Потужний баланс зернозбирального комбайна TORUM-740 в агрегаті з прес-підбирачем союми ПРФ-180Б.

Залежність P_T від $G_{сч}$ на рисунку 2.4 отримано при значеннях коефіцієнта зчеплення ходового апарату комбайна з ґрунтом $\mu = 0,5$; коефіцієнту опору коченню агрегату по стерні $f = 0,1$ та куту підйому місцевості $i = 8^\circ$.

урахуванням цих даних тягове зусилля комбайна P_T можна розрахувати за відомою формулою:

$$P_T = G_{сц} \eta_{т}^{-1} (\mu - f - i/100)$$

де P_T – тягове зусилля комбайна, кН; $G_{сц}$ - зчїпна вага комбайна, кН; η - ККД трансмісії; μ - коефіцієнт зчеплення ходового апарату комбайна з ґрунтом; f - коефіцієнт опору коненню агрегату, i – укил місцевості.

Аналізуючи отриману залежність P_T від $G_{сц}$ комбайна TORUM-740, можна припустити, що його тягового зусилля цілком достатньо для агрегування ПРФ-180Б.

Для підтвердження цього необхідно провести динамометрування прес-підбирача, щоб встановити залежність його тягового опору під час роботи від швидкості руху.

Крім того, як зазначено в роботі [41], встановлений на комбайні TORUM-740 гідропривід здатний, по-перше, забезпечити роботу комбайна з причіпною зброєю на технологічно прийнятних поступальних швидкостях, по-друге, гідропривід заднього керованого мосту.

За методикою [35] ми визначили фактичну солومистість, яка істотно залежить від врожайності зерна на полі. Нами на основі апроксимації досвідчених даних встановлена наступна залежність фактичної солумистості a_f хлібної маси від урожайності зерна U :

$$a_f = -5,1 \cdot 10^{-5} \cdot U^4 + 9,18 \cdot 10^{-4} \cdot U^3 + 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 + 0,148 \cdot U + 1,61$$

де a_f - фактична солумистість хлібної маси; U – врожайність зерна озимої пшениці, т/га; $5,1 \cdot 10^{-5}$, $9,18 \cdot 10^{-4}$, $1,58 \cdot 10^{-3}$, $0,148 \cdot 10^3 \cdot U + 0,148$ – коефіцієнти регресії; $1,61$ – вільний член.

Адекватність отриманої залежності перевірено за критерієм Кохрена. Як впливає з рисунку 2.5, солумистість a_f помітно знижується з ростом урожайності U . Його характерно і для зарубіжних високоврожайних сортів [35].

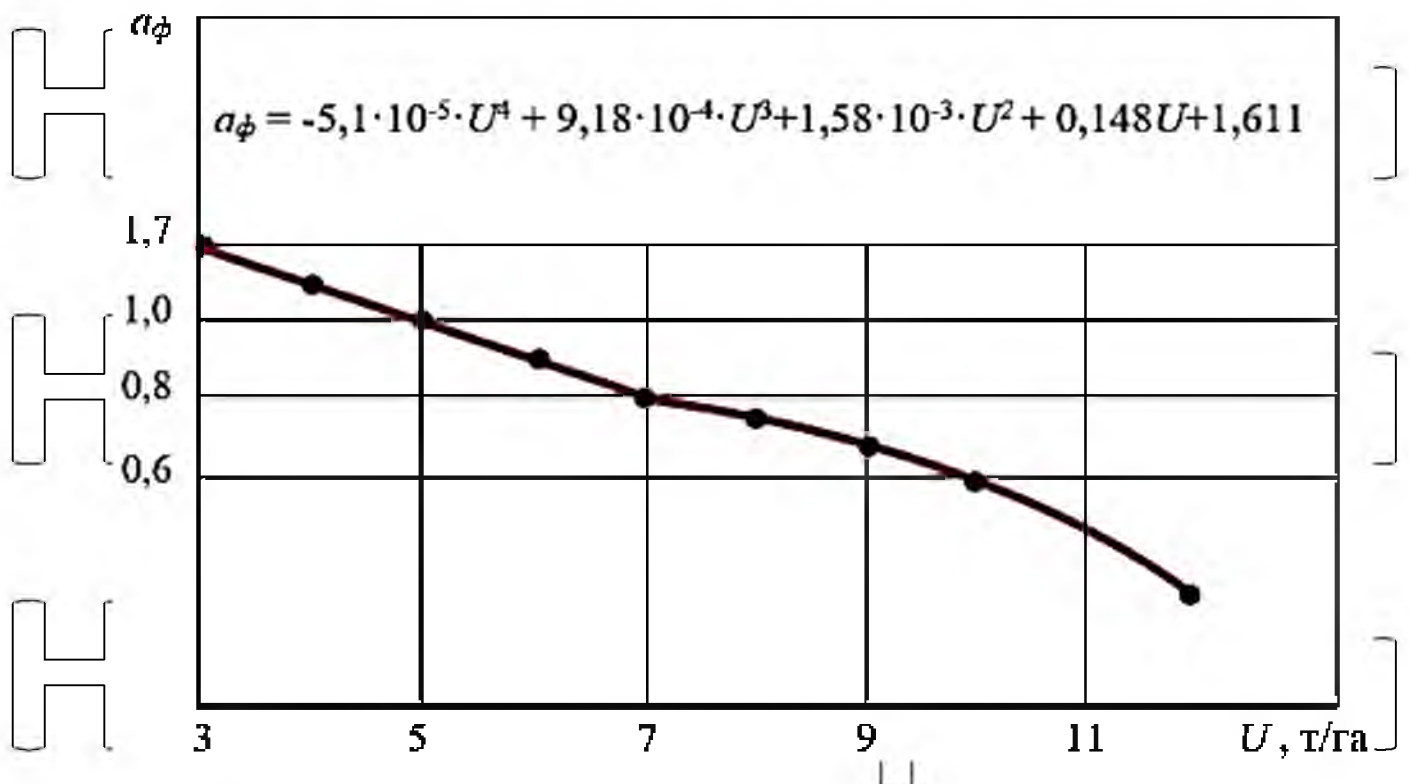


Рисунок 2.5 – Графік впливу врожайності зерна пшениці на солонистість

хлібної маси

Перед нами постало завдання – виявлення зв'язків між потужністю двигуна, необхідною для роботи комбайна та його пропускною спроможністю.

Таке завдання має вирішуватися у взаємозв'язку трьох елементів: двигун – машина – матеріал, що обробляється [46-49].

Потужний баланс двигуна повнопривідного зернозбирального комбайна у складі МФА з прес-підбирачем соломи ГРФ-180Б.

Зернозбиральний агрегат може працювати за багатьма схемами збирання врожаю: з подрібненням соломи, з пресуванням, з очесом зерна на корені, з очищенням зерна або за варіантом «невійка» та ін. Виконуються з різним споживанням потужності двигуна Ндв.

Баланс потужності двигуна комбайна включас витрати потужності на пересування агрегату по полю, у нашому випадку з прес-підбирачем соломи на гідропривід прес-підбирача та керованого заднього моста комбайна, а також на технологічний процес роботи комбайнового багатофункціонального агрегату.

Для зернозбиральних комбайнів з аксіально-роторними МСП залежність

потужності N_{TP} на технологічний процес роботи комбайна від наведеної подачі q пр. виражається так (рисунок 2.7)

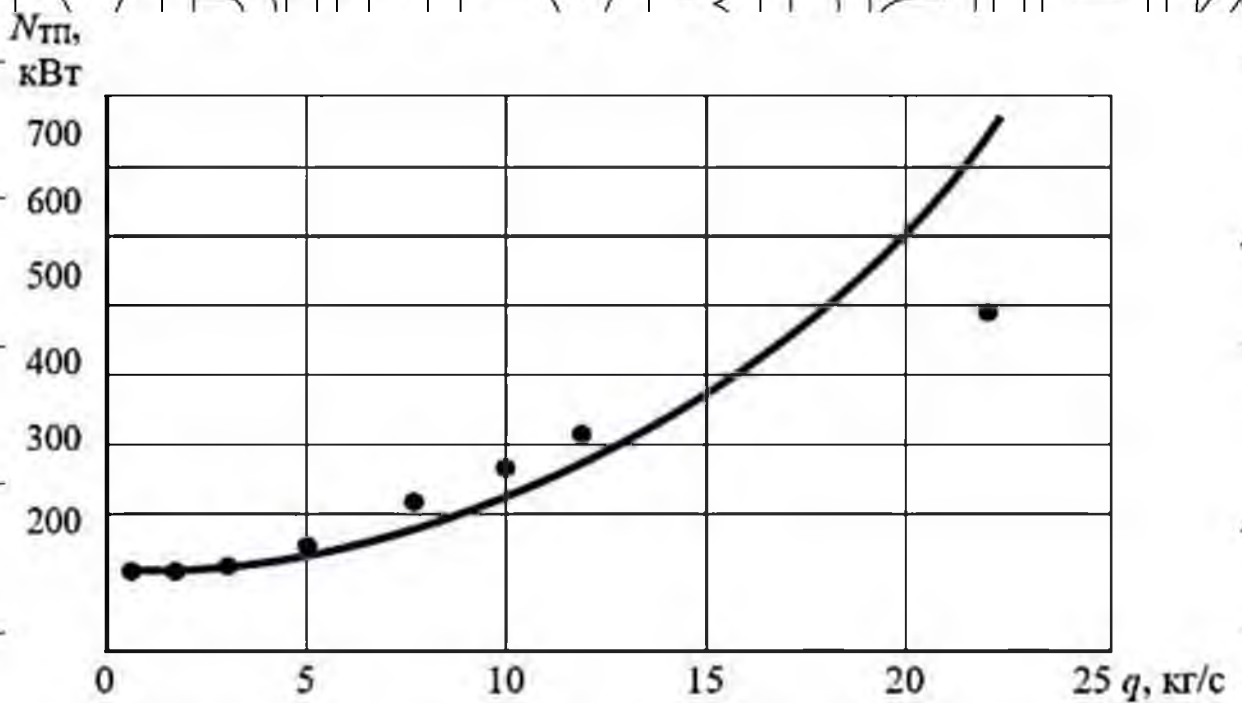


Рисунок 2.6 – Графік залежності N_{TP} потужність, що споживається на технологічний процес роботи зернозбирального комбайна, кВт від q пр. продуктивності комбайна.

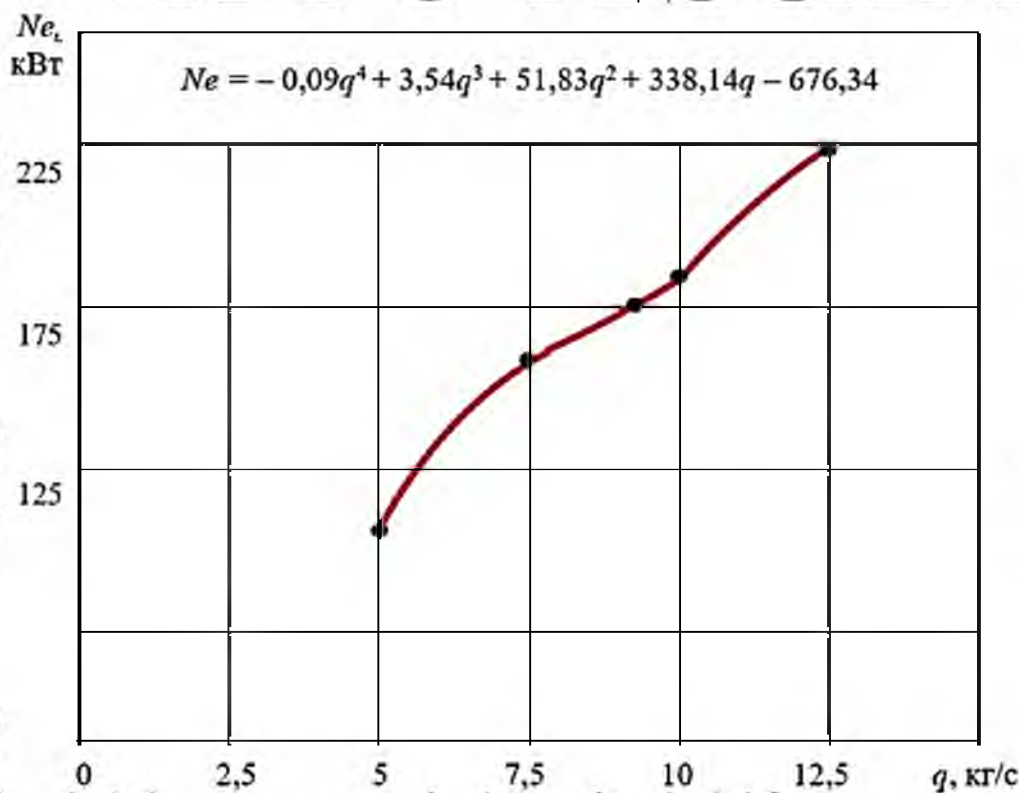


Рисунок 2.7 – Графік залежності потужності двигуна комбайна від пропускної спроможності його молотилки з класичним МСП

Нами отримано ці залежності для різних типів молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП) – для класичної схеми та для аксіально-роторної (рисунки 2.7 та 2.8)

Залежність N_e від q у класичній схемі МСП (рисунок 2.7) виражається поліномом четвертого ступеня, із збільшенням q потрібна потужність двигуна комбайна зростає. Адекватність моделі підтверджується критерієм Фішера: розрахункове значення 0,75 менше табличного 0,80.

На основі апроксимації нами отримано також залежність потужності двигуна N_e від q (рисунок 2.8) для зернозбиральних комбайнів з роторною схемою МСУ, яка виражається поліномом другого ступеня.

Адекватність отриманої залежності підтверджена критерієм Фішера: його розрахункове значення 0,75 менше табличного 0,80.

Аналіз отриманих залежностей показав, що витрати потужності у роторного комбайна вищі за класичний на 16,5 відсотків.

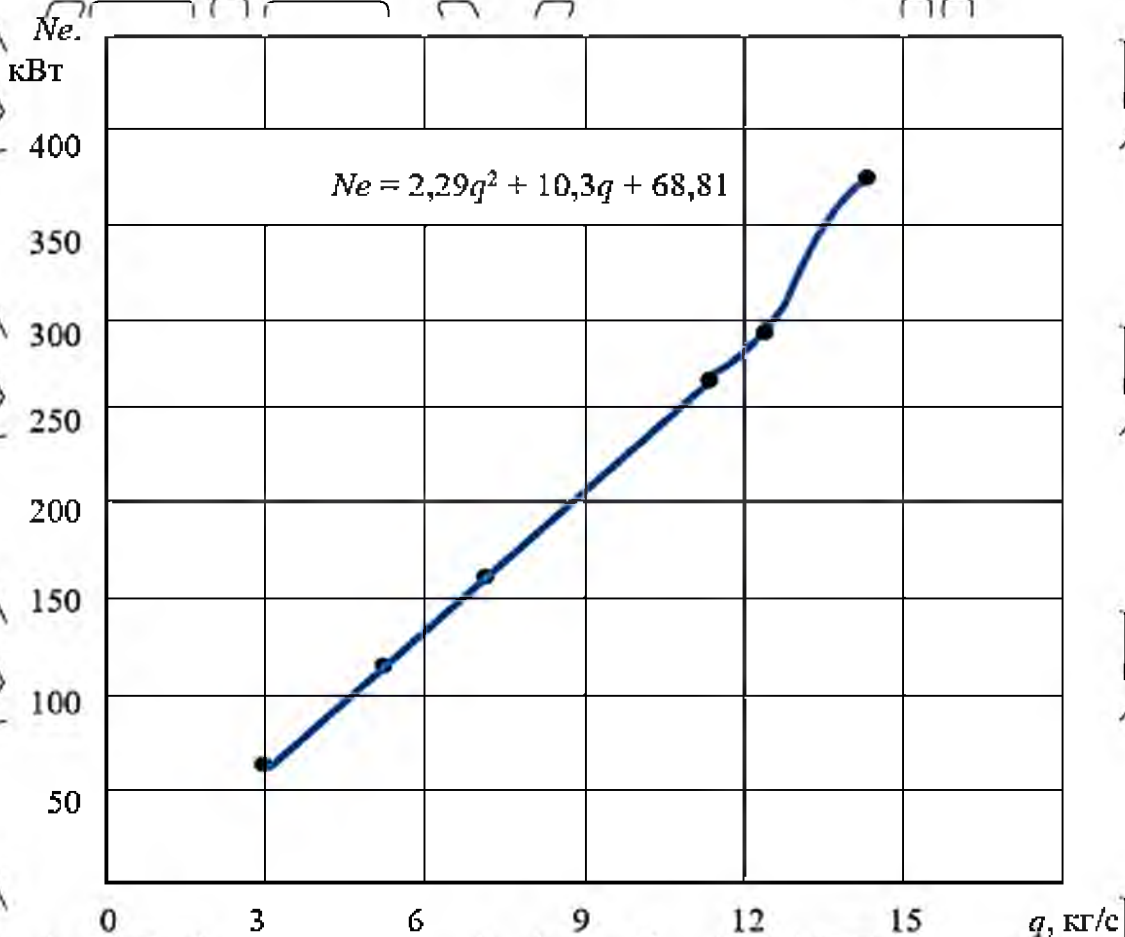


Рисунок 2.8 – Графік залежності потужності двигуна зернозбирального комбайна із роторною схемою МСП

Потужність на привод гідромоторів керованого мосту $N_{ум}$ приймається з паспорта комбайна TORUM-740. Потужність, потрібна на привід гідромотора, приймається за його паспортною потужністю $N_{пр} = 32$ к.с. ($N_{ТП} = 23,53$ кВт).

Розрахований баланс потужності двигуна представлений у розділі 4 дисертації загальний вигляд складових балансу потужності МФА представлений на рисунку 2.9.

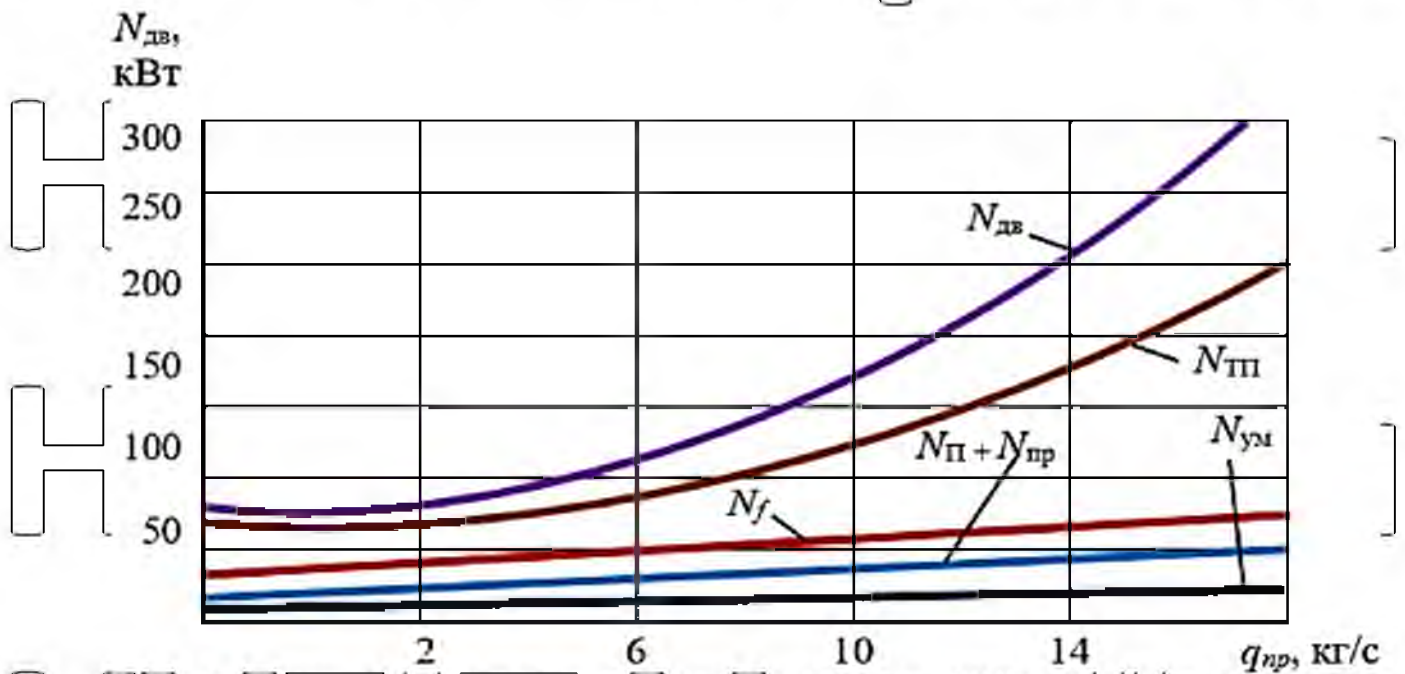


Рисунок 2.9) Графік потужності балансу МФА із зернозбиральним комбайном: 1 – загальні витрати потужності $N_{дв}$; 2 – потужність технологічного процесу комбайна $N_{ТП}$; 3 - витрати потужності на пересування N_f ; 4 – витрати потужності на привід та пересування прес-підбирача $N_{П} + N_{пр}$; 5 – потужність на керування мостом $N_{ум}$

2.3 Математична модель та алгоритм оптимізації параметрів та режимів роботи МФА на базі самохідного зернозбирального комбайна

У розділі 2.1 дисертації розроблено функціонально-технологічну схему збирального МФА на базі комбайна TORUM-740 та прес-підбирача ПРФ-180В.

