

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів**
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісної машини при виконанні
сільськогосподарської операції»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сівак І.М.
(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ Гладчук Є.О.
(підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Монько Вдалислав Романович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

д.т.н., професор

(науковий ступінь, вчене ваня) (підпис)

Калінін Є.І.

(ПІБ)

“ ” 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту

Монько Владислав Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проекту бакалавра на тему «Підвищення ефективності експлуатації колісної машини при виконанні сільськогосподарської операції»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024 р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 19.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Нормативно довідкова література.

Характеристики тракторів.

Перелік питань які потрібно розробити

Вступ

1 АНІЛІЗ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАПРЯМОК ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Стан вирощування кукурудзи на зерно в світі і Україні

1.2 Особливості вирощування кукурудзи на зерно в Україні

1.3 Технології збору врожаю кукурудзи на зерно

1.4 Напрями підвищення ефективності виробництва насіння кукурудзи на зерно 26

2 МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА ТРАКТОРНОГО ПОТЯГУ

3 МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ ТА АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ МТА

3.1 Функціонування інтелектуальної системи керування роботою дизеля

4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

4.1 Елементи реєстраційного комплексу

4.2 Використання систем фільтрації для підвищення точності дослідження

4.3 Результати експериментальних досліджень

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.

5.1 Безпека роботи обслуговуючого персоналу при випробуваннях

двигунів. 5.2 Проведення лабораторних випробувань дизелів

Висновки

Список використаних джерел

Перелік графічного матеріалу

1. Загальні характеристики.

2. Схема руху агрегату.

3. Схема приєднання агрегату.

4. Тягова характеристика.

5. Загальний вид редуктора.

6. Деталювання.

7. Висновки

Дата видачі завдання «__» _____ 2024 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

_____ (підпис)

Гладчук Є.О.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Монько В.Р.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Робота присвячена рішення питань системи синхронізації руху елементів збирального комплексу на базі трактора ХТЗ-16331 з напівпричепом ОЗТП-8573 і комбайна JOHN DEERE 9770, при виконанні технологічної операції збирання кукурудзи на зерно.

Досліджувалася робота комбінованого збирального комплексу в стандартній комплектації та з застосуванням комплексу синхронізації. Запропоновано систему автоматичного корегування швидкості компонентів збирального комплексу, спрямовану зменшити вплив людського чинника та кількість безповоротних втрат продуктів рослинництва. Були досліджені тягово-зчіпні властивості і керованість тракторного агрегату при завантаженні зерна кукурудзи.

Робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків і рекомендацій та списку використаної літератури. Робота викладена на 79 сторінках машинописного тексту, містить 30 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел, що включає 42 найменувань.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 АНІЛІЗ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ТА НАПРЯМОК ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Стан вирощування кукурудзи на зерно в світі і Україні.....	9
1.2 Особливості вирощування кукурудзи на зерно в Україні.....	17
1.3 Технології збору врожаю кукурудзи на зерно	23
1.4 Напрями підвищення ефективності виробництва насіння кукурудзи на зерно.....	26
2 МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА ТРАКТОРНОГО ПОТЯГУ	33
3 МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ ТА АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ МТА.....	51
3.1 Функціонування інтелектуальної системи керування роботою дизеля.....	51
4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	60
4.1 Елементи реєстраційного комплексу	60
4.2 Використання систем фільтрації для підвищення точності дослідження.....	62
4.3 Результати експериментальних досліджень.....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.	71
5.1 Безпека роботи обслуговуючого персоналу при випробуваннях двигунів.....	71
5.2 Проведення лабораторних випробувань дизелів.....	72
6. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ	74
6.1. Основні показники.....	74
6.2 Витрати праці.....	74
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Природно-кліматична зона та ґрунтові умови України сприятливі для вирощування зернових, бобових, круп'яних культур, соняшнику, пасовищного насіння та сої, з яких кукурудзу та соняшник використовують для вирощування зернових та сої. Кожна культура має свої біологічні та технологічні особливості, які диктують специфічні вимоги до сільськогосподарської техніки та методів, що використовуються для збору врожаю.

Наразі ринкові відносини стабільно розвиваються, аграрний сектор ґрунтовно реформовано, сільськогосподарські підприємства диференціюються за площею оброблюваних земель та їхнім економічним становищем, великі сільськогосподарські підприємства скорочені та розпорошені, економічні фактори захисту вітчизняних товаровиробників є неефективними, цінова політика на національному ринку зерна не має наукового обґрунтування, зберігається дисбаланс у цінах на збиральну техніку та готову продукцію, а сільськогосподарські підприємства мають низьку купівельну спроможність. В результаті, зернозбиральна техніка в останні роки не поповнювалася, а її кількісний склад зменшився. Але рівень оновлення дуже низький.

Водночас виробництво зерна та готової продукції зернового виробництва залишалися на досить високому рівні, посівна площа та середня врожайність з одиниці площі стабілізувалися на рівнях періоду економічної стабільності в Україні у 1980-х роках. Це призвело до загального обсягу виробництва в останні роки до 38 мільйонів тонн, досягнувши рекордного рівня близько 50 мільйонів тонн у 2009 році. Ситуацію в галузі можна описати та оцінити з точки зору внутрішнього та експортного попиту на продовольство, вартості продуктів харчування, якості машин та обладнання для механізованих технологічних процесів, а також технологій, що наразі використовуються у виробництві харчових продуктів.

Наразі парк сільськогосподарської техніки для збирання зернових, бобових, круп'яних культур, соняшнику, насіння трав, сої, кукурудзи, соняшнику та інших зернових культур формується відповідно до загальних тенденцій розвитку сільського господарства України сьогодні. Водночас ми врахували особливості вирощування зернових у всьому світі. Збільшено врожайність зернових культур до 70-80 центнерів з гектара, розширено асортимент техніки компанії відповідно до продуктивності, клімату та природної зони використання, підвищено продуктивність техніки (особливо зернозбиральних комбайнів), оснащено зерновиробничу техніку автоматичною системою управління сільським господарством, яка контролює технічні режими роботи всіх систем комбайна. Новий зернозбиральний комбайн великого виробника комбайнів збільшив виробничу потужність до 30 кг/сек. Це дозволить йому переробляти до 40-50 тонн зерна на годину у виробничому режимі протягом ключових періодів. Кількість зернозбиральних комбайнів (основної машини для виробництва зерна) скоротилася майже вдвічі з 1990-х років і становить близько 50 000. В результаті сезонне навантаження на кожен зернозбиральний комбайн зросло до 200 гектарів зернових, або 700-800 тонн зерна. Для порівняння варто зазначити, що у Сполучених Штатах вантажопідйомність одного комбайна становить 147 гектарів та 585 тонн відповідно. Така ситуація створює дилему: чи збільшувати кількість комбайнів з такою ж продуктивністю, як у існуючого парку, чи створювати новий парк (комбайни) на базі комбайнів зі значно вищою продуктивністю.

Аналіз комбайнів, що поповнили парк української зернозбиральної техніки за останні роки, показує, що це оновлення фактично відбувається за рахунок техніки провідних світових виробників зернозбиральних комбайнів, які характеризуються високою якістю виготовлення та технологічним рівнем як по частинах, так і у вигляді цілих зернозбиральних комбайнів [1].

Значення роботи полягає у створенні системи, яка синхронізує рух елементів складального комплексу та підвищує якість технологічних операцій

шляхом виключення людського фактору. Використання цієї системи зменшує втрати коренеплодів під час збору врожаю та робить процес набагато ефективнішим з точки зору використання палива.

1 АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Вирощування кукурудзи у світі та в Україні

Кукурудза є найпродуктивнішою продовольчою культурою з точки зору виробництва біомаси. Наразі в Україні лише частина, а саме зерно, продається комерційно, тоді як рослинні залишки залишаються на полях.

Кукурудза є найпоширенішою зерною культурою та широко використовується для:

- Сировина для харчової, фармацевтичної, хімічної та інших галузей промисловості.
- Високоенергетичний корм, що підходить для різних видів тваринництва та птахівництва.
- Сировина для виробництва біопалива першого та другого покоління.
- Сировина для виробництва біогазу.

Ця культура має велике агрономічне значення, оскільки вона видаляє бур'яни з ґрунту та сприяє сівозміні. Кукурудза є культурною рослиною номер один за поглинанням вуглекислого газу та виділенням кисню, ефективніше, ніж еквівалентна площа лісу.[2]

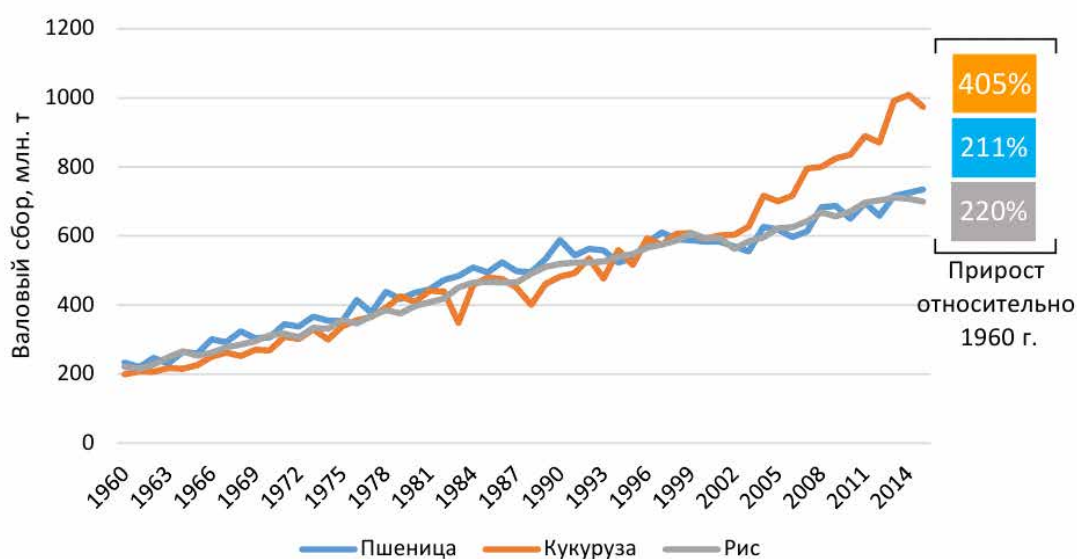


Рисунок 1 - Валовий збір основних зернових культур в світі.

Вирощування кукурудзи як зерна дозволяє пізніше садити та збирати врожай, що дозволяє краще використовувати сільськогосподарську техніку.

Кукурудза підтримує високий попит на світовому ринку завдяки своїм цінним властивостям. За загальним обсягом виробництва зерна (Рисунок 1), врожайністю з одиниці площі (Рисунок 2) та приростом зібраної площі (Рисунок 3) кукурудза посідає перше місце серед зернових культур.

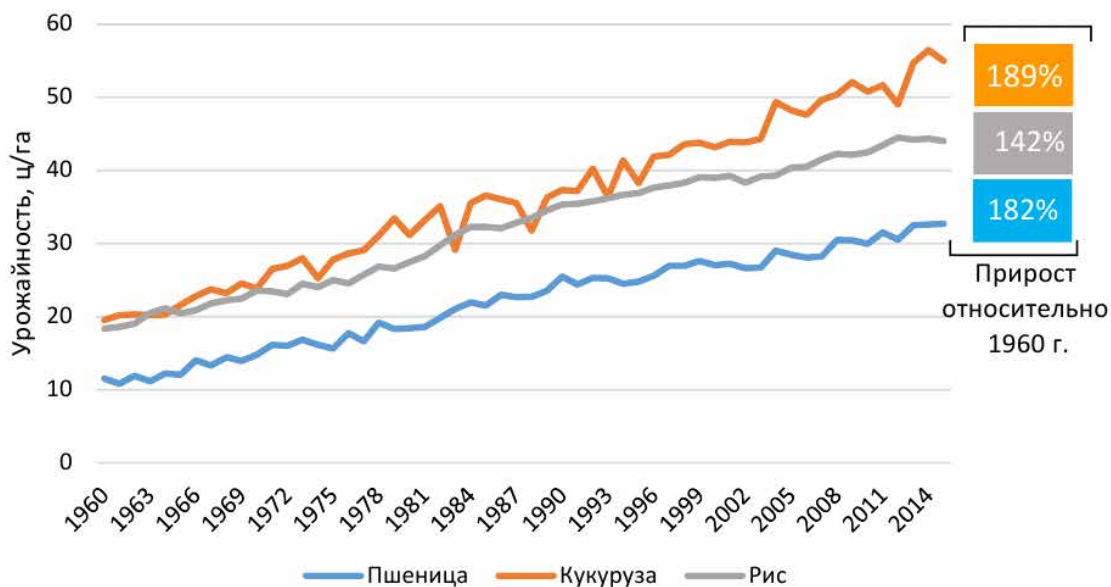


Рисунок 2 - Урожайність основних зернових культур в світі

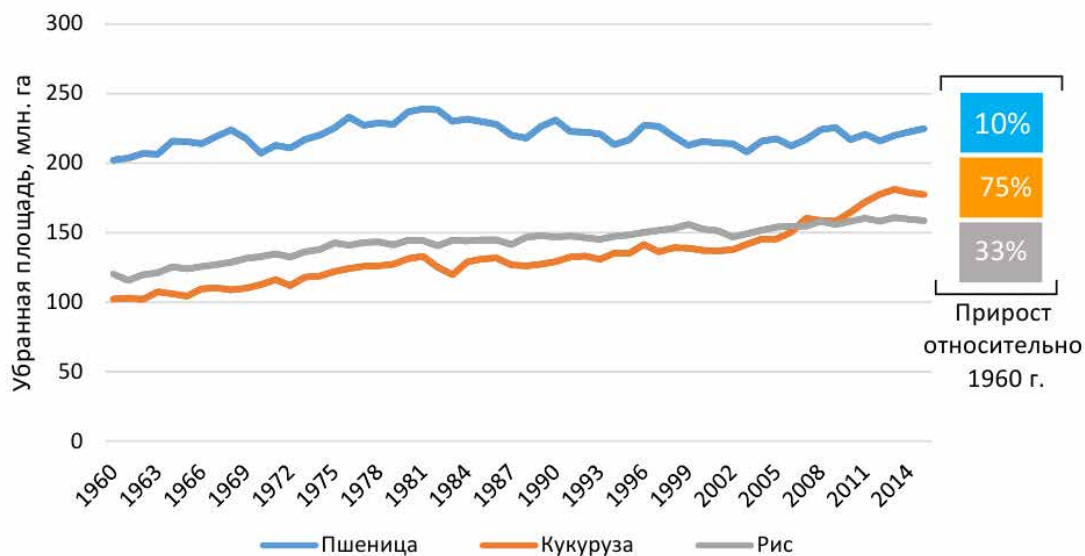


Рисунок 3 - Площа під основними зерновими культурами в світі

Сполучені Штати є найбільшим у світі виробником зерна та кукурудзи загалом. У 2014/2015 роках країна зібрала 361 мільйон ринггітів. тонн (36,4% світового виробництва цієї культури), із середньою врожайністю 107,3 тонни з гектара (Таблиця 1). Китай також виробляє багато кукурудзи, близько 216 мільйонів тонн. Бразилія виробила 85 мільйонів тонн у 2014/2015 році. 1 мільйон тонн у всьому світі та 76 мільйонів тонн в ЄС. Україна посіла п'яте місце з 28,5 мільйонами тонн.

Збільшення врожайності кукурудзи пов'язане з досягненнями сільськогосподарської науки та розвитком гібридних сортів за допомогою біотехнології, причому виробництво кукурудзи в США зростає на 2% щорічно з 2000 року (Рисунок 4). У контрольованих дослідженнях американські фермери досягли врожайності понад 250 тонн кукурудзи з гектара. У 2015 році Національна асоціація виробників кукурудзи повідомила, що Вірджинія встановила світовий рекорд урожайності кукурудзи Pioneer® P1197AM™, перевищивши 334 тонни з гектара [3].

Таблиця 1. Основні виробники зерна кукурудзи в світі [4].

№ П/П	Країна / регіон	Площа, млн. га			Урожайність, т/га			Валовий збір, млн. т		
		2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016	2013/ 2014	2014/ 2015	2015/ 2016
1	США	35,39	33,64	32,64	9,93	10,73	10,62	351,27	361,09	346,82
2	Китай	36,32	37,07	37,85	6,02	5,82	5,94	218,49	215,67	225,00
3	Бразилія	15,80	15,75	15,80	5,06	5,40	5,16	80,00	85,00	81,50
4	ЕС	9,66	9,53	9,27	6,69	7,95	6,23	64,63	75,73	57,75
5	Україна	4,83	4,63	4,00	6,40	6,15	5,75	30,90	28,45	23,00
6	Аргентина	3,40	3,20	3,20	7,65	8,28	8,00	26,00	26,50	25,60
7	Індія	9,07	9,30	9,20	2,68	2,55	2,45	24,26	23,67	22,50
8	Мексика	7,05	7,33	7,0	3,24	3,48	3,36	22,88	25,48	23,50
	Світ	181,16	178,61	177,46	5,47	5,65	5,49	991,43	1008,79	974,87

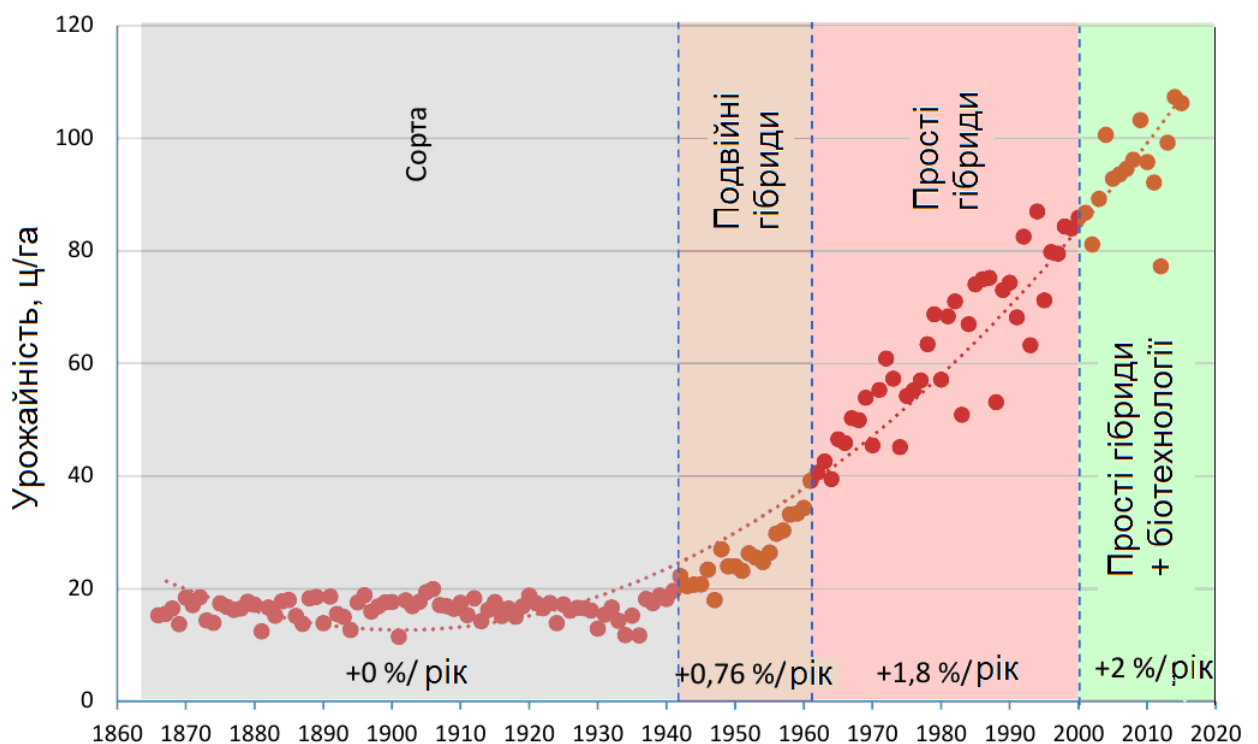
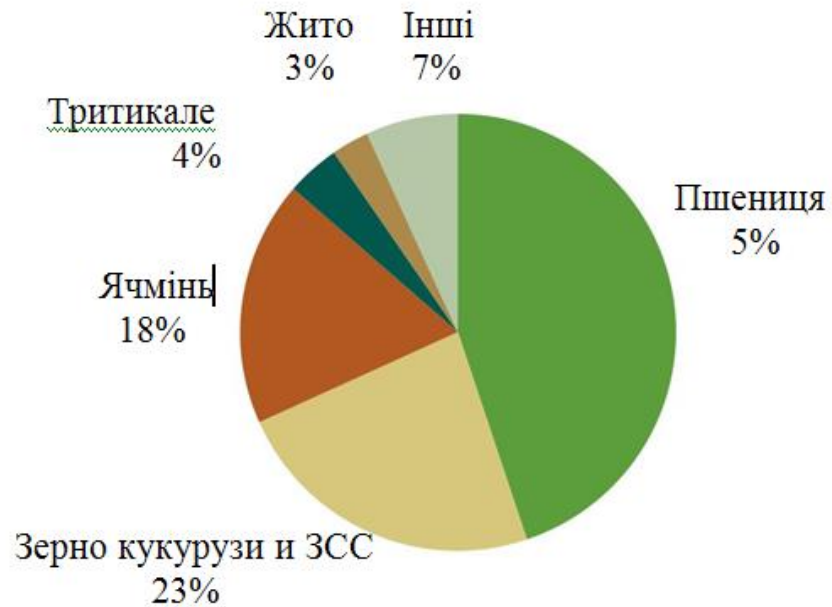


Рисунок 4 - Збільшення врожайності кукурудзи в США за останні 150 років [5].



