

Форма № Н-9.02

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мехатронні системи та транспортні
технології

проф. _____ Анатолій ПАНЧЕНКО

“ _____ ” _____ 2021 року

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

здобувача ступеня вищої освіти «Магістр»

(ступінь вищої освіти)

на тему:

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ
ПРИ ЗБИРАННІ ЯЧМЕНЮ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИЧЕПА-
ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА НА ПРИКЛАДІ ПРИВАТНОГО
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ПРИМОРСЬКИЙ»**

ЗІМСД.060.000000ПЗ

Виконав: здобувач ВО 2 курсу 22 МБ АІ групи

Спеціальності 208 Агроінженерія

за ОПІ Агроінженерія

(кодифікація спеціальності та ОПІ)

_____ **Богдан ВОЙНІКОВ**

Керівник професор

Консультант професор

Нормоконтроль ст. викл.

Рецензент

Мелітополь – 2021 рік

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаної літератури. Робота викладена на 79 сторінках машинописного тексту, містить 21 рисунок, 10 таблиць та бібліографію, що включає 33 найменування.

Мета дослідження – підвищення ефективності та зниження витрат на транспортування зерна ячменю шляхом застосування причепа-перевантажувача у складі збирально-транспортного комплексу.

Об'єкт дослідження – процес перевезення зерна ячменю транспортними засобами у складі збирально-транспортного комплексу.

Предмет дослідження – функціональні залежності, що описують процес перевезення ячменю транспортними засобами у складі збирально-транспортного комплексу.

Між продуктивністю групи комбайнів, причепом-перевантажувачем і групою автомобілів існує функціональна залежність, яка дозволить визначити оптимальну кількість автомобілів з урахуванням їх вантажопідйомності та дальності маршруту перевезення зерна ячменю.

В результаті проведених досліджень розроблено підхід щодо вибору раціональних параметрів використання причепа-перевантажувача в умовах збирання ячменю, який, на відміну від відомих, підвищує ефективність вантажних перевезень та скорочує загальні витрати.

ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, АГРАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ЗБИРАННЯ ЯЧМЕНЮ, ПРИЧЕП-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ, ПРОДУКТИВНІСТЬ ЗБИРАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ, ПРОДУКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

ВСТУП

Транспортні процеси та витрати на транспортування вантажів у технологічних процесах АПК становлять понад 18 % від загальних витрат.

Особливо великі обсяги перевезень виконуються в період збиральних робіт, зокрема при збиранні зернових культур. Порівняно короткі терміни збирання (10-15 днів) та значні об'єми зерна формують великий попит у транспортних засобах та чітку узгодженість їх роботи в технологічному ланцюзі збирання. Разом з тим продуктивність транспортних засобів, використаних при збиранні зерна, низька, у зв'язку з використанням старих схем використання транспорту.

При збиранні ячменю транспорт виконує збиральну та транспортну операції одночасно, умови реалізації яких різноманітні. Так, до транспортних засобів, які виконують збиральні операції, крім максимальної вантажопідйомності пред'являються вимоги мінімального навантаження шин на родючий шар ґрунту. Також необхідна чітка узгодженість роботи з комбайном і можливість прийому зерна ячменю від комбайна на ходу.

До транспортних засобів для доставки зерна ячменю до місця зберігання, в першу чергу, пред'являють вимоги щодо вантажопідйомності, швидкості руху та мінімального часу розвантаження.

Аналіз сучасних технологічних схем роботи збирально-транспортного комплексу дозволяє робити висновок про перспективність використання у технологічному процесі транспортування зерна ячменю різних «компенсаторів», наприклад, причепа-перевантажувача. Застосування причепа-перевантажувача дозволить виключити простої комбайнів у полі, відповідно збільшить їх продуктивність та, одночасно, зменшить кількість автомобілів великої вантажопідйомності.

Питання оптимальної розробки технологічних схем збирання та транспортування зерна ячменю з урахуванням конкретних даних

господарств, а також розробка методики розрахунку кількості транспортних засобів для роботи у складі групи комбайнів є актуальними і спрямовані на підвищення продуктивності та зниження витрат на транспортні процеси.

Мета дослідження – підвищення ефективності та зниження витрат на транспортування зерна ячменю шляхом застосування причепа-перевантажувача у складі збирально-транспортного комплексу.

Об'єкт дослідження – процес перевезення зерна ячменю транспортними засобами у складі збирально-транспортного комплексу.

Предмет дослідження – функціональні залежності, що описують процес перевезення ячменю транспортними засобами у складі збирально-транспортного комплексу.

Між продуктивністю групи комбайнів, причепом-перевантажувачем і групою автомобілів існує функціональна залежність, яка дозволить визначити оптимальну кількість автомобілів з урахуванням їх вантажопідйомності та дальності маршруту перевезення зерна ячменю.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз технологій збирання зернових культур і ролі транспорту у збиральному процесі

Високопродуктивна робота зернозбиральних комбайнів можлива за умови своєчасного вивантаження зерна з бункерів та транспортування до місця зберігання. Перехід від одиночної роботи комбайнів до групової дозволив значно підвищити ефективність використання транспортних засобів. Для вивезення зерна з поля, в основному, застосовувалися автомобілі ГАЗ-53 та ЗіЛ-130 вантажопідйомністю 4-5 т. [1]. Продуктивність таких автомобілів незначна і складає 12-24 тон за зміну. При великій продуктивності зернових комбайнів, а також їхній груповій роботі на полі, потрібна велика кількість автомобілів. Власний парк господарств не в змозі впоратися з перевезеннями у період збирання врожаю.

При груповій роботі комбайнів високої продуктивності, на думку автора [2], доцільне застосування транспортних засобів з великою вантажопідйомністю, що дає можливість підвищити продуктивність транспортування зерна, зменшити кількість автомобілів, знизити втрати зерна за рахунок скорочення кількості транспортних операцій [3].

Транспортні засоби разом із комбайнами утворюють збирально-транспортний комплекс, який потребує єдиного технологічного процесу, тобто узгодження продуктивності комбайнів та транспортних засобів. Однак на практиці, через варіювання тривалості заповнення бункерів та тривалості обороту транспортних засобів, як правило, не виконується [3].

Мінімізація переїздів транспортних засобів по полю в процесі виконання технологічних операцій є одним із шляхів підвищення ефективності збирально-транспортних комплексів.

У процесі виконання збору зерна від комбайнів автомобілі здійснюють як робочі, так і холості переїзди. За даними роботи [4] час переїздів автомобіля по полю становить 20-40% від часу всього транспортного процесу, отже, сумарний вплив шин автомобіля на ґрунт великий. Необхідно дотримуватись обмежень середнього тиску на ґрунт, які наводяться в роботі [5]. Обмеження тиску на ґрунт також вказані в ГОСТ 26955-86, ГОСТ 26953-86, ГОСТ 26954-86.