У завдання даного розділу входить розробка математичної моделі

оптимізації його параметрів та режимів роботи. Наше завдання полегшується тим, що відомі багато параметрів самохідного повнопривідного зернозбирального комбайна TORUM-740, прес-підбирача ПРФ-180Б, але у складі агрегату вони розглянуті вперше. Крім того, не відомі взаємозв'язки та залежності параметрів пропонованого МФА з умовами його функціонування (експлуатації): врожайність, розміри полів, робоча швидкість руху агрегату, ширина захвату жнивварки та ін.

Нами, використовуючи метод апроксимації, встановлено залежність балансової вартості зернозбирального комбайна з роторним МСУ від його пропускної спроможності та балансової вартості прес-підбирача (рисунк 2.10).

Адекватність отриманої залежності малюнку 2.9 підтверджується критерієм Кохрена: розрахункове його значення 0,496, табличне – 0,750. Також отримано залежності маси прес-підбирача $G_{пр}$ від його пропускної спроможності (рисунк 2.11) та маси комбайна G_k від його пропускної спроможності (рисунк 2.12).

Кожна математична модель містить у своєму складі критерій оптимізації (цільову функцію), змінні, константи та обмеження.

ні в завдання. У нашій задачі для оптимізації параметрів, режимів роботи пропонованого МФА для збирання зерна з одночасним пресуванням соломи як змінні взяті наступні вихідні дані: самохідний зернозбиральний комбайн TORUM-740 в агрегаті з причіпним прес-підбирачем соломи ПРФ-18 обсяги збиральних площ F в інтервалі 1000-3000 га з кроком 1000 м; робоча довжина гону на кожному полі змінюється в інтервалі 0,5-1,5 км з кроком 0,5 км; тривалість збирання n (днів) в інтервалі 3-15 т/га з кроком 1 день; врожайність зерна в інтервалі 3-12 т/га із кроком 1 т/га; реалізаційна вартість зерна Z в інтервалі 9-15 тис. грн/ т з кроком 3 тис. грн.; номінальна пропускна здатність зерно-збирального комбайна TORUM-740 прийнята 12-14 кг/с, а прес-підбирача соломи $q_{пр} = \frac{1}{2} q$ при солемистості хлібній маси $\delta_s = 0,5$. Робоча швидкість руху збирального агрегату згідно з рекомендаціями [33] прийнята $u_p = 5$ км/год, оскільки при вищій швидкості підвищується питома витрата палива, погіршуються умови роботи оператора, втрати зерна, а при заниженій

швидкості – втрачається продуктивність і затягуються терміни збирання.

Звичайно, при цьому обов'язково раціональне поєднання пропускної спроможності молотарки комбайна, врожайності зерна, соломистості, ширини захвату жнивarki та робочої швидкості руху агрегату. Як констант

математичної моделі використані: номінальна потужність двигуна комбайна

$N_e = 294$ кВт, балансова ціна СБк = 15 млн. грн.; балансова ціна прес-підбирача

СБпр = 835 тис. грн.; маса комбайна $S_k = 18840$ кг, маса прес-підбирача $S_{пр} =$

2350 кг (методом апроксимації отримано залежності на рисунках 2.12-2.13);

норматив відрахувань на амортизацію, ремонт, ТО та зберігання комбайна в

частках від одиниці прийнятий $a_{ТО} = 0,2$, для прес-підбирача $a_{ТО} = 0,297$.

Як критерій оптимізації процесу роботи МФА для збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи прийнято мінімум функції витрат і втрат,

(витрати на виконання робочого процесу СЗ та втрати СП – вартість прямих

втрат та вартість непрямих втрат зерна від його травмування молотильно-

сепаруючими пристроями (МСП) комбайна). При обґрунтуванні

функціонально-технологічної схеми МФА ми прийняли роторне МСН, оскільки

за результатами наших досліджень дроблення зерна у нього не перевищує 0,6 %

(у білих – у 10 разів більше), а мікроушкодження – не вище 18 % (у більших –

воно сягає 70 %) [17].

Ці залежності будуть використані для оптимізації параметрів МФА, оптимальної тривалості прибирання та розрахунку економічної ефективності

нової технології.

Як констант математичної моделі використовуються ще дані щодо

річного завантаження комбайна ($T_k = 300$ год) та прес-підбирача ($T_{пр} = 200$ год),

питомої витрати пального q_e двигуном ($q_e = 0,2$ кг/кВт-год), ціною палива $ZI =$

40 грн./кг, номінальному коефіцієнті використання потужності двигуна $\varepsilon = 0,9$

та коефіцієнті КП пропускної спроможності МСУ для збирання різних культур

(для пшениці – $KI = 0,7-1,0$) [16].

Критерій оптимізації в нашій моделі, виражений функцією $C_{зпн}$, складається з вартості витрат СЗ, включає експлуатаційні витрати (витрати

експлуатації ІЕ) на роботу МФА у складі комбайна та прес-підбирача і

визначається за відомою методикою [14]:

$$UE = C_3 + C_a + C_{PTO} + C_T + C_{пр}$$

де UE - витрати експлуатації, грн/га; C_3 - витрати на заробітну плату з нарахуваннями, грн/га; C_a - амортизаційні відрахування, грн/га; C_{PTO} – витрати на ремонти та ТО, грн/га; C_T - витрати на витрачене паливо на даній операції, грн/га; $C_{пр}$ - інші прямі витрати на операції, грн.

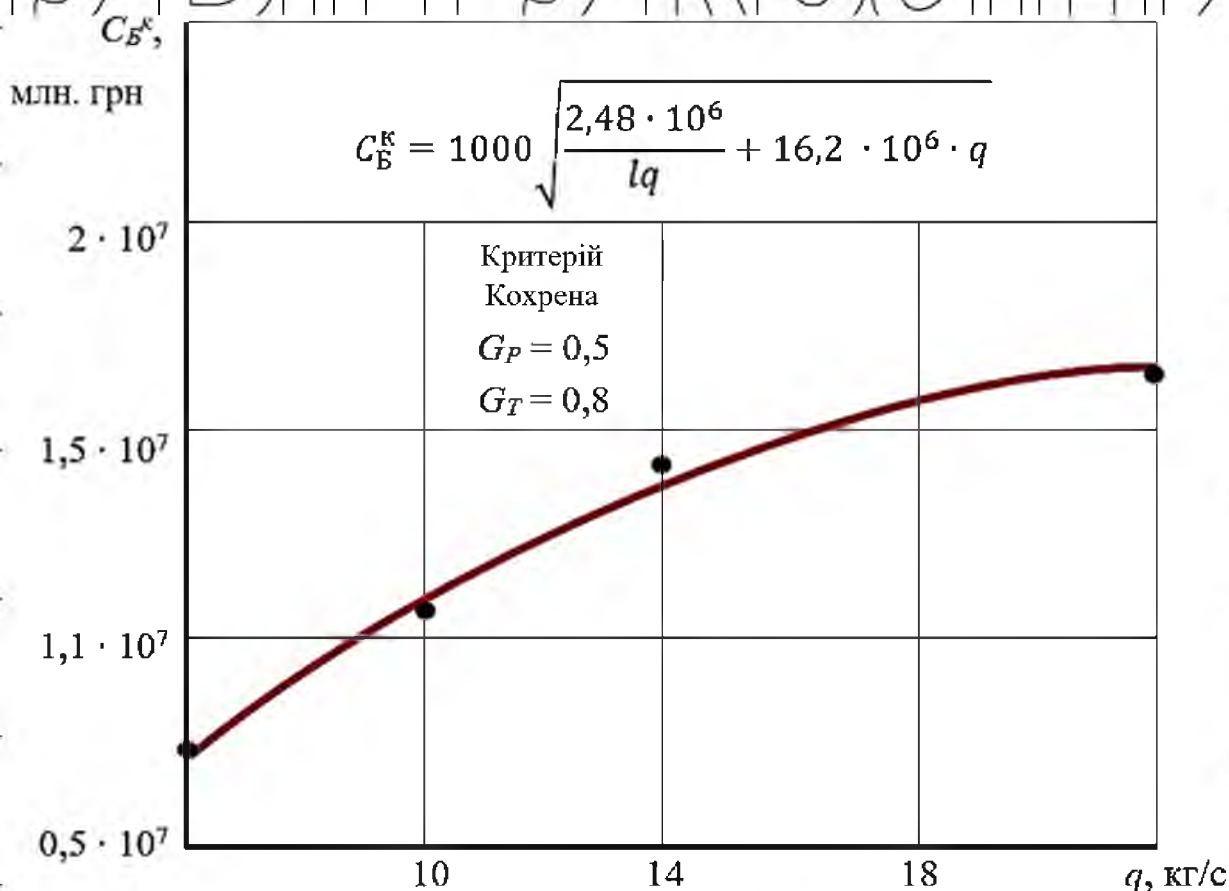


Рисунок 2.10 – Графік залежності балансової вартості

Оскільки для порівняння ефективності роторних МСП ми застосовуємо і в базовому варіанті також роторну молотарку, то ефект може бути отриманий за рахунок вивільнення трактора МТЗ-80 на пресуванні соломи.

Заміна подрібнення соломи пресуванням за наслідками наших досліджень забезпечила б економічний ефект від МФА з пресуванням 162 грн/га (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Ефективність пропоновану МФА за рахунок зниження

травмування зерна

Показники	Варіант із подрібненням целоми (базовий)	Варіант із прес-під- борщиком (пропонований)
Дроблення зерна, %	0,6	0,4
Мікроушкодження зерна, %	20,2	22,0
Врожайність, т/га	5,0	5,0
Вартість зерна, грн/т	9000	9000
Економічний ефект, грн/га	-	+162

Формула вартості втрат від травмування зерна в нашій мат-моделі матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \text{СпДрМП} &= Z \cdot U (0,006 \cdot 0,4 + 0,0012 \cdot 22) = \\ &= Z \cdot U (0,0024 + 0,024) = 0,0264 \cdot Z \cdot U \end{aligned}$$

Довжина виїзду агрегату (1) для нашого МФА враховує підвищену кінематичну довжину молотілки за рахунок прес-підбирача:

$$B = l_k = 6 + 5,4 = 11,4 \text{ м, тобто на } 5,4 \text{ м більше, ніж у комбайна.}$$

Тепер середня довжина холостого шляху МФА визначається (2.19) так:

$$l_k = 0,5 \cdot 250 + 11,4 + (6 + 4,1 + 1,3) \cdot 2 = 162 \text{ м.}$$

Час виконання двох холостих проходів МФА, які припадають однією цикл, визначаємо за вище поданої формули [46]: $t_{хц} = 0,4 \cdot l_x$ (l_x – в км).

Знаючи складові часу циклу, отримаємо:

$$t_{ц} = t_{рц} + t_{хц} = 0,4L_p + 0,4 \cdot l_x.$$

В останньому виразі немає часу технологічних зупинок комбайна, оскільки вивантаження зерна здійснюється на ходу в накопичувач-перевантажувач. Оскільки l_x не залежить від довжини гону, можна записати час циклу і використовувати його при моделюванні:

$$t_{ц} = 0,065 + 0,4 \cdot L_p + t_{хц},$$

Визначити кількість циклів за зміну:

$$n_{ц} = (T_{см} - T_{ЕТО} - T_{фз}) / t_{ц},$$

де $T_{см}$ – нормативний час зміни (7 год); $T_{ЕТО}$ – витрати часу на щозмінне технічне обслуговування комбайна, зчіпки та прес-підбирача, год; $T_{фіз}$ – витрати часу на фізіологічні потреби механізаторів, год.

Приймаємо згідно [46]: $T_{фіз} = 0,25$ год.

Розглянемо суттєвість відмінності продуктивності пропонованого МФА в агрегаті з прес-підбирачем соломи ПРФ-180Б і без нього, у варіанті роздільного пресування додатковим проходом пресувального агрегату МТЗ-80-ПРФ-180Б. Розрахункові дані зведено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Відмінність продуктивності комбайна TORUM-740 з укладанням соломи у валок з одночасним пресуванням

Показник	Варіанти агрегатів	
	TORUM-740	БФА
1. Кінематична довжина агрегату $l_{до}$, м	6,0	13,1
2. Довжина холостого ходу агрегату, м	147,4	165,6
3. Час циклу, витрачений виконання агрегатом холостого проходу, год	0,059	0,066
4. Число циклів роботи агрегату за зміну, пц	13,6	13,1
5. Дійсний час зміни, год	6,7	6,9
6. Коефіцієнт використання часу зміни, т	0,747	0,77
7. Продуктивність роботи агрегату за 1 годину часу зміни, га	2,62	2,55
8. Різниця у продуктивності, %		- 2,68

Наступним етапом розробки математичної моделі є обґрунтування обмежень конструктивних та технологічних параметрів. У нашому задачі приймаємо такі обмеження параметрів для моделювання:

$N_e \leq 294$ кВт; $B_P \leq 18$ м; $q \leq 14$ кг/с; $\alpha_c \leq 0,5$; $L_p \leq 1,5$ км; $F \leq 3000$ га;

$Z \leq 15000$ грн.; $U \leq 312$ т/га.

Для вирішення математичної моделі до нашого МФА розроблено блок-схему алгоритму оптимізації параметрів та режимів роботи.

Блок-схема алгоритму включає 12 операторів, з яких два логічні (7 та 11), одні (перші) містять вихідну інформацію, а решта вісім – арифметичні. Усі вихідні дані в алгоритмі використовуються у розрахунках, за спеціально розробленою програмою до ЕОМ. Лістинг програми представлений у додатку

У другому арифметичному операторі обчислюється робоча ширина захвату ВР агрегату та управління передається третьому для розрахунку коефіцієнта використання часу зміни τ . Третій оператор передає управління 4-му для розрахунку годинної продуктивності W в га, а потім 5-й оператор переводить її в тонни за 1 годину змінного часу.

У шостому арифметичному операторі розраховується кількість необхідних агрегатів на заданий збиральний майданчик F з урахуванням 12-годинного робочого дня та тривалості прибирання n .

Сьомий оператор логічний перевіряє відповідність пропускну́ї спроможності молотілки комбайна заданому інтервалу 12-14 кг/с і передає керування наступному восьмому арифметичному, де розраховується функція витрат на виконання обсягу робіт F .

У дев'ятому арифметичному операторі розраховується функція вартості втрат СП урожаю за кожен день n збирання.

Десятий арифметичний оператор розраховує критерій оптимізації – суму $C3 + CП$, знаходить її мінімум, за яким приймається рішення у виборі оптимальних параметрів та режимів роботи МФА.

Одинадцятий логічний оператор проводить перевірку виконання розрахунків з використанням усіх даних та передає управління дванадцятому, який виводить на друк результати розрахунків, після чого зупиняє машину.

В результаті виконаних теоретичних досліджень з моделювання збирального процесу, включаючи пресування соломи з використанням МФА на базі МЕС з навісним комбайном КЗР "Полісея" повнопривідного зернозбирального комбайна, можна зробити такі висновки.

Розроблено дві нові функціонально-технологічні схеми пропонуваніх

збиральних агрегатів (МФА) на базі навісного зернозбирального комбайна з енергозасобом "Полісся" та на базі самохідного енергонасиченого повнопривідного комбайна TORUM-740. Вказані МФА за один прохід по полю поєднують операції збирання зерна та одночасного пресування соломи причіпним прес-підбирачем ПРФ-180Б.

Синтез збирального агрегату МФА з одночасним пресуванням соломи базується на трьох складових: повнопривідний самохідний енергонасичений зернозбиральний комбайн (рис. 2.1, а) або МЕС "Полісся", розроблений нами до комбайна причіпний пристрій (рисунок 2.1, в) та прес-підбирач ПРФ-180Б (рисунок 2.3, б) із системою дистанційного автоматизованого контролю (САК) за роботою та керуванням.

Обґрунтовано тягові можливості повнопривідного зернозбирального комбайна для агрегування причіпного прес-підбирача соломи. Теоретично обґрунтовано тягово-потужний баланс МФА на виконання збирання врожаю з одночасним пресуванням соломи, привод його гідромотора та зчіпний пристрій для агрегування причіпного прес-підбирача ПРФ-180Б.

На основі розробленої математичної моделі багатофункціонального збирального агрегату (МФА) на базі навісного комбайна з енергозасобом "Полісся" з використанням планування експерименту обґрунтовано оптимальні його конструктивні та режимні параметри, а також тривалість збирання пшениці, що складала 5 календарних днів, ширина захвату жатки комбайна 5,4 м за оптимальної врожайності зерна 6,8 т/га.

Моделювання та оптимізація збирального процесу МФА на базі самохідного зернозбирального комбайна з одночасним пресуванням соломи на збиранні пшениці на основі розробленої математичної моделі за критерієм мінімуму функції витрат і втрат, блок-схема алгоритму та програмне забезпечення для її реалізації дозволяє обґрунтувати оптимальні вартісні параметри збирального процесу, ширину захоплення жнивварки 5,4 м, потужність двигуна МФА та оптимальну тривалість збирання 5 днів.

НУБІП УКРАЇНИ

3.1 Програма проведення досліджень

Експериментальні та лабораторно-польові дослідження проводилися для отримання вихідної інформації до моделювання та оптимізації робочого процесу МФА, а також для підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень.

Експериментальними дослідженнями передбачалося виконання наступного обсягу робіт:

Проведення данометрування прес-підбирача соломи ПРФ-180Б для отримання залежності його тягового опору від робочої швидкості руху.

Агротехнічна, експлуатаційно-технологічна оцінка роботи МФА на збиранні пшениці озимої з одночасним пресуванням соломи.

Визначення технологічних та посівних якостей зерна озимої пшениці, прибраної МФА, з різними конструкціями молотильно-сепаруючих пристроїв (МСП), починаючи з відбору точкових проб і закінчуючи визначенням показників якості зерна, включаючи вміст білка та клейковини.

Проведення кінозйомки технологічного процесу роботи МФА із прес-підбирачем соломи ПРФ-180Б.

Для порівняння роботи проводилися на базі зернозбиральних комбайнів TORUM-740, ДОН-1500Б та TUKANO-480. Вивчалися та аналізувалися показники порівняльної оцінки комбайнів:

Втрати збіжжя за комбайном. Макро- та мікроушкодження зерна в залежності від типу МСП (роторної та класичної).

Проводилися лабораторні дослідження: маса 1000 зерен, натура зерна, вологість, вміст протеїну, склоподібність клейковини, ІДК.

Під час проведення експериментальних досліджень використано наступні стандарти: Техніка сільськогосподарська. Методи енергетичної оцінки; Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки; Техніка сільськогосподарська. Методи експлуатаційно-технологічної оцінки; Основні положення та показники економічної оцінки»; Техніка сільськогосподарська.

Визначення умов випробування машин [28-30].

Втрати зерна озимої пшениці за комбайном визначалися шляхом підрахунку втрачених зерен за жнивваркою та молотилкою комбайна на площі 1 м² з визначенням їх у відсотках до врожайності на даному полі. Дроблення та чистота бункерного зерна визначалися у відсотковому відношенні подрібнених зерен до їх загальної кількості в пробі, а чистота бункерного зерна – відношення маси зерна до загальної маси взятої проби.