Загальні обсяги виробництва: 334,2 млн. т

Рисунок 5 - Структура виробництва зерна в ЄС-28 в 2014 р.

У ЄС загальне виробництво кукурудзи (для гранулювання та грануляції) посідає друге місце серед зернових культур (Рисунок 5). Тим часом, вирощування кукурудзи є основним джерелом виробництва зерна, причому виробництво кукурудзи у 2014 році становило 75,7 мільйона тонн, а виробництво пшениці — 2,4 мільйона тонн. Найбільшим виробником кукурудзи була Франція (18,4 млн тонн), що становило 24,3% від загального обсягу ЄС у 2014 році, за нею йде Румунія з 11,73 млн тонн. Угорщина мала 9,17 мільйона тонн, а Італія – 8,33 мільйона тонн. Отже. Країнами з найвищим виробництвом у 2014 році були Іспанія – 112,4 цента/га, Австрія – 107,9 цента/га, Німеччина – 106,8 цента/га, Франція – 103,8 цента/га.

Україна є найбільшим виробником кукурудзи в Європі. У 2011 році європейський рекорд з виробництва кукурудзи було встановлено підприємством «Миронівські грибопродукти» акціонерного товариства НПФ «Урожай». Компанія зібрала врожай гібридного сорту DKS 5143, розробленого компанією Monsanto, на площі 91,4 гектара землі з врожайністю

190 кв. м/га та вологістю близько 22%[6]. 2013 рік був справді успішним. Урожайність кукурудзи на фермі «Ладіс» у Монастиричанському районі Черкаської області для сорту ДКС3511 з вологістю 22-23% становила 205 центнерів з гектара.[7] Врожайність кукурудзи на деяких фермах Лісостепу та Полісся досягла 10-12 тонн з гектара, що значно перевищує середні показники по регіону та країні. За даними Міністерства аграрної політики та продовольства України, обсяг намолоту кукурудзи у 2015 році склав 23,2 мільйона тонн, що на 9 відсотків менше, ніж за аналогічний період минулого року.

Середня врожайність становила 5710 кг з гектара, що на 95,5% більше, ніж у 2014 році [8]. Дані щодо виробництва кукурудзи для кожного регіону у 2014 році наведено в таблиці. 2.

У 2014 році загальне виробництво кукурудзи в Полтавській області досягло рекордного рівня в 3,379 млн тонн, але це становило лише 82,8% від виробництва 2013 року. У 2014 році середня врожайність у Полтавській області становила 58 100 кг з гектара, у Вінницькій, Рівненській, Сумській та Хмельницькій областях – понад 8 000 кг з гектара, а в Київській області – 79 400 кг з гектара.

Негативна погода у 2015 році (сухе, спекотне літо) ускладнила вирощування кукурудзи по всій Україні. Середня врожайність у Полтавській області зросла до 73 100 центнерів з гектара,[9] тоді як у Шишацькому районі середня врожайність перевищила 10 000 центнерів з гектара.

Таблиця 2. Виробництво кукурудзи на зерно по областях України в 2014 р.

	Валовий збір		Зібрана площа		Урожайність	
	тис.т	2014 р в % до 2013р	тис. га	2014 р в % до 2013 р	ц/га	2014 р (+,-) до 2013 р
Вінницька	2702,7	97,0	345,3	94,7	82,6	+1,9
Волинська	184,9	105,8	24,6	97,2	77,5	+6,4
Дніпропетровська	929,1	70,6	322,7	107,9	26,7	-14,1
Донецька	366,7	102,3	95,3	106,1	36,3	-1,3
Житомирська	1292,9	82,5	199,6	89,6	72,3	-6,2
Закарпатська	196,4	104,6	41,8	102,6	45,8	+0,9
Запорізька	130,7	75,0	53,0	88,7	27,8	-5,0
Івано-Франківська	355,8	102,1	52,5	94,9	71,5	+5,1
Київська	2053,3	94,5	291,7	88,8	79,2	+4,7
Кіровоградська	1834,4	85,2	389,6	94,3	49,9	-5,4
Луганська	316,3	91,5	105,0	85,0	35,4	+2,5
Львівська	434,1	110,4	61,3	101,5	69,7	+5,5
Миколаївська	499,2	68,1	141,8	94,4	37,3	-14,4
Одеська	546,0	67,7	169,7	95,5	33,7	-13,8
Полтавська	3380,1	82,8	592,7	98,2	58,1	-10,8
Рівненська	506,3	98,4	63,1	97,1	82,6	+1,1
Сумська	2672,7	110,8	317,7	102,5	82,1	+6,2
Тернопільська	1188,1	98,5	159,8	96,0	77,5	+2,0
Харківська	1606,8	100,1	319,1	94,3	53,4	+3,1
Херсонська	224,5	59,7	59,6	72,7	51,8	-11,3
Хмельницька	1727,4	94,6	251,2	83,4	82,4	+9,8
Черкаська	2286,8	85,9	339,4	96,0	70,2	-8,2
Чернівецька	399,7	98,2	66,9	94,2	63,4	+2,6
Чернігівська	2661,9	118,0	353,7	104,5	72,0	+8,2
Україна	28496,8	92,3	4626,9	96,1	61,6	-2,5

Фінансові труднощі та зниження економічної привабливості вирощування кукурудзи призвели до скорочення площ під кукурудзою на 13% до 4,01 мільйона акрів у 2015 році. Площа оброблюваних гектарів зменшилася, як і загальний обсяг виробництва кукурудзи. Таблиця, що показує тенденції внутрішніх цін на кукурудзу на зерно з 2010 по 2015 рік. Як показано на рисунку 6, найвища ціна (\$261/тонна) була зафіксована з червня по серпень 2011 року, а найнижча ціна (\$115/тонна) – у листопаді 2014 року. Станом на січень 2016 року закупівельна ціна кукурудзи на складі ТОВ «НІБУЛОН» становила 3150-3350 грн/тонна (134-142,5 грн/тонна).

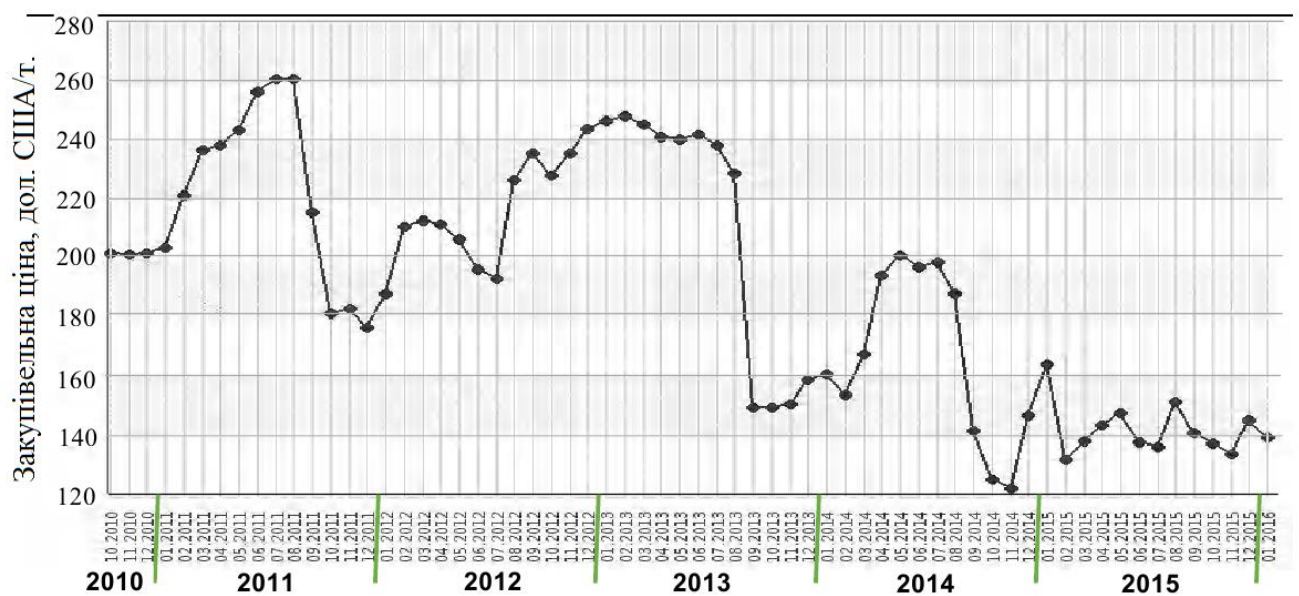


Рисунок 6 - Динаміка зміни закупівельної ціни на зерно кукурудзи [10]

Експерти стверджують, що низькі ціни на кукурудзу на внутрішньому та міжнародному ринках пов'язані з падінням цін на нафту, що також призвело до падіння цін на біоетанол та спричинило велику кількість перехідних запасів[11].

Прогнозоване падіння світового виробництва кукурудзи цього року може змінити тенденцію до зниження ринкових цін.

Таким чином, враховуючи величезну площу вирощування кукурудзи в Україні, яка охоплює близько 15% орних земель, та високу врожайність за останні 3 роки (в середньому 57-64 метричні тонни з гектара), очевидно, що ця

культура, окрім зернових, дає велику кількість побічних продуктів, які можна використовувати в біоенергетичному секторі. Варто зазначити, що Україна має потенціал для збільшення виробництва завдяки ширшому використанню досягнень сільськогосподарської науки. Для забезпечення стабільних цін на кукурудзу необхідно збільшити внутрішнє споживання, зокрема шляхом переробки для отримання продукції з високою доданою вартістю.

1.2 Характеристики вирощування кукурудзи в Україні

Кукурудза — високоврожайна рослина, родом з тропіків. Його походження - Центральна та Південна Америка, що пояснює необхідність теплих умов для росту та розвитку цієї рослини. Кукурудза виробляє більше органічної речовини за коротший проміжок часу, ніж будь-яка інша культура. Завдяки розвитку технології селекції, межі регіону вирощування кукурудзи за останні роки значно змістилися на північ [2].

Ботанічні характеристики. Кукурудза (*Zea mays* L.) — однорічна, однодомна, дводомна, перехреснозапилна рослина родини Poaceae. Стебла прямостоячі, а висота різних сортів коливається від 0,5 до 6-7 метрів, залежно від кліматичних умов, агротехніки та родючості ґрунту. Більша частина кореневої системи зосереджена на глибині 30–60 см, але багато дрібних живих коренів простягаються на глибину 150–250 см, використовуючи воду та поживні речовини з підстиляючого ґрунту [12].

Гібриди кукурудзи поділяються на сім категорій залежно від тривалості вегетаційного періоду, який коливається від 85 до 150 днів. Кожен біотип має бути адаптований до кліматичних умов регіону вирощування, щоб забезпечити високу врожайність та надійне дозрівання [13]. У 2015 році до Державного реєстру сортів рослин України було внесено понад 750 сортів.

Агрокліматичні умови в Україні різняться, тому вирощування кукурудзи поділяється на чотири регіони: степ, лісостеп, Полісся, Карпати та Кримський степ. Характеристики ґрунту, умови зволоження та температурні режими в

кожному регіоні суттєво впливають на врожайність. Період, протягом якого кукурудза може активно рости та накопичувати органічну речовину, обмежений датою, коли середньодобова температура стабільно переходить до 10°C. Важливою характеристикою теплових умов для росту кукурудзи є їхня тривалість у поєднанні з хорошою доступністю вологи [12]. Переважні гібриди кукурудзи, згруповані за терміном стиглості для різних регіонів вирощування: гібриди кукурудзи сорту «Прерія» – це кукурудза середнього терміну дозрівання, гібриди кукурудзи сорту «Форест Прерія» – це ранньостигла та середньоранньостигла кукурудза, а гібриди кукурудзи сорту «Поліція» – це ранньостигла кукурудза, яка утворює сухі зерна та в більшості випадків не потребує додаткових витрат на сушіння (Таблиця 3).

Таблиця 3. Тепловий режим гібридів кукурудзи різних груп спелості [14]

Група стиглості гібридів	10ФАО	Сума ефективних температур (Вище 10°C), °C	Вегетаційний період, днів			Потреба в сумі температур вище 10 °C за вегетацію, °C
			Степ	Лісостеп	Полісся	
Ранньо-стиглі	100-199	900-1000	85-99	97-102	101-106	2100
Середньо-ранні	200-299	1100	94-114	107-116	109-119	2200
Середньо-стиглі	300-399	1150	111-122	120-125	123-126	2400
Середньо-пізні	400-499	1200	115-128	-	-	2500
Пізньо-стиглі	500-600	1250-1300	-	-	-	2700

Агрокліматичні умови в регіонах України, де вирощується кукурудза, характеризуються широким діапазоном гідротермічних параметрів, що призводить до суттєвих відмінностей у науково підтверджених термінах початку сівби, тривалості вегетаційного періоду та термінах дозрівання зерна для всіх біотипів кукурудзи (табл. 4) [14].

Кукурудза проходить різні стадії росту та розвитку. Вміст сухої речовини (СР) у всій рослині збільшується в стеблі на ранніх стадіях дозрівання, а потім у волоті, поки зерно повністю не дозріє. Максимальний вміст с.р. становить 30-35% у всій рослині (найкращий час для збору врожаю кукурудзи на силос). с.р. До моменту досягнення повної зрілості вміст падає до 15-20%. Восени процес накопичення сухої речовини завершується, коли температура падає нижче 20°C. Найвища врожайність спостерігається, коли вміст сухої речовини в зерні становить 60-64%. (Фізіологічне дозрівання) [2]

Ґрунти без бур'янів, добре структуровані, відносно пухкі, з глибоким шаром гумусу та високим вмістом поживних речовин забезпечать високий врожай кукурудзи. Найкращими ґрунтами для вирощування кукурудзи є чорноземи, каштанові ґрунти, темно-сірі ґрунти та заплавні ґрунти з нейтральною реакцією (рН 7,0-7,5). У сівозміні кукурудза має низькі вимоги до попередньої культури. У сівозмінах його висаджують після озимих зернових, бобових, картоплі, цукрових буряків, ярих зернових та баштанних культур. Кукурудза може витримувати тривале вирощування на постійних ділянках. У районах з недостатнім зволоженням цю культуру не слід сіяти після соняшнику або цукрового буряка, оскільки ґрунт стане дуже сухим. [15]

Кукурудза — це культура з високими потребами в мінеральних поживних речовинах та тривалим вегетаційним періодом, тому вона також повинна мати можливість засвоювати поживні речовини протягом усього свого життєвого циклу. Щоб виробити одну тону зерна з належною якістю листя та стебла, кукурудза споживає в середньому 24-30 кг азоту, 10-12 кг фосфору та 25-30 кг калію з ґрунту та добрив. Для досягнення врожайності зерна 4,5-5,0 т/га кукурудза в середньому забирає з ґрунту 110-150 кг азоту, 45-60 кг фосфору та 115-150 кг калію. Навіть якщо ґрунт дуже родючий, він не може забезпечити таку велику кількість поживних речовин у формі, яку рослини можуть засвоїти. Тому добрива є одним з найважливіших факторів підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Норма внесення мінеральних добрив під посіви кукурудзи повинна враховувати наявність

поживних речовин у оброблюваному шарі ґрунту, вихід основної та побічної продукції, а також середнє виносне утворення основних поживних речовин [14].

Орієнтовні норми внесення мінеральних добрив становлять N60-90P60K35-40 у степовій зоні, N120P90K90 у лісостеповій зоні та N130P100K100 у Порешському та західному регіонах. Крім того, слід вносити органічні добрива, стандартна норма яких становить 30-40 тонн на гектар у лісостеповій та полісцієвій зонах, а також 20-30 тонн на гектар у степовій зонах.[15] Солому та пожнивні залишки також використовуються як органічні добрива для покращення гумусного стану ґрунту.[16] Найефективніший метод — це поєднання мінеральних та органічних добрив.

Обробка ґрунту є одним з основних компонентів технології вирощування кукурудзи. Для забезпечення розміщення високоякісного насіння під час сівби для отримання добрих сходів та безперешкодного розвитку орального шару та кореневої системи під ним потрібен ретельно оброблений ґрунт. Існує три типи систем обробітку ґрунту: звичайні системи обробітку ґрунту (на основі обробітку ґрунту), системи збереження або обслуговування ґрунту (мінімальні) та системи нульового обробітку ґрунту (прямий посів, без обробітку ґрунту) (Рисунок 7) [2].

Системи обробки ґрунту і посів

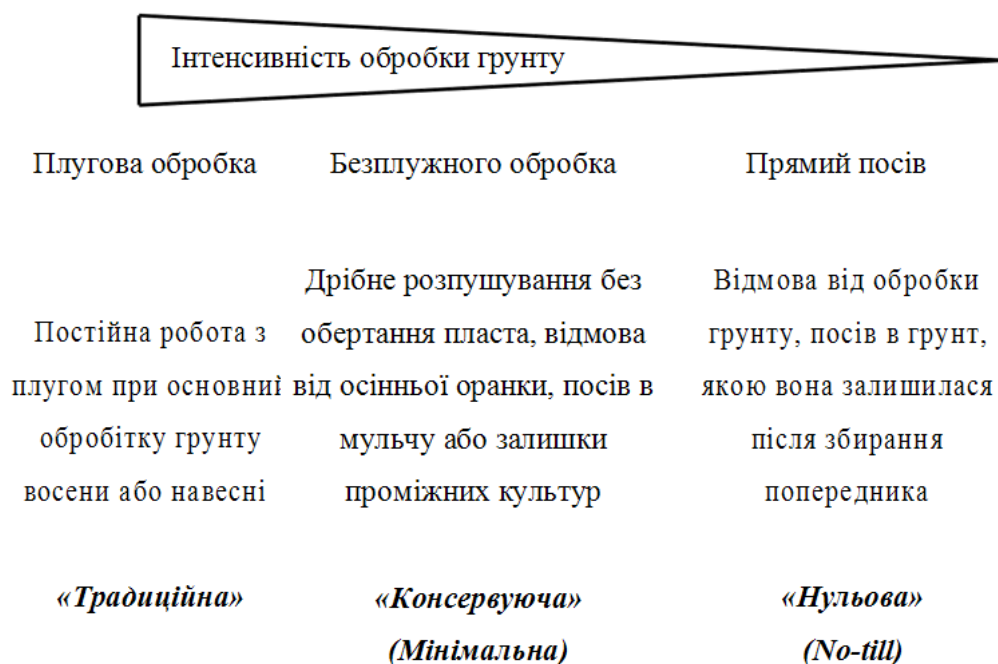


Рисунок 7 - Агротехнічні прийоми і робочі проходи при різних способах обробітку ґрунту [2].

Традиційний обробіток ґрунту під кукурудзу включає основний обробіток ґрунту та передпосівний обробіток ґрунту. Основний обробіток починається з видалення стерні або поверхневого обробітку та оранки. Після внесення зернових попередників та перед обробітком ґрунту рослинні залишки необхідно дрібно подрібнити та рівномірно розкидати по площі поля, ретельно перемішати з ґрунтом. Кукурудза має високі вимоги до аерації ґрунту, і традиційний глибокий обробіток ґрунту (25–27 см) або енергоєфективний безорний обробіток можуть забезпечити найкращі параметри [2,13,14,17,18].