При виборі транспортного засобу необхідно керуватися параметрами тиску шин на ґрунт, оскільки обслуговування комбайнів пов'язане з багаторазовими переїздами автомобілів по родючому шару ґрунту.

В роботі [6] наводяться рекомендації щодо вибору комплексу транспортних засобів, які забезпечують мінімальний вплив на ґрунт. Це трактори Беларус і ХТЗ-150К з причепами. У цій роботі опубліковані показники максимального тиску на ґрунт тракторами Беларус-82 та ХТЗ-150К, які надані в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Максимальний тиск на ґрунт тракторами на різній глибині [6]

Трактор	Максимальний тиск на ґрунт, МПа, на глибині , м			
	0,1	0,2	0,3	0,4
Беларус-82	0,245	0,145	0,056	0,017
ХТЗ-150К	0,350	0,178	0,122	0,079

Аналіз результатів таблиці 1.1 та порівняння їх із значеннями, допустимими згідно з ГОСТ 26955-86, дозволяє зробити висновок про те, що тиск рушіїв тракторів Беларус-82 не перевищує норму, а тракторів ХТЗ-150К перевищує межі.

Таким чином, існує проблема вибору транспортних засобів для збирання зерна на полі від комбайнів та подальшого його транспортування до місця зберігання.

Збирально-транспортні процеси при збиранні зернових за схемою організації перевезень поділяються на прямі та з використанням проміжних ємностей, які в роботі [7] названі компенсаторами.

Прямі перевезення врожаю з полів виконуються за схемою: «комбайн – транспортний засіб – місце зберігання». При цьому можливе як індивідуальне закріплення транспортних засобів за комбайном, так і знеособлене (групове). При такій схемі простої комбайнів не виключені.

Груповий метод передбачає створення збирально-транспортного комплексу, де кожен комбайн може бути обслугований будь-яким вільним транспортним засобом. При цьому збільшуються переїзди по полю для завантаження автомобілів на 20-30%.

Мінімальний пробіг транспортних засобів по полю може бути досягнутий, якщо буде обране заздалегідь місце для розвантаження комбайнів та завантаження автомобілів, що знижує продуктивність комбайнів. Такі місця названі розвантажувальними магістралями [7], а їхнє застосування знижує пробіг автомобіля по полю на 21-45%.

Перевезення зерна з використанням компенсаторів замість розвантажувальних магістралей є одним із варіантів узгодження роботи комбайнів та транспорту. Для цього в технологічний ланцюг включають додаткову ланку «комбайн – компенсатор – автомобіль – місце зберігання». Це дає можливість тримати великовантажні автомобілі біля краю поля на ґрунтовій або асфальтовій дорозі, а зерно збирати за допомогою оборотних причепів або мобільних накопичувачів.

Застосовуючи таку технологічну схему збирально-транспортного комплексу необхідно забезпечити циклічність процесу. Цикл включає розвантаження бункера комбайна, завантаження транспортного засобу, перевантаження транспортного засобу, перевезення до місця зберігання та повернення холостим пробігом до місця завантаження.

Організація перевезень зерна при збиранні урожаю за кордоном проаналізована в роботі [7] та базується на груповій роботі комбайнів із раціональною розстановкою транспортних засобів та широким застосуванням бункерів-накопичувачів.

За кордоном збирання зерна здійснюють прямим комбайнуванням та роздільним способом. Для перевезення зерна застосовують автомобілі самоскиди вантажопідйомністю 10 т, а при незначних відстанях – колісні трактори з самоскидними причепами.

Застосування комбайнів із високою продуктивністю спричинило затримки в роботі автомобільного транспорту, що привело до застосування проміжних перевантажувачів.

В Англії для перевезення зерна від комбайнів використовують контейнери. У Швейцарії та Данії поширені в основному два способи: прямий, тобто без перевантаження, та із застосуванням проміжних ємностей, контейнерів, причепів або бункерів-накопичувачів.

За останні десятиліття серед аграріїв західних країн, а також України широке застосування знаходять перевантажувальні причепа або бункери-перевантажувачі. Економічне обґрунтування доцільності застосування таких агрегатів дане ще у 1979 році в роботах [8, 9]. Пов'язане це з негативним впливом шин автомобіля на родючий шар ґрунту. Одним із шляхів вирішення вказаної проблеми є використання транспортних засобів із шинами зниженого тиску і великих розмірів, що і властиве для бункерів-перевантажувачів.

Причепа-перевантажувачі зерна використовуються для приймання зерна від комбайнів, рис. 1.1 та транспортування до краю поля для вивантаження у кузов автомобіля, рис. 1.2.

Вивантаження зерна здійснюється за допомогою двох шнеків: горизонтального, розташованого на дні бункера, та вертикального.



Рис. 1.1 – Приймання зерна в причеп-перевантажувач



Рис.1.2 – Перевантаження зерна з причепа-перевантажувача в транспортний засіб

Як зазначено в роботах [8, 9], продуктивність комбайнів при застосуванні причепа-перевантажувача зростає на 25-30%. Однак,

оптимальне використання таких причепів-перевантажувачів починається з площі 200-250 га і вище.

До західних фірм, які випускають причепи-перевантажувачі, належать: BOURGAULT (Канада); FLIEGEL (Німеччина); HAVE WESTER.

Фірма HAVE WESTER випускає причепи-перевантажувачі різної місткості, технічна характеристика яких надана в таблиці 1.2.

Як видно з даних, наведених у таблиці 1.2, час вивантаження зерна становить 4-7 хвилин.

Приклад вивантаження зерна із причепа-перевантажувача в кузов автомобіля наведений на рис. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики причепів-перевантажувачів фірми HAVE WESTER [10].

Параметр	ULW 1200E	ULW 1500E	ULW 2000T	ULW 2500T	ULW 3000T
Об'єм завантаження, м ³	12	16	23	26	32
Маса вантажу, т	10	12	20	22	30
Висота вивантаження, м	4,2	4,6	4,6	4,6	4,6
Діаметр шнека, мм	365	420	420	420	500
Продуктивність розвантаження, т/год.	150	200	200	200	350
Час вивантаження зерна, хв	4	3,6	6	6,6	5,14

Українські машинобудівні заводи випускають причепи-перевантажувачі ПБН (рис. 1.3) [11].



Рис. 1.3 – Зовнішній вигляд причепа-перевантажувача ПБН та прийом зерна від комбайну

Технічні характеристики причепів-перевантажувачів різної місткості ПБН представлена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики причепів-перевантажувачів різної місткості ПБН

Параметр	ПБН-16	ПБН-20	ПБН-30
Об'єм завантаження, м ³	16	20	30
Маса вантажу, т	12	16	26
Висота вивантаження, м	4,3	4,3	4,5
Діаметр шнека, мм	400	400	400
Продуктивність розвантаження, т/год.	165	165	165
Час вивантаження зерна, хв	4,36	5,81	9,45

Як видно з наведеної характеристики, час вивантаження зерна із причепа-перевантажувача ПБН у кузов автомобіля становить 5-10 хвилин.