Обробка експериментальних даних проводилася за методикою [15], а також методом апроксимації та математичної статистики [5, 16, 34]. Методом динамометрування визначався тяговий опір прес-підбирача ПРФ-180Б та його залежність від швидкості руху. Баланс робочого часу зміни робочого МФА визначався за методикою [13].

3.2 Обладнання, прилади та апаратура, що застосовуються у дослідженнях

Для проведення досліджень використовували самохідні комбайни TORUM-740, ДОН-1500Б та TUKANO-480, сушильна шафа, твердомір ґрунту, бокси для відбору проб, вішки, секундомір, ваги ВЛТК-500.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд багатofункціонального збирального агрегату у складі комбайна TORUM-740 та прес-підбирача ПРФ-180Б та вішки

МФА (рисунок 3.1) – складається з самохідного повнопривідного

зернозбирального комбайна TORUM-740 та приєднаного до нього через спеціальний зчипний пристрій прес-підбирача ПРФ-180Б (рисунок 3.1).

Коротка технічна характеристика складових МФА (комбайна TORUM-740 та прес-підбирача ПРФ-180) наведена у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика комбайна

Найменування показника	ЗНАЧЕННЯ показника
тип молотильно-сепаруючого пристрою	аксіальний роторний молотильно-сепаруючий агрегат з обертається декою
Марка двигуна	ЯМЗ-7411
Потужність двигуна, л. с.	400
Ширина захоплення жнивварки, м	7,0
Ширина захоплення молотарки, м	1500
Діаметр ротора, м	762
Довжина ротора, м	3200
Привід ротора	Гідрооб'ємний, 2 - швидкісний редуктор
Тип деки	Обертова
Частота обертання деки, об/хв	8,0
Площа сепарації решіт, м ²	5,2
Кут охоплення деки, град.	360
Місткість:	
- бункера, м ³	5,2
- паливного бака, л	850

Прес-підбирач ПРФ-180 (таблиця 3.2) обрали виходячи з технічних характеристик (таблиці 3.2), основний показник якої – пропускна спроможність. Загальний вид агрегату представлено на рисунку 3.1. Зчипка, виготовлена самостійно, представлена на малюнку 3.2 та на рисунку 3.3 – прес-підбирач

ПРФ-180

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика прес-підбирача ПРФ-180

Показник	Значення показника
Пропускна спроможність, кг/с	8,0
Потрібна потужність, кВт/хв: - холостого ходу	11,0
- технологічного процесу	22,0
Маса прес-підбирача, кг	23500
Річна навантаження, год	120

Підключившись до гідросистеми комбайна TORUM-740, ми взяли тиск на привід гідромотора прес-підбирача.



Рисунок 3.2 - Зчеплення до комбайна TORUM-740 для агрегування прес-підбирача ПРФ-180



Рисунок 3.3 – Прес-підбирач соломи ПРФ-180Б до збирального МФА

Для досліджень процесу збирання зерна з одночасним пресуванням взято два самохідні зернозбиральні комбайни TORUM-740 та TUKANO-480. TORUM-740 забезпечений роторним МСУ, TUKANO-480, з більшим МСП та декою (підбарабанням)

3.3 Методика динамометрування прес-підбирача ПРФ-180 у складі МФА

Для визначення витрат енергії на виконання технологічних операцій проводять енергетичну оцінку сільськогосподарських машин. Ця оцінка проводиться за точного дотримання агротехнічних вимог. Умови проведення енергооцінки сільгоспмашин мають відповідати технологічному завданню (ТЗ) та технічним умовам (ТУ), а методи визначення – ДСТУ 209Т5. Засоби вимірювань мають бути перевірені відповідно до вимог національних

стандартів. Результати випробувань записують у спеціальну форму.

Випробування проводили відповідно до вимог Техніка сільськогосподарська. Методи енергетичної оцінки.

На кожному режимі прес-підбирача виконувалися вимірювання кожної величини, тривалістю 20 с.

Допустимі похибки вимірювань наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Допустимі похибки вимірювань

Показники	Відносна похибка вимірювань
Час виміру, з	$\pm 0,2$
Довжина шляху, пройденого прес-підбирачем (50 м)	$\pm 1,0\%$
Тяговий опір машини, кВт	$\pm 2,5\%$
Робоча швидкість, м/с	$\pm 2,0\%$
Кількість витраченого палива	$\pm 1,5\%$



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд експериментальної установки для динамометрування прес-підбирача ПРФ-180

Для проведення динамометрування прес-підбирача нами було виготовлено спеціальну експериментальну установку (рисунок 3.4).

Установка навішується на гідросистему трактора МТЗ-80. На рамі установки шарнірно закріплено динамометричну ланку, до якої приварено кронштейн для приєднання сніці прес-підбирача. Рама установки забезпечена упором. Між упором та ланкою встановлено динамометр, над яким на рамі закріплена відеокамера.

Працює установка в такий спосіб.

Під час руху трактора з рамою та закріпленим до неї прес-підбирачем динамометрична ланка відхиляється на деякий кут назад під впливом тягового опору протягом 20 секунд досвіду.

Потім отримані експериментальні дані обробляються за методикою [15].

Результати випробувань прес-підбирача та аналіз отриманої залежності тягового опору від робочої швидкості руху подано у розділі 4.

3.4 Методика оцінки якості роботи комбайна

Методика відбору точкових проб та визначення якісних показників зерна.

При відборі проб основним правилом є всі проби беруться на одній глибині і рівномірно по всій площі.

Точкові проби з автомобілів відбирають механічним пробовідбірником або вручну щупом. Механічним пробовідбірником точкові проби відбирають по всій глибині насипу зерна.

З автомобілів довжиною кузова до 3,5 м точкові проби відбирають у чотирьох точках за схемою А, з довжиною кузова від 3,5 до 4,5 м – у шести точках за схемою, на відстані від 0,5 до 1 м від переднього та заднього бортів та на відстані близько 0,5 м – від бічних бортів.

Ручним щупом точкові проби відбирають із верхнього та нижнього шарів, із верхнього шару на глибині 10-15 см від поверхні насипу, а з нижнього шару торкаючись щупом дна.

Загальна маса проб при відборі механічним пробовідбірником або ручним

шупом за схемою А повинна бути не менше ніж 1 кг, за схемою Б – не менше ніж 2,5 кг, за схемою В – не менше ніж 2 кг.

Точкові проби необхідно відбирати з кожного кузова.

Визначення склоподібності з використанням діафаноскопа (рисунок 3.7)



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд приладу діафаноскоп

На касету приладу насипають зерно, і круговими рухами його по всій поверхні, поки зерна не заповнять всі осередки (1000 осередків).

Зайві зерна акуратно зсипають, касети вставляють у прилад і вмикають світло. За допомогою рукоятки касету розташовують у світловому потоці так, щоб було видно лише перший ряд. Переглядають через окуляр приладу, роблять записи про кількість склоподібних та борошнистих зерен.

До повністю склоподібних зерен зерна, що просвічуються, а до борошнистих – не просвічувани. Зерна з ендоспермом, що частково

просвічується, відносять до частково склоподібних зерен і не підраховують.

Характеристика повністю склоподібних і повністю борошнистих зерен пшениці різних типів наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Характеристика зерна пшениці різних типів при їх просвічуванні на діафаноскоп

Тип зерна	Характеристика	
	повністю склоподібних зерен	повністю борошнистих зерен
1	Зерна світлі, прозорі, просвічуються повністю	Зерна темно-коричневі або чорні, не просвічуються
2, 3, 4	Зерна янтарного або жовтого кольору, прозорі, просвічуються повністю	Зерна темні, не просвічуються
5	Зерна просвічуються повністю, але темніші, ніж одного типу	Зерна дуже темні або чорні, не просвічуються

Останній десятий ряд касети позначений червоною лінією. На даному приладі оптимально перевіряти склоподібність та борошнистість зерна, вирощеного у сприятливих умовах. При перевірці важливо розуміти, що зерна, що потрапили під опади, втрачають колір і визначити скловидність складніше, т.к. зерно може не просвічуватись. Фактично знебарвлене зерно часто зберігає склоподібну консистенцію ендосперму, що добре видно при його розрізі.

Залежно від призначення щупи розрізняють: вагонні (автомобільні) ЩВ - конусного типу, комори (складські) ЩА та мішкові ЩМ - циліндричного типу. Щупи складські виготовляються у вигляді штанг, що нагвинчуються.

Щупи всіх типів вводяться зерно або продукти закритими. На потрібній глибині їх відкривають і вони наповнюються продуктом. Конусний щуп ЩВ закривається і відкривається за допомогою стрижня, що проходить усередині порожнистої штанги, а циліндричний ЩА - поворотом внутрішнього циліндра щупа. Щупи з штангами, що нагвинчуються, закриваються вільним

переміщенням конуса на кінці штанги; при натисканні (під час введення в насип) конус, притискаючись до нижньої частини штанги, закривається.

Проби з мішків відбирають шупом у трьох доступних точках. Шуп вводять у мішок до його середньої частини жолобком донизу, потім повертають його на 180 градусів і обережно виймають. Отвори, що утворилися в тканині мішка, закладають, зрупаючи нитки мішковици вістрям шупа.

Принцип роботи «ІнфраЛЮМ ФТ-10» (рисунок 3.9) заснований на реєстрації спектрів поглинання зразка з використанням ефективного методу Фур'є – перетворення з подальшою обробкою з використанням методів множинного регресійного аналізу. "ІнфраЛЮМ ФТ-10" вимірює спектр на декількох сотнях довжин хвиль. Це значно покращує точність аналізу за рахунок більшого обсягу та високої точності обробленої інформації.



Рисунок 3.9 Загальний вид аналізатора "ІнфраЛЮМ" вологомір зерна Фауна-М Біомер.

Вологомір зерна Фауна-М (рисунок 3.10) являє собою мікропроцесорний прилад, призначений для вимірювання вологості зерна та зернопродуктів, що знаходяться в бункерах, дозаторах або транспортуються на стрічці конвеєра. Висока робоча температура експлуатації датчиків (до 180°C) дозволяє вбудовувати датчики безпосередньо в сушильне обладнання.



Рисунок 3.10 – Вологомір зерна Фауна-М.

Дільник-змішувач зерна використовується в лабораторіях зернової, зернозаготівельної хлібопекарської, кондитерської та молочної промисловості. БІС-1А (БІС-1) являє собою металевий циліндр діаметром 250 мм, у якому функціонально розрізняють три частини. Верхня частина має приймальну лійку

місткістю приблизно 4,5 кг зерна, з отвором внизу конуса, який може відкриватися за допомогою кульового затвора та рукоятки (важеля).

Друга частина, розташована під лійкою, складається з двох дільниць-змішувальних пристроїв, розміщених один над одним. Кожен із пристроїв складається з конуса та лійки, з'єднаних разом.

Зерно, розсипавшись поверхнею конуса, переміщується і, досягнувши його основи, через отвори потрапляє у з'єднану з конусом воронку.

З неї зерно висипається на другий дільниць-змішувальний пристрій, знову переміщується. (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Дільник – змішувач зерна БІС-1

Верхня частина має приймальну воронку місткістю приблизно 4,5 кг зерна з отвором внизу конуса, який може відкриватися за допомогою кульового

затвора і рукоятки (важеля). Друга частина, розташована під лійкою, складається з двох ділительно-змішувальних пристроїв, розміщених один над одним. Кожен із пристроїв складається з конуса та лійки, з'єднаних разом. Вирва другого пристрою має відповідний патрубок, через який з дільника виводиться половина проби, що спрямовується для визначення натури.

Нижня (третя) частина припаду є ще одним ділительно-змішувальним пристроєм. До нього також входять конус і вирва, але вже з двома вихідними каналами. Кожен канал забезпечений рухомою заслінкою, що дозволяє регулювати кількість зерна, що відокремлюється. Для регулювання величини навісок, що виділяються, у верхній частині корпусу укріплена цифрова шкала ділительних секторів пристрою.

Таблиця 3.6 - Технічна характеристика

Об'єм лійки (при питомій вазі зерна 0,75 г/см ³)	4,0-4,5
Середній час для змішування зерна та виділення з нього наважок, мін	0,5-1,0
Габаритні розміри (діаметр × висота), мм	250×1120
маса, кг	13,8

Проби зерна з кузова брали за допомогою щупів (малюнок 3.9) за ГОСТ 13586.3-2015, методом "конверта" за схемою В. Із загальної маси зерна, використовуючи дільник (малюнок 3.12) у цей день були відібрані після кожного комбайна по 10 потім поділили по 2 кг для досліджень.

Вологість зерна визначали вологоміром (рисунок 3.11) безпосередньо після вивантаження за ГОСТ 15366-5.2015, а вологість соломи – у сушильній шафі ABUTEN-OS за загальноприйнятою методикою.

Натура та бур'ян зернової маси визначалася на хлібних терезах ПХ-1 (ГОСТ Р 54895-2012).

Зміст зерна та бур'яну домішку в зерновій масі визначалося аналізом середніх проб.

Мікроушкодження зерна (дроблення) визначалося візуально стосовно кількості пошкодженого зерна до цілого в пробі 3 тис. зерен.

Мікроушкодження зерна від кожного комбайна визначалося за загальноприйнятою методикою [35] переглядом під лупою 7-кратного збільшення та на діафаноскопі ДСЗ-2М (рисунок 3.7). Розглядали такі ушкодження: 1) повністю бачить зародок; 2) ушкодження зародка; 3) ушкодження оболонки зародка; 4) пошкодження оболонки біля зародка; 5) ушкодження ендосперму; 6) внутрішні ушкодження.

Нами запропоновано МФА, призначений для збирання зернових культур з одночасним пресуванням соломи. Він базується на використанні серійного енергозасобу "Полісся" УЕС-2-280А, навішеного зернозбирального комбайна КЗР-10 та прес-підбирача соломи ПРП-1,6 (рисунок 3.12). Комбайн КЗР-10 модернізовано: від нього від'єдали пристрій для очищення та збирання чистого зерна в бункер, а на його місце приєднали прес-підбирач із приводом від ВОМ енергозасобу. Зернова купа, що вивантажується в транспортний засіб, що супроводжує комбайн, перевозиться на стаціонар, де очищується тими ж серійними очищувачами-накопичувачами зерна або спеціальними очищувачами за типом канадських МН-230 [24]. Солома укладається у валок між колесами УЕС-2-280А та пресується ПРП-1,6 у рулони. ○○

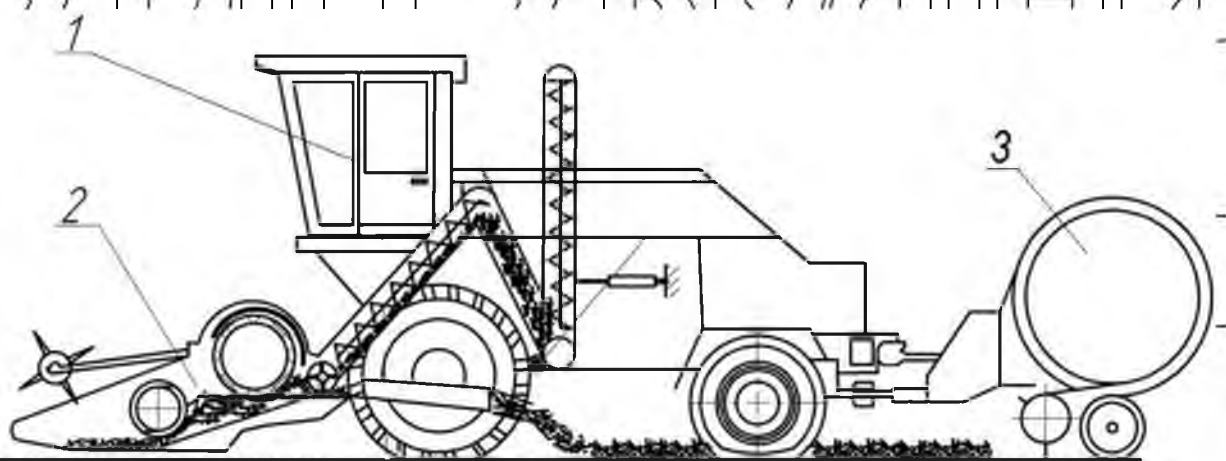


Рисунок 3.12 - Схема багатofункціонального агрегату (МФА): 1 - універсальний енергозасіб УЕС-2-280; 2 - навісний зернозбиральний комбайн КЗР-10; 3 - прес-підбирач соломи ПРП-1,6

Пропонована технологія має багато переваг: економія 1 кг палива на 1 т зерна [31], збирання цінної статі без будь-яких додаткових пристосувань до комбайна; збільшення продуктивності комбайна, що дуже важливо для своєчасного збирання врожаю; зниження втрат зерна та ін.

Завдання нашої роботи – обґрунтувати оптимальну тривалість збирання, а також ширину захоплення жнивarki зернозбирального комбайна методом планування трифакторного експерименту.

Як відгук використовували мінімум функції витрат і втрат.

При оптимізації функції витрат та втрат СЗП враховували ширину V_p захвата жнивarki МФА, врожайність U та кількість робочих днів прд. Для оптимізації параметрів МФА використали симетричний композиційний план типу V_p другого порядку, зіркові точки якого дорівнюють 4:1 [26-28].

Вивчили вплив трьох факторів (U , V_p , прд) та фіксували їх значення.

Канонічне перетворення полягає у виборі нової системи координат, у якій значно полегшується геометричний аналіз рівняння. І тому визначимо центр поверхні другого порядку.

Перенесемо початок координат до нового центру, причому у рівнянні (3.2) зникнуть лінійні члени x_i . Виконаємо поворот координатних осей на кут α , при цьому в рівнянні (3.2) зникнуть члени x_i^2 [5].

Продиференціювавши рівняння з кожної зі змінних i , прирівнявши похідні нулю, отримали систему лінійних рівнянь.

Вирішуючи систему лінійних рівнянь, знаходимо координати центру поверхні відгуку: $x_1 = -0,0434$, $x_2 = -0,1584$, $x_3 = -0,6142$.

Підставивши у вихідне рівняння (3.2) значення x_1 , x_2 , x_3 , знайшли величину параметра оптимізації в центрі поверхні відгуку Y_S , що дорівнює 2329,5 тис. грн. Це значення критерію оптимізації оптимальної точки (вільний член канонічного рівняння).

Визначили кут α повороту осей координат поверхні відгуку (старих осей) до суміщення з головним осями фігури, що дорівнює $18,64^\circ$ (рисунок 3.13, 3.14).