Чизельна обробка дає найкращі результати з точки зору енергозбереження та збереження ґрунту, заощаджуючи 10-12 кг палива на гектар, майже вдвічі скорочуючи експлуатаційні витрати, зменшуючи витрати на оплату праці на 31% та зменшуючи споживання енергії в 1,4 раза. На фермах з високим обробітком ґрунту, які використовують інтегровані системи

боротьби з бур'янами, поверхневий обробіток ґрунту проводиться на глибину від 12 до 14 см під рослиною кукурудзи.[4]

В останні роки в Україні також дедалі популярнішими стають методи «безоранки».[19] Згідно з оцінкою Національного наукового центру «ІГА імені О.М. Соколовського» (Харків), Україна має чудову можливість для впровадження підходу мінімальної обробки. Цьому прогресу перешкождали низький рівень сільськогосподарської грамотності, надлишок бур'янів та обов'язкове використання обробітку ґрунту та інших екстенсивних методів передпосівної та міжрядної обробки для боротьби з бур'янами.[20]

Обробка ґрунту з використанням методів ґрунтоохоронного догляду може запобігти ерозії водою та вітром (табл. 5), збільшити водоінфільтраційну здатність ґрунту та підтримувати ґрунтові умови, придатні для реалізації технологічних процесів. Однак використання методів збереження ґрунту, включаючи мульчування рослинними рештками, має такі негативні характеристики: прогрівання ґрунту відбувається затримкою. Зниження схожості на кукурудзяних полях; повільне поглинання та низький рівень мінералізації азоту. підвищена забур'яненість; збільшення пошкодження посівів гризунами; Для вирішення цих проблем необхідний постійний моніторинг посівів та вжиття відповідних заходів.[2]

Обробку ґрунту перед посівом проводять навесні, щоб мінімізувати механічний вплив на ґрунт сільськогосподарською технікою, зберегти сформовану структуру, обробляти лише площу пакетів насіння та запобігти надмірному ущільненню ґрунту, його пересиханню та розсипанню. Для досягнення цього потрібна оранка, подрібнення та обробіток ґрунту. [2, 14]

Наразі в Україні для посіву кукурудзи переважно використовується широкогребневий посів з міжряддями 70 см, тоді як у Сполучених Штатах він становить 76,2 см. Відстань між рослинами в ряду залежить від норми висіву. Безорна обробка ґрунту усуває необхідність розпушування міжрядь протягом вегетаційного періоду, дозволяючи скоротити міжряддя до 50 см, що покращує конкурентоспроможність культури проти бур'янів і дозволяє

збільшити густоту рослин кукурудзи. Але щоб зібрати врожай, потрібно використовувати заголовки, які відповідають ширині ваших стовпців. Порівняно з традиційними методами землеробства, безоральне землеробство характеризується повільнішим прогріванням ґрунту навесні, частково через покриття ґрунту рослинними рештками.[19] Посів кукурудзи зазвичай починають, коли температура ґрунту на глибині загортання насіння підвищиться до 8-10°C. У полісії, Лісостепу та західних регіонах України густота посадки кукурудзи на час збору врожаю повинна становити 70 000-80 000 рослин. штук/га (20-25 кг/га), луковиці – 50 000-70 000. одиниць/гектар (15-20 кг/гектар) [15].

Таблиця 5. Вплив мульчі на поверхневий стік та ерозію ґрунту [2]

Покриття ґрунту мульчею, %	Рослинні залишки, т с.в./га	Поверхневий стік, %	Винесення ґрунту, %
0	0	45	100
менше 20	0,5	40	25
20-30	1	25	8
50	2	0,5	3
70	4	0,1	менше 1
більше 90	8	не вимірювані	менше 1

Під час догляду за культурою необхідно створювати сприятливі умови для отримання добрих сходів кукурудзи, не допускати росту бур'янів у посіві, підтримувати вологість у насінневому ложі та орному шарі ґрунту. Для цього застосовують броньований обробіток ґрунту та міжрядний обробіток. Інтенсивні методи вирощування кукурудзи з використанням ґрунтових та післясходових гербіцидів можуть зменшити кількість механічних методів обробки або повністю виключити їх на чистих полях. Однак ризик забруднення ґрунту насінням на різних стадіях проростання є високим, а деякі бур'яни стійкі до хімічних речовин, тому для захисту врожаю необхідне поєднання механічних та хімічних заходів. Для боротьби зі шкідниками та

хворобами кукурудзи використовуються хімічні або біологічні засоби боротьби [2,14].

1.3 Методи збору врожаю кукурудзи

Збір кукурудзи – це складний і тривалий процес. Існує кілька технічних рішень (рис. 8).

1. Комбайн збирає кукурудзу, а качани кукурудзи обробляються на станції збирання.

1.1. Кукурудзяні качани, які не були вийняті з обгортки (пункт 1.1 на рисунку 8)

1.2. Одночасно вийміть кукурудзяний качан з обгортки (пункт 1.2 на рисунку 8).

2. Збирання врожаю комбайном, оснащеним кукурудзяною жаткою (позиція 2 на рисунку 8).

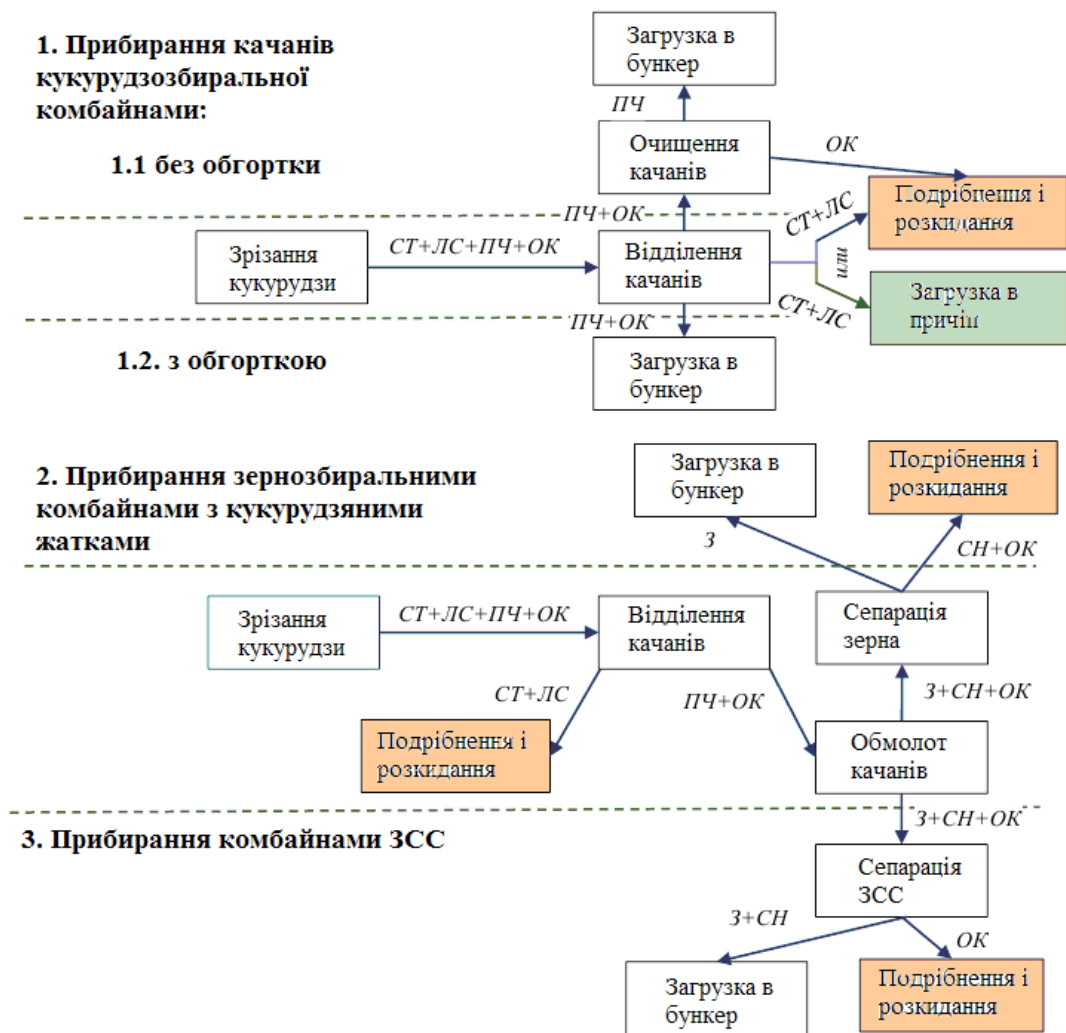
3. Збирати врожай комбайном ZSS (позиція 3 на рисунку 8).

Кукурудзу збирають, коли вологість зерна становить від 20% до 35-40%, а вміст сухої речовини — від 40-50%. Збирання врожаю до обмолоту починають, коли вологість зерна не перевищує 40%, а після обмолоту — коли вологість зерна досягає 30%. Висока вологість може призвести до поганого обмолоту, пошкодження зерна та зниження продуктивності комбайнів. Якість обмолоту найвища, коли вологість зерна становить 20-22%. [15]

У 1980-х та 1990-х роках в Україні були популярні методи збирання кукурудзи. У цій технології використовувалися зернозбиральні комбайни типу СК-5М, Єнісей-1200, Дон-1500, КЗС-9-1 виробництва Херсонських механічних заводів ППК-4, КМД-6 та ПЗКС-6, які збирали всю біологічну культуру за допомогою спеціального збирального столу та транспортували подрібнені побічні продукти на причепи.

Наразі основним методом комерційного збору врожаю кукурудзи є обмолот у полі за допомогою комбайна, а потім подрібнення та розкидання

зрізаних качанів кукурудзи за допомогою комбайна та кукурудзяної жатки. Цей спосіб збору кукурудзи є найбільш економічно доцільним. Порівняно зі збиранням кукурудзяних качанів, витрати на оплату праці можна зменшити в 1,8–2 рази, а витрату палива — на 20–25 відсотків.[14] Дуже мало ферм збирають кукурудзу на качанах без обмолоту, а потім проводять стаціонарний обмолот для збору стебел кукурудзи. Це насінневі фабрики, які вирощують кукурудзу для отримання (гібридного) насіння кукурудзи як посадкового матеріалу. Мережа ZSS ще не є поширеною в Україні.



З – зерно; СТ – стебело; ЛС – листя; СН – стрижень; ОК – обгортка качана; ПЧ – качан.

$$(ПЧ = СН+З)$$

Рисунок 8 - Технології збирання кукурудзи на зерно.

Враховуючи календарну дату посадки кукурудзи в регіоні вирощування кукурудзи та середню тривалість вегетаційного періоду гібридних біотипів кукурудзи в різних групах стиглості, дату досягнення біологічної стиглості зерна (яка залежить від гідротермічних умов росту) зазвичай можна передбачити за календарем [14].

- Південні рівнини, з 1 по 5 серпня (ранні сорти) до 10 по 15 вересня (середньо- та пізні сорти)
- 15-20 серпня та 15-20 вересня на Північних рівнинах.
- Лісостеп – 25-30 серпня, 20-25 вересня
- Поліція - 1-5 вересня, 25-30 вересня.

Гібриди не повинні збирати врожай більше 5-7 днів. Будь-яке зволікання може призвести до серйозних втрат врожаю. Наприклад, згідно зі статистикою Степового регіонального агрономічного науково-дослідного інституту №13 (Дніпропетровськ), на 10-й день після початку збору врожаю втрати зерна кукурудзи становили лише 4% від врожаю, але до 20-го дня це збільшилося до 10%, до 30-го дня – до 17%, а до 35-го дня – до 23%.[14] У різних регіонах України збирання кукурудзи часто займає багато часу, значно довше за оптимально допустимий період. Кукурудзу зазвичай збирають у жовтні та листопаді. Щоб досягти базової вологості 14%, зерна кукурудзи необхідно сушити в зерносушарці, що тягне за собою додаткові витрати. Тому, часто через високу вологість для основних культур, деякі ферми навмисно відкладають збирання врожаю навіть після повної стиглості, щоб зменшити вміст вологи в зерні та довше зберегти рослини прикріпленими до коріння, що призводить до незворотних втрат врожаю. У суху та морозну погоду вологість зерна знижується, але знижуються й інші показники якості основної продукції. Незважаючи на це, деякі ферми збирають кукурудзу в грудні, січні або навіть пізніше.

1.4 Напрямки підвищення ефективності виробництва насіння кукурудзи

Кукурудза є однією з найпоширеніших культур у зерновому бюджеті України та використовується як продовольча, так і кормова культура і користується високим попитом на зерновому ринку. На світовому ринку кукурудза посідає третє місце після озимої пшениці та соняшнику.

Аналізуючи виробництво кукурудзи, Україна постійно збільшує свій експорт і, як наслідок, виробництво товарного зерна (Таблиця 1). У структурі аграрного сектору України кукурудза займає 5,5% від загальної кількості, тоді як за кордоном вона становить близько 20%.

Обов'язковою вимогою вирощування кукурудзи є своєчасне та правильне виконання всіх технологічних елементів. Технологічна система повинна бути спрямована на економію матеріально-технічних ресурсів, збереження ґрунтової вологи та отримання стабільно високих врожаїв за найнижчих витрат праці та виробництва.

Питання споживання енергії є важливим під час обробітку ґрунту, наявності правильної техніки та інструментів, використання ефективних систем удобрення та вирощування сільськогосподарських культур.

Зазвичай вважається, що найкращий час для збору врожаю кукурудзи – це коли вологість зерна становить від 25 до 30 відсотків. Протягом цього періоду волоті залишаються міцно прикріпленими до стебла, і рослини не гинуть (за нормальних умов розвитку), тому втрати врожаю мінімальні.[21]

Кукурудзу слід збирати, як тільки вона дозріє. Чим довше зріла кукурудза залишається на коренях, тим більша ймовірність того, що качани поникнуть, а стебло рослини впаде.

У період стиглості зерна стебла кукурудзи мали показник прямостоячості 89,3%, показник нахилу 10,2% та рівень вилягання 0,5% (близько 27 серпня). Протягом звичайного часу збору: -75% у вертикальному положенні, -24% у нахиленому положенні, -1% у складеному (приблизно 12 вересня). На пізніший термін збору врожаю (23 вересня) ці показники становили 63,5% та 30% відповідно.

Завдання підвищення продуктивності обмежується змінами фізичних та механічних властивостей колоса з часом. Чим сухіша кукурудза, тим легше її зняти з качана, тому період збору врожаю в Agrotech становить 12 днів. Це демонструє залежність втрат зерна та лушення від вологості зерна під час збирання кукурудзи зернозбиральним комбайном КСКУ-6 на основі даних різних років [22] (рисунки 1 та 2).

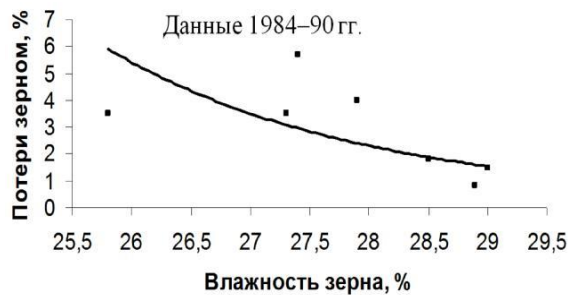


Рисунок 1 – Залежність втрат від вологості зерна при періодичних випробуваннях комбайна

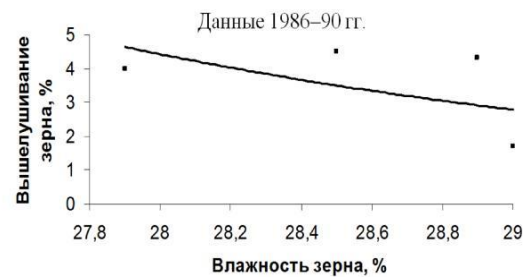


Рисунок 2 – залежність вишелушення від вологості зерна при періодичних випробуваннях комбайна

Головною робочою частиною кукурудзяного комбайна є сепаратор качанів. У сучасних кукурудзозбиральних машинах дуже поширеними стали пристрої для розділення качанів прес-головок, в яких відділення качанів відбувається на нерухомій пресувальній плиті (рис. 3).

Рух стебла в каналі коренероздільника складається з двох етапів.

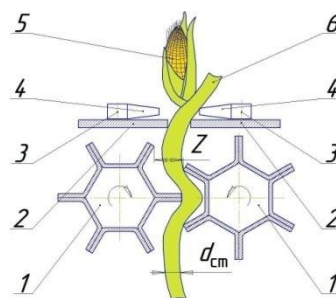


Рисунок 3 – Стрепперний початкоотделяющий апарат (вид спереду, розріз): 1 - протягують вальці; 2 - початкоотделяющие пластини; 3 - подає ланцюг; 4 - лапки; 5 - початок; 6 – стебло

На першому етапі шток клапана може вільно рухатися вздовж конічного зазору різьбового ролика. Цей рух продовжується доти, доки зазор Z між вулицями не стане більшим за діаметр стрижня d_{st} (див. рисунок 3). Коли досягнуто умови $d_{st} > Z$, шток зупиняється, але машина продовжує рухатися.

На другому етапі рух штока клапана відбувається наступним чином: під дією ланцюгової собачки частина штока клапана, розташована над стопором штока клапана, нахилиється в протилежному напрямку до руху штока клапана, проникає у верхню частину ролика та зачіпається за ступку. Коли досягнуто стану захоплення, стебло опускається вниз, одночасно стискаючись і згинаючись.

Таким чином, головка штока виконує два одночасні рухи: поступальний рух (V_p) та рух вниз (V_{pr}) завдяки дії натяжних роликів. Загальна швидкість качана кукурудзи при зустрічі з дільником головки дорівнює векторній сумі цих швидкостей (рис. 4).

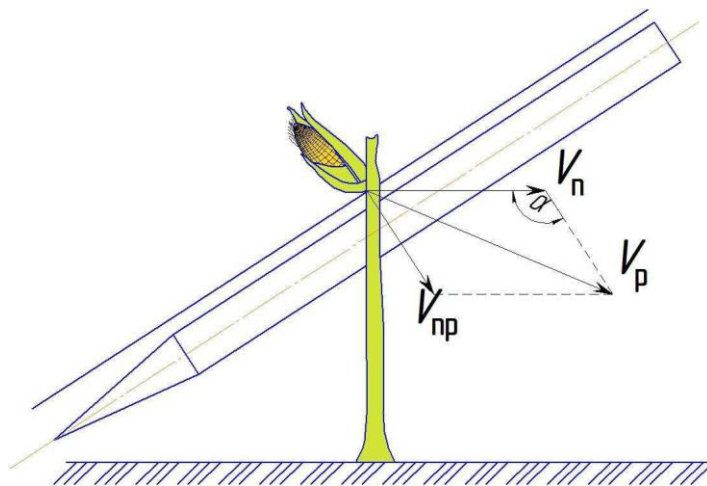


Рисунок 4 – Схема швидкостей руху качана

Величину сумарного результуючого вектора при ударі качана про пластини можна визначити за теоремою косинусів:

$$V_p = \sqrt{V_p^2 + V_n^2 - 2V_{np}V_n \cos \alpha} = 8 \text{ м / с} \quad (1.1)$$

Таким чином, сумарний ударний імпульс складе:

$$J_{\text{сум}} = V_p m_n = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ Нс} \quad (1.2)$$

Після встановлення серії значень часу удару, рівняння (1) використовується для визначення величини зовнішньої сили, що діє на точку контакту (див. таблицю, рисунок 5).

Залежність сили удару на качанах кукурудзи від часу.

Час удару Δt , с	Сила удару F , Н	Зусилля, що припадає на точку контакту, Н
0,001	2400	1200
0,002	1200	600
0,003	800	400
0,004	600	300
0,005	480	240

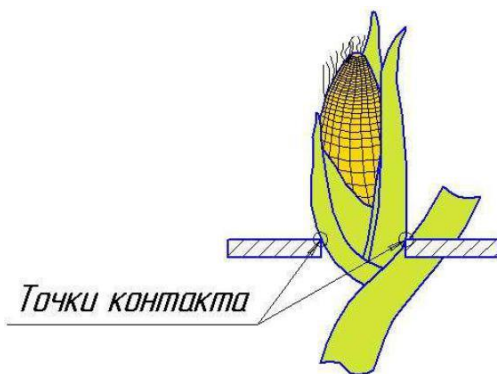


Рисунок 5 – Точки контакту качана з пластинами

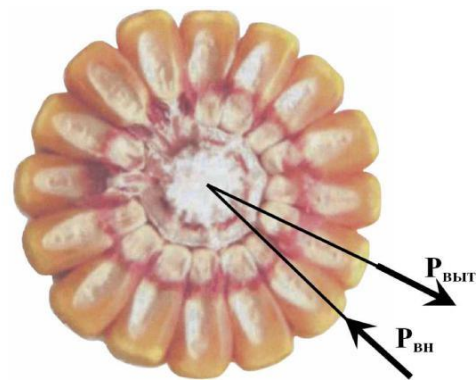


Рисунок 6 – Дія зовнішньої і яка викидає сил на зерно качана

У сучасному обладнанні для первинного розділення відділення головок здійснюється шляхом удару по головках та розтягування стебел. Механічний удар може призвести до деформації головки. Деформація створює сили, які розривають зв'язок між частинкою та ядром.