Вітчизняний завод ТОВ «Прилуцький завод «Пожспецмаш» випускає модельний ряд причепів-перевантажувачів БНП (рис. 1.4) [12].



Рис. 1.4 – Зовнішній вигляд причепа-перевантажувача БНП

Технічні характеристики причепів-перевантажувачів БНП різної місткості представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики причепів-перевантажувачів БНП різної місткості

Параметр	БНП-16	БНП-20	БНП-30	БНП-40
Об'єм завантаження, м ³	16	20	30	40
Маса вантажу, т	12	16	26	32
Висота вивантаження, м	4,3	4,3	4,5	4,5
Діаметр шнека, мм	450	450	450	450
Продуктивність розвантаження, т/год.	180	180	180	180
Час вивантаження зерна, хв	4	5,33	8,66	10,66

Як видно з аналізу таблиць 1.3 та 1.4, вітчизняні причепи-перевантажувачі не відрізняються від аналогічних західного виробництва. Час вивантаження зерна у вітчизняних причепів-вивантажувачів становить 4-11 хвилин, залежно від ємності бункера.

Із наведеного аналізу технологій збирання зернових і ролі транспорту в цьому процесі випливає, що для підвищення продуктивності збирально-транспортних комплексів необхідне застосування причепа-перевантажувача як додаткової ланки між комбайном та автомобілем. При цьому автомобіль знаходиться на краю поля і не впливає на родючий шар ґрунту шинами високого тиску.

При застосуванні причепів-перевантажувачів необхідно вирішити завдання вибору оптимальної ємності, яка може бути 16; 20; 30; 40 м³ і залежить від низки факторів, серед яких: продуктивність комбайну або групи комбайнів, яка залежить від урожайності; вантажопідйомність автомобілів та дальність поїздки з вантажем.

Тому одним із завдань даного дослідження є розробка методики розрахунку вибору причепа-перевантажувача та продуктивності групи комбайнів і продуктивності групи транспортних засобів при збиранні ячменю.

1.2. Аналіз технологічних схем транспортного обслуговування збирання зернових

В основу досліджень по визначенню раціональної технологічної схеми організації збирання зернових покладені основні принципи побудови поточних виробничих процесів: безперервність руху транспортного потоку; узгодженість і ритмічність операцій; повне завантаження всіх ланок виробничого процесу.

Для збирально-транспортних комплексів характерний безперервно-пульсуючий рух зерна, який пов'язаний із періодичністю наповнення бункерів комбайну та їхнім вивантаженням.

В роботах [13] розглядається розрахунок потрібної кількості транспортних засобів за умовою, що тривалість виконання технологічних операцій, час наповнення бункера, інтервали руху транспортних засобів – величини постійні.

Через випадковий характер факторів, що впливають на технологічний процес збирання, навіть при оптимальному кількісному співвідношенні комбайнів та транспортних засобів, мають місце значні взаємообумовлені простої.

Основними вимогами до технологічних схем при збиранні зернових є:

1. Вантажопідйомність транспортних засобів, що використовуються при збиранні зерна ячменю від комбайнів, повинна дорівнювати вантажопідйомності автомобілів, які використовуються для транспортування зерна до місця зберігання.

2. Група транспортних засобів повинна мати можливість незалежної роботи один від одного.

3. Можливість використання транспортних засобів різної вантажопідйомності та продуктивності в поточній лінії збирання і транспортування зерна ячменю.

В даний час використовується низка технологічних схем [7].

Перша схема – прямі перевезення. Транспортний засіб, завантажившись від комбайна, транспортує зерно до місця зберігання. Отже, завантаження пов'язане з переміщенням транспортного засобу по полю від одного комбайна до іншого і т.д.

Перевагою такої схеми є використання як тракторів з причепами, так і автомобілів, і не потрібно додаткових засобів збирання та перевантаження.

Недолік – низька продуктивність через низьку узгодженість у роботі всіх складових.

Друга схема – ґрунтується на збиранні зерна від комбайнів у транспортні причепа і транспортування їх до краю поля, де відбувається їхній обмін на порожні. Цей спосіб має два різновиди:

- оборотні причепа транспортуються по полю трактором;
- оборотні причепа розставляються по полю для завантаження їх зерном із комбайнів.

Це виключає прості комбайнів, однак збільшує час їхнього вивантаження у причепа.

Недоліком даної схеми є застосування в якості транспортних засобів тракторів, що при транспортуванні до місця зберігання не забезпечує високої швидкості руху.

Третя схема – використовує мобільний причеп-перевантажувач, як додаткову ланку між групою комбайнів та групою великовантажних автомобілів на краю поля. Причеп-перевантажувач відіграє роль резервної ємності – накопичувача зерна. Це не дозволяє простоювати групі комбайнів, оскільки причеп-перевантажувач є мобільним і виконує збиральні операції.

Недоліком такої схеми є зростання матеріалоємності та затрат енергії на одиницю отриманої продукції, оскільки причепа-перевантажувачі використовуються з енергонасиченими тракторами (рис. 1.1).

Четверта схема – ґрунтується на транспортуванні енергонасиченим трактором класу 5 двох автомобільних причепів загальною вантажопідйомністю 22 тони. Можливий варіант розстановки в місцях передбачуваного вивантаження комбайнів і варіант збирання зерна від комбайнів. Після завантаження трактор транспортує причепа до краю поля для підчеплення до автомобілів.

Переваги – виключається і зменшується кількість автомобілів, а також простої комбайнів. До недоліків слід віднести простої автомобіля в очікуванні вантажу.

П'ята схема – передбачає застосування спеціальних автомобілів – самоскидів, які обладнані навантажувально-розвантажувальними пристроями системи «мультиліфт» [14].

Автомобіль обладнаний системою знімання і установки кузова вантажопідйомністю 10 т розвозить кузови по полю і встановлює їх в обумовлених місцях. Комбайн під'їжджає до кузова і заповнює його зерном. Автомобіль забирає повний кузов і встановлює на дане місце пустий.

До переваг схеми належить відсутність простоїв комбайнів. До недоліків – збільшення матеріалоємності та енерговитрат на транспортування зерна і негативний вплив шин автомобіля на родючий ґрунт.

Розглянуті п'ять технологічних схем узгодження роботи комбайнів та транспорту мають свої переваги і недоліки. Для раціонального вибору схеми роботи збирально-транспортного комплексу необхідно обґрунтувати і вибрати критерій оптимізації, за допомогою якого в подальшому, шляхом моделювання, обрати ту чи іншу схему, яка забезпечить максимальну продуктивність процесу збирання зерна ячменю при мінімальних затратах на транспортування до місця зберігання.