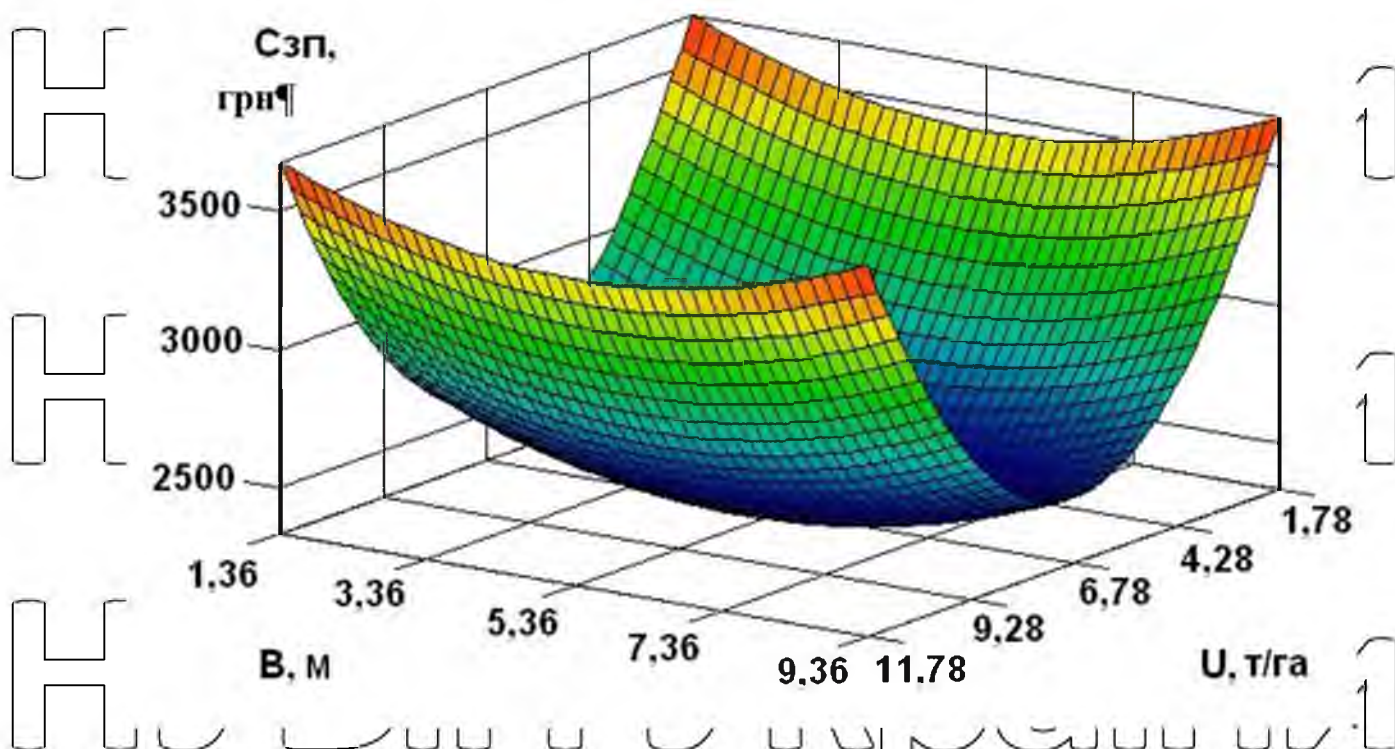


Рисунок 3.13 – Поверхня відгуку функції витрат та втрат СЗП в залежності від врожайності та ширини захоплення

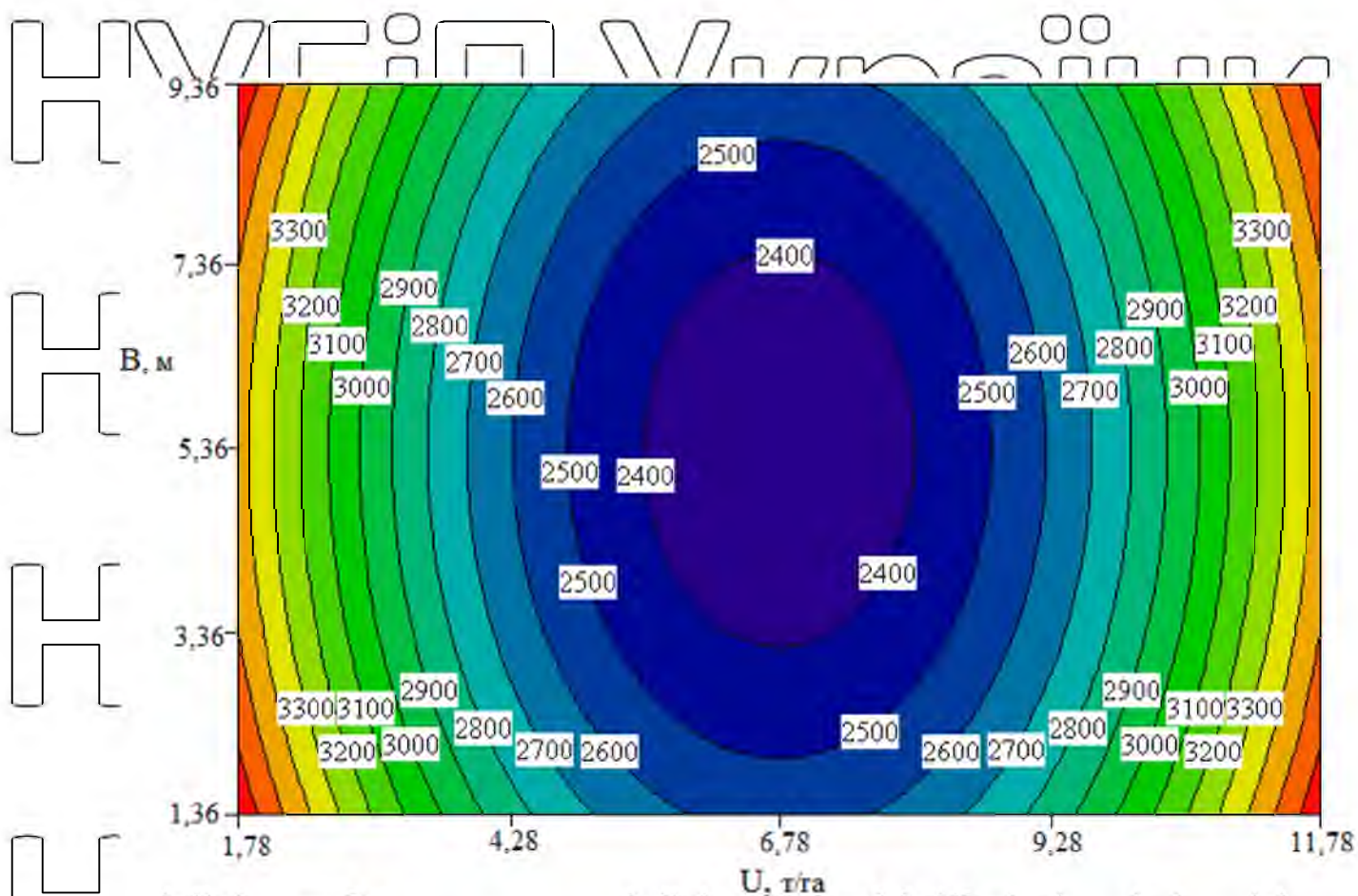


Рисунок 3.14 – Двовимірний переріз поверхні відгуку функції витрат та втрат СЗП залежно від врожайності та ширини захоплення

У нашому випадку:

$$Y - 2329,5 = 779,01 \cdot X_{12} + 504,41 \cdot X_{22} + 1150,12 \cdot X_{32}.$$

Для більш детального ставлення до поверхні відгуку її вивчили за допомогою двовимірних перерізів (рисунок 3.14).

Розглянемо переріз площиною $X_1 \times X_2$. Для цього у вихідне рівняння

(3.2) підставимо $x_3 = -0,6142$, тоді:

$$Y = 2784,274 + 1635,2516 \cdot x_1 - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot (-0,6142) - 847,7625 \cdot x_1 \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot x_1(-0,6142) - 391,173 \cdot x_2 \cdot (-0,6142) + 779,0165 \cdot X_{12} + 570,398 \cdot X_{22} + 1084);$$

$$Y_1, Y_2 = 3107,875 - 66,598x_1 + 143,92x_2 + 847,7625xx_2 + 779,016x_{12} + 570,398x_{12},$$

де $Y_{1,2}$ – функція витрат і втрат при взаємодії 1-го та 2-го фактора, 3-й фактор – у центрі плану.

Виконуючи канонічне перетворення та вирішуючи лінійні рівняння, знаходимо координати центру поверхні відгуку:

$$x_1 = -0,0434, x_2 = -0,1584.$$

Підставляючи знайдені значення x_1, x_2 до рівняння (3.2) визначаємо

значення параметра оптимізації в центрі поверхневого відгуку. При цьому

величина відгуку склала $Y_{1,2} = 2329,5$ тис. грн. Кут повороту нових осей у факторному просторі щодо початкових дорівнює $38,09^\circ$, а коефіцієнти рівняння в канонічній формі дорівнюють: $B_{11} = 1111,23, B_{22} = 238,18$.

Рівняння регресії у канонічній формі [5]:

$$Y_{1,2} - 2329,5 = 1111,23 \cdot X_{12} + 238,18 X_{22}.$$

Отримана поверхня відгуку являє собою еліптичний параболоїд, а її центр – екстремум. Оскільки у рівнянні (3.5) коефіцієнти $B_{11} = 1111,23, B_{22} = 238,18$ мають позитивні знаки тоді центр поверхні відгуку є мінімумом.

Еліпсоїд витягнутий по тій осі, якій відповідає менше за абсолютною величиною значення коефіцієнта канонічного рівняння (3.5), у нашому випадку – по осі X_2 , тому що $B_{22} < B_{11}$. Слід тельно, у цій парі взаємодії факторів більш істотний вплив на відгук має врожайність.

Розглянемо переріз поверхні відгуку $X_1 \times X_2$, тобто вплив інтервалів

варіювання факторів x_2 (ширина захоплення) та x_3 (кількість робочих днів) на величину відгуку при постійному факторі x_1 (врожайність). Для цього у вихідне рівняння (3.2) підставимо $x_1 = -0,0434$.

Рівняння набуває вигляду:

$$Y = 2784,274 + 1635,2516 \cdot (-0,0434) - 96,3403 \cdot x_2 + 1390,0916 \cdot x_3 - 847,7625 \cdot (-0,0434) \cdot x_2 + 2770,8395 \cdot (-0,0434) \cdot x_3 - 391,173 \cdot x_2 \cdot x_3 + 779,0165 \cdot (-0,0434)^2 + 570,398 \cdot x_2^2 - 1084,1315 \cdot x_2 \cdot x_3 + 570,398 \cdot x_2^2 + 1084,1315 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Перетворивши розв'язавши систему лінійних рівнянь, знайшли координати центру поверхні відгуку $x_2 = -0,1584$, $x_3 = -0,6142$ (рисунк 3.15, 3.16).

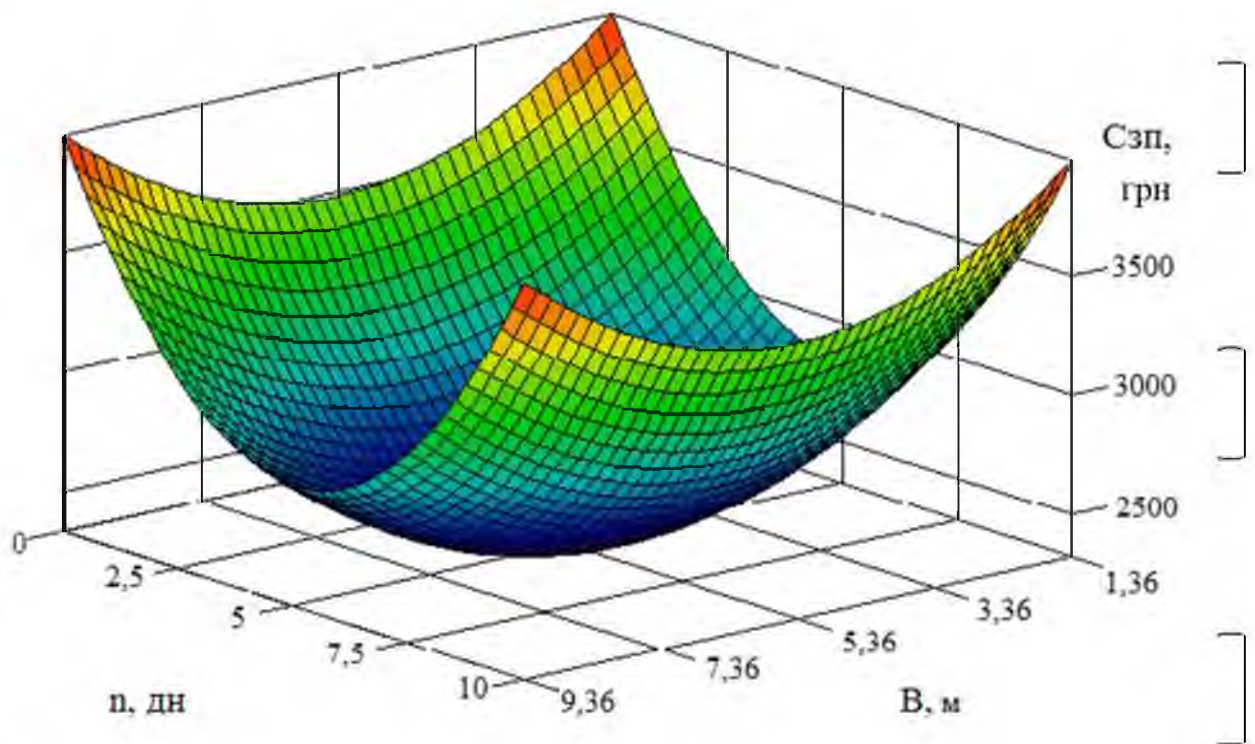


Рисунок 3.15 – Поверхня відгуку функції СЗП витрат і втрат залежно від ширини захоплення ґннварки та кількості робочих днів

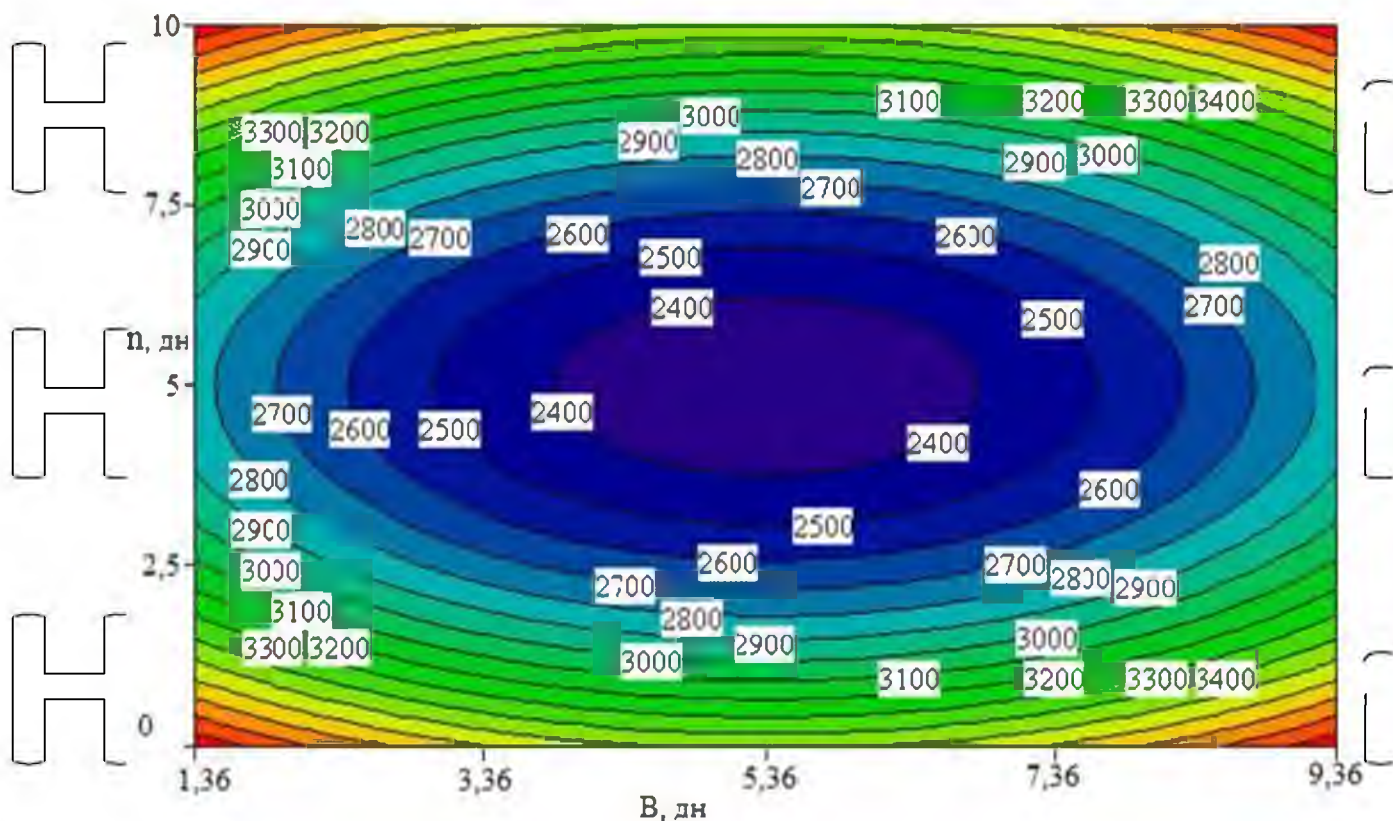


Рисунок 3.16 – Двовимірний переріз поверхні відгуку функції витрат та витрат СЗП залежно від ширини захоплення живарки та кількості робочих днів.

Підставили знайдені значення x_2, x_3 рівняння (3.5) і визначили значення параметра оптимізації в центрі поверхневого відгуку, коли інші фактори фіксовані відповідно в точках центру поверхні відгуку ($x_2 = 0,1584$; $x_3 = -0,6142$).

Набули значення відгуку $Y_2, Y_3 = 2329,5$ тис. грн.

Кут повороту нових осей, α в факторному просторі щодо початкових рівнів – $41,86^\circ$, коефіцієнти регресії в канонічній формі –

$$B_{22} = 504,41, B_{33} = 1150,12.$$

Рівняння регресії канонічної форми набуде вигляду:

$$Y_{2,3} = 2329,5 = 504,41 \cdot x_{22} + 1150,12 \cdot x_{33}.$$

Отримана поверхня відгуку є еліптичним параболоїдом (рисунок 3.14), а центр – екстремум. Оскільки у рівнянні (3.6) коефіцієнти $B_{22} = 504,41, B_{33} = 1150,12$ мають позитивні знаки, то центр поверхні відгуку є мінімумом. Еліпсоїд витягнутий по тій осі, якій відповідає менше значення за абсолютним значенням коефіцієнта канонічного рівняння (3.6), у нашому випадку – по осі X_3 , оскільки

B22 B33. Отже, у цій парі факторів більший вплив на відгук надає кількість робочих днів.

Канонічні перетворення експериментальної моделі, отриманої із застосуванням симетричного композиційного плану типу Вк, показало, що нові значення середини інтервалів варіювання досліджуваних факторів у кодованому вигляді мають $x_1 = -0,0434$, $x_2 = -0,1584$, $x_3 = 0,6142$ - Дени у натуральний вигляд. Їх значення склали:

врожайність $U = 6,78$ т/га;

ширина захвату $B = 5,36$ м;

кількість робочих днів $прд = 5$ днів.

Таким чином, за рахунок планування трифакторного елемента встановлені: оптимальна тривалість збирання зернових культур за пропонованою технологією – 5 робочих днів, ширина захоплення жниварки комбайна 5,4 м при оптимальній врожайності зерна 6,8 т/га.

Важлива перевага пропонованого агрегату у забезпеченні комплексного виконання робіт, оскільки проводиться пресування соломки одночасно із збиранням урожаю.

Цей спосіб значно ефективніший порівняно з відомими аналогами: він менш енергосмний, знижує втрати врожаю, більш продуктивний, забезпечує збір найбільш цінної зернової частини врожаю – м'якоти, зниження потенційної засміченості полів насінням бур'янів, оскільки вони при збиранні повністю вивозяться з полів, що знижує гербіцидне навантаження на ріллю та витрати на гербіциди.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України

4.1 Оптимальні параметри та режим роботи МФА на базі комбайна з одночасним пресуванням соломи

Усі розрахунки з моделювання процесу збирання зернових колосових культур з одночасним пресуванням соломи багатофункціональним уборочним агрегатом на базі комбайна TORUM-740 виконані нами на ПЕОМ за спеціально розробленою програмою до ЕОМ для всього можливого діапазону умов роботи агрегату. У першому операторі блок-схеми алгоритму оптимізації виробничого процесу (рисунок 2.15) представлений діапазон цих умов. Урожайність зерна змінюється в інтервалі $3 \div 12$ т/га, збиральні площі F – від 1 до 3 тис. га у господарстві, довжина гону L_p – від 5 до 1,5 км, коефіцієнт КП використання пропускної спроможності молотарки від 0,7 до 1,0, тривалість збирання n – від 1 до 15 днів. Нагадуємо, що як критерій оптимізації прийнято функцію витрат і втрат СЗП, витрат СЗ на збирання зерна з пресуванням соломи з урахуванням вартості його втрат від термінів збирання. При мінімальному значенні критерію СЗП знаходять оптимальні параметри МФА та його роботи.

В результаті виконаних розрахунків (рисунок 4.1) нами встановлено мінімальне значення критерію оптимізації $СЗП = 5930,6$ грн./га, для якого обґрунтовано всі конструктивні, технологічні параметри та експлуатаційні показники МФА. Максимальне значення СЗП визначається термінами збирання n , яких залежить вартість експлуатаційних витрат з його збирання, і навіть вартість прямих і непрямих втрат врожаю $СЗ = 3162,2$, а $СЗП = 2768,4$ грн./га. При цьому оптимальна тривалість збирання n становить 5 днів (рисунок 4.1), робоча швидкість комбайна 5 км/год, ширина захвату жнивarki 9,8 м при врожайності зерна 4 т/га, продуктивність комбайна 3,5 га/год, коефіцієнт використання змінного часу $\tau = 0,71$, кількість необхідних МФА на 1000 га збиральної площі дорівнює 5, коефіцієнт використання пропускної спроможності молотарки $КП = 0,8$.