Сила становить $400 \text{ Н} > 285 \text{ Н}$ на пластину.

Це говорить про те, що коли кукурудза потрапляє на дві пластини, від качана відокремлюється щонайменше два шматочки (з трьома зернами кожен).

У цьому випадку, щоб зменшити втрати, необхідно зменшити амплітуду ударного імпульсу.

Прогнози Міністерства сільського господарства США, Продовольчої та сільського господарства ООН (FAO) та інших авторитетних міжнародних і національних організацій свідчать про те, що площі під кукурудзою збільшаться та витіснять інші зернові культури. Близько 160 мільйонів людей у світі зайняті у виробництві кукурудзи. У гектарах річне виробництво зернових цієї найважливішої культури становить понад 785,9 мільйона гектарів. Отже. Відродження вирощування кукурудзи є одним зі способів стабілізації сільськогосподарського виробництва та економічних відносин у країні. Кукурудзу, одну з високоврожайних та універсальних культур, збирають різними способами залежно від її цільового використання (рис. 1).

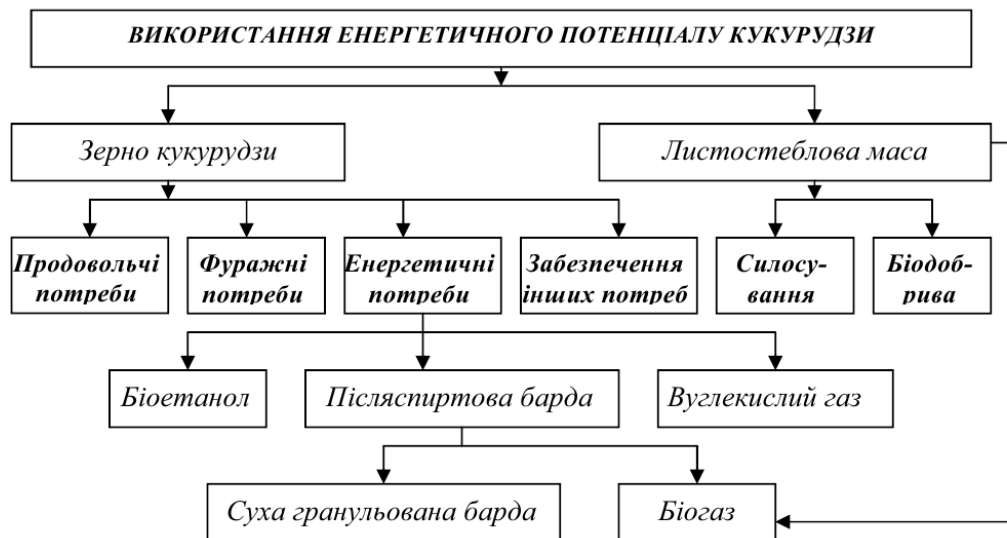


Рисунок 1 – Загальні напрями використання енергетичного потенціалу кукурудзи

Без кукурудзи було б неможливо повноцінно вирішити проблеми харчування людини, забезпечити збалансованим кормом тварин та задовольнити потреби багатьох галузей промисловості. З огляду на зростання попиту на біопаливо (переважно вироблене з кукурудзи), очікується, що посівні площі та загальне виробництво цієї культури значно збільшаться. Світове виробництво кукурудзи стрімко зростає. В результаті, цільові

показники врожайності у Сполучених Штатах та країнах ЄС у 2010 році перевищили 90 кг/га.[23]

На жаль, в Україні показники врожайності більш ніж наполовину нижчі, як і в кукурудзозрослинних регіонах США, незважаючи на те, що кліматичні умови в нашій країні, особливо в південних регіонах, були цілком сприятливими для виробництва кукурудзи. Ці умови дають реальну можливість значно збільшити виробництво кукурудзи, прибутковість її використання та загальне відновлення сільськогосподарської економіки.

Висновок такий:

1. Найкращим часом для збору врожаю кукурудзи зазвичай вважається вологість зерна 25-30%. Протягом цього періоду качани кукурудзи залишаються міцно прикріпленими до стебла, рослини не в'януть (зберігають нормальний розвиток), а втрати врожаю мінімізуються. Кукурудзу слід збирати, як тільки вона дозріє. Чим довше зріла кукурудза залишається на коренях, тим більша ймовірність того, що качани поникнуть, а стебло рослини впаде.

2. Незважаючи на збільшення виробництва кукурудзи, запаси вітчизняної кукурудзозбиральної техніки значно скоротилися, а сезонні навантаження значно зросли. Згідно зі статистикою Державного комітету статистики, за останні роки середньорічне завантаження кожної машини в Україні становить близько 750 гектарів, з них нормативні показники кукурудзяних комбайнів становлять 150 гектарів, а допоміжних пристроїв до кукурудзяних комбайнів – 170 гектарів.

3. Цікавим напрямком для підвищення ефективності збиральних робіт є скорочення часу простою збиральної техніки та втрат зернової суміші під час завантаження з бункера комбайна в причіп. Для вирішення цього питання пропонується розглянути проблеми, що виникають під час синхронізації рухів елементів складального комплексу.

2. МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КУКУРУДЗОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА ТА ТРАКТОРНОГО ПОТЯГУ

Були досліджені тягове зусилля, зчіпне зусилля та маневреність тракторного агрегату при завантаженні кукурудзою.

Процес завантаження кузова трактора можна представити як серію безперервних рухів, при яких розвантажувальна частина розвантажувального конвеєра кукурудзяного комбайна рухається синхронно з кузовом трактора.

Кукурудзозбиральний комплекс рухається паралельним маршрутом. Для автоматичного регулювання висоти зернової купи на кінці конвеєрної стрічки передбачено датчик відстані, який вимірює висоту конвеєрної стрічки відносно нижньої частини корпусу трактора або поверхні зерна. Промінь датчика висоти регулярно сканує горизонтальну поверхню, вимірюючи висоту зернової купи та генеруючи сигнал щодо відносного положення секції розвантажувального конвеєра.

Процес наповнення кузова здійснюється у два етапи. На першому етапі формується купа частинок у формі клиноподібної піраміди з прямокутною основою та гребенями певної довжини, паралельними поздовжній осі тіла. На другому етапі основа піраміди будується так, щоб вона збігалася з основою тіла, і досягає своєї максимальної висоти (рис. 2.1).

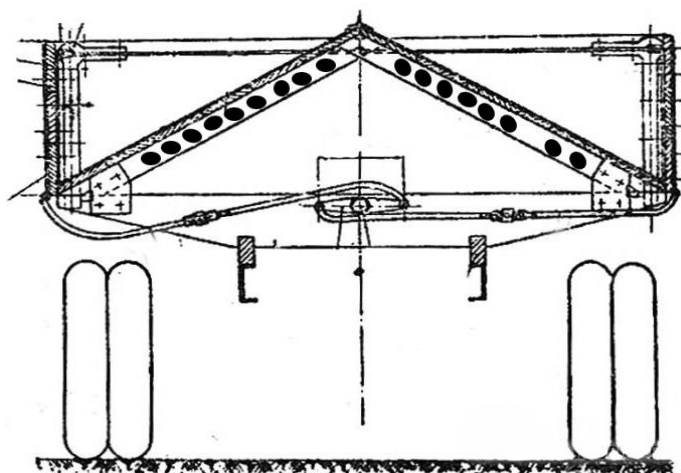


Рисунок 2.1 – Модель гори зерна в кузові транспортного засобу

Ця модель, в якій зерна кукурудзи завантажуються на кузов трактора, підтверджує закономірність швидкості зміни врожайності залежно від висоти купи та пройденої відстані.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{ql_k \operatorname{tg} \alpha_k}{\gamma \sqrt{3V(l_k^3 \operatorname{tg} \alpha_k - 12V)}} \sin \left[\frac{1}{3} \arccos \left(\frac{24V}{l_k^3 \operatorname{tg} \alpha_k} - 1 \right) \right]; \quad (2.1)$$

$$P = \frac{3}{8} V \operatorname{tg}^2 \alpha_k - \frac{1}{64} l_k^3 \operatorname{tg}^3 \alpha_k; \quad (2.2)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q}{ab\gamma}, \quad (2.3)$$

де V - об'єм клиновидної піраміди; γ - щільність зерна, кг/м³; q - подача зерна вивантажувальним транспортером, кг/с.

Коли кузов причепа завантажується зерном, маса тягача збільшується, що змінює тягово-зчіпні характеристики трактора та перерозподіляє навантаження між осями. Це може суттєво вплинути на тягово-зчіпні характеристики трактора, особливо під час руху по ґрунтах з високим вмістом вологи. У цих умовах експлуатації кукурудзозбирального комплексу вдалося збільшити вантажопідйомність агрегату під час збирання зерна, застосувавши додаткове навантаження від причепа до ведучих коліс трактора (табл. 2).

У формулах табл. 2 прийняті наступні позначення: $P_{кр}$ - сила тяги на крюку трактора; V_0 - дійсна швидкість тракторного агрегату; $N_{ен}$ - номінальна ефективна потужність двигуна; m_T , $m_{П}$ - експлуатаційна маса, відповідно трактора і причепа; η_3 - коефіцієнт завантаження двигуна по потужності; $\eta_{тр}$ - ККД трансмісії; $\lambda_z = P_z / m_T g$ - коефіцієнт нормального довантаження трактора від причепа; P_z - нормальне довантаження трактора від причепа; $\lambda_T = \frac{m_{ан}}{m_T}$;

$\lambda_{П} = \frac{m_{ан}}{m_T}$ - коефіцієнти активної (зчіпної) маси, відповідно, трактора і причепа;

$\phi_{км}$, $\phi_{кп}$ - коефіцієнт дотичної сили тяги провідних коліс, відповідно трактора і причепа; f_T , $f_{П}$ - коефіцієнти опору кочення, відповідно трактора і причепа;

ψ_T, ψ_{Π} - сумарний коефіцієнт опору руху (коченню і підйому), відповідно, трактора і причепа; $K_{\Pi} = m_{\Pi}/m_T$ - коефіцієнт експлуатаційної маси причепа. Аналіз показав, що зі збільшенням вологості ґрунту зернистість визначається тяговими характеристиками трактора, які базуються на зчепленні коліс з ґрунтом. Якщо вологість ґрунту перевищує 30%, характеристики зчіпного пристрою трактора не можуть гарантувати вантажопідйомність двигуна. Якщо на ведучі колеса не додається додаткове навантаження, корисне навантаження можна збільшити на 30%. Додавання додаткової ваги збільшує вантажопідйомність на 15%. Це означає, що додаткове навантаження на ведучі колеса може збільшити вантажопідйомність трактора на 15% під час завантаження буряка.

Таблиця 2. Формули для розрахунку основних параметрів трактора (ОПП) під час роботи на вологому ґрунті

Параметр	Варіант ТА	Розрахункові формули	
		По двигуну	По зчепленню
Тяга на кривоку трактора	I	$P_{кр} = \frac{N_{ен}}{V_{\delta}} \eta_3 \eta_{mp.p} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T$	$P_{кр} = m_T g (\lambda_T \phi_{км} - \psi_T)$
	II	$P_{кр} = \frac{N_{ен}}{V_{\delta}} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T - m_T g \lambda_z f_T$	$P_{кр} = m_T g [\lambda_T \phi_{км} (1 + \lambda_n) - \psi_T] - m_T g \lambda_n f_T$

Вантажопідйомність ТА	I	$m_{zp} = \frac{\frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T}{K_{II} g \psi_{II}}$	$m_{zp} = \frac{m_T (\lambda_T \phi_{km} - \psi_T)}{K_{II} \psi_{II}}$
	II	$m_{zp} = \frac{\frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T}{K_{II} g \psi_T}$	$m_{mp} = \frac{m_T [\lambda_T \phi_{km} (1 + \lambda_z) - \psi_T]}{K_{II} \psi_{II}}$

Маркування: I – ТА, додаткове навантаження на ведучі колеса трактора не потрібне. II – ТА, додаткове навантаження на ведучі колеса трактора.

Напівпричіп створює навантаження на ведучі колеса тягача, тим самим збільшуючи вантажопідйомність трактора. Це визначається збільшенням тягової сили гака та тяговою ефективністю трактора та виражається такою

формулою:

$$P_{кр} = \frac{G_T [A_1(\phi_n - f_n) + A_2(\phi_3 - f_3)]}{A_3 + h(\phi_n - \phi_3)}; \quad (2.4)$$

$$\eta_T = \frac{(Z_1 + Z_2) D_2 B}{M_0}, \quad (2.5)$$

де - ϕ_n, ϕ_3, f_n, f_3 - коефіцієнти зчеплення і опору кочення відповідно передніх і задніх коліс; $G_T = m_T g$, $Z_1 = A_1(\phi_n - f_n)$; $Z_2 = A_3(\phi_3 - f_3)$, $A_1 = l_2 - f_3 r_3$; $A_2 = L_T - l_2 - f_n r_n$; $A_3 = L_T - h_{кр}(f_n - f_3) + f_n r_n - f_3 r_3$, m_T - маса трактора; L_T - подовжня база трактора; $h_{кр}$ - висота крюка трактора; l_2 - відстань від центру мас трактора до задньої осі; r_n, r_3 - радіуси коліс трактора, M_0 - крутний момент на валу двигуна.

Проаналізовано загальні характеристики ефективності буксирування тягача, що складається з тягача ХТЗ-16331 та напівпричепа ОЗП-8573. Результати показують, що коли навантаження, що прикладається від напівпричепа до опорного буксирального гака тягача, знаходиться в діапазоні 14-18 кН, коефіцієнти використання зчеплень переднього та

заднього мостів відповідають ефективним вимогам буксирування агрегатів на напівпричепі.

Таким чином, якщо тягач безперервно завантажує зерна кукурудзи через комбайновий конвеєр на кузов напівпричепи, його максимальний тяговий коефіцієнт корисної дії становить 0,9, а це означає, що навантаження на тягач менше, ніж навантаження на напівпричіп.

Перерозподіл змінної маси вантажу напівпричепи вздовж осей тягача може суттєво вплинути на маневреність тягача. Рекомендується оцінювати за допомогою коефіцієнта маневреності.

$$K_{ynp} = \frac{a_m}{b_m} \sqrt{\frac{G_m \frac{b_m}{L_m} + G_{np} \left[\frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \frac{c_{kp}}{L_m} - \frac{1 - \frac{b_{np}}{L_{np}}}{1 + f \frac{h_{np}}{L_{np}}} \left(1 - \frac{c_{kp}}{L_{np}} \right) f \frac{h_{kp}}{L_m} \right]}{G_m \frac{a_m}{L_m} + G_{np} \left[\frac{b_{np}}{L_{np}} \left(1 - \frac{c_{kp}}{L_m} \right) + \frac{1 - \frac{b_{np}}{L_{np}}}{1 + f \frac{h_{np}}{L_{np}}} \left(1 - \frac{c_{kp}}{L_{np}} \right) f \frac{h_{kp}}{L_m} \right]}} \geq 1, \quad (2.6)$$

де h_{np} - висота центру мас напівпричепи; b_m, b_{np} - відстані від задніх осей до проєкцій центрів мас трактора і напівпричепи на горизонтальну площину, $a_m = L_m - b_m$; $G_m; G_{np}$ - маса трактора і причепа з вантажем; c_{kp}, h_{kp} - координати точки шарнірного з'єднання трактора і напівпричепи, f - коефіцієнт опору коченню коліс.

Керованість тракторного агрегату ХТЗ-16331+ОЗТП-8573 зберігається при $K_{ynp} \geq 1$.

Коли конвеєрна стрічка комбайна завантажує зерно в причіп (напівпричіп), тягач рухається з малою швидкістю (0,0 м/с). На низьких швидкостях колеса буксирувальної машини створюють зчеплення, яке перевищує опір. Це призводить до прискорення трактора, але щоб запобігти цьому, водій повинен загальмувати трактор і синхронізувати його з рухом комбайна. У цей час процес руху тягача, завантаженого зерном, складається,

здається, з серії невеликих циклів «розгін – стабільний рух – гальмування».

Загальний час проходження одиниці визначається залежностями

$$T = \sum_{i=1}^n (T_{P_i} + T_{T_i}) = \frac{G_{np}}{\Pi}, \quad (2.7)$$

де T_{P_i} - час розгону машини в i -му циклі, с; T_{T_i} - час гальмування машини в i -му циклі, с; n - число циклів за час руху при одному повному завантаженні тракторного агрегату; Π - продуктивність комбайна, кг/с.

Для тягача ХТЗ-16331, що буксирує напівпричіп ОЗТП-8573, дизельний двигун ЯМЗ-236Д-3 найкраще показав себе зі зниженою частотою обертання колінчастого вала при завантаженні зерном кукурудзи (рис. 4)..

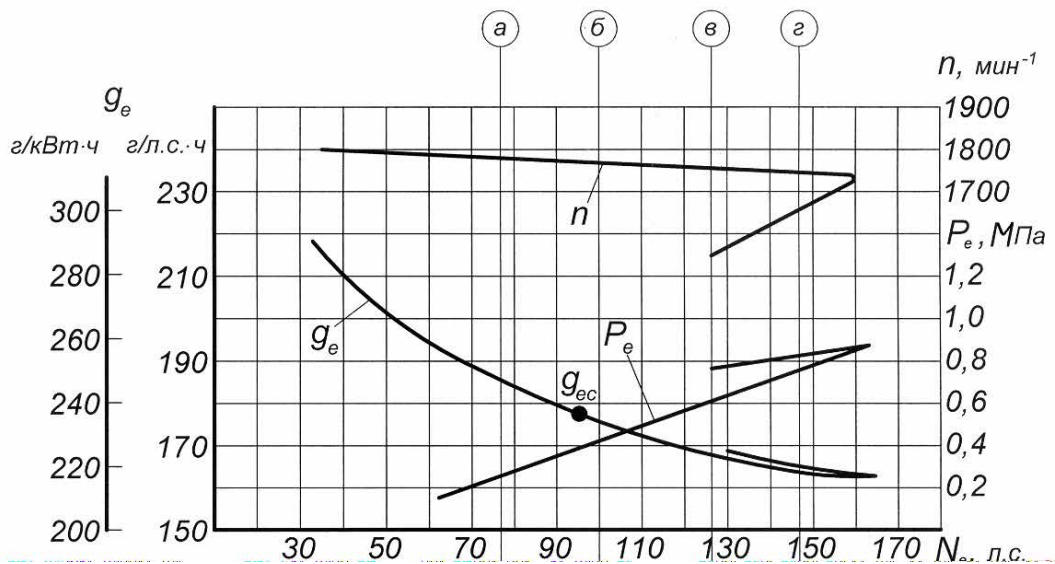


Рисунок 2.2 – Часткові характеристики керування дизельним двигуном ЯМЗ-236Д-3 (кВт (165 к.с.) = 1700 хв-1) тягача ХТЗ-16331 з напівпричепом ОЗТП-8573: „„„„, — відповідно номінальна потужність, ефективний тиск, питома витрата палива при номінальній потужності та середньозважена питома витрата палива, частота обертання колінчастого вала двигуна, коефіцієнт навантаження двигуна. Вантажопідйомність: а - 2500 кг; б - 5000 кг; в - 7500 кг; г - 10000 кг.

Для оцінки тягових та енергетичних характеристик тягової машини за цих режимів роботи ефективніше використовувати багатопараметричні тягові характеристики [24]. Аналітичний зв'язок між витратою палива, тяговим

зусиллям та швидкістю трактора виражається як поліном другого порядку.:

$$g_{кр} = \epsilon_0 + \epsilon_1 P + \epsilon_2 V + \epsilon_3 P^2 + \epsilon_4 PV + \epsilon_5 V^2 \quad (2.8)$$

Координати лінії рівної витрати палива на полі багатопараметричної характеристики тяги визначаються шляхом розв'язання квадратного рівняння полінома (2.6):

$$\epsilon_3 V^2 + (\epsilon_2 + \epsilon_4 P) + (\epsilon_0 + \epsilon_1 P + \epsilon_3 P^2 - g_{кр}) = 0, \quad (2.9)$$

Для постійних значень $g_{кр}$ кожному P_i відповідає два значення $V - V_{1i}$ і V_{2i} :

$$V_{1i}, V_{2i} = \frac{1}{2\epsilon_3} \left\{ -(\epsilon_2 + \epsilon_4 P_i) \pm \left[(\epsilon_2 + \epsilon_4 P_i)^2 - 4\epsilon_3 (\epsilon_0 + \epsilon_1 P_i + \epsilon_3 P_i^2 - g_{кр}) \right]^{0,5} \right\} \quad (2.10)$$

Обчисліть координати контурів швидкості обертання колінчастого вала двигуна в полі багатопараметричної характеристики тяги за допомогою поліномів

$$n = C_0 + C_1 P + C_2 V + C_3 P^3 + C_4 PV + C_5 V^2, \quad (2.11)$$

де розмірність параметрів: $n - \text{хв}^{-1}$; $V - \text{м/с}$; $g_{кр} - \text{г/кВт} \cdot \text{год}$; межа вимірювання тягового навантаження 50...100 % от P .