1.3. Аналіз методів моделювання та оптимізації збирально-транспортних комплексів

Виконано раціональний вибір технології доставки зернових культур із урахуванням техніко-економічних та експлуатаційних показників роботи збирально-транспортного комплексу [15]. Обґрунтовуючи принципи раціональної побудови поточних ліній транспортно-технологічних процесів авторами вказаних робіт відзначено, що ритмічність у технологічному

процесі може бути досягнута в тому випадку, якщо час операцій зберігається постійним. Однак досягти цього в процесі збирання ячменю дуже складно. Змінюється урожайність по полю, довжина гону, дальність поїздки з вантажем і т.д.

Високий рівень розробок математичних моделей, а також необхідність обліку випадкового характеру перебігу процесу, привели до використання теорії масового обслуговування [16]. Використовуючи дану теорію автори роботи [17] дійшли висновку, що на основі даного підходу неможливо отримати в аналітичному вигляді основні характеристики процесу роботи збирально-транспортного комплексу.

В роботах [18-23] розроблено метод системного обґрунтування параметрів зернозбирально-транспортних комплексів на основі імітаційного моделювання, який враховує продуктивність комбайнової і транспортної складових. Запропонована статистична імітаційна модель дозволяє розрахувати кількість комбайнів та автомобілів для виконання робіт у встановлені терміни.

Недоліком розглянутих моделей є закріплення автомобілів за конкретними комбайнами, що не забезпечить максимальної продуктивності комплексу в цілому. В роботі [24], як критерій оптимальності, прийнятий мінімум експлуатаційних витрат C_e на збирання і транспортування зерна з урахуванням втрат урожаю у вигляді:

$$C_e = C_y + C_m + C_n + C_e \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де C_y – витрати на збирання урожаю;

C_m – витрати на транспортування урожаю;

C_n – витрати на втрати за комбайном;

C_e – витрати через несвоєчасне збирання (осипання зерна).

В роботі [15] як критерій оптимальності прийнято мінімум наведених витрат, які виражені функцією основних зовнішніх факторів $\Phi_{зоб}$, комбайнів

P_k та транспортних засобів P_m . Критерій оптимальності в узагальненому записі можна представити у вигляді:

$$C_n = f(\Phi_{зоб}, P_k, P_m) \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

Однак, при визначенні оптимального співвідношення між кількістю комбайнів та транспортних засобів не враховувався економічний критерій.

Проведений короткий аналіз організації збирально-транспортних процесів свідчить про те, що на цей момент створена наукова база для оптимального проектування таких процесів.

У більшості робіт автори відзначають, що найвищі показники з ефективності та продуктивності досягаються при використанні компенсаторів (перевантажувачів).

1.4. Обґрунтування об'єкта досліджень. Мета і задачі досліджень

Використання математичного моделювання значно розширило можливості прийняття рішень при виборі тієї чи іншої схеми роботи. Основне завдання математичного моделювання полягає у встановленні закономірностей процесів при всіх можливих варіантах виробничих умов, різних за конструкцією комбайнів та транспортних засобів, а також технологічних схем збирання.

Тому розробка математичної моделі процесу взаємодії збирального комплексу (який складається з n комбайнів), транспортного комплексу (який складається з n автомобілів), а також проміжної ланки – компенсатора, є актуальним завданням.

Дослідження такої моделі дозволить отримати залежності продуктивності процесу збирання та транспортування зерна ячменю на задані відстані, а також витрат на транспортування. Мінімізація витрат на транспортування дозволить отримати методичку розрахунку для практичного

застосування в господарствах щодо вибору транспортних засобів під конкретні умови збирання.

Проведений аналіз ролі та місця транспорту в процесі збирання зернових дозволив встановити, що між групою комбайнів, які працюють на збиранні зерна, та транспортними засобами, які транспортують зерно до місця зберігання, існує знак рівності. У разі недотримання рівності будуть прості або комбайнів, або транспорту, що знижує продуктивність збирально-транспортного комплексу та підвищує витрати на збирання урожаю.

Аналіз різних технологічних схем побудови роботи збирально-транспортного комплексу показав перспективність застосування різного роду компенсаторів (бункери, причепа, причепа-перевантажувачі), які є проміжною ланкою між комбайнами та транспортними засобами. Найперспективнішими є причепа-перевантажувачі об'ємом 16, 20, 30, 40 м³ з шинами низького тиску, які транспортуються трактором до краю поля для вивантаження в автомобілі. Аналіз технічних характеристик таких причепів-перевантажувачів як західного, так і вітчизняного виробництва показав, що час вивантаження 40 м³ зерна в автомобілі не перевищує 10 хвилин, а швидкість руху трактора з причепом може досягати 30 км/год.

При цьому не менш важливим фактором є мінімальний вплив шин трактора та причепа-перевантажувача на родючий шар ґрунту.

Мета роботи – підвищення ефективності та зниження витрат на транспортування зерна ячменю шляхом застосування причепа-перевантажувача у складі збирально-транспортного комплексу.

У зв'язку з поставленою метою в роботі вирішувалися такі задачі:

1. Розробити математичну модель узгодженої роботи збирально-транспортного комплексу, який містить «компенсатор» при збиранні ячменю.

2. Виконати моделювання роботи збирально-транспортного комплексу і отримати оптимальну кількість автомобілів за критерієм мінімальних витрат на транспортування з застосуванням причепа-перевантажувача.

3. Розробити методику розрахунку кількості транспортних засобів у збирально-транспортному комплексі при збиранні ячменю.

4. Розробити практичні рекомендації з побудови технологічного процесу роботи транспорту при збиранні ячменю з застосуванням причепа-перевантажувача.

1.5. Висновки по розділу

Проведений аналіз ролі та місця транспорту в процесі збирання зернових дозволив встановити, що між групою комбайнів, які працюють на збиранні зерна, та транспортними засобами, які транспортують зерно до місця зберігання, існує знак рівності. У разі недотримання рівності будуть простояти або комбайнів, або транспорту, що знижує продуктивність збирально-транспортного комплексу та підвищує витрати на збирання урожаю.

Аналіз різних технологічних схем побудови роботи збирально-транспортного комплексу показав перспективність застосування різного роду компенсаторів (бункери, причепа, причепа-перевантажувачі), які є проміжною ланкою між комбайнами та транспортними засобами. Найперспективнішими є причепа-перевантажувачі об'ємом 16, 20, 30, 40 м³ з шинами низького тиску, які транспортуються трактором до краю поля для вивантаження в автомобілі. Аналіз технічних характеристик таких причепів-перевантажувачів як західного, так і вітчизняного виробництва показав, що час вивантаження 40 м³ зерна в автомобілі не перевищує 10 хвилин, а швидкість руху трактора з причепом може досягати 30 км/год.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗБИРАННІ ЯЧМЕНЮ

2.1. Структура математичної моделі транспортних процесів при збиранні ячменю

При розробці математичної моделі транспортних процесів при збиранні ячменю приймемо такі допущення та обмеження:

1. Транспортний процес доставки зерна ячменю від зернозбирального комбайна до місць зберігання слід розглядати у вигляді системи з єдиним циклом роботи. Розглядаємо роботу зернозбиральних комбайнів та транспортних засобів по обслуговуванню комбайнів, як «збирально-транспортний комплекс», який працює з єдиним циклом і єдиною продуктивністю.