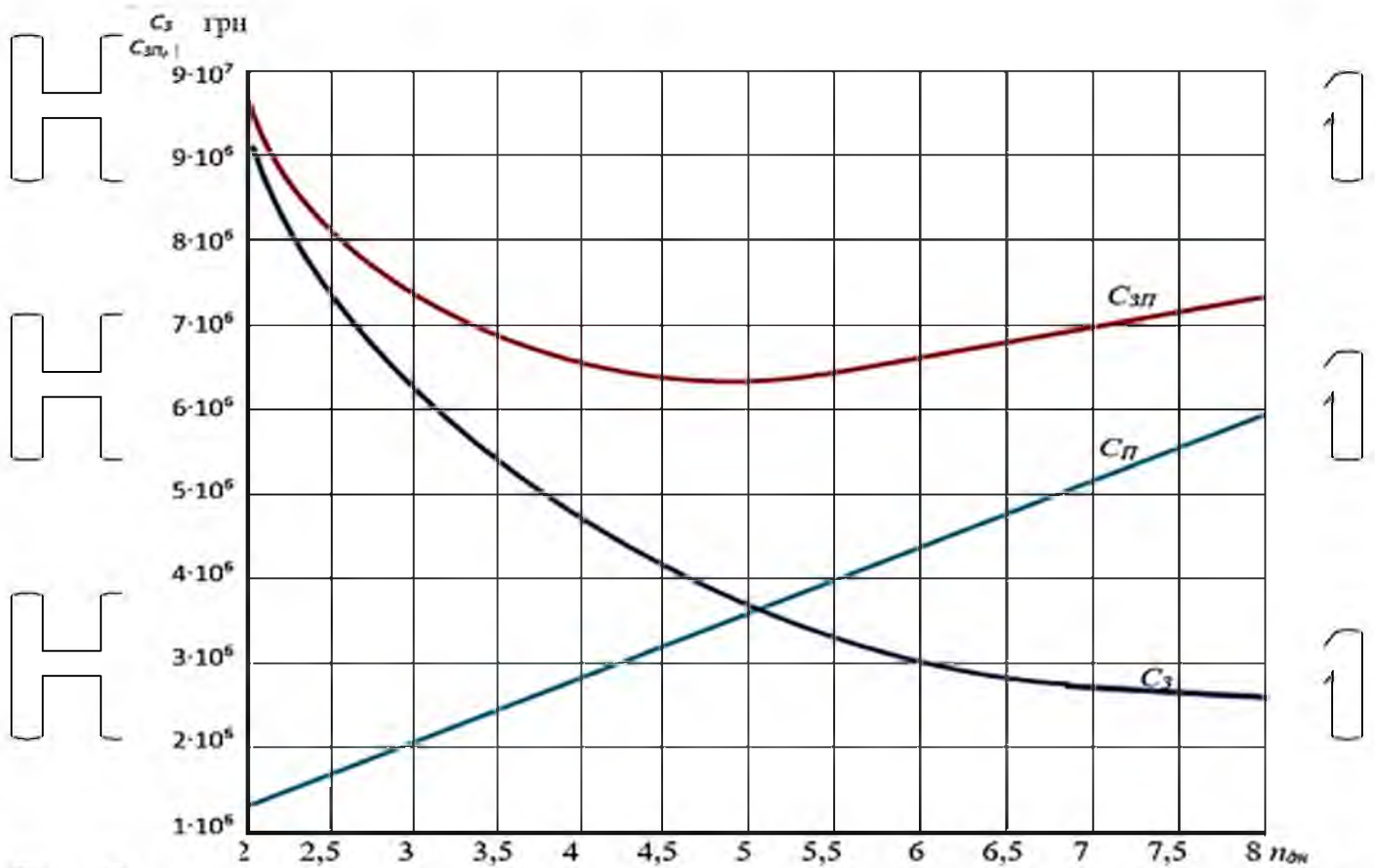


Рисунок 4.1 – Графік залежності функції витрат та втрат від тривалості збирання

Аналогічне завдання щодо забезпечення параметрів та режимів роботи збирального агрегату з одночасним пресуванням соломи нами вирішено для іншого складу МФА, в якому як тяговий засіб використано енергозасіб-280 [16], як комбайн – навісний КЗР- 10, а прес-підбирач ПРФ-180, що у першому завданні.

Розв'язання задачі методом проектування дозволило визначити параметри жниварки ($B_p = 5,4$ м), робочу швидкість комбайна $v_p = 5$ км/год при врожайності $\Pi = 6,8$ т/га та оптимальну тривалість збирання $t = 5$ днів [106].

Завдяки розрахункам за запропонованими блок-схемами, нами отримано залежність експлуатаційних та техніко-економічних показників роботи агрегату на базі TORUM-740; залежність продуктивності МФА від урожайності та ширини його захоплення (рисунки 4.2-4.4); залежність функції витрат та втрат на виконання збиральних робіт від тривалості t збирання (рисунок 4.1).

Функція витрат і втрат (рисунок 4.1) дозволяє встановити оптимальну тривалість збиральних робіт – 5 днів у точці перегину функціональної залежності. Ця точка відповідає оптимальним термінам збирання зернових колосових, починаючи з моменту стиглості зерна.

Починати збирання треба в момент припинення надходження пластичних речовин у дозріваюче зерно і завершувати її в стислий термін, щоб уникнути втрат від самоосипання та зниження його якості. Забравши в більш стислий термін, ми отримуємо максимальний урожай. За даними досліджень, зниження врожаю починається з 3-4-го дня настання повної стиглості і до 25-го дня, коли втрачається вже 40% урожаю [41]. Згідно з нашою математичною моделлю, оптимальна тривалість збирання пшениці повинна бути не більше 5 днів (рисунок 4.1).

Мінімальне значення цієї суми витрат та втрат визначає оптимум тривалості збирання та всі інші параметри (оптимальну ширину захвату V_p жниварки, швидкість руху v_p , величину оптимальних витрат на збирання C_3 та втрат урожаю $СП$).

Згідно з нашими розрахунками оптимум n складає 5 днів, при цьому стоїть-мість витрат C_3 склала 3162 грн/га, вартість втрат врожаю $СП = 2768,4$ грн/га, а мінімум функції $C_3 + СП$ витрат і втрат - 5930,6 грн/га. На підставі моделювання продуктивності МФА отримано залежність ширини захвату V_p від робочої швидкості v_p та врожайності U зерна при значеннях продуктивності 20 т/га. На рисунку 4.2 така залежність представлена.

Для будь-якого поєднання швидкості, ширини захвату комбайна та врожайності зерна можна прогнозувати продуктивність МФА. Головне обмеження продуктивності – це величина втрат урожаю, яка не повинна перевищувати 1,5 % (наведена пропускна спроможність молотарки комбайна).

Взаємопов'язка ширини захвату V_p , швидкості v_p та врожайності U представлена на рисунку 4.2, чим вища швидкість руху при одній врожайності, тим менша ширина захвату жниварки. Залежно від врожайності зерна (рисунок 4.2) також закономірно знижується ширина захвату жниварки: при швидкості 5 км/год та продуктивності комбайна 20 т/год. т/га – 7 м і за врожайності 8 т/га

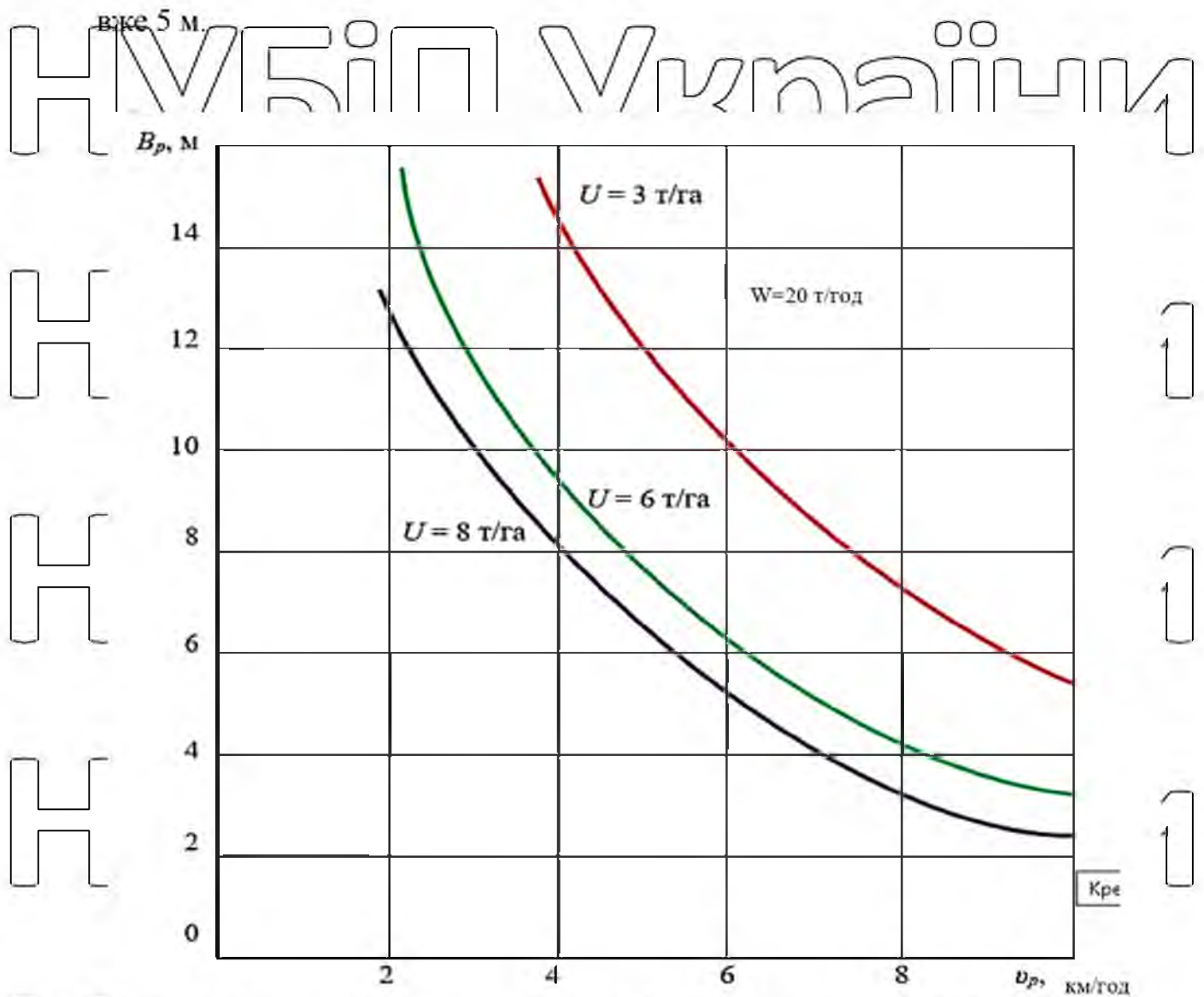


Рисунок 4.2 – Графік залежності B_p від v_{ps} та U при $W = 20$ т/год

З урахуванням пропускної спроможності молотарки комбайна q ширина захвату B_p жниварки також залежить від урожайності зерна U та робочої швидкості руху v_{ps} (рисунк 4.3).

Якщо прийняти робочу швидкість 5 км/год, врожайність 5 т/га, то для пропускної спроможності молотарки 5 кг/с потрібно жниварка 5 м, при $q = 10$ кг/с - жниварка 7,5 м і при $q = 14$ кг/с - 11,2 м.

Залежність коефіцієнта використання часу зміни (рисунк 2.3) від робочої довжини гону дозволяє враховувати її при моделюванні критерію оптимізації нашого завдання.

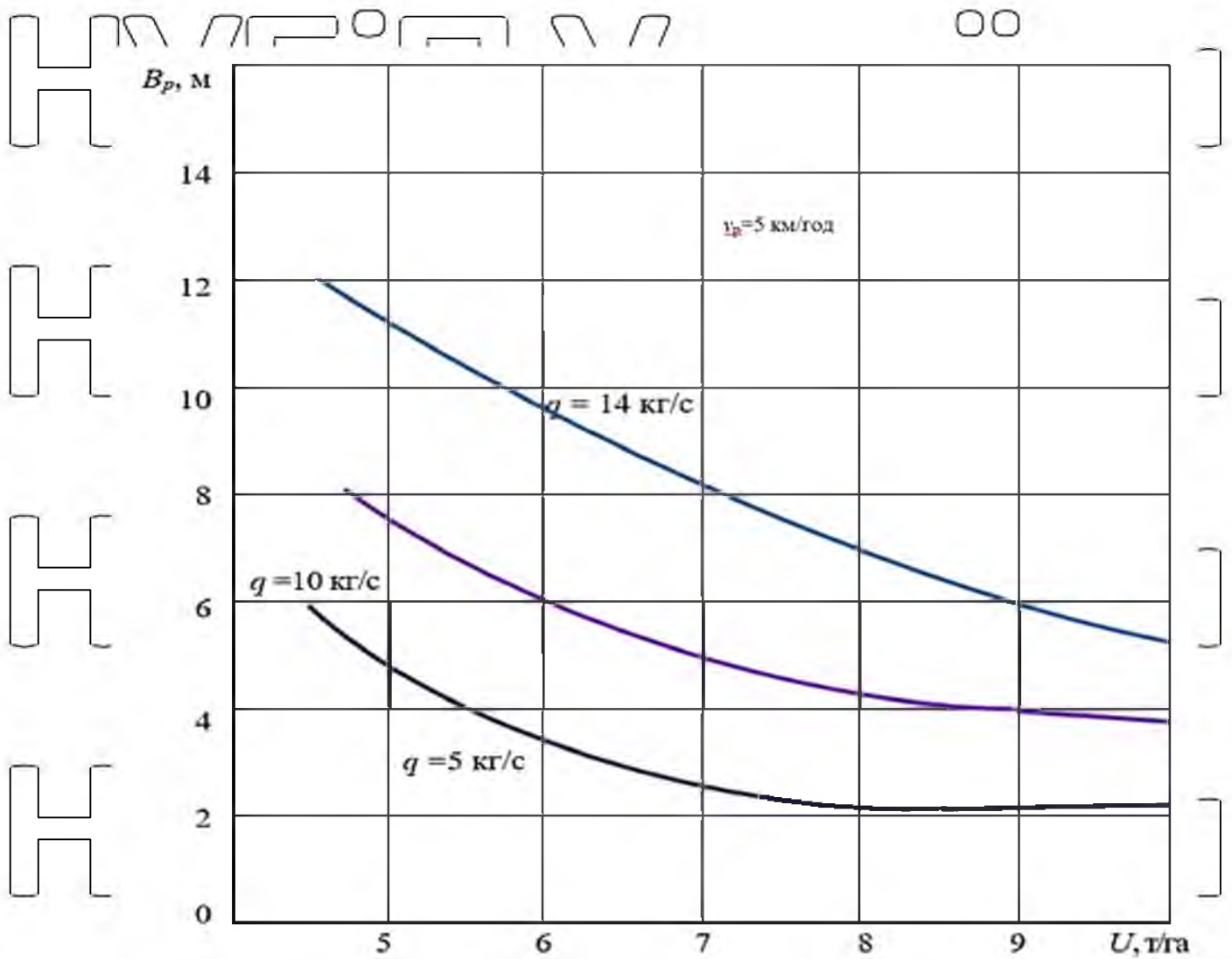


Рисунок 4.3 – Графік залежності B_p від U та q при $v_p = 5$ км/год

В результаті виконаних розрахунків нами встановлено: мінімальне значення цільової функції витрат і втрат СЗП, оптимальна тривалість збирання n , врожайність зерна U . Збиральна площа F , довжина гону L_p , ширина захвату жниварки B_p при оптимальній робочій швидкості руху МФА і наведеній подаї хлібної маси $q_{пр}$, продуктивність агрегату W за 1 годину змінного часу, маса C_k та вартість СБ комбайна, потрібна кількість комбайнів для прибирання заданої площі F у оптимальні терміни $n = 5$ днів, усі ці показники зведені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимізація параметрів, режим роботи МФА та тривалість збирання зерна з одночасним пресуванням соломи

№ пп	Параметри та показники	Значення параметрів та показників	
		фактичні	оптимальні
1	Критерій оптимізації, ЗП	6053,0	5931
2	Оптимальна тривалість збирання врожаю n, дн.	5	5
3	Оптимальна врожайність зерна U, т/га	6,0	4,0
4	Збиральна площа F, га	1000	1000
5	Довжина гону Lp, м	1500	1500
6	Потужність двигуна Ne, кВт	294	294
7	Маса комбайна Gдо, кг	18840	18840
8	Вартість комбайна СБ, тис. грн.	15000	15000
9	Ширина захоплення жнивarki, м	6,8	9,8
10	Робоча швидкість руху, км/год	4,9	5,0
11	Наведена подача МСУ qпр, кг/с	12	12
12	Продуктивність агрегату W, за 1 годину змінного часу: га/год; т/год	2,5; 15,0	3,5; 14,0
13	Питома витрата палива: кг/га; кг/т	19,8; 3,3	13,7; 3,40
14	Потрібна кількість комбайнів, шт.	5,0	5,0
15	Вартість витрат СЗ, тис. грн.	3229,0	3162,2
16	Вартість втрат урожаю СП, тис. грн.	2823,8	2768,4
17	Закупівельна вартість зерна Z, грн.	9000	9000
18	Соломистість хлібної маси α ср	0,5	0,5
19	Місткість зернового бункера, м ³	10,5	10,5

4.2 Експлуатаційно-технологічна оцінка жнив МФА

Умови випробувань наведено у таблиці 4.2, а технічна характеристика МФА – у таблиці 3.1.

Таблиця 4.2 - Умови роботи зернозбирального комбайна TORUM-740

№	Значення показника
---	--------------------

п/п	Показник	по ДСТУ	за даними виконань*)
1	Врожайність зерна, ц/га	40-60	65,1/60,0
2	Висота рослин, см	40-180	65/70
3	Полеглість рослин, %	Менш 20	0/0
4	Вологість, %:		
	зерна	до 24	12,0/11,2
	соломи	до 40	16,9/14,5
5	Маса тисячі зерен	понад 40	47,46/48,0
6	Вологість ґрунту в шарі 0-10 см, %	до 20	18,0/16,0
7	МПа	більше 1,0	1,3/1,4
8	Робоча швидкість руху, км/год	до 10	4,8/4,9
9	Ширина захоплення жниварки, м	до 9,0	6,8/6,8
10	Продуктивність за 1 год основного часу		3,3/3,3
11	Втрати зерна, %:		
	загальні	не більше 2	1,24/1,23
	за молотилкою	не більше 1,5	1,04/1,03
	за жниваркою	не 0,5	0,2/0,10

*) у чисельнику – за даними експерименту 2021 р. у знаменнику – 2022 р.

Умови та площа для випробувань склалися сприятливо: відсутність полеглості, кам'янистості, бур'янів вище зрізу стерні, рівний рельєф, що сприяло високопродуктивній роботі агрегату [28-30]

Таблиця 4.3 – Агротехнічні показники під час лабораторно-польових випробувань МФА

Показник часу	Значення показника за видом робіт			
	пряме комбайнування пшениці			
	TORUM-740		TUKANO-480	
	год	%	год	%
Час основної роботи	5,22	74,57	5,30	75,71
Час на повороти	0,12	1,71	0,13	1,86
Час на переїзди на робочому місці	0,00	0,00	0,00	0,00
Час на розвантаження зерна	0,54	7,72	0,52	7,43
Час на інші допоміжні операції	0,00	0,00	0,00	0,00
Час на щозмінний технічний обслуговування комбайна	0,43	1,86	0,08	1,15
Час на підготовку та закінчення робіт	0,05	0,71	0,05	0,71
Час на проведення налагодження та регулювання	0,01	0,14	0,00	0,00
Час на усунення технологічних несправностей	0,00	0,00	0,00	0,00
Час на відпочинок	0,65	9,29	0,65	9,29
Час на неодружені переїзди	0,27	3,86	0,27	3,85
Час на щозмінний технічний обслуговування жниварки	0,01	0,14	0,00	0,00
Разом – змінний час	7,00	100,00	7,00	100,00
Час на періодичний технічний обслуговування	0,00	-	0,00	-
Час на усунення технічних відмов та пошкоджень	0,00	-	0,00	-
Разом – експлуатаційний час	7,00	-	7,00	-
Коефіцієнт використання змінного часу		0,75		0,76

Мета експлуатаційно-технологічної оцінки МФА – виявити дотримання вимог базової операції до конструкції, схем та параметрів технічних засобів.