Графічно ці криві утворюють набір кривих в області тягових характеристик. Тягові характеристики – це залежність витрати палива на кожній передачі від часу та швидкості руху.

Аналіз деяких характеристик дизельного двигуна ЯМЗ-236Д-3 показав, що потужність дизельного двигуна 122 кВт (165,9 к.с.) достатня для підтримки трактора ХТЗ-16331 з максимальним навантаженням (10 000 кг) зерна на причіп, якщо дизельний двигун налаштовано на режим роботи хв-1. Водночас, середньозважена витрата палива кузовом напівпричепа, завантаженим зерном, становить г/кВт·год (175 г/год), що на 12% нижче за продуктивність двигуна основної регламентованої характеристики (2100 хв⁻¹).

Коли трактор завантажено зерном, він переходить у нестабільний режим роботи, і найбільші втрати енергії відбуваються під час роботи трактора. У n -му циклі середня сила тертя, що досягається гальмом, являє собою втрату енергії:

$$N_{mp_i} = \left(\frac{G_{Псн}}{g} + \Pi t \right) \frac{\frac{V_1 + V_2}{2}}{\frac{K_{сц_i}}{V_1 - V_2} T_p + 1}, \quad (2.12)$$

де $G_{Псн}$ - експлуатаційна вага тракторного агрегату, Н; V_1 ; V_2 - максимальна і мінімальна швидкості руху тракторного агрегату відповідно; T_p - час розгону агрегату; Π - продуктивність комбайна, кг/с; t - час руху агрегату (від початку завантаження), с; $K_{сц_i}$ - коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора в i -му циклі.

Для оцінки споживання енергії на гальмування тягачем вводиться поняття передавальної функції енергії гальмівної системи. Це відношення зміни повної енергії тягача (сума кінетичної та потенційної енергії) до енергії, що розсіюється керованою гальмівною системою.

$$F = \frac{\Delta E}{A_{ynp}} = \frac{m \Delta V^2 \left(\frac{V_1}{\Delta V} - 0,5 \right)}{A_{np} + 0,25 m^2 K_{сц}^2 \phi^2 g^2 \sum_{i=1}^n \frac{\beta_{P_i}^2}{K_i^2 C_{Пi}}}, \quad (2.13)$$

де m - загальна маса колісного агрегату; ΔV - зміна лінійної швидкості руху; A_{np} - робота, яка здійснюється приводом для створення приводного зусилля; $C_{Пi}$ - приводне зусилля на вхідній ланці гальмівного механізму i -ї осі; $K_{сц}$ - коефіцієнт використання зчіпної ваги при гальмуванні $K_{сц} \leq 1$; ϕ - коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою; β_{P_i} - частка гальмівної сили, що доводиться на i -у вісь.

Робочий стан барабанного гальмівного механізму тракторів серій ХТЗ-150К, ХТЗ-160 та ХТЗ-170 залежить від гальмівного моменту та ступеня зносу гальмівних колодок. Зі збільшенням необхідного гальмівного моменту тягача,

залежно від маси вантажу в купе причепа (напівпричепа), робота, необхідна для спрацювання гальмівного механізму, значно зростає. Наприклад, якщо тракторна група, що складається з трактора ХТЗ-16331 та напівпричепа ОЗТП-8573, завантажена 5000 кг зерна кукурудзи та рухається зі швидкістю 4,7 м/с (17,0 км/год), то робота, що виконується для активації гальмівного механізму, становить $300 \text{ Дж} = 1200 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Для буксирувального навантаження $10\ 000 \text{ м} = 0,09100 \text{ м} = 900 \text{ м} =$ буксирування. Таким чином, якщо вага вантажу, що перевозиться трактором ХТЗ-16331 + ОЗТП-8573, збільшиться з 5000 кг до 10 000 кг, максимальний гальмівний момент збільшується в 1,5 рази, а робота, що виконується для активації гальмівного механізму, збільшується в 2 рази. Водночас, зношені фрикційні накладки збільшують зусилля, необхідні для активації гальмівного механізму, на 25-30% порівняно з новими накладками.

Споживання енергії оцінювалося за підвищенням температури гідравлічної муфти трансмісії під час перемикання передач та зміни швидкості трактора. Переналаштування було проведено без переривання потоку потужності тракторів серій ХТЗ-150К-09 та ХТЗ-160, різниця температур протягом кожної зміни була в межах $2\dots 8^\circ\text{C}$. Цей параметр залишається стабільним незалежно від ваги коренеплодів у відсіку тягача з причепом.

Швидкість трактора під час завантаження зерна на розвантажувальний конвеєр комбайна може змінюватися як у напрямку збільшення (завантаження), так і у напрямку зменшення (розвантаження). Теоретично доведено, що нестабільні характеристики навантаження агрегату тягової машини під час перемикання передач призведуть до негативного навантаження на коробку передач тягової машини.

Коли двигун працює в частковому режимі, навантаження на компоненти приводу тягача на 2,0–3,0 відсотки нижче, ніж коли двигун працює з номінальною швидкістю.

Рух і робота пристрою є результатом взаємодії сил, що діють на пристрій. Рушійна сила, що генерується енергією, призначена для подолання опорів, таких як сили, що виникають під час активної роботи верстата

(різання, вибір, транспортування рослин тощо), тертя в механізмах робочої системи обладнання та деформації ґрунту під час руху обладнання по полю.

Транспортний агрегат працює разом з комбайном для виконання багатьох технологічних операцій, пов'язаних зі збиранням врожаю та його подальшим транспортуванням. Така робота призводить до втрат врожаю через погану синхронізацію елементів збирального комплексу.

Коливання виникають через рушійні сили, що створюються двигуном, та їх взаємодію з шасі та землею. Це пов'язано з такими факторами, як коливання крутного моменту двигуна та нерівномірна подача палива, але головним чином через зміни властивостей ґрунту з плином часу та простору. До них належать зміна цементних властивостей ґрунту, його щільності, вмісту вологи, зміна макро- та мікротопографії, рослинного покриву тощо. [25] Зміни властивостей матеріалу, що оброблюється, та неоднорідність властивостей робочих органів машини та їх регулювання додатково змінюють сили, що чинять опір руху агрегату. Водночас, маса обладнання зменшується більш плавно, оскільки кутова швидкість обертової маси змінюється залежно від характеристик подаваних та оброблюваних матеріалів, а також змінних умов наповнення бункера, резервуара та насінневого ящика машини.

Якщо припустити, що приведена маса трактора змінюється під час виконання технологічної операції, то відбувається рух об'єкта зі змінною масою. Рівняння руху має такий вигляд:

$$\frac{d(m_{ae}V)}{dt} = P_{\kappa} - \sum R_c, \quad (2.14)$$

Закон, необхідний для зміни ефективної потужності двигуна, можна отримати, використовуючи метод часткового прискорення.

$$N_e = V \left[\frac{dm_e}{dt} \left(V - \dot{V}_c \cdot t \right) - \dot{V}_c (m_{TP} + m_{CX}) \right], \quad (2.15)$$

де V – швидкість руху; m_{TP} – маса трактора; m_{cx} – маса сільськогосподарської машини; m_e – маса вантажу; $\dot{V}_c^{ПАР}$ – парціальне прискорення, що створене силою опору коченню.

Крім того, у дослідженні [26] пропонується метод визначення часткового прискорення та швидкості руху за допомогою вимірювального пристрою, що включає датчик лінійного прискорення. Знаючи продуктивність вашого зернозбирального комбайна, ви завжди можете розрахувати необхідну потужність двигуна. Реалізує синхронний режим роботи комбайна та МТА. Вкажіть можливі способи використання програмних пристроїв.

З метою зменшення впливу людського фактору та безповоротних втрат врожаю запропоновано систему автоматичного регулювання швидкостей різних ланок збирального комплексу.

Розглянемо випадок, коли транспортний агрегат використовує збиральний комплекс, що складається з трактора та причепа. Маса причепа змінюється, а опір руху машини збільшується пропорційно зміні маси. Для підтримки заданої швидкості МТА необхідно регулювати тягову силу (тягу) ведучих коліс.

Рівняння (2.16) – це закон, який визначає, як сила тяги на ведучих колесах тягової машини змінюється залежно від якості вантажу. $P_k = f \cdot g \cdot (m_{TP} + m_{cx})$

де f – коефіцієнт опору коченню; g – прискорення вільного падіння.

Крутний момент на валу двигуна, відповідний отриманню необхідної умови P_k на ведучих колесах трактора:

$$M_e = \frac{P_k r_o}{\eta_{TP}} = \frac{r_o}{\eta_{TP}} \left[f \cdot g \cdot (m_{TP} + m_{cx}) + \frac{dm_e}{dt} \cdot (f \cdot g \cdot t + V) \right], \quad (2.17)$$

де: r_o – динамічний радіус ведучих коліс; η_{TP} - ККД трансмісії.

Щоб досягти бажаного значення крутного моменту, необхідно контролювати подачу палива до двигуна та змінювати режим роботи, тим самим змінюючи доступну потужність під час руху.

Однак, зверніть увагу, що швидкість регулюється залежно від прискорення транспортного засобу.

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\frac{N_e}{V} - V \frac{dm_g}{dt}}{m_{tp} + m_{cx} + \frac{dm_g}{dt} \cdot t} + \dot{V}_c^{пав}, \quad (2.18)$$

Залежно від зміни маси останнього необхідно враховувати той факт, що при розвантаженні бункера комбайна його швидкість також змінюється пропорційно зміні маси, що призводить до збільшення швидкості відносно початкового значення.

У цьому випадку, без використання системи автоматичного регулювання крутного моменту двигуна, неможливо буде синхронізувати роботу збирального комплексу та усунути незворотні втрати врожаю.

Розглянемо загальний аналіз умов роботи системи автоматичної синхронізації колекторного комплексу (рис. 2.3).

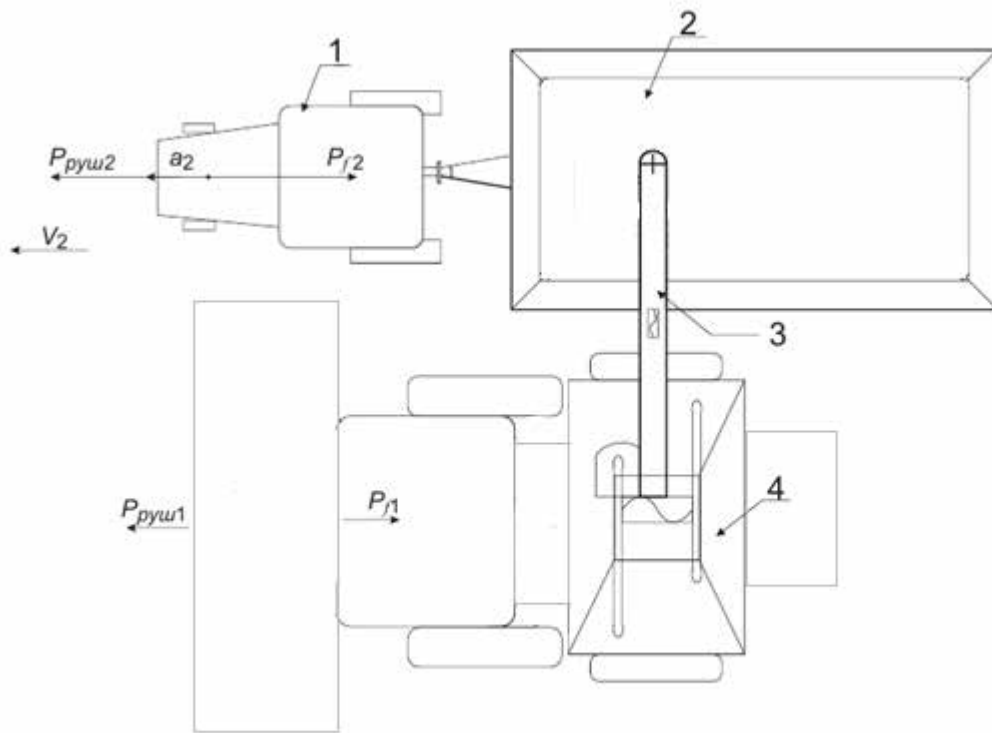


Рисунок 2.3 – Схема руху збирального комплексу.

1 – трактор, 2 – причіп-бункер, 3 – шнек, 4 – комбайн.

Згідно з четвертим законом механіки, прискорення, спричинене кількома силами, що діють на матеріальну точку або тверде тіло, дорівнює прискоренню, спричиненому однією силою, а прискорення, спричинене однією силою, дорівнює геометричній сумі цих сил. Сили, що впливають на рух тракторного агрегату, який складається з трактора (джерела енергії) та трактора-комбайна (споживача енергії), визначають тягову силу та прискорення. Тобто, встановивши початкову швидкість та відстежуючи коливання прискорення, можна отримати початкові дані синхронного комплексу збору даних.

Транспортні засоби мають початкову швидкість. Зміна призводить до зменшення прискорення зі збільшенням швидкості. Щоб відрегулювати це значення, потрібно збільшити зусилля та збільшити крутний момент двигуна. Також повинні бути виконані умови, які можливі лише при використанні часткових характеристик швидкості. Змінюючи частоту обертання

колінчастого вала та крутний момент двигуна, можна отримати умови для синхронного руху двох об'єктів зі змінною масою.

Складний рух стосується одночасного розгляду руху точок і твердих тіл відносно двох систем відліку. Одна з двох систем відліку вважається умовно нерухомою, тоді як інша певним чином рухається відносно першої. У цьому випадку рух, що виконується точкою (або об'єктом), називається складним або комплексним рухом.[27]

Рух рухомої системи координат відносно нерухомої системи координат називається поступальним рухом, а траєкторію та параметри цього руху називають траєкторією та параметрами поступального руху. Параметри поступального руху включають переміщення, швидкість та прискорення точки керування в рухомій системі координат відносно стаціонарної системи координат [27]. Відносний рух точки або твердого тіла — це його рух, що розглядається відносно системи координат руху. Рухома система координат також враховує місце відносного руху точок або твердих тіл, а також їх переміщення, швидкості та прискорення. Параметри відносного руху називаються відносним переміщенням, швидкістю та прискоренням.[27]

Рух транспорту в умовах перевантаженого міського руху, рух парку автомобілів на міжміській автомагістралі та рух різних комбінацій тракторів, тракторно-комбайнів та моторних комбайнів під час виконання сільськогосподарських робіт можна розглядати як рух систем мобільних механічних агрегатів. Ця система відрізняється від традиційних механічних систем тим, що між компонентами (ланками) немає жорстких механічних з'єднань. У такій системі кінетичні пари, що разом утворюють кінетичний ланцюг, є умовними, оскільки між ланками ланцюга немає зв'язку. У зв'язку з цим немає обмеження на відносний рух шатунів, що суперечить положенням класичних механізмів та теорії машин [28].

Умовні пари руху мають візуальні, інформаційні або дистанційні механічні зв'язки, що обмежують відносний рух системних зв'язків. Під час аналізу цих взаємозв'язків перші наближення можна вважати недосконалими.

Систему рухомих механічних вузлів можна розглядати як систему точкових мас з обмеженнями, що накладаються на максимальний відносний рух ланок (мас). У цьому випадку для керування рухом елементів системи можуть бути використані закони, засновані на багатокomпонентних складних (множинних) фізичних моделях руху.

Метою цього дослідження є розробка методу керування системою рухомих механічних вузлів з використанням фізичної моделі багатокomпонентного складного (композитного) руху. Як приклад для ілюстрації запропонованого підходу слід розглянути окремий випадок руху системи мобільних механічних агрегатів.

- Синхронізація рухів комбайна та тракторного потяга.

У нашій попередній роботі ми розглядали проблему синхронізації руху між тяговим поїздом зі змінною масою та коренекombінатом [29]. Основною метою цього дослідження [29] було визначення зв'язку між зміною потужності двигуна трактора та швидкістю збільшення маси вантажу всередині тягача з причепом під час виконання технологічних операцій. Однак, цю проблему можна вирішити й іншим способом.

Рух зернозбирального комбайна [29] можна уявити як складний рух, що вимагає портативного представлення рівномірного руху машини із заданою запрограмованою швидкістю (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Представлення технологічної операції у вигляді багатокomпонентного складного руху.

Під час усталеного руху відносна швидкість комбайна коливається приблизно до нуля, причому діапазон (амплітуда) та період коливань визначаються змінами тягової сили та опору руху. Отже, лінійну швидкість та прискорення комбайна можна виразити як:

$$\vec{V} = \vec{V}_e + \vec{V}_r = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta\vec{V}(t); \quad (2.19)$$

$$\vec{\dot{V}} = \vec{\dot{V}}_r = \frac{d}{dt}[\Delta\vec{V}(t)], \quad (2.20)$$

де \vec{V}_e - переносна швидкість комбайна, рівна заданій постійній технологічній швидкості $\vec{V}_{\text{техн}}$; \vec{V}_r - відносна швидкість комбайна, що виникає в результаті випадкових коливань тягової сили і сил опору руху

$$\vec{\dot{V}}_r = \Delta\vec{\dot{V}}(t); \quad (2.21)$$

$\vec{\dot{V}}_r$ - відносне тангенціальне прискорення комбайна; t - час.

При роботі лише з зернозбиральним комбайном важливі стабільна техніка роботи та швидкість. У цьому випадку цільова функція керування має вигляд

$$\left. \begin{aligned} U = \Delta V(t) = 0 \\ \dot{U} = \Delta \dot{V}(t) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

Закон керування (4) може бути реалізований за допомогою лінійного акселерометра [29, 30], який рекомендується в багатьох стандартах [31, 32] для оцінки стійкості руху транспортного засобу. Реалізація закону (4) покращує стійкість руху комбайна вперед.[33] Отже, рівняння (4) можна виразити наступним чином:

$$U = \int_0^{\Delta t} \dot{V}_r(t) dt = 0, \quad (2.23)$$

де Δt - час реакції системи стабілізації швидкості руху комбайна при появі відносного (в даному випадку абсолютного) лінійного прискорення.

Рух буксируючого поїзда також виражається як складний рух. У цей час, щоб стабілізувати взаємне положення двох одиниць, їхні лінійні швидкості

повинні бути рівними. У цьому випадку абсолютна швидкість та прискорення тягача визначаються такими рівняннями:

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_{1e} + \vec{V}_{1r} = \vec{V} + \vec{V}_{1r} = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta\vec{V}(t) + \vec{V}_{1r}; \quad (2.24)$$

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_{1e} + \vec{V}_{1r} = \vec{V}_r + \vec{V}_{1r} = \frac{d}{dt}[\Delta\vec{V}(t)] + \vec{V}_{1r}, \quad (2.25)$$

де, \vec{V}_{1e} , \vec{V}_{1e} - лінійні переносна швидкість і прискорення тракторного потягу; \vec{V}_{1r} , \vec{V}_{1r} - лінійні відносна швидкість і прискорення тракторного потягу.

Під час завантаження зерна з бункера комбайна на платформу для завантаження причепа[29] необхідно враховувати негативне прискорення, спричинене збільшенням маси поїзда. Це прискорення називається скоригованим прискоренням у [29] і визначається такою формулою:

$$\vec{V}_{\text{попр}} = -\frac{\vec{V}_1}{m} \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (2.26)$$

де m - маса тракторного потягу в даний момент часу;

dm/dt - швидкість збільшення маси тракторного потягу (продуктивність комбайна).

Для тракторного потягу змінної маси

$$\vec{V}_1 = \frac{d}{dt}[\Delta\vec{V}(t)] + \vec{V}_{1r} + \vec{V}_{\text{попр}}, \quad (2.27)$$

У роботі [29] запропонована блок-схема системи автоматичного регулювання синхронного руху комбайна і тракторного потягу (рис. 2.5).