До складу збирально-транспортного комплексу входять:

- група зернозбиральних комбайнів;
- група транспортних засобів, які транспортують зерно ячменю з поля до місця зберігання;
- проміжна ланка – причеп-перевантажувач, який у математичній моделі розглядається, як транспортний засіб.

Структура збирально-транспортного комплексу представлена на рис. 2.1.

Із різноманіття схем закріплення транспортних засобів за зернозбиральними комбайнами, які проаналізовані в першому розділі, виберемо знеособлену схему, як більш ефективну в порівнянні з індивідуальною схемою закріплення.

Як альтернативу такої схеми розглядатимемо включення до складу транспортних засобів причепа-перевантажувача, який буксирується трактором.

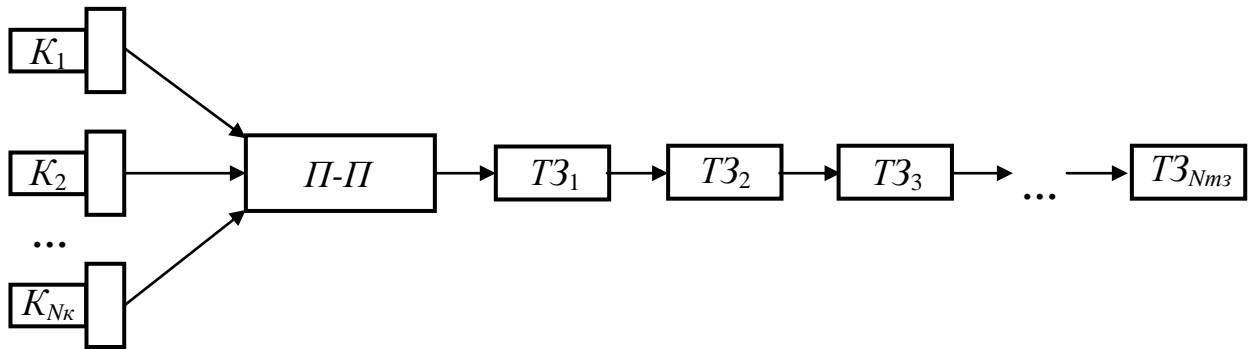


Рис. 2.1 – Структура збирально-транспортного комплексу:

$K_1 \dots K_{Nk}$ – зернозбиральні комбайни; П-П – причеп-перевантажувач;

$TZ_1 \dots TZ_{Nmz}$ – транспортні засоби

Доцільність застосування причепа-перевантажувача обґрунтована в першому розділі і пов'язана із значним ущільненням родючого шару ґрунту шинами автомобілів великої вантажопідйомності.

2. Прийmemo, що розмір посівних площ середньостатистичного господарства Запорізької області складає 3000 га, з них 1000 га щороку відводиться під ячмінь. Урожайність ранніх зернових складає: 4, 5, 6 т/га, що і враховуватиметься при моделюванні.

Статистичний аналіз наявності зернозбиральної техніки, яка знаходиться у власності господарств, говорить про те, що 85% зернозбиральних комбайнів становлять комбайни марки ДОН-1500Б. Тому при моделюванні прийматимемо групу комбайнів, що складається з ДОН-1500Б.

3. Транспортним засобом для транспортування зерна ячменю з поля до місця зберігання обираємо автомобіль КамАЗ-55102 [25]. При цьому розглядатимемо два варіанти застосування КамАЗ-55102 при моделюванні:

- без причепа (вантажопідйомність 7 т, об'єм кузова з додатковими бортами 10 м^3);

- з причепом (об'єм кузова причепа 8 м^3 , сумарний об'єм зерна, що перевозиться, 15 м^3).

Зовнішній вигляд автомобіля-самоскида КамАЗ-55102 з причепом представлений на рис. 2.2.



Рис. 2.2 – Зовнішній вигляд автомобіля-самоскида КамАЗ-55102 з причепом

4. Транспортним засобом у вигляді причепа-перевантажувача обираємо причеп-перевантажувач вітчизняного виробництва з об'ємом бункера 20, 30, 40 м³ з трактором тягового класу 3,0 або 5,0 залежно від об'єму причепа-перевантажувача. Технічні характеристики причепів-перевантажувачів вітчизняного виробництва представлені в першому розділі, вони і будуть використовуватися при моделюванні.

Основним допущенням, яке прийняте при розробці математичної моделі [26-30], є рівність продуктивностей групи комбайнів W_K , причепа-перевантажувача $W_{ПП}$ та групи транспортних засобів $W_{ТЗ}$. Дане допущення можна записати у вигляді рівняння:

$$W_K = W_{ПП} = W_{ТЗ}. \quad (2.1)$$

При виконанні рівняння (2.1) буде забезпечена циклічність роботи комбайнів щодо часу заповнення бункерів зерном ячменя, циклічність збирання зерна ячменю від комбайнів у причеп-перевантажувач і доставка

зібраного зерна ячменю до краю поля та вивантаження в кузови і причепи транспортних засобів, а також циклічність відвезення зерна ячменя до місця зберігання, розвантаження автомобілів та повернення на поле під завантаження.

Основним обмеженням у прийнятій моделі (2.1) є продуктивність групи комбайнів, яка залежить від їхньої кількості, пропускної здатності, ширини захвату жниварки, швидкості руху, а також урожайності та коефіцієнта використання робочого часу. Дані величини можуть змінюватися від розташування площ, як на місцевості, так і на площі одного поля. Тому відправною точкою при моделюванні є визначення сумарної продуктивності групи зернозбиральних комбайнів та циклу їхньої роботи, а потім забезпечення рівності решти складових транспортного процесу згідно з виразом (2.1).