Основними вимогами до зернозбирального комбайна та прес-підбирача соломи, як зазначено у вихідних вимогах, є необхідність забезпечення коефіцієнта надійності технологічного процесу 0,99, терміну служби комбайна 12 років, використання часу зміни – не менше 0,68, коефіцієнта технологічного обслуговування – не менше 0,96, напрацювання на відмову – понад 70 годин.

Повнопривідний зернозбиральний комбайн працює зі спеціальним причіпним пристроєм для агрегування причіпної зброї та автоматичним перемикачем гідроциліндра цієї зброї для переведення в транспортне положення. Причіпний пристрій забезпечено компенсаційним пристроєм для збільшення тягового зусилля комбайна з підключенням від гідروприваду на задні колієси заднього керованого моста. Така конструкція зернозбирального комбайна дозволить йому працювати як тяговий енергозасіб, забезпечуючи збирання зерна та пресування соломи.

Експлуатаційно-технологічна оцінка виконана нами із застосуванням хронометражних епостережень за роботою агрегату протягом контрольної зміни. Наведені вище параметри наведені в таблиці 4.3.

Аналіз балансу часу зміни дозволяє дійти невтішного висновку, що основний роботи МФА залишило 5 %. Інші складові балансу часу зміни як і перебувають у межах, допустимих нормативами.

Баланс часу роботи МФА дозволив визначити всі необхідні експлуатаційно-технологічні показники роботи (таблиця 4.4-4.5).

Агротехнічні показники якості роботи УПА представлені у таблиці 4.4. У чисельнику таблиці наведено результати експерименту 2021 р. у знаменнику – 2022.

Згідно з виконаною агрооцінкою, комбайн TORUM-740 у складі МФА та прес-підбирач ПРФ-180 повністю відповідають агро вимогам на збирання зерна та пресування соломи. А головне, виконується основне завдання – прибрати врожай у агротехнічні терміни та запресувати солому в рулони, тим самим скоротити витрати та терміни роботи.

Таблиця 4.4 – Агротехнічні показники якості роботи ЗГА

Показник	Значення показника
Робоча швидкість руху, км/год	4,9
Висота стерні, см	17,6/19,2
Маса стерні, г/м ²	360,0/380,0
Втрати зерна за жнивваркою, %, всього	0,5/0,2
в тому числі: вільним зерном	0,1/0,1
зерном у незрізаних колосках	0/0
зерном у зрізаних колосках	0,1/0,1
Втрати зерна за молотилкою, %	1,04/1,03
Робоча ширина захоплення жнивварки, м	6,8/6,8
Якість зерна з бункера, %:	
чистота зерна	97,0/98,0
дроблення зерна	0,3/0,3
Вміст бур'яну домішки, %:	0,3/0,3
в тому числі: органічної	0,3/0,3
мінеральної	0/0
Втрати соломи прес-підбирачем	0/0
Глибина колії від проходу комбайна, см	
Питомий тиск на ґрунт, кПа	128,0/128,0
Твердість ґрунту по сліду коліс комбайна, МПа	3,4/3,4

При експлуатаційно-технологічній оцінці (таблиця 4.5) було визначено номінальну продуктивність комбайна TORUM-740 при рівні втрат 1,5 %, що становить 20,43 т/год (3,4 га/год) (рисунок 4.4).

Таблиця 4.5 - Експлуатаційні показники роботи зернозбиральних

комбайнів з різними конструкціями МСП

найменування показника	Порівнювані комбайни	
	TORUM-740 (Роторний)	TUKANO-480 (Більний)
Ширина захоплення, м	6,8	7,2
Швидкість руху, км/год	4,9	4,8
Висота стерні, см:	17,6	19,2
стандартне відхилення, ± см	2,4	2,7
коефіцієнт варіації, %	12,1	14,1
за годину основного часу		
Продуктивність за 1 год основного часу мені, т/год/га/год	20,0/3,4	20,7/3,45
Втрати зерна за жниваркою, %:	0,20	0,8
у тому числі: вільним зерном	0,10	0,1
у зрізаних колосках	0,10	0
Загальні втрати зерна за комбайном, %	1,24	1,03
Дроблення зерна, %	0,334	3,4
Чистота бункерного зерна, %	98,0	99,0
Вміст бур'яну домішки	0,3	0,3
у тому числі: органічної	0,3	0,3
Питомий тиск на ґрунт, кПа	128	120
Глибина колії від коліс	4,0	3,2
Твердість ґрунту по сліду коліс, МПа	3,4	3,2
Втрати соломки прес-підбирачем, %	0	-
Питома витрата палива, кг/т	3,3	2,1

Відповідноз ТУ, при коефіцієнті використання змінного часу, що дорівнює 0,75, продуктивність за годину основного часу склала 20 т. При цьому робоча ширина захоплення жниварки склала 6,8 м, середня швидкість руху 5,0 км/год, втрати зерна – 1,2%.

Коефіцієнт використання експлуатаційного часу становив також 0,75, а експлуатаційна продуктивність 15,3 т/год при коефіцієнті технічної готовності $K_g = 1,0$ та рівні втрат зерна 1,5 % роботи становив 19,8 кг/га або 3,5 кг/т.

Важливо відзначити, що дроблення зерна в бункері склало 0,38 % у роторного МСУ, що в 10 разів менше, ніж у комбайна з класичною молотаркою (3,38%). Комбайн TORUM-740 надійно виконував технологічний процес, коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу дорівнює 1.

Показники якості роботи комбайна були взяті виходячи із втрат за комбайном: сумарні втрати при нормативі ТУ не більше 2,0% склали 1,24%, у тому числі: за молотилкою – 1,04% та за жниваркою – 0,20% за нормативу ТУ трохи більше 0,5 %, вміст бур'яну домішки 0,3 % при нормативі ТУ трохи більше 2,0 %. Результатами випробувань встановлено, що конструкція комбайна зернозбирального самохідного TORUM-740 відповідає вимогам ГОСТ 12.2.019-2005 та ГОСТ ЄН 632-2003 (п. 6.2.1), а також ТУ та НД, він прийнятий нами для складу МФА.

На підставі експлуатаційно-технологічної оцінки МФА від урожаю 6 т/га отримані такі експериментальні дані (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6 – Експлуатаційно-технологічні показники МФА за врожайності 6 т/га

Показник	Значення показника		Відсоток експериментальних результатів
	експериментальне	теоретичне	
Робоча швидкість руху, км/год	4,9	5,0	2,0
Робоча ширина захвату, м	6,8	7,9	13,9
Продуктивність МФА за одну годину основного часу, га/год	2,5	2,8	10,7
Питома витрата палива, кг/га	19,8	19,5	1,5
Прямі втрати зерна за комбайном, %	1,43	1,24	13,3

Аналіз отриманих теоретичних та експериментальних даних дозволяє

зробити висновок, що їхня збіжність знаходиться в інтервалі 1,5-13,9 %.

Найбільша різбіжність має місце 13,9% за шириною захоплення жниварки. Це пояснюється тим, що при експлуатаційно-технологічній оцінці застосовувалася серійна жниварка з конструктивною шириною захвату 7 м до зернозбирального комбайна TORUM-740. Це вплинуло також і на продуктивність комбайна (2,5 га/год – експериментальна та 2,8 га/год – теоретична, різниця 10,7 %). При більшій ширині захоплення жниварки (8 м) відмінності даних практично й не було.

Таблиця 4.7 – Експлуатаційно-енергетичні показники роботи МФА із комбайном

Показник	Значення показника	
	фактичне	розрахунковий
Режим роботи МФА:		
швидкість руху, км/год	4,9	5,0
ширина захвату МФА, м	6,8	7,9
продуктивність МФА за аналоговим часом, т/год.	20,0	23,7
Витрата палива за 1 годину зміни, кг/т	19,8	2,3
Питомі енерговитрати, МДж/т	913,3	89,8
Тяговий опір машини ПРФ-180Б, кН	2,1	2,0
Стійкість руху агрегату на робочій швидкості, 5 км/год		
середньоквадратичне відхилення σ , \pm км/год	$\pm 0,2$	
коефіцієнт варіації v , %	4,0	

Велика також відмінність (13,3%) за прямими втратами зерна за комбайном (1,43 і 1,24% до врожаю), але в обох випадках вони не перевищують допустимі втрати з агровимог [60]. Різниця ж теоретичних та фактичних втрат

за комбайном залежить від стану хлібної маси та точності підрахунку зерен за комбайном.

Енергетична оцінка МФА з використанням розрахункових та фактичних даних, отриманих під час експерименту. Мета роботи – отримати значення енергоемності робочого процесу МФА та збіжність розрахункових та фактичних техніко-експлуатаційних показників. Фактичні та розрахункові експлуатаційно-енергетичні показники роботи МФА представлені в таблиці 4.7.

При розрахунку питомих витрат сукупної енергії на збиранні використано результати лабораторно-польових випробувань МФА. Їхня величина фактична 913,3 МДж/т, а розрахункова – 898 МДж/т (таблиця 4.7).

Вона включає витрати сукупної енергії на збирання зерна прямим комбайнуванням із пресуванням соломи ПРФ-180Б.

Фактичні питомі витрати 913,3 МДж/т відрізняються від теоретичних 898 МДж/т на 1,7 %, що свідчить про достатню збіжність результатів.

4.3 Якість роботи комбайна у складі МФА та якість зерна

У розділі 2.1 обґрунтовано вибір самохідного комбайна TORUM-740 у складі МФА для збирання зерна з одночасним пресуванням соломи. Тут дуже важливими є його енергонасиченість, повний привід, особливості конструкції МСП. До того ж у процесі досліджень нами виявлено ще одну оригінальну перевагу комбайна TORUM-740 – це зниження травмування зерна під час збирання: у 10 разів знижується дроблення зерна порівняно з більшими МСП та на 8-12 % – мікроушкодження порівняно з більшими МСУ, що визначають втрати врожаю та якість зерна. Якість роботи комбайна TORUM-740 можна простежити з прикладу показників таблиці 4.8.

Сучасні комбайни допускають великі втрати зерна до 10% [8], а також макро- та мікроушкодження [37]. У середньому дроблення становить 1,5-6% [13], а мікроушкодження пшениці - 6,2-48,7% [16].

Сюди також треба віднести дроблення 2-3% та мікроушкодження 10-25% зерноочисними агрегатами типу ЗАВ-40. У масштабах країни це спричиняє

великі втрати урожаю: 1 % дроблення рівноцінний 0,1 % втрат зерна розпилом, 1 % мікроушкодження – 10 кг/га втрат урожаю [136].

Таблиця 4.8 - Показники якості виконання технологічного процесу комбайном TORUM-740

Показник	Значення показника	
	за ТУ	за даними випробувань
Висота зрізу:		
настановна, см	5; 9; 12; 16	15
середня фактична, см	19,5; ± 1,5 см	14
середнє фактичне відхилення, ± см		± 1,0
коефіцієнт варіації		18,0
Мінімальна висота зрізу, см	5,5±1,5	5,0
Сумарні втрати зерна за комбайном, %	не більше 2/2*)	1,24
у тому числі втрати за молотилкою	не більше 1,5	1,04
Якість зерна з бункера комбайна, %:	не більше 2/2*)	0,20
дроблення зерна		
сміттєва домішка	не більше 2	0,340,34
Втрати зерна розпилом, %		0,03
Мікроушкодження, %		17,2

Напрошується висновок, що можна підвищити валові збори та якість зерна лише за рахунок зниження дроблення та мікроушкодження їх машинами. Нашими дослідженнями встановлено прямі та опосередковані втрати урожаю зерна озимої пшениці після комбайнів з різними конструкціями МСП (роторними та більними).

Дослідження щодо якості зерна після МСП. Порівнюючи зерно, обмолочене роторним (TORUM-740), більним (TUKANO-480) та (ДОН-1500Б) МСП. Для дослідження якості з бункера було взято насіння, виділене в

лабораторії із проб зерна, прибраного різними комбайнами, та насіння, виділене із зернової маси з усього поля в учгоспі, на струмі.

При аналізі насіння з шести видів мікроушкоджень було знайдено два – зернівки з повністю вибитим зародком та мікротріщинами ендосперму. Це багато в чому пояснюється сортом пшениці та умовами збирання врожаю. Мікротріщини ендосперму добре видно при просвічуванні зерновок на діафаноскопі ДСЗ-2М. Їх можна розділити на 4 групи: 1 – внутрішні тріщини в ендоспермі біля зародка, що торкаються зародка по прямій або косій лінії; 2 – внутрішні прямі тріщини (від однієї до трьох) поперек або навкоси ендосперму; 3 – мікротріщини в ендоспермі вздовж зернівки; 4 – мікротріщини найрізноманітнішої форми у будь-якій частині ендосперму. У таблиці 4.9 наведено показники маси 1000 зерен та мікропошкодження зерновок.

Таблиця 4.9 – Маса 1000 зерен та мікроушкодження зерновок (2021 р)

Варіанти	Маса 1000 зерен	Мікроушкодження зерновок, %	
		всього	зародок
Насіння з урожаю зерна, прибраний комбайном TORUM-740	47,46	21,1	7,6
Насіння з урожаю зерна, прибраний комбайном TUKANO-480	47,36	29,5	11,4
Насіння учгоспу "Кубань" із зернової маси з усього поля	47,27	25,3	9,3
Вплив факторів, %:			
повторень варіантів	54,7	0,3	0,2
випадкових	7,3	99,3	99,2
	38,0	0,4	0,6

Дані таблиці 4.9 показують рівноцінність маси 1000 зерен у всіх випадках. Мікроушкодження насіння найбільше під час роботи комбайна TUKANO-480, а найменші – під час роботи комбайна TORUM-740. Насіння учгоспу "Кубань" із

зернової маси, зібраної обома комбайнами, по мікро-ушкодженнях зерновок займає проміжне положення. Різниця в мікроушкодженнях зерна між усіма варіантами є значущою, і самі ці ушкодження залежать від роботи комбайна на 90 %.

Зерно дозріває після збирання, тобто. відбувається вторинний синтез речовин: цукор переходить у жир та крохмаль, небілковий азот – у білковий, жирні кислоти та гліцерин – у жири. Цей перехід простих речовин у складні покращує всі якості зерна. Найважливішими умовами, що впливають на вторинний синтез речовин, є вологість зерна та температура.

4.4 Методика інженерного розрахунку жнив МФА з одночасним пресуванням соломи

Складові балансу потужності МФА. У завданнях досліджень передбачено розробку методики інженерного розрахунку пропонованого МФА з одночасним пресуванням соломи. У другому розділі дисертації теоретично обґрунтовано тягово-потужний баланс МФА, використовуючи який, нами розроблено методику інженерного розрахунку. У складі балансу потужності МФА використана потрібна потужність на функціонування прес-підбирача:

$$N_{пр} = 11,621 \cdot I_{пр} \cdot q_{пр}$$

де $N_{пр}$ - на робочий процес прес-підбирача, кВт; $q_{пр}$ – пропускна здатність прес-підбирача по соломі, кг/с.

Залежність необхідної потужності прес-підбирача ПРФ-180 представлена на рисунку 4.6. Отримана залежність $N_{пр} = f(q_{пр})$ використана при оптимізації параметрів МФА та рекомендованої до впровадження у навчальний процес методики інженерного розрахунку МФА. Баланс потужності двигуна МФА (рисунок 4.7), розрахований за отриманими нами залежностями (таблиця 4.7), дозволяє виділити кожну складову: на перекочування комбайна (рисунок 4.8), на перекочування прес-підбирача (рисунок 4.8), на технологічний малюнок 4.7), на привід керованих коліс (рисунок 4.11), а також залежності споживаної потужності двигуна комбайна від швидкості руху (рисунок 4.10) та тягового

опору прес-підбирача ПРФ-180 від швидкості руху (рисунк 4.11).