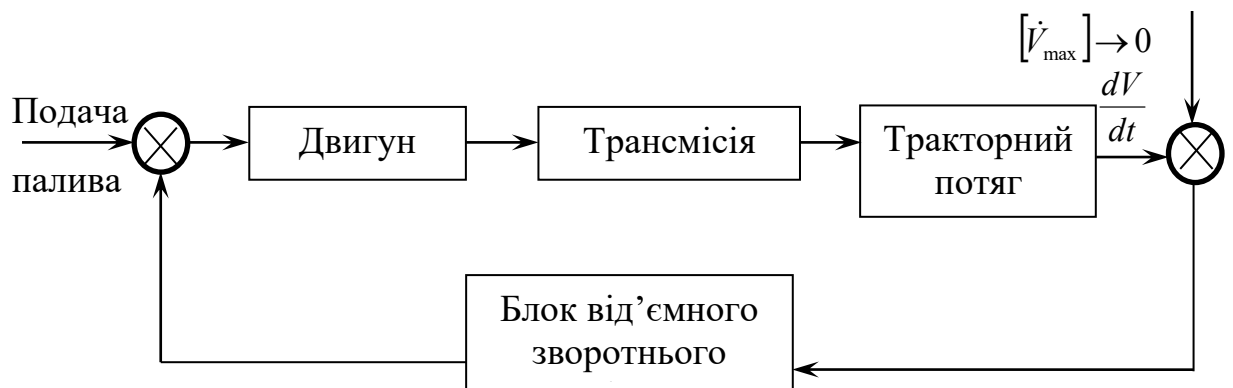


Рисунок 2.5 – Блок-схема системи автоматичного регулювання синхронного руху комбайна і тракторного потягу [29]

З урахуванням використання системи автоматичного регулювання синхронного руху комбайна і тракторного потягу, приведеною на рис. 1, лінійна швидкість тракторного потягу може бути визначена:

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_{\text{техн}} + \int_0^{\Delta t} \left\{ \frac{d}{dt} [\Delta \vec{V}(t)] + \vec{V}_{1r} + \vec{V}_{\text{поп}} \right\} dt = \vec{V}_{\text{техн}} + \Delta \vec{V}(t) + \int_0^{\Delta t} \vec{V}_{1r} \cdot dt + \frac{1}{m} \int_m^{m+\Delta m} \vec{V}_1 dm \quad (2.28)$$

де Δm – зміна маси тракторного потягу за час Δt .

Умовою синхронізації руху комбайна і тракторного потягу в даному випадку (при $V_1 = V_{\text{техн}}$) буде

$$U = [\Delta V(t)]^2 + \left[\int_0^{\Delta t} \vec{V}_{1r} dt + \frac{1}{m} \int_m^{m+\Delta m} \vec{V}_{\text{техн}} dm \right]^2 = 0 \quad (2.29)$$

Фактично, рівняння (29) виражає умову нульового рівняння для суми квадратів відносних прискорень багатокomпонентного складного руху машинного агрегату, такого як зернозбиральний комбайн або тракторний потяг (аналогічно дискретизації відхилення швидкості). Ідеальна координація гарантує, що відносні швидкості руху в сумі дорівнюють нулю.

3 Електромеханічна система та алгоритм керування МТА

3.1 Функції інтелектуальної системи керування дизельним двигуном

Завдання керування подачею палива до двигуна внутрішнього згорання може бути виконане за допомогою таких основних компонентів:

- Єдиний блок керування (ЄБК)
- Датчики частоти обертів колінчастого вала двигуна, швидкості автомобіля, положення педалі акселератора, тиску наддувного повітря, температури наддувного повітря, температури палива, температури охолоджувальної рідини, напруги живлення системи, спрацьовування гірських гальм, спрацьовування гальм, спрацьовування зчеплення, спрацьовування нейтрального положення коробки передач, положення гусеничного приводу PNVТ внутрішнє сидіння.

- Обертові двигуни для приводів вантажівок PNVТ.
- головне реле;
- Запустіть реле.
- Повітряна заслінка;
- запобіжний клапан палива;
- Тахометр;
- Перемикач круїз-контролю, кнопка круїз-контролю, індикатор режиму круїз-контролю.

- Перемикач обмеження максимальної швидкості автомобіля. Кнопка «Тестування системи/скидання помилок». Діагностична лампочка "Check Engine".

- Інтерфейси CAN та K-Line.

На рисунку 3.6 показано спрощену функціональну блок-схему цього алгоритму. Для виконання своїх завдань керування ЕВС потребує актуальної інформації від датчиків та блоків керування інших систем автомобіля.

Система включає два типи датчиків залежно від типу вихідного сигналу. Це окремі датчики сигналів, такі як швидкість обертання колінчастого вала двигуна, швидкість обертання вихідного валу коробки передач (швидкість автомобіля) тощо. Аналогові датчики: положення впускного колектора, положення педалі акселератора, температури та тиску наддувного повітря, температури охолоджувальної рідини, температури палива. Кожен тип датчика реалізує свій власний алгоритм обробки сигналу. Сигнали від аналогових та частотних датчиків зчитуються вимірювальним блоком та перевіряються діагностичним блоком для виявлення несправностей. Для аналогових датчиків використовується вбудований у мікроконтролер модуль АЦП, який перетворює аналоговий сигнал $0...+5$ на цифровий еквівалентний сигнал з рівнем та часовою дискретизацією на заданій частоті. У випадку датчика частоти, модуль CAPCOM, вбудований у мікроконтролер ЕБУ, може точно фіксувати відносний час проходження кожного фронту імпульсу та на основі цього розраховувати поточну миттєву швидкість.

Оцифрований сигнал проходить через діагностичний блок, де виявляються помилки та, якщо можливо, усуваються. Результати діагностики можуть відображатися на інформаційному пристрої, який може бути як простим набором індикаторів, так і інфографічним РК-дисплеєм, розташованим всередині кабіни. Якщо використовується дисплей, можна використовувати варіанти, роботою яких керує окремий мікроконтролер, підключений до ЕБУ через шину K-Line або CAN (наприклад, так званий багатофункціональний монітор MFM, що випускається ВАТ НКБ ВС у Таганрозі). Отримані сигнали датчиків додатково обробляються в цифровому фільтруючому блоці. Залежно від встановленого режиму роботи та типу датчика використовуються різні алгоритми. Відфільтрований сигнал перетворюється з відносних значень на абсолютні в блоці нормалізації. Відтепер програма використовуватиме лише стандартизовані значення. Для аналогових датчиків використовується калібрувальна таблиця для калібрування цифрового сигналу, щоб перевірити, чи він виходить за межі

робочого діапазону. Якщо сигнал виходить за межі робочої області, він обрізається та встановлюється відповідний прапорець помилки. У випадку частотного датчика час, необхідний для вимірювання певної кількості зубців на відповідному вимірювальному колесі, перетворюється на частоту обертання. Якщо під час обробки сигналу виникає аварійна ситуація (відмова датчика, аварійне перевищення швидкості тощо), блок захисту виконує аналіз серйозності ситуації та за необхідності сигналізує машиністу за допомогою інформаційного обладнання, надсилає сигнал безпосередньо до керуючого приводом колії для примусового вимкнення двигуна та сигналізує систему аварійного захисту (паливний клапан або повітряна заслінка).

Всі алгоритми керування використовують отримані та оброблені значення сигналів датчиків для формування необхідного режиму роботи двигуна.

- Почніть;
 - Холостий хід - будь-який режим роботи двигуна, за якого двигун долає лише внутрішнє тертя та не створює крутного моменту.
 - Повне навантаження - Коли педаль акселератора повністю натиснута, двигун працює з максимальним крутним моментом.
 - Часткове навантаження - Охоплює повний діапазон від холостого ходу до повної потужності.
 - Примусовий холостий хід - двигун створює негативний крутний момент і працює в режимі гальмування.
 - Перехідний режим - зміни умов роботи двигуна (частоти)
- Швидкість двигуна (обертання, крутний момент) залежить від зовнішніх умов (навантаження, педаль акселератора).

Основними робочими параметрами ESC є швидкість обертання колінчастого вала двигуна та навантаження, а також команди запуску та зупинки двигуна, на основі яких вона забезпечує:

- формування поля режимів роботи періодичною подачею (опосередковано через орбітальні координати), ВШ, обмеженою зовнішньою

регулюючою гілкою (максимальна швидкість), мінімальна швидкість та нульова подача палива;

- Формування різних типів регуляторних характеристик (залежно від ступеня впливу зворотного зв'язку: жорсткий зворотний зв'язок, слабкий зворотний зв'язок, відсутність зворотного зв'язку).

- Формування режимів роботи та характерних полів при початку впорскування палива.

- Формування пускових характеристик подачі палива.

- Двигун зупинився.

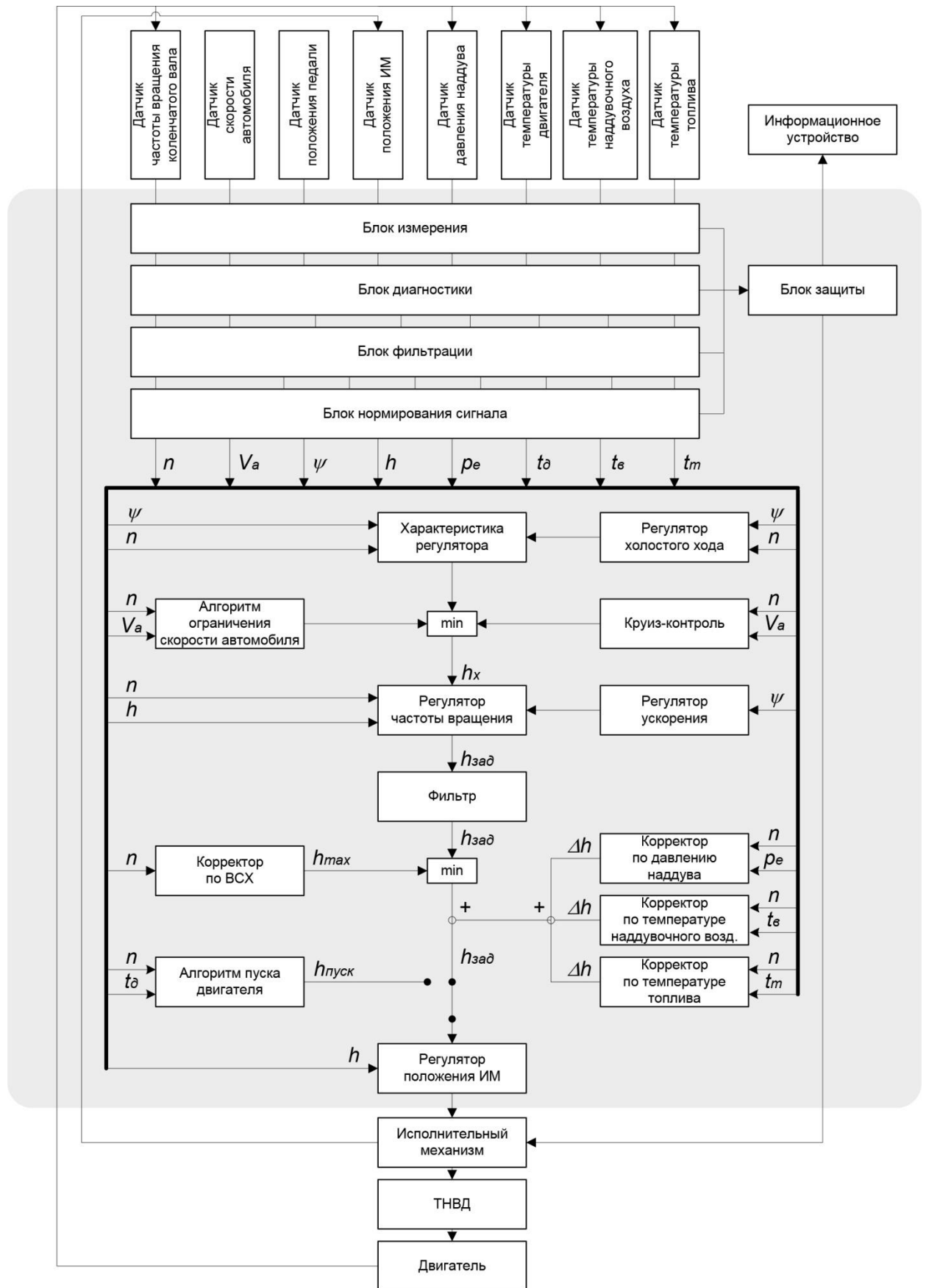


Рисунок 3.6 – Функціональна блок-схема алгоритму роботи ЕСК

У цьому випадку базову характеристику можна побудувати як сімейство кривих координати траєкторії h ПНВТ (або періодичної подачі Q_c) як функції частоти обертання колінчастого вала двигуна n . За допомогою алгоритму регулятора холостого ходу мінімальні характеристики керування змінюються, щоб забезпечити досягнення двигуном заданої швидкості холостого ходу.

Основна функція регулятора холостого ходу полягає в зміні характеристик керування для забезпечення бажаної швидкості холостого ходу двигуна. Залежно від характеристик регулятора швидкості розраховується положення ІМ h_x , що відповідає поточному режиму роботи швидкості навантаження. Якщо активовано алгоритм обмеження швидкості або круїз-контролю, значення h_x може бути обмеженим.

Режими обмеження швидкості та «круїз-контроль» (підтримка постійної швидкості автомобіля) забезпечуються шляхом розрахунку заданого значення (функція круїз-контролю) або максимального (функція обмеження швидкості) значення обертів колінчастого вала двигуна та його стабілізації за допомогою звичайних методів керування. Головний ПД-регулятор використовується для розрахунку заданого положення h ІМ та швидкості колінчастого вала n , використовуючи поточний сигнал положення ІМ h_{set} . Цей сигнал фільтрується для обмеження коливань, що викликають коливання швидкості. Контролер прискорення автоматично встановлює оптимальні налаштування основного ПД-регулятора залежно від швидкості зміни положення педалі, $\Delta\psi$. Коригувальні коефіцієнти визначаються для стабілізації параметрів потужності двигуна за різних умов експлуатації. Кількість параметрів, які можна змінити, обмежена лише наявністю необхідних датчиків. Складність електроніки та програмного забезпечення зазвичай непомітна. Основні параметри, які потребують корекції подачі палива:

- Тиск наддувного повітря (для складних дизельних двигунів) або атмосферний тиск (для атмосферних дизельних двигунів).
- температура наддувного повітря;
- температура палива;

- Температура оливи або охолоджувальної рідини.

Через особливості робочого процесу дизельних двигунів, всі поправочні коефіцієнти враховуються шляхом зміни ВСХ та його близьких режимів, тобто I. Без таких коригувань неможливо гарантувати повне завантаження, що обмежує максимально допустимі координати траєкторії ПНВТ для заданого набору параметрів коригування. Їхній вплив описується лінійним наближенням, що реалізує наступну якісну залежність:

- Збільшує потік у відповідь на підвищення тиску наддуву та температури палива.

- Зі зниженням атмосферного тиску та підвищенням температури повітря та охолоджувальної води швидкість потоку зменшується.

Крім того, паралельно може бути реалізований алгоритм, який керує роботою клапана рециркуляції відпрацьованих газів на основі набору коригувальних показників з метою зменшення вмісту оксидів азоту NO_x у відпрацьованих газах.

Допоміжний ПД-регулятор (регулятор положення ІМ) – це механізм стеження, який використовується для обчислення широтно-імпульсного модульованого сигналу (ШІМ), який безпосередньо керує приводом колії ІМ на основі різниці між поточним h та заданим h положення колії ПНВТ.

Алгоритм керування запуском та прогріванням двигуна досягається шляхом зменшення пускової подачі h_{start} та зменшення обертів холостого ходу у відповідь на підвищення температури охолоджувальної рідини. Режим запуску двигуна автоматично активується, коли швидкість обертання колінчастого вала двигуна стабілізується, і автоматично вимикається, коли двигун переходить у режим роботи.

Всі перелічені алгоритми виконуються в режимі реального часу та стають невід'ємною частиною ESC дизельного двигуна, змінюючи періодичні значення подачі палива. Для цього алгоритм має такі вимоги:

- Швидка робота на вибраних мікроконтролерах (відсутність вкладених циклів або рекурсивних функцій, обмежене використання тригонометричних,

логарифмічних та експоненціальних функцій, використання цілочисельної арифметики).

- Обмеження використання оперативної пам'яті.
- Повністю використовувати вбудовані апаратні можливості мікроконтролера (переривання, таймери, блоки АЦП та ШІМ, модулі CAN, UART тощо).
- Вибіркове налаштування кожного алгоритму (програмне моделювання всіх датчиків, розподіл сигналів регуляторів тощо) без перекомпіляції програми керування.
- Можливість повної деактивації певних алгоритмів (фільтри, регулятори холостого ходу, регулятори прискорення, компенсатори тощо).

Щоб вирішити цю проблему, ми розробили синхронізовану систему, яка може виконувати функції моніторингу та керування під час роботи (Рисунок 2).

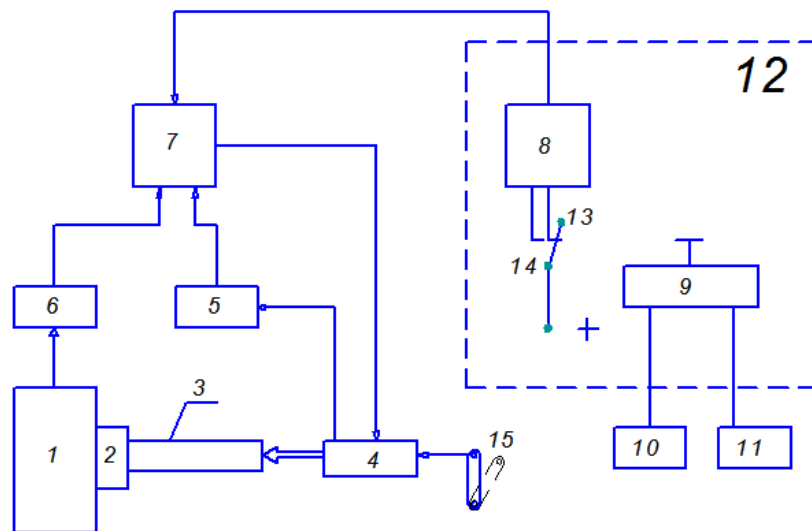


Рисунок 3.7 – Комплекс синхронізації.

1 – дизель, 2 – система паливоподача, 3 – рейка паливного насосу, 4 – виконавчий орган, 5 – датчик положення рейки паливного насосу, 6 – датчик кутової швидкості обертання колінчастого валу, 7 – електронний блок, 8 – блок обчислювання, 9 – блок обробітку сигналів АСР, 10 – датчик прискорення, 11 – датчик прискорення, 12 – блок логіки, 13 – нормально замкнений контакт, 14 – нормально розімкнений контакт, 15 – важіль ручної подачі палива.

Обчислювальний блок 12 обробляє результати як функцію даних про прискорення (датчики 10, 11) та визначає можливість коригування режиму роботи двигуна. За потреби електронний блок 7 отримує команду на зміну режимів. Електронний блок 7 контролює положення напрямної 5 та швидкість колінчастого вала 6 за допомогою датчиків і приймає рішення, спрямовані на зміну деяких швидкісних характеристик шляхом переміщення напрямної паливного насоса. Блок керування 4 встановлений на існуючій системі керування подачею палива та за своїми функціональними характеристиками замінює ручне керування переміщенням важеля дросельної заслінки.

4. Експериментальні дослідження та засоби їх реалізації.

4.1 Зареєстровані складні елементи

Для оцінки зчеплення трактора з дорогою та опору сільськогосподарської техніки було використано мобільний реєструючий вимірювальний пристрій, що складається з двох датчиків Freescale Semiconductor MMA7260QT та комп'ютера для збору та архівування даних (рис. 3.14) [34].

Датчик MMA7260QT, що використовувався в експериментах, являє собою ємнісний акселерометр з трьома осями руху та межею вимірювання $\pm 1,5$. Вбудовані фільтри температурної компенсації, фільтри низьких частот та пікові фільтри, додаткове обладнання не потрібне. Ці датчики мають опцію «сплячого режиму» для економії заряду батареї комп'ютера. Датчик використовує низьку напругу (від 2,2 В до 3,6 В). Висока чутливість (800 мВ/г).