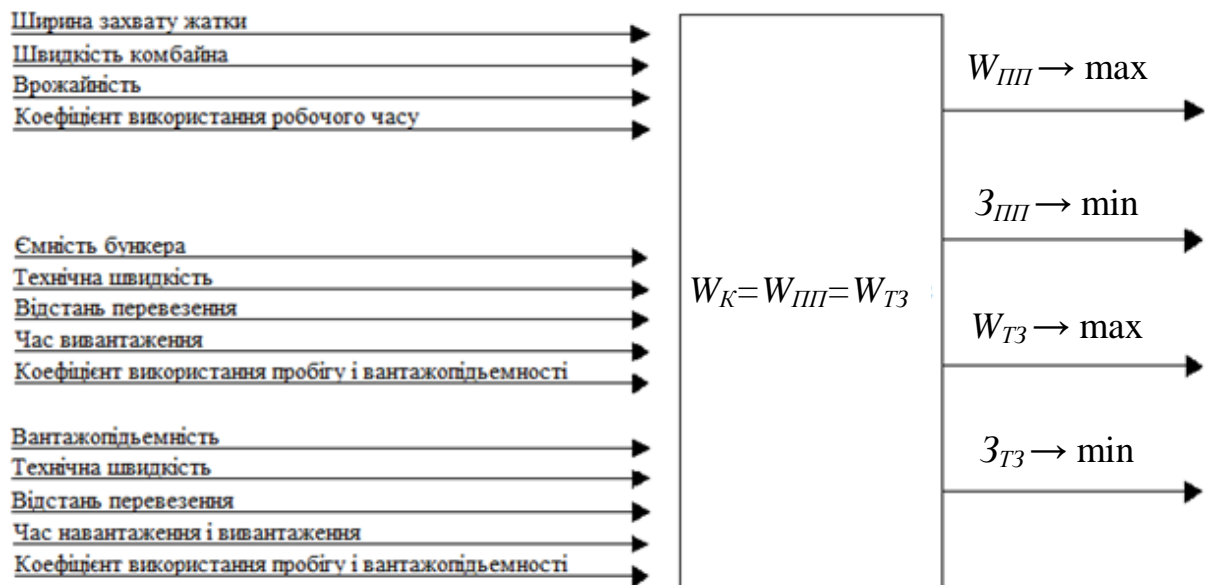


Рис. 2.3 – Структура математичної моделі у вигляді «сірої скрині»

Під час моделювання необхідно забезпечити такі умови [26-30]:

$$W_{III} \rightarrow \max; Z_{III} \rightarrow \min;$$

$$W_{T3} \rightarrow \max; Z_{T3} \rightarrow \min,$$

де Z_{III} та Z_{T3} – витрати на транспортування причепом-перевантажувачем та автомобілями.

Структуру математичної моделі транспортних процесів при збиранні ячменю можна представити у вигляді «сірої скрині» (рис. 2.3).

2.2. Розробка математичної моделі транспортних процесів при збиранні ячменю

Як зазначалося в попередньому підрозділі основною ланкою в математичній моделі є визначення продуктивності групи комбайнів, циклічності заповнення бункера комбайна зерном ячменю та довжина гону для заповнення бункера зерном ячменю.

Продуктивність одиничного комбайна визначається за виразом [26-30]:

$$W_{ki} = 0,1 \cdot B \cdot V_k \cdot Q \cdot K_{cm}; \frac{m}{год}, \quad (2.2)$$

де 0,1 – переводний коефіцієнт в систему СІ;

B – ширина захвату жнивarki, для ДОН-1500В дорівнює 6 м;

V_k – робоча швидкість руху комбайна, середня величина дорівнює 6 км/год;

Q – урожайність, дорівнює 4-6 т/га;

K_{cm} – коефіцієнт використання робочого часу, дорівнює 0,75;

Сумарна продуктивність комбайнів дорівнює [26-30]:

$$W_k = \sum_{i=1}^{N_k} W_{ki}; \frac{m}{год}, \quad (2.3)$$

де N_k – кількість комбайнів у групі.

Час заповнення бункера комбайна зерном визначимо за виразом [26-30]:

$$t_3 = \frac{V_6 \cdot g_{ze}}{1,8 \cdot q_k}; \frac{m}{год}, \quad (2.4)$$

де V_6 – об'єм бункера комбайна, для ДОН-1500Б дорівнює 8 м³;

$g_{зв}$ – щільність зернового вороху (зерно + домішки), дорівнює $0,650 \text{ т/м}^3$;

q_k – пропускна здатність комбайна, для ДОН-1500Б дорівнює 8 кг/сек .

Час робочого циклу комбайну складатиме час $t_з$ і час вивантаження бункера комбайну в транспортний засіб [26-30]:

$$t_{цк} = t_з + t_{вк}; \text{ год}, \quad (2.5)$$

де $t_{вк}$ – час вивантаження зерна ячменю комбайном у транспортний засіб, який дорівнює $0,1$ години.

Довжину шляху, який проходить комбайн до повного заповнення бункера ячменем (довжина гону), визначимо за виразом [26-30]:

$$l_з = 2 \cdot \sqrt{\frac{V_б \cdot g_{зв} \cdot K_з}{q}}; \text{ км}, \quad (2.6)$$

де $K_з$ – коефіцієнт заповнення бункера комбайна зерном, дорівнює $0,9$.

Під час роботи групи комбайнів, що складається з кількості N_k , робочий цикл групи комбайнів, з урахуванням формули (2.5), розраховується за виразом [26-30]:

$$T_{цк} = t_{цк} (N_k - 1); \text{ год}. \quad (2.7)$$

Продуктивність одиничного транспортного засобу, який призначений для вивезення ячменю від краю поля до місця зберігання, залежить від низки факторів і визначається за виразом [26-30]:

$$W_{мзі} = \frac{q_n \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_{ммі}}{(l_{зп} + V_{ммі} \cdot \beta \cdot t_{н-р})}; \frac{т}{\text{год}}, \quad (2.8)$$

де q_n – номінальна вантажопідйомність транспортного засобу, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$$\gamma = \frac{q_{\phi}}{q_n}, \quad (2.9)$$

де q_{ϕ} – фактична вантажопідйомність транспортного засобу, т;

β – коефіцієнт використання пробігу, визначається за виразом:

$$\beta = \frac{l_{зп}}{l_{заг}}, \quad (2.10)$$

де l_{zp} – пробіг транспортного засобу з вантажем, км;

l_{zag} – загальний пробіг транспортного засобу з вантажем і без вантажу (холостий пробіг), км;

V_{mms} – технічна швидкість транспортного засобу, км/год.;

t_{n-p} – час простою транспортного засобу під навантаженням і розвантаженням, год.

Час робочого циклу одиничного транспортного засобу можна визначити за виразом [26-30]:

$$t_{цмз} = \frac{q_{\phi}}{q_{\delta}} \cdot t_3 + t_{ван} + t_{n-p} + t_{нов}; \text{ год}, \quad (2.11)$$

де t_3 – час заповнення бункера ячменем, визначається за формулою (2.4);

q_{δ} – вантажопідйомність бункера комбайна визначається як:

$$q_{\delta} = V_{\delta} \cdot g_{зв} \cdot K_3; \text{ т}. \quad (2.12)$$

$t_{ван}$ – час руху транспортного засобу з вантажем;

$$t_{ван} = \frac{l_{ван}}{V_{mms}}; \text{ год}, \quad (2.13)$$

$t_{нов}$ – час повернення транспортного засобу;

$$t_{нов} = \frac{l_x}{V_{mms}}; \text{ год}, \quad (2.14)$$

де l_x – відстань холостого пробігу, км.