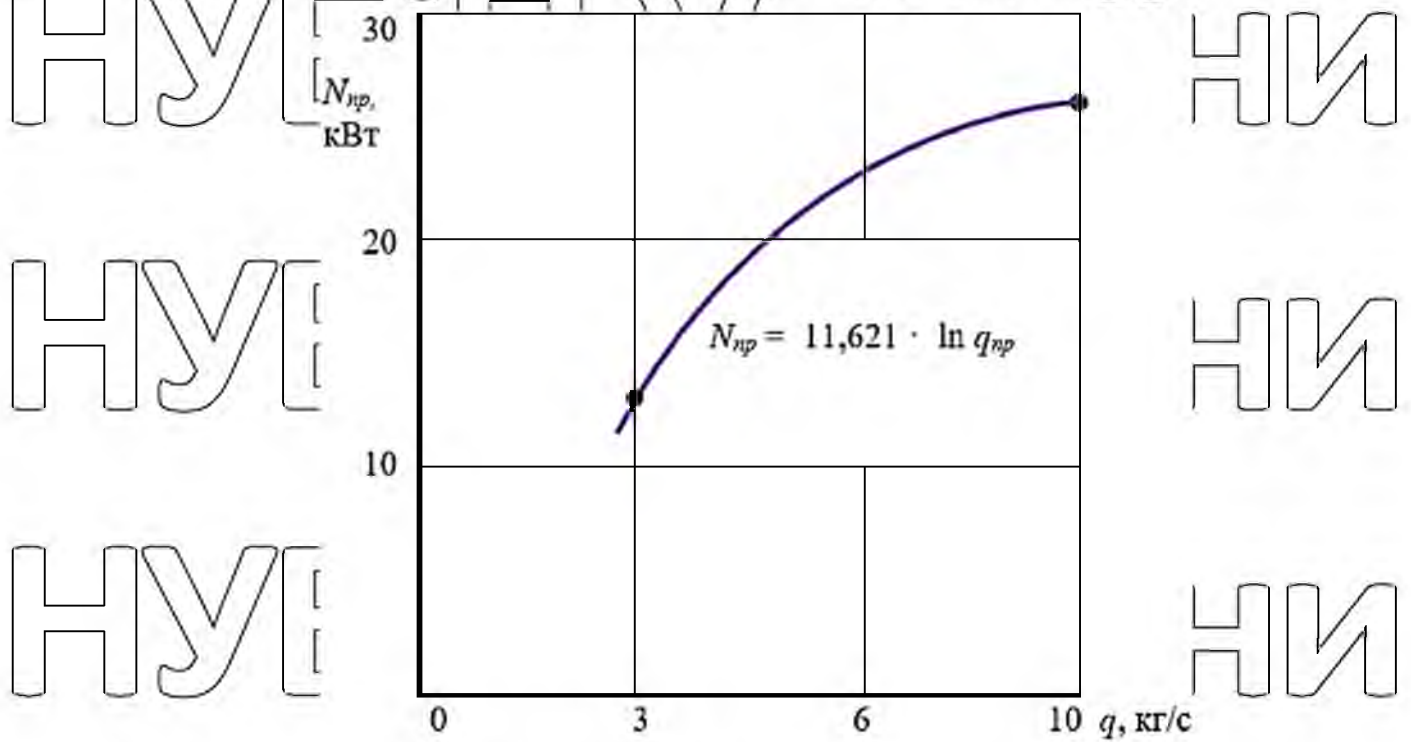


Рисунок 4.6 – Графік залежності $N_{пр}$ від $q_{пр}$

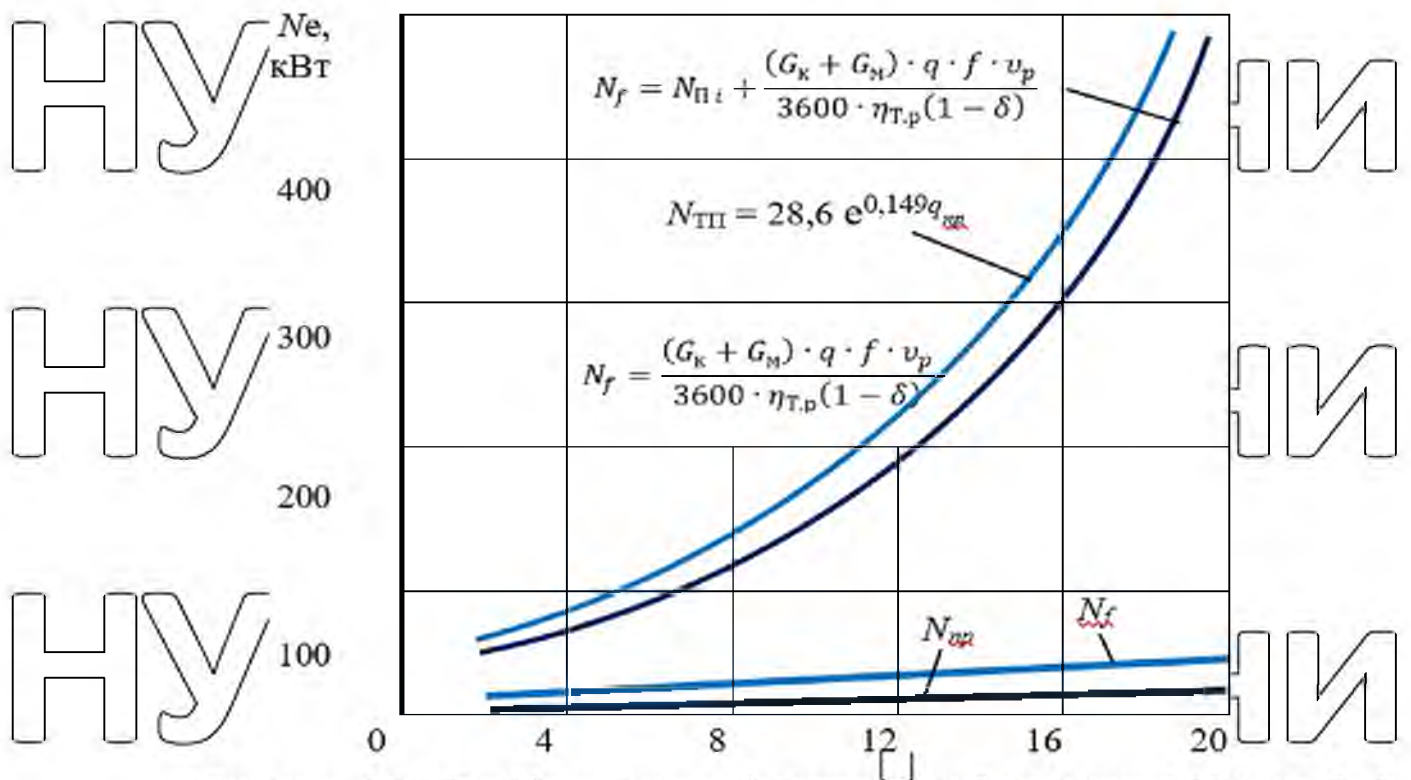


Рисунок 4.7 - Графік потужності балансу прибирального МФА на базі

TORUM-740 і прес-підбирачем ПРФ-180

НУБІП України

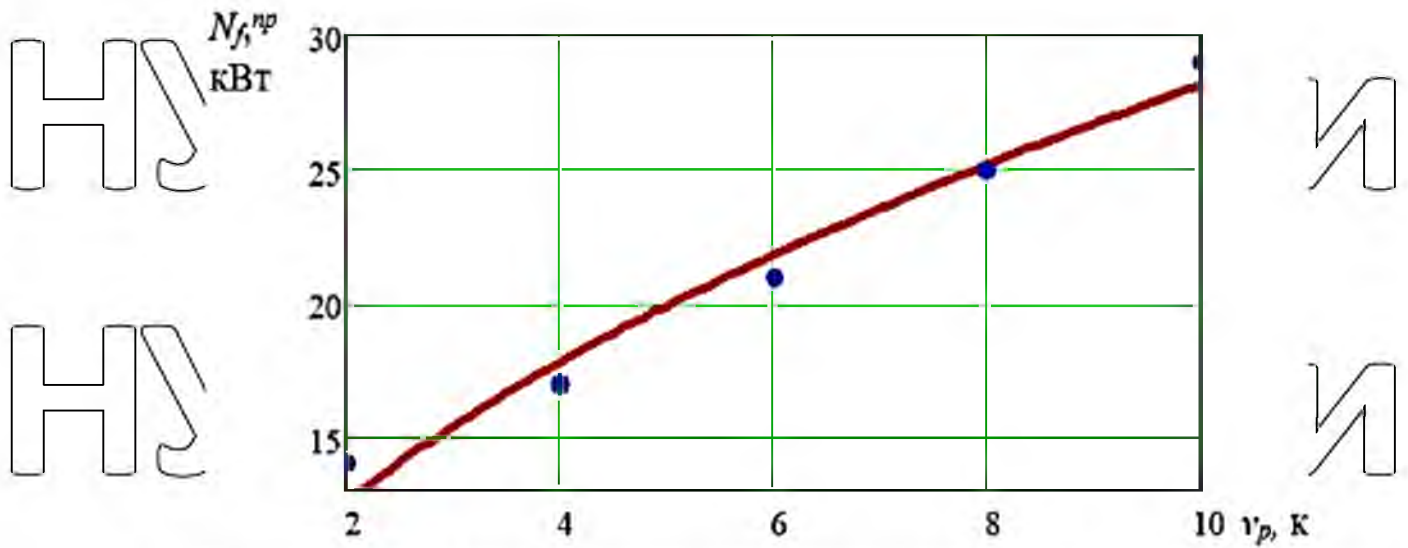


Рисунок 4.9 – Графік залежності потужності N_f на пересування прес-підбирачем ПРФ-180 від v_p

Таблиця 4.13 – Потреба у накопичувачах-перевантажувачах залежно від ємності бункерів комбайнів, самих накопичувачів перевантажувачів та відстаней/переїздів при $\Pi = 7$ т/га з потужністю двигуна комбайна 294 кВт

Ємність бункера, м ³	Ємність накопичувача-перевантажувача	Відстань/переїзди, км	Кількість накопичувачів-перевантажувачів
10,0	20,0	1-3,7 3,7-8,7 8,7-10	1 2 3
12,0	24,0	1-4,5 4,6-10	1 2
14,0	28,0	1-5,5 5,5-10	1 2
10,0	32,0	1-6,5 6,5-10	1 2

Подана на малюнку залежність адекватності відображає якість зерна.

Перевірка за критерієм Кохрена показала, що розрахункове значення

коєфіцієнта $G_p = 0,484$ менше табличного $G_t = 0,684$. Площа ушкодження зернівки впливає на його збереження та визначається якістю обмолоту. Так, після обмолоту озимої пшениці роторними МСУ площа пошкоджень зернівки більшим МСП ($0,65 \text{ мм}^2$) у 2,5 рази вища, ніж роторним ($1,67 \text{ мм}^2$).

При цьому важливо врахувати розміри полів культури, що вбирається, врожайність, ємності бункерів комбайнів і кузовів накопичувачів-перевантажувачів, продуктивність комбайнів, відстані переїздів від поля до струму, а також організаційні фактори (вивантаження зерна з бункерів комбайнів на ходу, режим роботи оператор полів до роботи та ін.)

Оптимальна потоковість та ритмічність роботи УТЗ на збиранні зернових колосових культур з урожайністю, наприклад 7 т/га, забезпечується при обслуговуванні двох комбайнів у складі ланки, що працюють на полі 80 га одним накопичувачем-перевантажувачем з ємністю кузова, що дорівнює подвоєній ємності бункера комбайнів від поля до струму 1-6,5 км в залежності від ємності бункерів часу циклу, а час очікування накопичувачем-перевантажувачем вивантаження бункерів (критерій оптимізації) залежить також від врожайності зерна, відстаней переїздів та ємності бункерів. Два накопичувачі-перевантажувачі потрібні, наприклад, при ємності його кузова 20 м³ на відстанях переїзду до 3,7 км, при ємності 24 м³ – на відстанях 4,6-10 км, для ємності 32 м³ – на відстанях 6,5 до 10 км. При цьому у всіх варіантах ємність кузова накопичувача-перевантажувача дорівнює подвоєній ємності бункера.

НУБІП України

5.1 Нова технологія комплексного збирання пшениці МФА

Пропонована технологія збирання зерна з одночасним пресуванням соломи багатофункціональним агрегатом на базі комбайна TORUM-740 та прес-підбирача ПРФ-180Б є новою і має суттєву перевагу в порівнянні з застосовуваною. Сутність технології полягає у наступному. У пропонованому

МФА для збирання сільськогосподарських культур, що складається з самохідного повнопривідного комбайна TORUM-740 та причіпного до нього прес-підбирача ПРФ-180Б, через спеціально виготовлений зчіпний пристрій

вимикаються з технологічного процесу стандартний подрібнювач соломи, який після вимолота роторним МСП з декою, що обертається, по лотку самонаправника подається на стерню, де підбирається слідом прес-підбирачем ПРФ-180Б, що йде, з дистанційною системою автоматизованого контролю (САК) за його роботою. Комп'ютер САК розміщений у кабіні комбайна

TORUM-740. Після формування рулону в пресувальній камері проводиться його об'язування шпалатом та скидання з камери на землю. Комбайн TORUM-740 працює за звичайною схемою, збираючи зерно в бункер, з відключеним подрібнювачем соломи. Заловнений зерном бункер без зупинки агрегату

вивантажується поруч із накопичувачем-навантажувачем Pronar T-740 з трактором МТЗ-1221. І комбайни та перевантажувач забезпечені системою КГС для родючості ґрунту. Після вивантаження зерна з бункера комбайна TORUM-740 накопичувач переїжджає під завантаження свого кузова до наступного

комбайна ЗТЗ. Рулони з поля збирає навантажувач-транспортувальник ТП-12 в агрегаті з трактором МТЗ-80 та перевозить їх до місця складування.

У базовому варіанті технології збирання процес роботи комбайна відрізняється роздільним пресуванням соломи після обмолоту пшениці та укладання соломи у валок. Агрегат для підбору соломи з лотка, пресування та вивантаження готових рулонів на землю складається з колісного трактора МТЗ-

80 та прес-підбирача ПРФ-180Б. Підбір та транспортування рудонів до місць складування здійснюється так само, як і в запропонованому варіанті. Таким чином, економічний ефект запропонованої технології забезпечується за рахунок скорочення потреби в тракторах для агрегування прес-підбирача на підборі валків соломи. Зазвичай на практиці вивантаження зерна з бункерів комбайнів проводиться у вантажні автомобілі, що трамбують ґрунт, залишають глибоку колію, але ми втратили цей серйозний недолік у базовій технології та залишили лише одну перевагу запропонованої технології – поєднання операцій збирання зерна з одночасним пресуванням соломи, вивільнивши з збирального комплексу один колісний трактор із механізатором. Не враховано також ефект від збереження родючості ґрунту КГС.

Технологічні карти за базовим та пропонуванним варіантом технологій збирання пшениці наведено в таблиці 5.1. Вони включені ті технологічні операції, які різняться набором машин і режимом роботи з порівнюваним варіантам.

Важливим моментом в обґрунтуванні ефективності пропонуваної технології є точне обґрунтування норми вироблення та витрати палива для МФА з прес-підбирачем ПРФ-180Б та просто для комбайна TORUM-740 при роботі на одному полі з однією врожайністю пшениці (60 т/га) та іншими параметрами хлібостою (забур'яненість, полеглість, соломистість, вологість). Характеристику умов випробувань комбайнів наведено раніше (таблиця 4.2) при експлуатаційно-технологічній оцінці МФА. У технологічних картах (таблиця 5.1) норму вироблення та витрати палива за варіантами агрегатів на збиранні зерна прийнято згідно з розрахунками за методикою, представленою у розділі 2.3 дисертації та на підставі хронометражних даних роботи комбайна TORUM-740 на збиранні озимої пшениці. Дані щодо вироблення та витрат палива МФА з прес-підбирачем ПРФ-180 (базовий варіант) прийняті за відомими нормативами [16].

Усі вихідні дані для розрахунку економічної ефективності запропонованої технології представлені в Додатку.

Розрахунок економічної ефективності технології збирання пшениці з

одночасним пресуванням соломи виконано за відомою загальноприйнятою методикою Техніка сільськогосподарська. Методи технологічної оцінки.

Аналіз технологічної карти збирання пшениці з одночасним пресуванням соломи на всьому обсязі площ дозволяє судити про високу ефективність запропонованої технології, навіть якщо прийняти обсяг пресування лише 20 % від усієї збиральної площі, як це зараз застосовується на практиці у зв'язку з відсутністю тваринництва у багатьох сільськогосподарських виробників. Судячи з таблиці 5.1, запропонована технологія забезпечує скорочення кількості нормосмен, мотогодин і витрат праці – у 3,35 раза, кількість механізаторів – у 2,1 раза. Дещо зростає лише потреба в комбайнах (6 шт. на 1000 га за базовою технологією та 6,6 – за запропонованою). Однак і ця кількість (10 тис. шт. на пікову площу 1,5 млн. га) дозволить скоротити існуючий парк у 2 рази.

5.2 Комплексна оцінка ефективності запропонованої технології

У таблиці 5.1 наведено розрахункові питомі техніко-економічні показники щодо варіантів технологій.

Як випливає з таблиці 5.1 показники економічної ефективності за запропонованою технологією значно кращі за базову: експлуатаційні витрати знижуються на 16 %, вартість ПММ – на 18 %, металосємність – на 23,1 %, енергосємність – на 31,2 %. Економія експлуатаційних витрат від впровадження технології на площі 140 га становитиме 0,142 млн. грн.

Особливо висока ефективність зниження трудомісткості комплексного збирання врожаю: витрати праці згідно з запропонованою технологією знижуються в 3,4 рази.

Таблиця 5.1 – Економічна ефективність запропонованої технології збирання озимої пшениці з одночасним пресуванням соломи

Показник	Значення показника		Ефект	
	базова технологія	пропонована технологія	абсолютний, %	відносний, %
1 Витрати праці, чол.-год.	183,4	54,6	-128,8	-70,2
2 Експлуатаційні витрати, всього, тис. грн.	879,34	737,394	-141,9	-16,1
у тому числі: оплата праці	27,16	10,65	-16,51	-60,8
амортизація, поточний ремонт, ТО та зберігання	716,1	615,9	-100,24	-14
ПММ	136,08	110,88	-25,2	-18,5
3 Додаткові капіталовкладення, тис. грн.		260		
4 Металоємність, кг	5292	4074	-1223	-23,1
5 Енергоємність, мДж	46844	32214	-1463	-31,2
6 Внутрішня норма доходності, %		70,9		
7 Чистий дисконтований дохід, тис. грн.		509,4		
8 Дисконтований термін окупності інвестицій, років		1,6		

У наші задачі щорічні надходження є економією експлуатаційних витрат на збирання врожаю від використання запропонованої технології, заснованої на МФА. Якщо ми взяли для порівняння з нашим МФА технологію збирання з використанням комбайнів із більшими молотильними барабанами, то додатковий збір зерна був би достовірно забезпечений за рахунок зниження його травмування (як було зазначено раніше, дроблення зерна роторними МСП порівняно з більшими) знижується в 10 разів, а мікропошкодження – на 8-10 %). Але за базу для порівняння нами прийнято також збиральний агрегат на базі комбайна TORUM-740 з роторним МСП.

Пропонована нами технологія поєднання збирання врожаю та

одночасного пресування соломи показала незаперечну перевагу над існуючою.

Необхідне число нормозмін для обробки площі 140 га скоротилося з 26,2 до 7,8 або в 3,4 рази, витрата палива знизилася з 3,4 до 2,8 або в 1,2 рази, загальна трудомісткість скоротилася в 3,4 рази.

Розрахунковий економічний ефект щодо експлуатаційних витрат від застосування нової технології на збиранні озимої пшениці з пресуванням соломи на площі 140 га склав 1014 грн/га без урахування якості зерна.

Чистий дисконтований дохід 509,4 тис. грн, а дисконтований термін окупності 1,6 року отримано за внутрішньої норми дохідності проекту 70,9 %.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВОК

Для усунення недоліків застосовуваних технологій збирання врожаю зернових колосових культур з ущільнення ґрунту, втрат зерна, порушення потоковості та ритмічності процесів та комплексності робіт запропоновано нову технологію на базі МФА, що поєднує операції збору зерна з одночасним пресуванням соломки, що забезпечує підвищення продуктивності праці в 3,4 рази та зниження витрат.

Обґрунтовано функціонально-технологічні схеми двох агрегатів, з яких найбільш переважний агрегат на базі повнопривідного самохідного зернозбирального комбайна TORUM-740 з оригінальним МСП, що не має світових аналогів, що в 10 разів знижує дроблення зерна в порівнянні з білими МСП, що не перевищують 0,6%, а також виконуючим вимоги щодо прямих втрат зерна та соломки при її пресуванні причіпним прес-підбирачем ПРФ-180. При використанні КМС питомий тиск на ґрунт знижується на 22,5%.

За розробленими економіко-математичними моделями обґрунтовано оптимальні параметри та режими роботи запропонованих МФА. Для агрегату на базі самохідного комбайна TORUM-740 при оптимальній врожайності 6 т/га та тривалості збирання 5 днів, необхідна ширина захвату жниварки 6,8 м при робочій швидкості 5 км/год. Продуктивність 3,4 га/год, коефіцієнт використання пропускнуої спроможності молотарки $K_{\text{м}} = 0,8$, коефіцієнт соломистості дорівнює 0,5. Мінімум критерію оптимізації функції витрат і втрат становить 5031 грн/га, мінімум функції витрат 3162 грн/га, мінімум функції втрат 2768 грн/га за ціною зерна 9 тис грн за 1 т. Для МФА з навісним комбайном при врожайності 6,8 т/га та оптимальної тривалості 5 днів ширина захвату жниварки становила 5,4 м, робоча швидкість 4,8 км/год.

Експлатно-технологічною оцінкою роботи МФА з комбайном TORUM-740 встановлено відповідність його агротехнічним, експлуатаційним та економічним вимогам. Прямі та непрямі втрати врожаю не перевищують 1,5%, дроблення зерна 0,6%, мікроушкодження 10%, чистота бункерного зерна за період досліджень становила 98-99%. Якість зерна сильного сорту Ольхон, за

вмістом білка (16%) та клейковини (26,6%), відповідали третьому класу, а після дозрівання на току доробки клас зерна піднявся на одну одиницю. Встановлено залежність втрат зерна від продуктивності МФА за врожайності 6 т/га. Рівень втрат 1,5% відповідав продуктивності агрегату 20,4 т/год, а при зниженні продуктивності до 20 т/год рівень втрат знизився до 1,2% від врожаю.

Встановлено залежності тягового опору прес-підбирача від швидкості руху, ефективної потужності двигуна МФА та її складових, потужності на привод прес-підбирача, залежності балансової вартості комбайна TORUM-740 та прес-підбирача від пропускної спроможності.

Оптимізацією функціонування ЗТЗ за критерієм мінімуму часу очікування ланок лотску, що обслуговуються, обґрунтовано його потоковість і ритмічність практично безупинної роботи (оптимальний час очікування 1,6 с). Для мінімального критерію оптимізації обґрунтовано наступні параметри процесу: розмір забираного поля 82 га, довжина гону 1,5 км, урожайність 7 т/га, у складі ЗТЗ два МФА з ємністю бункера 14 м³ та один бункер-перевантажувач з ємністю 28 м³, відстань від поля до току 2 км, коефіцієнт використання змінного часу 0,84, коефіцієнт соломистості 0,53, час циклу НІ становив 0,52 год. Оптимальна продуктивність МФА 23,9 т/год

У методиці інженерного розрахунку визначено складові потужності балансу двигуна: на перекочування агрегату 74,1 кВт (25,2%), на технологічний процес роботи 105,2 кВт (35,8%), на привід мосту керування коліс 28,4 кВт (9,7%), на привод прес-підбирача 28 кВт (9,5%)

Підтверджено збіжність результатів теоретичних та експериментальних досліджень, що склала 2-17% за різними показниками: 6,6% – за теоретичною та фактичною продуктивністю МФА; 9,1% – щодо витрати палива; 3,8% – за тяговим опором прес-підбирача та 17% – за величиною прямих та непрямих втрат зерна за комбайном.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abbas Rohani, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard, Shamsolla Abdolalpour. Prediction of tractor repair and maintenance costs using Artificial Neural Network. *Expert Systems with Applications*. 2011. Vol. 38. P. 8999–9007.