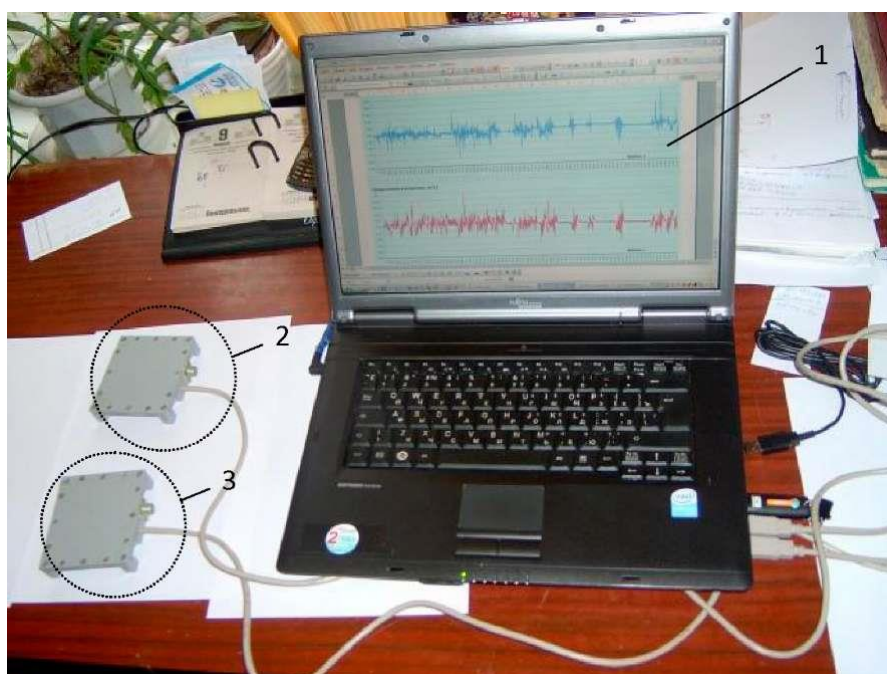


Рисунок 3.14 – Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс для оцінки тягового зусилля трактора та опору сільськогосподарських машин.

1 – ЕОМ для зняття та архівації даних; 2, 3 – датчики прискорень відповідно MMA 7260 QT # 445, MMA 7260 QT # 446

Він характеризується швидкою ініціалізацією та високою стійкістю до перепадів напруги та статичної електрики. Акселерометр компанії Freescale Semiconductor складається з ємнісного чутливого елемента та вимірювальної схеми, інтегрованих на кварцовому кристалі, виготовленому за технологією CMOS (рис. 3.15).

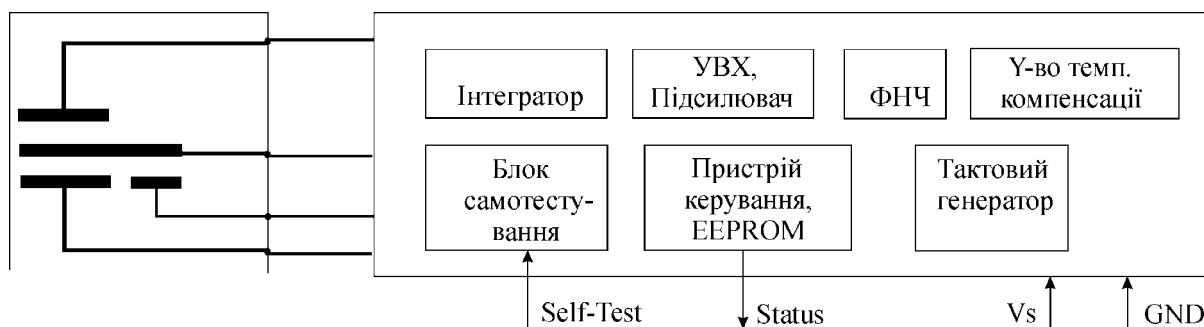


Рисунок 3.15 – Функціональна схема датчика прискорення

Ємнісний чутливий елемент G-елементу герметично закритий. Це механічна структура, виготовлена з використанням полікристалічного кремнію, напівпровідникових технологій. Диференціальний чутливий елемент має верхню нерухому пластину, нижню нерухому пластину та центральну пластину, закріплену пружним елементом.

Центральна плита — це сейсмічний масив, який може рухатися під впливом прискорень. Чутливий елемент містить пластину для самоперевірки цілісності датчика.

Коли рухома плита знаходиться в центральному положенні, вихідний сигнал дорівнює половині напруги живлення.

Під час експериментальної оцінки тягової сили трактора та опору сільськогосподарської техніки в типових ситуаціях руху (якісні випробування) виникає задача визначення контрольних точок з кінематичними параметрами, що характеризують швидкість та прискорення конкретного тракторного агрегату. Ці параметри необхідно визначати вздовж поздовжньої осі тягової машини. У цьому розділі ми уточнюємо, що точкою керування є рульова тяга, яка є пружним центром трактора в площині, паралельній поверхні дороги. Поліс обертання розташований на поздовжній осі тягової машини і є точкою

з найменшими значеннями лінійної швидкості та прискорення серед усіх точок, що належать цій осі. Оскільки координати рульової тяги змінюються з часом, то для зменшення похибок у визначенні параметрів руху буксирувальної машини, кутового прискорення та швидкості рекомендується використовувати дві контрольні точки та встановлювати два трикоординатні датчики прискорення у двох контрольних точках (рисунок 3.14).

Під час лінійного руху параметри руху кожної точки буксирувальної машини однакові. Отже, одного датчика поздовжнього прискорення достатньо для визначення робочих параметрів трактора. Для визначення параметрів поступального руху тягача необхідно встановити датчики прискорення у двох контрольних точках.

4.2 Використовуйте системи фільтрації для підвищення точності опитування.

Різні технічні вимоги до механічних тракторних агрегатів (МТА) можна виразити загальними показниками: продуктивність та агротехнічна якість виконуваних робіт, а також низькі витрати на впровадження. Керування механічними системами, що є матеріально-технологічною основою комплексної механізації виробничих циклів, являє собою сукупність МТА, машин і механізмів, що доповнюють один одного та підвищують ефективність їх використання [35]. Під час використання акселерометрів для динамічного тестування МТА виникають як випадкові, так і систематичні похибки під час вимірювання лінійного прискорення.

Проаналізуйте останні публікації та досягнення. ДСТУ 3310-96[36] та ГОСТ Р 52302-2004[37] висувають досить суворі вимоги до точності вимірювань під час оцінки стійкості та керованості мобільних машин у дорожніх випробуваннях. У таблиці наведено вимоги до точності вимірювання деяких параметрів, що контролюються за допомогою комплексу реєстрації та вимірювання руху на основі акселерометра [38]. 4.1.

Деякі дослідники зазначають, що шум у вихідному сигналі акселерометра визначає роздільну здатність пристрою, що важливо для вимірювання малих прискорень. Межа роздільної здатності визначається, перш за все, рівнем шуму вимірювання, який включає зовнішній фоновий шум та шум самого датчика. Рівень шуму можна зменшити, додавши до виходу датчика низькочастотний фільтр для зменшення смуги пропускання. Це покращує співвідношення сигнал/шум і збільшує роздільну здатність, але вносить спотворення амплітуди та фази-частоти [39].

Таблиця 4.1 – Вимоги до точності вимірювань [2]

Вимірювальні параметри, одиниці вимірювання	Діапазон вимірювань	Похибка, не більш ніж	
		абсолютних одиниць	відносних одиниць (%)
Швидкість ДТС, км/ч	5-150	–	±0,5
Кутова швидкість ДТС, градус/с	±45	±0,5	±1,0
Бокове прискорення, м/с ²	±7	±0,15	±1,0
Час, с	–	±0,01	–
Температура, °С	–	±1,0	–

Коли спотворення сигналу відомі та не змінюються з часом, рекомендуються традиційні методи обробки сигналів [39]. Адаптивні фільтри рекомендуються, коли спотворення сигналу неможливо врахувати заздалегідь або вони можуть змінюватися під час процесу зчитування. Узагальнена схема адаптивного фільтра показана на рисунку 4.1.

Фільтри використовуються для пропускання сигналів у потрібному діапазоні частот та послаблення сигналів поза цим діапазоном. За типом амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтри класифікуються як

фільтри низьких частот (ФНЧ), фільтри високих частот (ФВЧ), смугові фільтри (СФЧ) та смугово-загороджувальні фільтри (ЗГЧ).

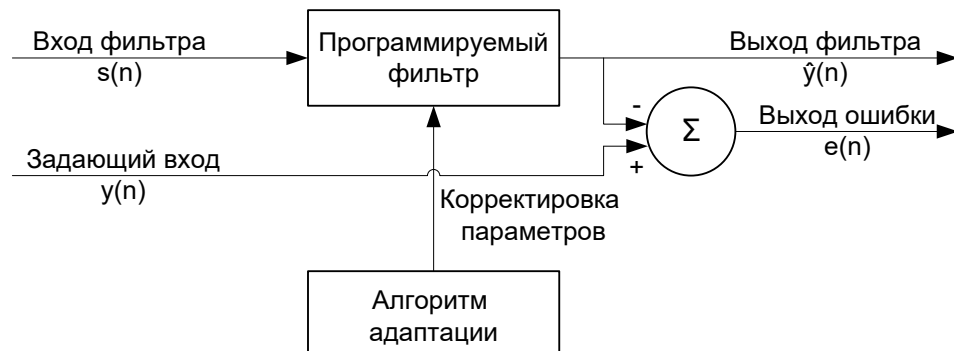


Рисунок 4.1 – Схема адаптивного фільтра [39]

Виклад мети та завдань дослідження. Основною метою цієї роботи є пошук та розробка ефективних методів фільтрації сигналів, отриманих від акселерометрів контрольно-вимірювальних комплексів під час експериментальної оцінки експлуатаційних характеристик мобільних машин. Результати дослідження. Якщо розглядати мобільну машину (МТА) як механічну систему, яка виконує сільськогосподарську технологічну операцію, то вона спочатку знаходиться в точці 0, але при дії на неї будь-якої сили пристрою повідомляється про деяке прискорення. Під час роботи прискорення вимірюється в Δt секундах для контролю стану пристрою. Оптимальним критерієм вважається той, який гарантує максимальне співвідношення сигнал/шум. Ця вимога призводить до вибору форми коефіцієнта передачі частоти фільтра, яка забезпечує максимальне відношення сигнал/шум на виході. Щоб отримати точнішу інформацію при вирішенні цієї задачі, ми використовуємо фільтр Калмана.

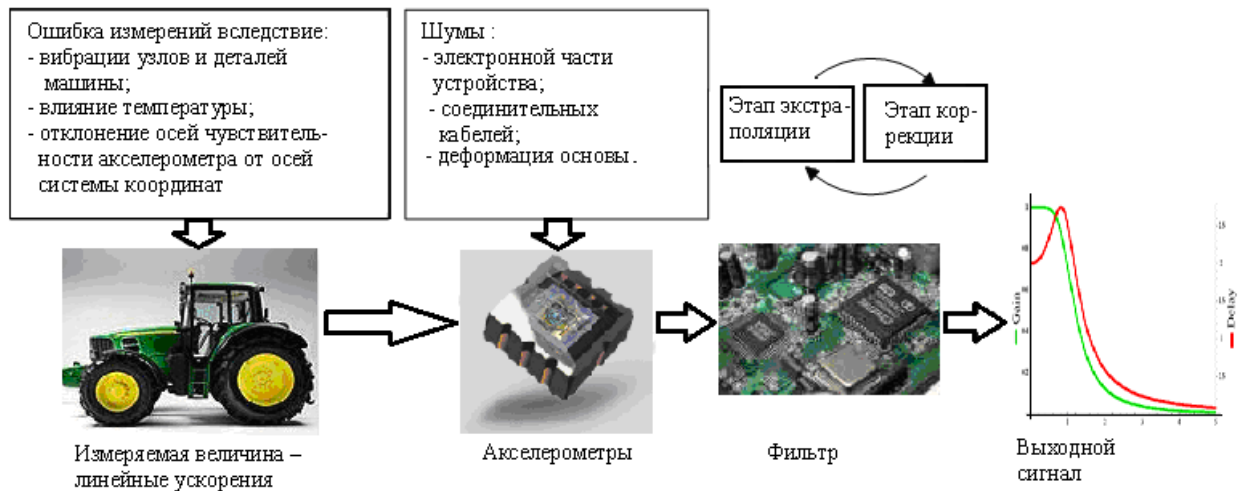


Рисунок 4.2 – Схема заміру лінійних прискорень МТА з використанням фільтру

Фільтр Калмана використовує динамічну модель системи (наприклад, фізичні закони руху), відомі керуючі дії та набір безперервних вимірювань для формування оптимальної оцінки стану. Алгоритм складається з двох ітераційних фаз: екстраполяції (прогнозування) та коригування. На першому етапі обчислюється прогноз стану в наступний момент часу (з урахуванням неточності вимірювання). По-друге, прогнози переглядаються на основі нової інформації від датчиків (з урахуванням неточності та шуму в цій інформації) [40]. Між вимірюваннями та ми припускаємо, що одиниця рухається з прискоренням, яке відповідає нормальному розподілу з нульовим математичним очікуванням та стандартним відхиленням σ_a . Запишіть це, використовуючи закони механіки Ньютона

$$\dot{x}_t = Fx_{t-1} + G\dot{V}_t \quad (4.1)$$

де G – випадкові впливу на агрегат. Коваріаційна матриця випадкових впливів в процесі роботи агрегату може бути записана у вигляді

$$Q = \text{cov}(G\dot{V}) = E[(G\dot{V})(G\dot{V})^T] = GE[\dot{V}^2]G^T = G[\sigma_a^2]G^T = \sigma_a^2 GG^T \quad (4.2)$$

де E – математичне очікування;

σ_a – скаляр.

На кожному етапі роботи вимірюється стан агрегату. Якщо припустити, що похибки вимірювання відповідають вищезазначеним вимогам, коваріаційна матриця шуму вимірювання має вигляд [41]:

$$R = E[\mu_t \mu_t^T] = [\sigma_a^2] \quad (4.3)$$

Під час використання фільтра Калмана алгоритм створює певні обчислювальні труднощі для реалізації, тому найкраще використовувати програмне забезпечення для візуального фільтра Калмана, розроблене HAN Software [42].

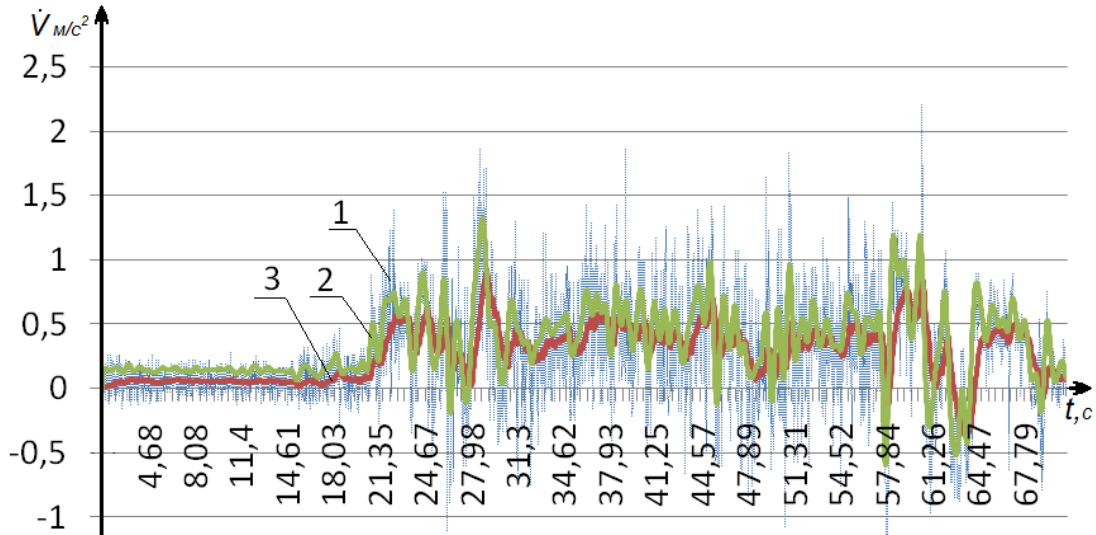


Рисунок 4.3 – Зміна прискорень при різних режимах руху агрегату: 1 - масив даних не пройшли фільтр; 2 - сигнал, що пройшов фільтр Баттерворта; 3 - сигнал, що пройшов фільтр Калмана.

Аналізуючи результати на рисунку 4.3, було виявлено, що під час визначення прискорення рухомого об'єкта без використання фільтрації результати можуть бути розсіяні в діапазоні від 0,1 м/с² до 0,8 м/с². Фільтрація результатів випробувань тракторів за допомогою ФНЧ підвищує точність експериментальної оцінки характеристик керованості з використанням методів, що застосовуються до дорожнього транспорту. Використання комплексу реєстрації та вимірювання руху на базі акселерометра MMA7260QT та програмного забезпечення візуального фільтра Калмана дозволяє мінімізувати розкид прийнятих сигналів. Згладжуючи шум у різних фізичних характеристиках, можна підвищити точність експериментальної оцінки експлуатаційних характеристик машин і тракторних агрегатів. Використання фільтрів, запропонованих у цьому

дослідженні, суттєво не впливає на середнє значення сигналу. Це потенційно може вплинути на керованість та стабільність роботи пристрою.

4.3 Результати експериментальних досліджень

Комбайнозбиральний комплекс, що складається з трактора ХТЗ-16331, причепа ОЗТП-8573 та зернозбирального комбайна JOHN DEERE 9770, виконує технологічну роботу зі збирання кукурудзи на зерно.

Було досліджено роботу комбайнозбирального комплексу у стандартній конфігурації та із синхронним комплексом. Аналізуючи проведене опитування, отримуємо результати, показані на рисунку, коли система синхронізації не використовується. 4.4. Якщо швидкості різних елементів збирального комплексу не збігаються, їжа буде втрачена. Зверніть увагу, що коливання швидкості транспортних одиниць на рисунку 4.4 (крива 2) значно варіюються як за частотою, так і за величиною. Це пояснюється тим, що оператор повинен вручну регулювати характер роботи комбайна, щоб компенсувати зміни швидкості через збільшення ваги вантажу на напівпричепі. Максимальний діапазон коливань швидкості становить 0,4 метра для причепів та 0,1 метра для комбайнів.