Для забезпечення рівності між продуктивністю групи комбайнів та транспортними засобами можна розрахувати кількість транспортних засобів:

$$N_{mз} = \frac{W_K}{W_{mзi}}, \quad (2.15)$$

де W_K – визначається за формулою (2.3);

$W_{mзi}$ – визначається за формулою (2.8).

Продуктивність групи транспортних засобів можна визначити за формулою [26-30]:

$$W_{mз} = \sum_{i=1}^{N_{mз}} W_{mзi}; \frac{\text{т}}{\text{год}}. \quad (2.16)$$

Робочий цикл групи транспортних засобів у технологічному процесі можна визначити за виразом:

$$T_{чмз} = t_{чмз} \cdot (T_{мз} - 1). \quad (2.17)$$

Питомі затрати на перевезення ячменю від зернозбирального комбайну до краю поля за один цикл перевезення для одного транспортного засобу можна визначити за формулою [26-30]:

$$З_{мзі} = \frac{l_{заз} \cdot K \cdot \Pi}{\gamma \cdot q_{\phi}} + \frac{З_n + A_{мз} + З_{мз} + З_{ін}}{P}, \frac{грн}{т}, \quad (2.18)$$

де K – вартість 1 кг паливо-мастильних матеріалів, грн/кг;

Π – витрата паливо-мастильних матеріалів на 1 км пробігу, кг;

$З_n$ – заробітна плата водія за збиральний період, грн;

$A_{мз}$ – амортизація транспортного засобу за збиральний період, грн;

$З_{мз}$ – затрати на технічне обслуговування транспортного засобу за збиральний період, грн;

$З_{ін}$ – інші витрати, грн;

P – сумарна маса перевезеного вантажу за весь збиральний період, т.

Сумарні затрати на перевезення зерна групою автомобілів визначимо за формулою [26-30]:

$$З_{мз} = \sum_{i=1}^{N_{мз}} З_{мзі}; \quad (2.19)$$

Для визначення продуктивності причепа-перевантажувача, який є проміжним транспортним засобом між групою комбайнів та знеособленою групою транспортних засобів, перепишемо формулу (2.8) у вигляді [26-30]:

$$W_{пмі} = \frac{q_{пм} \cdot \gamma \cdot \beta \cdot t_{н-р}}{(l_2 + V_m \cdot \beta \cdot t_{н-р})}; \frac{т}{год}, \quad (2.20)$$

де $q_{пм}$ – номінальна вантажопідйомність причепа-перевантажувача визначається як:

$$q_{пм} = V_{пм} \cdot g_{зс} \cdot K_3; т, \quad (2.21)$$

де $V_{пм}$, $g_{зс}$, K_3 – об'єм бункера причепа-перевантажувача, щільність зернового вороху та коефіцієнт заповнення бункера відповідно;

l_2 – довжина гону комбайну, яка визначається за формулою (2.6).

Решта позначень відповідає формулі (2.8).

Час навантаження і розвантаження причепа-перевантажувача визначається з технічних характеристик комбайна та причепа-перевантажувача.

На підставі формули (2.20) з урахуванням, що:

$$W_K = W_{III},$$

можна отримати вираз для визначення об'єму причепа-перевантажувача [26-30]:

$$V_{III} = \frac{W_K \cdot (l_z + V_z \cdot \beta \cdot t_{K-p})}{g_{36} \cdot K_3 \cdot \gamma \cdot \beta \cdot V_m}; M^3. \quad (2.22)$$

Питомі витрати на перевалку зерна ячменю за допомогою причепа-перевантажувача від зернозбиральних комбайнів до краю поля до автомобілів виразимо за допомогою формули (2.18):

$$Z_{nni} = \frac{l_z \cdot K \cdot \Pi}{V_{nni} \cdot g_{36} \cdot K_3 \cdot \gamma} + \frac{Z_n + A_{nn} + Z_{nn} + Z_{in}}{P}; \frac{грн}{т}, \quad (2.23)$$

де A_{III} та Z_{III} – амортизаційні затрати та затрати на технічне обслуговування причепа-перевантажувача за збиральний період, грн.

Решта позначень відповідають формулі (2.18).

Якщо у транспортному процесі використовується декілька причепів-перевантажувачів, то їхня сумарна продуктивність визначається як

$$W_{nn} = \sum_{i=1}^{N_{nn}} W_{nni}; \frac{т}{час}. \quad (2.24)$$

Сумарні витрати на використання групи причепів-перевантажувачів визначаються як:

$$Z_{nn} = \sum_{i=1}^{N_{nn}} Z_{nni}; \frac{грн}{т}. \quad (2.25)$$

2.3. Структурна блок-схема алгоритму моделювання транспортних процесів при збиранні ячменю

Розглянемо детальніше побудову алгоритму моделювання процесу перевезення вантажу при збиранні ячменю.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті вивчення стану питання встановлено, що розробка оптимальної технологічної схеми збирання та транспортування ячменю з урахуванням конкретних даних господарства, а також розробка методики розрахунку кількості транспортних засобів для роботи у складі групи комбайнів є актуальним завданням, спрямованим на підвищення продуктивності та зниження витрат на транспортні процеси.

2. Розроблено структуру математичної моделі транспортних процесів при збиранні ячменю, яка враховує рівність продуктивності групи зернозбиральних комбайнів, причепа-перевантажувача та групи транспортних засобів.

3. Отримано математичний апарат для визначення продуктивності групи комбайнів, причепа-перевантажувача та групи транспортних засобів залежно від різних початкових умов, який дозволяє визначити необхідний об'єм причепа-перевантажувача та кількість транспортних засобів з урахуванням їх вантажопідйомності та дальності перевезення ячменю до місця зберігання.

4. На основі аналізу результатів моделювання процесу перевезення ячменю від збиральних комплексів доведено, що на кількість потрібних автомобілів, у першу чергу, впливає продуктивність групи комбайнів, потім номінальна вантажопідйомність транспортних засобів та дальність перевезення вантажу, що дозволяє прогнозувати об'єм перевезень та раціонально підбирати транспортні засоби.

5. Аналіз результатів моделювання витрат на транспортування ячменю при використанні причепа-перевантажувача підтверджує скорочення витрат з 275 грн/т до 185 грн/т. Встановлено, що найбільш придатним варіантом є застосування причепа-перевантажувача ємності 40м³.

6. В результаті аналізу витрат на перевезення ячменю транспортними засобами встановлено, що найбільш вагомим параметром, який впливає на витрати є вантажопідйомність транспортних засобів, другим параметром за значимістю є дальність перевезення, третім – урожайність та кількість працюючих комбайнів у групі.

7. Розроблено методика розрахунку параметрів збирально-транспортного процесу, яка дозволяє прогнозувати об'єми зерна ячменю, що перевозиться, та розрахувати необхідну кількість транспортних засобів для забезпечення транспортного обслуговування комбайнів. Методика є основною ланкою диспетчеризації транспортного процесу при збиранні ячменю.