2. Abdelkarim D. Elfadil, Mamoun I. Dawelbeit, Abdalla S. Abdalla, Yousof E. Yousof. Breakdowns and Associated Downtime for Trucks Employed in Sugarcane Transportation. *Gezira Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2013. Vol. 3, № 1. P. 1–5.

3. Affene M. A., Kartoshkin A. P. Post-graduate qualification improvement agro-engineers on the problems of technical devices. *International Conference on Engineering Education and Research «ICEER-2013»*, Marrakesh, 2013. P. 410–417.

4. Badreddinov I., Mudarisov S., Lukmanov R., Permyakov V., Ibragimov R., Nasyrov R. Mathematical modeling and research of the work of the grain combine harvester cleaning system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 165.

No.104966

5. Baerdemaeker J. D., Saeys W. Advanced Control of Combine Harvesters. *IFAC Proceedings*. 2013. Vol. 46, issue 5. <https://doi.org/10.3182/20130828-2-SF-3019.00069>.

6. Balinova A. Ion-pairing mechanism in the solid-phase extraction and reversed-phase high-performance liquid chromatographic determination of acidic herbicides in water. *Journal Chromatogr*. 2016. Vol. 728. P. 319–324.

7. Becker R., Bubner B., Remus R., Wirth S., Ulrich A. Impact of multi-resistant transgenic Bt maize on straw decomposition and the involved microbial communities. *Appl Soil Ecol*. 2014. Vol. 73 (1). P. 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.002>.

8. Berenghem C., Schladover S., Coelingh E. Overview of platooning systems. In *Proceedings of the 19th ITS World Congress, Oct 22-26, Vienna, Austria, 2012*. https://www.researchgate.net/publication/256670304_Overview_of_platooning_systems.

9. Bhondave Babu. Design and development of electro hydraulics hitch control for agricultural combine. *SAE international journal of commercial vehicles*. 2017. Vol. 10, Issue 1. P. 405–410.

10. Bilde M. J., Revsbeck T. Optimized material flow and cleaning capacity with ew return pan system in a combine harvester. Landtechnik AgEng Proceedings. 2017. P. 105–110.

11. Bilde M.L., Revsbeck T. Optimized material flow and cleaning capacity with ew return pan system in a combine harvester. In Landtechnik AgEng Proceedings, 2017. P. 105–110.

12. Bormann B., Middelberg R. Performance enhancement in combine harvesters through auto crop flow control. Landtechnik AgEng Proceedings. 2015. P. 87–93.

13. Bortolini M., Cascini A., Gamberi M., Mora C., Regattieri A. Sustainable design and life cycle assessment of an innovative multi-functional haymaking agricultural machinery. J. Clean Prod. 2014. Vol. 82 (2). P. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.054>.

14. Bosch Diagnostics Soft. ESitronic. Combines. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. Robert Bosch GmbH. Bosch Aftermarket. D-76225, Karlsruhe, 2019. 1027 p.

15. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174.

16. Bukta A. J., Sakai K., Sasao A. Free play as a source of nonlinearity in implement systems during transport. Transactions of the ASAE. 2017. Vol. 45. Issue 3. P. 503–508.

17. Casandroi T., Popescu M., Voicu G. Developing a mathematical model for simulating the seeds separation process on the plane sieves. Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest, Series D. 2019. Vol. 71. No. 3. P. 17–28.

18. Chen J., Zheng S., Shijie L., Zheng Y. Research of predictive system for feed quantity of combine based on fuzzy neural network. Proceedings 2011 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, ESKD. 2011. P. 863–867.

19. Chen S., Zhang Z., Wang Z., Guo X., Liu M., Hamoud Y. A., Qiu R. Effects of uneven vertical distribution of soil salinity under a buried straw layer on the growth, yield and fruit quality of plants. Sci Hort. 2016. Vol. 203 (1). P. 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.024>

20. Cherkasov Yu. B., Shepelev S. D., Shepelev V. D. Differentiation of the seasonal loading of combine harvester depending on its technical readiness. Procedia Engineering. 2015. № 129. P. 161–165.

21. Cherkasov Yu., Shepelev S., Shepelev V. Differentiation of the seasonal loading of combine harvester depending on its technical readiness. Procedia Engineering. 2015. Vol. 129. P. 161–165.

22. Cooke I. R., Mattison E. H. A., Audsley E., Bailey A. P., Freckleton R. P., Graves A. R., Morris J., Queensborough S. A., Sanders D. L., Siriwardena G. M., Trawick P., Watkinson A. R., Sutherland W. J. Empirical test of an agricultural landscape model: the importance of farmer preference for risk aversion and crop complexity. Sage Open. 2013. Issue 3(2). doi: 10.1177/2158244013486491.

23. I L Rogovskii, D I Martiniuk, S A Voinash, V A Sokolova, A M Ivanov and A V Churakov Modeling the throughput capacity of threshing-separating apparatus of grain harvester's combines IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 677 042098 doi:10.1088/1755-1315/677/4/042098

24. I L Rogovskii, L L Titova, S A Voinash, V A Sokolova, G S Tarandin and O A Polyanskaya Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 677 022100 doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100

25. A Yu Vyhovskyi, I L Rogovskii, S A Voinash, R R Galimov, K Yu Maksimovich, E V Timofeev and A F Erk Research of interaction process of shanks of concave disc-springs of tillage machines IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 677 042120 doi:10.1088/1755-1315/677/4/042120

26. I M Kuzmich, I L Rogovskii, L L Titova and O V Nadtochiy Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol 677. 052002 doi:10.1088/1755-1315/677/5/052002

27. Rogovskii I L, Voinash S A, Sokolova V A, Krivonogova A S Research on fuel consumption for different values of capacity factor of engine of combine harvester IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 Vol. 666. 032093. doi:10.1088/1755-1315/666/3/032093

28. Rogovskii Ivan, Titova Luidmyla, Trokhaniak Viktor, Trokhaniak Oleksandra, Stepanenko Serhii. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural

<https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.71>. pp. 117–128. Scopus.

29. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3 (5 (105)). P. 19–29. doi: 10.15587/1729-4061.2020.206073. Scopus.

30. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Hapenenko O. I., Ohirienko M. M., Kulik V. P. Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 60. No 1. P. 45–52. DOI: 10.35633/INMATEH-60-05. Scopus. WoS.

31. Trokhaniak V. I., Rogovskii I. L., Titova L. L., Luzan P. H., Popyk P. S., Bannyi O. O. Computational fluid dynamics investigation of heat-exchangers for various air-cooling systems in poultry houses. Bulletin of the Karaganda University Physics. 2020. Vol. 97. Issue 1. P. 125-134. WoS. DOI 10.31489/2020Ph1/125-134. WoS.

32. Rogovskii I. L., Titova L. L., Trokhaniak V. I., Marinina L. I., Lavrinenko O. T., Bannyi O. O. Engineering management of machine for formation of artificial shell on seed vegetable cultures. INMATEH. Agricultural Engineering. 2020. Bucharest. Vol. 61. No 2. P. 165-174. DOI: 10.35633/INMATEH-61-18.

33. Tsapko Yu., Rogovskii I., Titova L., Bilko T., Tsapko A., Bondarenko O., Mazurchuk S. Establishing regularities in the insulating capacity of a foaming agent for localizing flammable liquids. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5 (10(107)). 51-57. doi: 10.15587/1729-4061.2020.215130 <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/215130/215347>

34. Voinalovych Oleksandr, Aniskevych Leonid, Motrich Myhailo, Titova Liudmyla. Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damages of responsible parts. Proceedings of 19th International Scientific Conference “Engineering for rural development” Jelgava, Latvia, May 20-22, 2020. Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 19, pp. 784–792. DOI: 10.22616/ERDev2020.19.TF178. Scopus. WoS.

35. Rogovskii I. L., Stepanenko S. P., Novitskii A. V., Rebenko V. I. The mathematical modeling of changes in grain moisture and heat loss on adsorption drying from parameters of grain dryer. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. 082057 doi:10.1088/1755-

1315/548/8/082057

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/8/082057/pdf>. Scopus. WoS.

36. Rogovskii I. L., Shymko L. S., Voinash S. A., Sokolova V. A., Rzhavtsev A. A., Andronov A. V. Mathematical modeling of grain mixtures in optimization tasks of the dump bunker's kinematic parameters. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. 062055. doi:10.1088/1755-1315/548/6/062055

1315/548/6/062055

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/548/6/062055/pdf>. Scopus. WoS.

37. Rogovskii I. L., Palamarchuk I. P., Kiurchev S. V., Verkholantseva V. O., Voinash S. A., Sokolova V. A. and Gogolevski A. S. Mathematical modeling of the impulse bubbling process of bulk mass by the coolant flow. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. vol. 919, 052026. doi:10.1088/1757-899X/919/5/052026.

899X/919/5/052026

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/919/5/052026/pdf>. Scopus. WoS.

38. I L Rogovskii, I P Palamarchuk, S A Voinash, I P Troyanovskaya, A F Butenko and V A Sokolova 2020 Engineering of constructive parameters of vibroaspiration separator of oil-containing grain seeds Journal of Physics: Conference Series 1679 042034 Scopus. WoS.

39. I L Rogovskii, B S Liubarets, S A Voinash, V A Sokolova, A A Luchinovich and M N Kalimullin 2020 Research of diagnostic of combine harvesters at levels of hierarchical structure of systems and units of hydraulic system Journal of Physics: Conference Series 1679 042038 Scopus. WoS. 166 евро

40. I L Rogovskii, L L Titova, S A Voinash, K Yu Maksimovich, R R Galimov, V A Sokolova, G K Parfenopulo and M S Taraban Constructive method of increasing the durability of cultivator blades recovered by surface Journal of Physics: Conference Series 1679 042076 Scopus. WoS.

41. Ivan Rogovskii, Iwona Mastowska, Józef Kaczmarek, Liudmyla Titova, Mikola Ohienko, Oleksandr Nadtochiy. Engineering management of agrotechnics of grain production by agricultural enterprises. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020; ISBN 978-83-66567-11-5; pp. 180. https://www.wszia.opole.pl/wp-content/uploads/2020/07/Monograph_Rogovskii.pdf

42. Курка В.П. Синтез конструкцій ґрунтообробно-посівних машин в технологіях виробництва зерна: монографія. Київ: Компірт, 2020. 260 с. ISBN 978-617-7890-94-1

43. Titova L. I. Criteria for evaluation of efficiency of using machines in agricultural complex. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, 151-156.

44. Тітова Л. І., Ничай І. М. Методологічні положення технічного рівня використання комплексу сільськогосподарських машин. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine, 2020, Vol. 11, No 3, 151-162

45. Rogovskii Ivan. Matrix of researches on significance of various factors for maintenance of increase of production of grain in agricultural enterprises by intensification of engineering management. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2020: XVI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 19-22 травня 2020 року: збірник тез доповідей. Київ, 2020. С. 112-113.

46. Роговський І. Л. Втрати збіжжя за комбайнної технології збирання з причини самоосипання зерна. Сучасні проблеми землеробської механіки: XXI Міжнародна наукова конференція, м. Харків, Україна, 17-19 жовтня 2020 року: матеріали конференції. Харків. 2020. С. 156.

47. Тітова Л. І., Ничай І. М. Порівняльна оцінка зернозбиральних машин за виробленим механічним засміченням обмолочуючих зразків. Сучасні проблеми землеробської механіки: XXI Міжнародна наукова конференція, м. Харків, Україна, 17-19 жовтня 2020 року: матеріали конференції. Харків. 2020. С. 157-159.

48. Rogovskii I. L. Evaluation of prospective structural and arrangement elements of harvester. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VIII Міжнародна наукова конференція в рамках роботи XXXII Міжнародної агропромислової виставки «АГРО-2020». м. Київ, Україна, 11-14 серпня 2020 року: збірник тез доповідей. Київ. 2020. С. 173-175.

49. Тітова Л. І., Роговський І. Л., Надточій О. В., Голуб Г. А., Чуба В. В. Патент на корисну модель України №142681, МПК (2006.01) B07B 1/26. Сепаратор зерна. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u201911319 від 21.11.2019. Опубліковано 25.06.2020, Бюл. № 12.

50. Тітова Л. І., Роговський І. Л., Надточій О. В., Голуб Г. А., Чуба В. В. Патент на корисну модель України №142682, МПК (2006.01) B07B 1/26. Насіннесочисна машина. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u201911320 від 21.11.2019. Опубліковано 25.06.2020, Бюл. № 12.

51. Курка В.П., Голуб Г.А., Бешун О.А. Патент на корисну модель України №143275, МПК (2006.01) А01В 15/16. Дисківий корпус плуга. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u201911318 від 21.11.2019. Опубліковано 27.07.2020, Бюл. № 14.

52. Тітова Л.Л., Роговський І.Л., Надточій О.В. Патент на корисну модель України №145243, МПК (2006) А01С 17/00. Розкидний пристрій зерносепаратора Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u202004183 від 08.07.2020. Опубліковано 25.11.2020, Бюл. № 22.

53. Тітова Л.Л., Роговський І.Л., Надточій О.В. Патент на корисну модель України №145244, МПК (2006) А01С 1/08. Протруювач насіння сільськогосподарських культур Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u202004187 від 08.07.2020. Опубліковано 25.11.2020, Бюл. № 22.

54. Тітова Л.Л., Роговський І.Л., Надточій О.В. Патент на корисну модель України №145595, МПК (2006.01) В07В 1/28. Спосіб сепарації зернових матеріалів. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. Заявка № u202004180 від 08.07.2020. Опубліковано 29.12.2020, Бюл. № 24.

55. Hall A. D. A methodology for systems engineering. Princeton, N. J. Van Nostrand. 2017. Vol. 2. P. 40–46.

56. Hamaiunova V., Hlushko T., Honenko L. Preservation of soil fertility as basis for improving the efficiency of management in the Southern Steppe of Ukraine scientific development and achievements. London, 2018. Vol. 4. P. 13–27. Includes bibliographical references and index. ISBN 978-1-9993071-0-3.

57. Harrington J., Munshi S., Nedelcu C. Direct section of natural gas in a heavy-duty diesel engine. SAE Technical Paper Series. 2012. № 2002-01-1630. P. 1–10.

58. Hermann D. Optimisation of Combine Harvesters using Model-based Control. Ph.D. dissertation. DTU Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby. 2018. 230 p.

59. Hermann, D. Optimisation of Combine Harvesters using Model-based Control. DTU Elektro. Kgs. Lyngby. 2018. 230 p.

60. Hoskison R. E., Strategic logistic and Globalization. Oxford, Oxford University Press. 2009. 624 p.

61. Špokas L., Steponavičius D., Wacker P. Besonderheiten der Dinkelernte und des Ausdruschprozesses bei Dinkel. Tagungsband VDI-MEG – Kolloquium Landtechnik. Mähdrescher. 2005. H 38. S. 95–102.

62. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Bueckmaster D. R. Engineering Principles of agricultural machines. 2006. 2nd Ed., St Joseph, ASABE. 226 p.

63. Steponavičius D., Špokas L., Petkevičius S. The influence of position of the first straw walkers section on grain separation. Agronomy Research. 2018. Vol. 6. P. 377–385.

64. Stotsko Z., Kusyj J., Topilnytskyj V. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts. Journal of Manufacturing and Industrial Engineering. 2012. Vol. 11. P. 15–17.

65. Susumu U., Shigeki I. Operators' capability and facilities availability for repair and maintenance of small tractors in riau province, indonesia: a case study. Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 4. No 3. P. 71–78.

66. Tang Z., Li Y. M., Wang C. H. Experiments on variable mass threshing of rice in the tangential-longitudinal-flow combine harvester. J Agr Sci Technol. 2013. Vol. 15 (6). P. 1319–1334.

67. Valentin V., Lucreția P., Sorin B., Sorin B., Aurel D. Contributions to modeling the threshing and separating process within a threshing apparatus with axial flow. UPB Sci Bull. 2009. Vol. 71 (1). P. 150–158.

68. Vasylieva N., Pugach A. Economic assessment of technical maintenance in grain production of Ukrainian Agriculture. Bulgarian Journal of Agricultural Science 2017. Vol. 23(2). P. 198–203.

69. Voicu G., Casandriu T., Tarcolea C. Testing stochastic models for simulating the seeds separation process on the sieves of a cleaning system and a comparison with experimental data. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2008. Vol. 73. No 2. P. 95–101.

70. Wacker P. Einfluß von Stoffeigenschaften auf die Mähdruscheignung von Körnerfrüchten. Engineering. University of Agriculture. 2003. Band 6. H 1. S. 21–26.

71. Wang F. D., Chen Z., Wang J. Y., Wang X. W., Chen F. Design and experiment of 4YF-1300 large rectangular baler. J Chin Soc Agr Machin. 2009. Vol. 40 (11). P. 36–40.

72. Xie Y., Alleyne A. G., Greer A., Deneault D. Fundamental Limits in Combine Harvester Header Height Control. J. Dyn. Sys., Meas. Control. 2013. Vol. 135(3), 034503.

73. Xiong Y., Li H., Zhang S., Chen L., Li X., Han L. Motion laws and design basis of the knoter wiper mechanism. *J Agr Mech Res.* 2015. Vol. 27 (7). P. 113–118.

74. Zareei S., Abdollahpour S., Moghaddam M., Sahrayan H. Optimum setting of combine header for wheat harvesting using Taguchi method. *Research on Crops.* 2012. 13(3). P. 1142–1146.

75. Zhalnin E. V., Cench Yu. S., Pyanov V. S. Technique for analyzing the technical level of combine harvesters by functional and design parameters. *Agricultural Machines and Technologies.* 2018. Vol. 12. No. 2. P. 4–8.

76. Zhang X., Geimer M., Grandl L., Kammerbauer B. Method for an electronic controlled platooning system of agricultural vehicles. *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2009)*. Puns: IEEE, Nov. 2009. P. 156–161.

77. Zhenwei Liang, Yaoming Li, Lizhang Xu, Zhan Zhao, and Zhong Tang. Optimum design of an array structure for the grain loss sensor to upgrade its resolution for harvesting rice in a combine harvester. *Biosystems Engineering.* 2017. Vol. 157. P. 24–34.

78. Адамчук В. В., Насонов В. А., Кюрчев В. М., Надикто В. Т. Розроблення і впровадження в агропромислове виробництво комплексів технічних засобів для вирощування зернових та інших культур за енерго-, ресурсоощадними технологіями: монографія. Київ. Аграрна наука. 2016. 368 с.

79. Дерев'яно Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія. Житомир, 2018. 772 с.

80. Дерев'яно Д. А. Механіко-технологічне обґрунтування процесів зниження травмування насіння зернових культур технічними засобами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2018. 47 с.

81. Дерев'яно Д. А. Синтез конструкцій високопродуктивних самохідних зернозбиральних комбайнів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research.* Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 2. 131-136.

82. Домуші Д. П. Методи обґрунтування оптимальної тривалості збирання урожаю зернових культур. *Аграрний вісник Причорномор'я та технічні науки.* Одеса, 2014. № 74 С. 64–68.

83. Козаченко О. В. Теорія технічної експлуатації: монографія. Харків. Міськдрук, 2015. 180 с.

84. Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської техніки і технологій: розвиток і диверсифікація. За ред. В. І. Кравчука; Міністерство аграрної політики та продовольства України. Дослідницьке, 2018. 259 с.

85. Шевченко С. А. Визначення середнього недовикористаного ресурсу агрегатів при обслуговуванні за станом при наявності інкубаційного етапу розвитку дефекту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків, 2017. №7. С. 120–126.

86. Шевченко С. А. Дослідження залежності накопиченої тривалості відновлень машин рослинництва від напрацювання. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2017. Вип. 189. Т. 2. С. 43–53.

87. Шевченко С. А. Моделювання втрат врожаю внаслідок відмови машини при пропорційності втрат відхиленню від оптимального агрострою. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ, 2017. Вип. 262. С. 255–265.

88. Шейченко В. О., Недовесов В. І., Анеляк М. М., Кузьмич А. Я., Грицака О. М., Дудніков І. А. Особливості обмолоту та сепарації зерна в багатобарабанному молотильно-сепарувальному пристрої. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2018. Вип. №7 (106). С. 63–73.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України