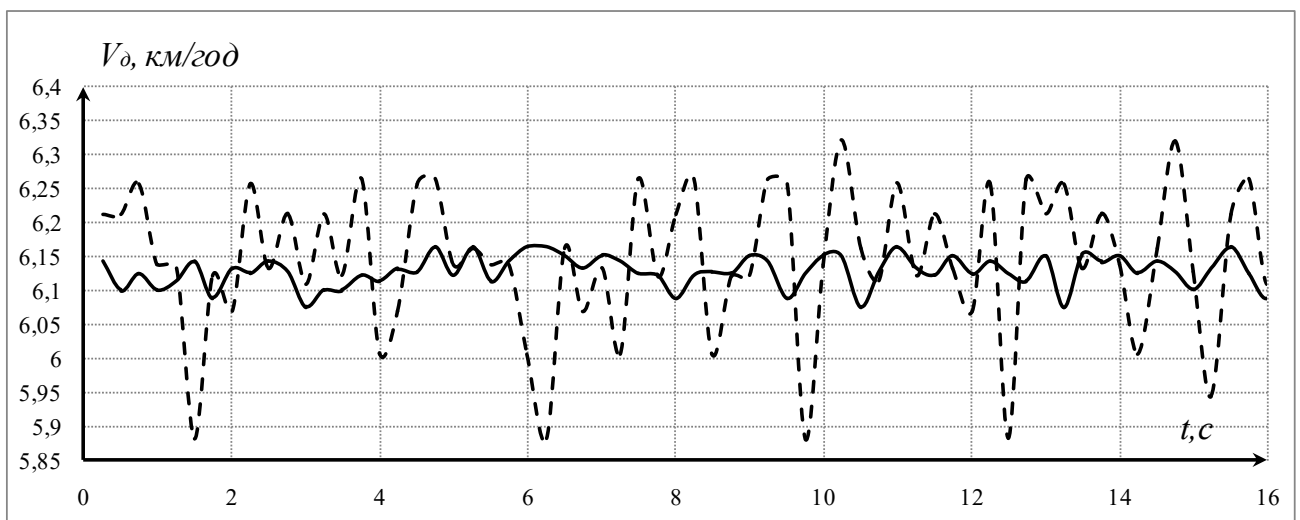
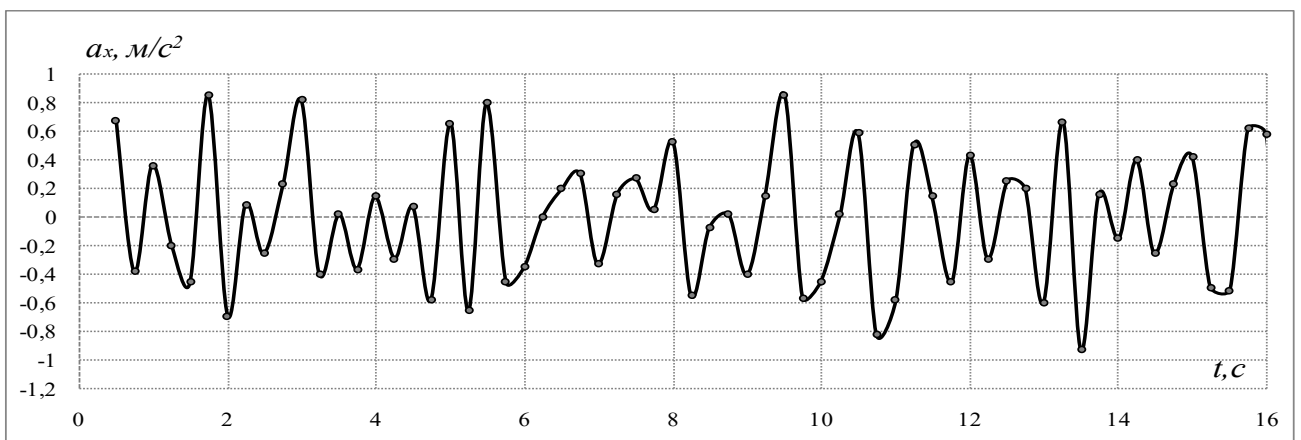


Рисунок. 4.4 – Дійсна швидкість руху елементів збирального комплексу:

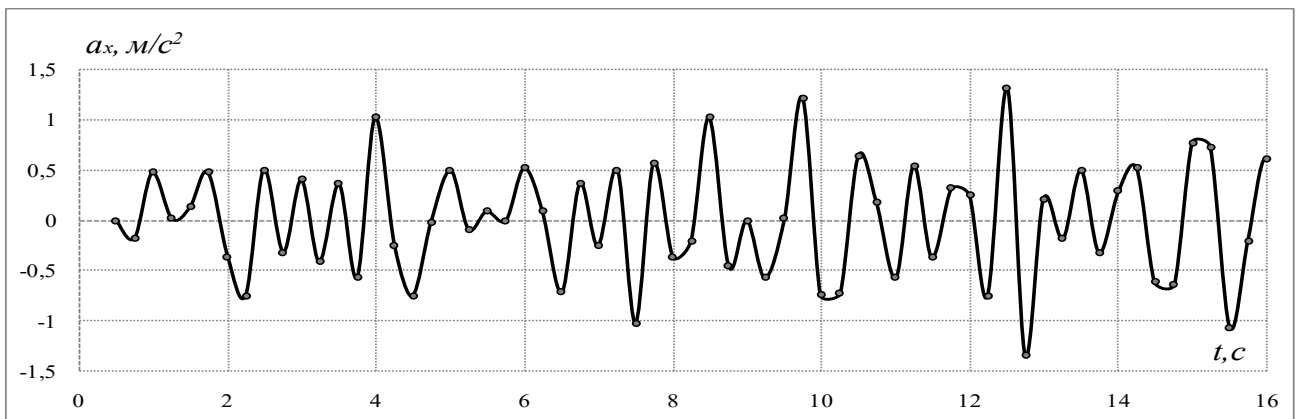
1 – комбайну; 2 – тракторного агрегату.

На рисунку 4.5 показано експериментальні значення відфільтрованого повного прискорення, спроектовані на вісь x .

Втрати енергії, спричинені коливаннями швидкості ТА, найкраще характеризуються прискоренням енергоносія. Аналіз показав, що амплітуда коливань прискорення ТА збільшилася майже вдвічі. Дослідження також виявило, що ця технологічна операція характеризується вищими коливаннями прискорення порівняно з іншими транспортними операціями. Це пояснюється тим, що вплив оператора на керування двигуном є додатковим фактором збурення.



а)



б)

Рисунок. 4.5 Робота комбінованого збирального комплексу в стандартній комплектації: а – прискорення комбайна JOHN DEERE 9770; б – прискорення транспортного агрегату ХТЗ-16331+ ОЗТП-8573.

За допомогою синхронного комплексу Рисунок 4.6 зменшується різниця коливань швидкості комбайна та транспортних агрегатів, синхронізується частота, а амплітуда коливань швидкості ТА зменшується до 0,2 м. Аналізуючи результати досліджень комбайнозбиральних комплексів із системою синхронізації, було зроблено висновок, що запропонований алгоритм та система стеження за рухом дозволяють змінювати швидкість транспортного агрегату у відповідному діапазоні та підтримувати необхідну частоту вібрацій, тим самим усуваючи помилки оператора під час керування роботою транспортного агрегату.

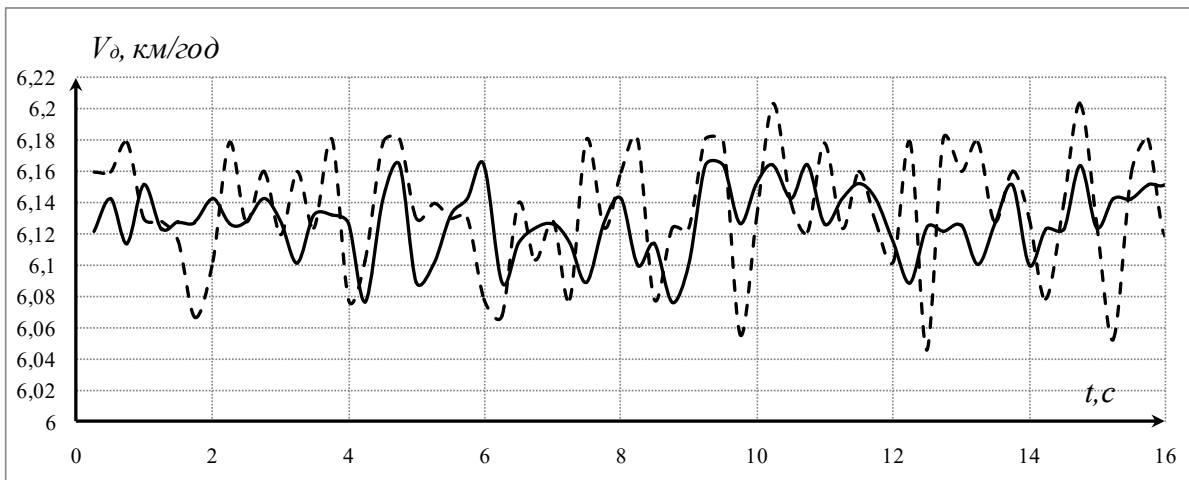


Рисунок. 4.4 – Дійсна швидкість руху елементів збирального комплексу:
1 – комбайну; 2 – тракторного агрегату.

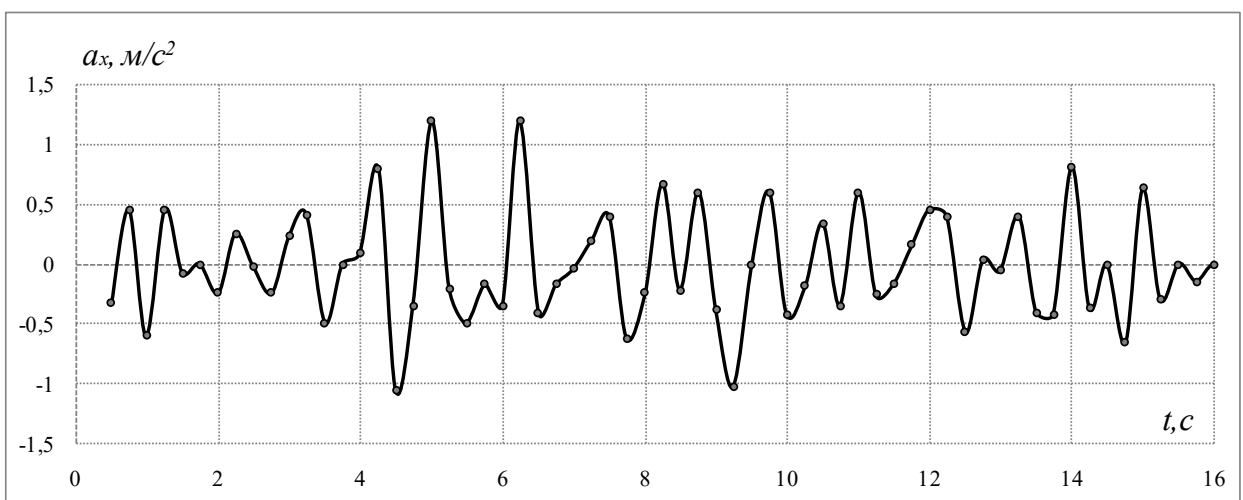


Рисунок. 4.5 Робота комбінованого збирального комплексу з застосуванням системи синхронізації прискорення транспортного агрегату.

В результаті, більш точне керування ТА зменшило витрату палива та безповоротні втрати зерна під час транспортування зерна на 11%.

Завдяки цій інтегрованій системі різницю в швидкості між комбайном і транспортним агрегатом можна зменшити на 50%. Ці покращення дозволять у майбутньому використовувати менше палива для транспортування кукурудзяних зерен. Крім того, синхронізація зменшила втрати зерна приблизно на 5-12%.

5. Охорона праці та гігієна праці в надзвичайних ситуаціях.

5.1. Безпека обслуговуючого персоналу під час випробування двигуна.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу під час випробувань двигунів лабораторія повинна бути оснащена спеціальними санітарно-технічними вимогами, протипожежним захистом та засобами безпеки.

Лабораторні приміщення повинні бути обладнані витяжною вентиляцією для усунення забруднення повітря небезпечними речовинами в концентраціях, що перевищують допустимі нормами гігієни праці. ГОСТ 12.1.005-76 визначає гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі в робочій зоні.

Скляна трубка ртутного апарату повинна бути покрита плексигласом, мати уловлювальний пристрій на виході з трубки та колектор під трубкою. Щоб виключити виділення парів ртуті, поверхня приладу покрита захисною рідиною, в якості якої можна використовувати воду.

Для виконання вимог щодо шуму в приміщеннях, де знаходяться випробувачі та обслуговуючий персонал, необхідно вжити заходів щодо зниження рівня шуму та покращення звукоізоляції.

Особливу увагу слід приділити заходам щодо запобігання вибухам та пожежам. Рекомендується прокладати трубопроводи центрального паливостачання лише зовні будівлі, з вентилем та заземленням на вході до приміщення.

Повинні бути організовані регулярні огляди та очищення обладнання паливної системи та зберігання легкозаймистих речовин у закритих ємностях, а також контрольовані наявність та придатність до використання вогнегасних засобів.

5.2 Проведення лабораторних випробувань дизельних двигунів

Для забезпечення безпеки під час проведення випробувань двигунів студенти повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки

перед виконанням будь-яких робіт. Пояснення записуються у спеціальному журналі, і кожен учень отримує квитанцію, яка підтверджує розуміння правил та зобов'язання їх дотримуватися. Студенти, які не пройшли інформаційну сесію, не зможуть виконати практичне завдання.

Потенційні небезпеки, які можуть виникнути під час роботи, включають:

- Обертові частини двигуна та кронштейна.
- Токсичні та легкозаймисті речовини, що використовуються в системах живлення, змащення та охолодження двигуна.
- Гарячі частини вихлопної системи та системи охолодження двигуна.
- Перенапруга в системі запалювання двигуна.
- Напруга живлення стійки та системи керування.
- Токсичні вихлопні гази двигуна.

Студенти повинні суворо дотримуватися наступних правил безпеки та пожежної безпеки:

- Щоб уникнути опіків, не торкайтеся нагрітих стінок, таких як вихлопні труби, колектори та термопари.
- Не торкайтеся двигуна або обертових частин під час роботи двигуна.
- Ви можете завести двигун лише з дозволу вчителя.
- У лабораторії суворо заборонено користуватися відкритим вогнем та курити.
- Забороняється випадково відкривати пристрої, вимірювальні прилади, кнопкові пускачі, автоматичні вимикачі, перемикачі або торкатися будь-яких компонентів лабораторного столу, що знаходяться під напругою.
- Якщо виявлено будь-які несправності в механічній роботі системи двигуна або вимірювального обладнання, або якщо чути зовнішній стукіт у вузлі підключення приводу, необхідно негайно вжити заходів.

Під час випробування двигуна забороняється потрапляти на обертові поверхні ротора та муфти, навіть якщо встановлені захисні кожухи, а також забороняється торкатися будь-яких обертових частин двигуна. Якщо в

двигуні, гальмівній системі або муфтах виникає ненормальний стукіт або шум, а тиск масла значно падає, слід зменшити подачу палива, повністю зняти навантаження та довести двигун до обертів, що відповідають режиму холостого ходу.

Після того, як він охолоне, потрібно зупинити двигун і визначити причину та усунути будь-які несправності, які могли виникнути. У разі надзвичайної ситуації або пожежі двигун необхідно негайно зупинити, навіть якщо він під навантаженням.

ВИСНОВКИ

1. Використання розробленого комплексу знижує енергоспоживання обладнання, знімає навантаження з водія та практично повністю виключає незворотні втрати зібраної продукції.

2. Розроблений комплекс синхронізації може бути використаний як система моніторингу, що не перешкоджає ручному керуванню тяговою машиною при вимкненні елементів керування, а також як система керування, що повністю виключає вплив людини на прискорення та швидкість керованого транспортного агрегату.

3. Конструкція елемента керування використовує лінійний двигун, який не потребує механічної передачі та може безпосередньо керувати паливною рейкою насоса, що дозволяє змінювати режим роботи двигуна з високою точністю.

4. Попередній розрахунок техніко-економічних показників проекту показує, що розроблена технологія дозволяє скоротити витрати праці до 0,42 особи. За годину/гектар собівартість висока – 48 грн/т, а економічний прибуток – 318 237 грн. Термін окупності становить 1,08 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Посібник. машини для збирання зернових та технічних культур/За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника, - Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. - 2009. - 296 с.
2. Кукурудза. Вирощування, збирання, консервування і використання / Під загальною редакцією Д. Шпаара. – К.: Альфа-стевія ЛТД – 2009. – 396 с.
3. Електроний ресурс: <http://globenewswire.com/news-release/2015/12/18/796991/10158667/en/DuPont-Reports-Virginia-Grower-Breaks-World-Corn-Yield-Record-with-Pioneer-R-Brand-Corn.html>
4. Електроний ресурс:
<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Table+04+Corn+Area%2c+Yield%2c+a+nd+Production&hidReportRetrievalID=884&hidReportRetrievalTemplateID=1>
5. Електроний ресурс:
<http://agriculture.by/articles/rastenievodstvo/urozhajnost-kukuruzy-budet-rasti.-pochemu>
6. Електроний ресурс: <http://www.mhp.com.ua/uk/media/news/details/52>
7. Електроний ресурс: <http://www.agroprofi.com.ua/statti/1041-zernovi-rekordi-cherkaschini-ponad-200-tsga-kukurudzi-virostiv-ladis>
8. Електроний ресурс: <http://minagro.gov.ua/uk/node/19858>
9. Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2015 році (попередні дані) / Експрес-випуск Державної служби статистики України:
<http://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2016/01/11pdf.zip>
10. Електроний ресурс: <http://www.apk-inform.com/ru/prices>
11. Електроний ресурс: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>
12. Циков В.С. Кукуруза: технологія, гібриди, семена / Циков В.С. // Днепропетровск: Издательство Зоря, 2003. – 296 с.

13. Циков В.С. Интенсивная технология возделывания кукурузы. / Циков В.С., Матюха Л.А // – Агропромиздат, 1989. – 247 с.
14. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації) / Черенков А.В., Циков В.С., Дзюбецький Б.В., Шевченко М.С. та ін. // Дніпропетровськ: ДУ Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2012. – 31 с.
15. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д. Гречкосій, М.Д. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін. – К.: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
16. Застосування соломи і пожнивних решток як органічних добрив для поліпшення гумусового стану ґрунту (рекомендації) / О.А. Демидов, А.Т. Рудюк, А.С. Заришяк та ін. // Харків: КП «Міська друкарня», 2012. – 38 с.
17. Технологія вирощування кукурудзи на зерно / [В.М. Кабанець, М.Г. Собко, І.І. Дубовик та ін.]. – Сад: Інститут сільського господарства Північного Сходу, 2012. – 20 с.
18. Цехмейструк М.Г. Аспекти вирощування кукурудзи / М.Г. Цехмейструк, Н.М. Музафаров, К.М. Манько // Агробізнес сьогодні, 2014. – №8 (279). – С. 28-33.
19. Косолап М.П. Система землеробства No-till: Навч. посібник / М.П. Косолап, О.П. Кротінов – К.: «Логос», 2011. – 352 с.
20. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / С.А. Балюк, В.В. Медведєв і інш. – К., 2010. – 112 с.
21. Шатилов, К.В. Кукурузоуборочные машины / К.В. Шатилов, Б.Д. Козачок, А.П. Орехов и др. – 1981. – 224 с.
22. 23. Farm Production Expenditure. 2010 Summari. August, 2011. United States Department of Agriculture. National Agriculture Statistics Servise. – 197 p.
24. Міленін А.М. Енергозбереження тракторних агрегатів при збиранні коренеплодів цукрового буряка. Автореф. дис. канд. тех. наук: 05.05.11 – Харків, 2007. – 23 с.

25. Костюченко Н.В. Експлуатаційні властивості мобільних агрегатів/Н.В. Костюченко, А.М. Плаксин; За ред. А. М. Плаксина. - 2010. - 204 с.
26. Подригало М.А. Підвищення ефективності роботи сільськогосподарського прибирального комплексу на основі синхронізації руху агрегатів / М.О. Подригало, А.Т. Лебедев, В.С. Кисіль // Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ: - Х.: ХНТУСГ, 2011. Вип. 107 - С. 43 - 53.
27. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики / С.М. Тарг. – М.: Наука, 1968. – 478 с.
28. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1975. – 640 с
29. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Артемов Н.П., Лебедев А.Т., Подригало М.А. и др.; под ред. М.А. Подригало. – Х.: Міськдрук, 2012. – 220 с.
30. Акселерометри низькочастотні лінійні. Терміни та визначення: ГОСТ 18955-73. – Введено в дію вперше 1973-06-29. - М.: Вид-во стандартів, 1973. - 11 с.
31. Електронні системи контролю стійкості [Електронний ресурс]: ECE/TRANS/180/Add 8 – Женева: Глобальний реєстр. Організація Об'єднаних Націй, 2008. – 116 с.
DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-18 0a8r.pdf.
32. Federal Motor Vehicle Safety Standard №126 «Electronic Stability Control Systems», Office of Regulatory Analysis and Evolution, National Center for Statistics and Analysis, 2006. – 142 p
33. Подригало М.А. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів/М.А. Підригало. - Х.: Академія ВВ МВС України, 2013. - 222 с.

34. Артёмов М.П. Динамічна стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів: Автореф. дис. докт. тех. наук: 05.05.11 – Харків, 2014. – 40 с.
35. Горячкин В. П. Теория массы и скорости сельскохозяйственных прицепов / В. П. Горячкин. - Энергетика, 1974. - 240 с.
36. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи вивчення основних параметрів випробуваннями : ДСТУ 3310-96. – [Чинний від 01.01.1997]. – К.: Держстандарт України, 1996. – 13 с. – (Національні стандарти України).
37. Автотранспортні засоби. Керуваність і стійкість. Технічні вимоги. Методи випробувань: ДСТУ 52302-2004. - [Дата вступу в дію 01.01.2006]. - 2005. - 56 с.
38. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало, А. С. Полянский, Д. М. Клец, А. И. Коробко, В. В. Задорожня]. – Х.: Міськдрук, 2012. – 220 с.
39. Коуэн К. Ф. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / Под ред. К. Ф. Коуэна и П. М. Гранта. – Мир, 1988. – 392 с.
40. Раевский Н. В. Применение алгоритма классического линейного фильтра Калмана для оценки параметров движения маневрирующего в пространстве объекта / Н. В. Раевский, А. А. Киселёва, М. В. Лютая // Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 2. – С. 85–90
41. Grewal M. Kalman filtering theory and practice using Matlab / M. Grewal, A. Andrews // Second edition. – New York: Wiley, 2001. – 410 p.
42. Design Kalman Filter with ease! [Електронний ресурс]: HAN Software – Режим доступу : <http://www.luckhan.com/kalman-filter-design.htm>.

ДОДАТКИ