8. В роботі багато уваги приділено правилам перевезення зернового вантажу та загальні вимоги пожежної безпеки при перевезенні, а також екологічні вимоги до транспортних засобів та шляхи зниження викиду забруднюючих речовин в повітря. Показано, що використання біодизеля є найбільш перспективним напрямком поліпшення екологічності транспортних засобів при їх експлуатації. Наведено вимоги безпеки при підготовці автомобіля до роботи. Розроблена карта контролю автомобіля КамАЗ-55102 по показниках безпеки дозволяє значно підвищити якість підготовки техніки до проведення ТО та підвищити рівень безпеки праці обслуговуючого персоналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Блынський Ю. Н. Обоснование системы транспортного обслуживания уборочных машин с перегрузкой материалов в магистральные поезда / Сибирский вестник с/х машин, 2009, №5, с. 87-94.
2. Миронюк С.К. Использование транспорта в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 2002, - 287 с.
3. Організація робіт по перевезенню зерна від комбайнів / Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/828-transportuvannia-zibranoho-zerna.html>
4. Дослідження транспортних процесів на перевезення зерна від комбайнів комбайнів / Режим доступу: https://www.google.com/search?client=opera&sxsrf=ALeKk03xvm_iCD_j8FFzmQvyMcP8oZhjmA%3A1610191551450&ei=v5L5X47jGseGwPAP15yVkAk&q
5. Кононенко А.Ф., Каменский А. С. Автоматизированное управление уборкой сельскохозяйственных культур. – М.: Россельхозиздат, 1994. – 119 с.
6. Гуревич А. М., Мукамедьянов Ф. Ф., Халтурин В. С. Влияние движителей тракторов на свойства почвы / Техника в сельском хозяйстве, 1999, №3, с. 53-54.
7. Лунякин В. Н. Оптимизация уборочно-транспортного процесса уборки зерновых культур с использованием передвижного перегрузчика. – Москва, ГНУ ВИМ, 2004. – 18 с.
8. Куропаткин В.И. Применение самоходных бункеров-накопителей в Алтайском крае. / Техника в сельском хозяйстве, 1979, №6, с. 18-19.
9. Петров В.И. Бункер-накопитель. / Техника в сельском хозяйстве, 1979, №6, с. 15-17.
10. Прицеп-перевантажувач фірми HAVE WESTER / Режим доступу: https://www.hawe-wester.de/wp-content/uploads/2019/07/HAWE_Folder_ULW_20s_RUS.pdf.

11. Прицеп-перевантажувач ПБН / Режим доступу: <https://kobzarenko.com.ua/ru/produkcija/bunker-inakopichuvach/65-pbn-20.html>.
12. Прицеп-перевантажувач БНП / Режим доступу: https://agsolco.com/bunker-peregruzchik_egritech_bnp-30/.
13. Абаев В.В. Повышение эффективности функционирования оптимальной системы технологий уборки зерновых культур / Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-optimalnoy-sistemy-tehnologiy-uborki-zernovyh-kultur/viewer>.
14. Измайлов А. Ю. Техническое обеспечение транспортной логистики в технологиях производства сельскохозяйственной продукции. Автореф. диссерт. докт. техн. наук. – М.: 2007. – 36 с.
15. Музылев Д. А., Кравцов А. Г., Карнаух Н. В., Бережная Н. Г. Разработка методики выбора условий взаимодействия зерноуборочного и транспортного комплексов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2016. – 2/3 (80). – С. 11-20.
16. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания: учебное пособие для вузов. — М. : Высшая школа, 1982. — 256 с.
17. Статистичне моделювання процесу потокової збирання сільськогосподарських культур. Режим доступу <https://www.stu.cn.ua/media/files/conference/mods2016.pdf>
18. Сидорчук О.В., Сидорчук Л.Л., Днесь В.І. Системні засади управління транспортними роботами у проектах збирання сільськогосподарських культур. /Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету, 2010, №18, с. 395-400.
19. Сидорчук О., Тридуба А., Днесь В. Системно-подієвий підхід до управління роботами у проектах збирання ранніх культур / Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження, 2009, т.2, №13, с. 25-41.

20. Сидорчук О. В., Днесь В. І., Скібчик В. І. Концептуальна формалізація конфігурації проектів зернозбирально-транспортних систем. / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», - Луцьк: 2014, вип. №46, с. 479-483.

21. Сидорчук О. В., Дуганець В. І., Днесь В. І. Метод узгодження збиральних і транспортних робіт у процесі оперативного їх планування / Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, 2012, №1/10, с. 35-38.

22. Сидорчук А. В., Днесь В. І. Информационная система согласования уборочных и транспортных работ. / Информационные технологии, системы и приборы в АПК: Материалы V международной научно- практической конференции АГРОИНФО-2012». – Новосибирск: 2012, 4.2, с. 181-185.

23. Сидорчук О.В., Комарницький С. П., Сидорчук Л.Л., Днесь В. І. Множина задач узгодження робіт у проектах збирання ранніх зернових культур. / Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр, 2011, №1/5, с. 22-25.

24. Табашников А. Т. Оптимизация уборки зерновых и кормовых культур. – М.: Аргопроиздат, 2005, - 159 с.

25. Автомобіль-самоскид КамАЗ-55102 / Режим доступу: <https://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/truck/kamaz/mark/kamaz-55102>.

26. Савин В. И. Перевозки грузов автомобильным транспортом: Справочное пособие. – М.: Дело и сервис, 2002. – 544 с.

27. Вільковський Є.К. Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад): Підручник / Є.К. Вільковський, 1.1. Кельман, О.О. Бакуліч. – Львів: «Інтелект-Захід», 2007. – 496 с.

28. Левкин Г.Г. Логистика в АПК : Учебное пособие. 2-е изд. / Г.Г. Левкин. – М.: Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 245 с.

29. Неруш Ю.М. Транспортна логістика [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://stud.com.ua/22438/logistika/transportna_logistika.

30. Неруш Ю.М. Транспортна логістика: теорія і практика проектування [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://stud.com.ua/119781/logistika/logistika_teoriya_i_praktika_proektuvannya.

31. Правила перевезень зернових вантажів. Режим доступу: <https://www.google.com/search?client=opera&sxsrf=ALeKk01y5jjm8Q6A9aYjgfVRyIIsaZtwSKQ%3A1610195063769&ei=d6D5X5OgLSGvrgSmuIyAAg&q>.

32. Рогач Ю.П. Пожежна безпека / Ю.П. Рогач. – Сімферополь, Таврія Плюс, 2001. – 124с.

33. Луценков В.Л., Бутко Д.А., Крыжачковский Н.Л. и др. Контроль тракторов, комбайнов и автомобилей по показателям безопасности. – К.: Урожай, 1993 – 296 с.