

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

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Мехатронні системи та транспортні  
технології

проф. \_\_\_\_\_ Анатолій ПАНЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

здобувача ступеня вищої освіти «Магістр»

(ступінь вищої освіти)

на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ГУСЕНИЧНИХ ТРАКТОРІВ ТЯГОВОГО КЛАСУ 3,0  
НА РІЗНИХ АГРОФОНАХ**

***ЗІМСД.035.000000ПЗ***

Виконав: здобувач ВО 2 курсу 22 МБ АІ групи

Спеціальності 208 Агроінженерія

за ОПІ Агроінженерія

(цифри і назва спеціальності та ОПІ)

\_\_\_\_\_ Іван РУСІНОВ

Керівник професор

Консультант професор

Нормоконтроль ст. викл.

Рецензент

Мелітополь – 2021 рік

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків і рекомендацій та списку використаної літератури. Робота викладена на 78 сторінках машинописного тексту, містить 18 рисунків, 19 таблиць, бібліографію, що включає 16 найменування.

Робота присвячена дослідженням тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.

В роботі проведено тяговий розрахунок гусеничного трактора тягового класу 3,0 з механічною трансмісією при прямолінійному поступальному русі на різних агрофонах, розраховано, побудовано та проаналізовано теоретичні тягові характеристики трактора при роботі на різних агрофонах.

При проведенні тягового розрахунку трактора визначено вагу трактора і потужність двигуна, моменти, що підводяться до ведучих коліс, коефіцієнти корисної дії, діапазони швидкостей руху і відповідне передаточне число трансмісії та питомі витрати палива при різних режимах роботи на різних агрофонах.

По закінченню тягового розрахунку трактора розраховано і побудовано його теоретичну тягову характеристику, що оцінює тягово-зчіпні, швидкісні і економічні якості трактора при різних сталих режимах роботи на різних агрофонах та зроблено аналіз тягово-енергетичних показників гусеничного трактора тягового класу 3,0.

Багато уваги в роботі приділено охороні праці та довкілля. Закінчується робота розробкою карти контролю по показникам безпеки гусеничного трактора тягового класу 3,0.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ГУСЕНИЧНИЙ ТРАКТОР, ТЯГОВИЙ КЛАС, АГРОФОН, РЕГУЛЯТОРНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ТЕОРЕТИЧНА ТЯГОВА ХАРАКТЕРИСТИКА, ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ, КАРТА КОНТРОЛЮ ПО ПОКАЗНИКАХ БЕЗПЕКИ.

## ВСТУП

На даний час гусеничними рушіями оснащено понад чверть усіх транспортно-технологічних машин [7, 10, 11]. Даний тип рушія добре зарекомендував себе за умови роботи машин, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення, на полях із складним рельєфом, перезволожених ґрунтах.

Особливе місце у виконанні технологічних операцій гусеничними машинами відводиться забезпеченню прохідності, плавності ходу і поворотності, що дуже важливо для сільського господарства.

Тому що гусеничні трактори мають менший показник впливу та менший питомий тиск на ґрунт, більшу прохідність, дозволяючи на один-два тижні раніше починати польові роботи, що дає можливість одержувати більш високі врожаї не тільки за рахунок меншого ущільнення ґрунту, але і за рахунок підвищення якості технологічного процесу, то вони знаходять все більше використання при виконанні сільськогосподарських робіт.

Машини з гусеничним приводом дуже різноманітні по конструкції і призначенню. Гусеничний рушій є одним з найважливіших механізмів, що визначає тягові якості, продуктивність, економічність і надійність всіх цих машин.

У цьому зв'язку **об'єктом дослідження** у виконуваній роботі є процеси, що відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-енергетичних показників.

**Предмет дослідження** у виконуваній роботі є функціональні залежності, що описують процеси, які відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах.

**Метою досліджень** даної роботи є дослідження зміни тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Зробити тяговий розрахунок гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
2. Розрахувати і побудувати теоретичні тягові характеристики гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
3. Проаналізувати теоретичні тягові характеристики гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
4. Розробити карту контролю гусеничного трактора тягового класу 3,0 по показникам безпеки.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Ходові системи сучасної сільськогосподарської техніки

Спосіб і глибина обробітку ґрунту залежать, передусім, від ґрунтово-кліматичних умов, біологічних особливостей сільськогосподарських культур і забур'яненості та носять зональний характер. За недостатнього природного зволоження в сухих степах України при вирощуванні багатьох культур ґрунт варто обробляти безполицевими знаряддями, а за достатнього, надмірного перевага віддається обробітку ґрунту з обертанням на повну глибину орного шару.

Аналіз систем технологій і машин для обробітку ґрунту дозволяє [1] ознайомитися і отримати орієнтацію у тенденціях розвитку техніки і напрямках доцільного використання орних земельних угідь для різних конкретно господарських умов, специфічних для місцевості ґрунту та клімату. При цьому, першочерговим при виборі технології обробітку ґрунту є економічні показники, а не екологічні наслідки.

Не розуміння пагубного впливу на родючий шар ґрунту призводить до погіршення його фізико-механічної структури, і як наслідок зниження урожайності вирощуваних культур. Наслідки негативного впливу на ґрунт важко ігнорувати, адже вони досить суттєві [1]:

- порушення структури ґрунту з руйнуванням ґрунтових пор, збільшенням твердості та щільності орного шару з наступним брилуванням, що значно підвищує затрати на проведення обробітку;
- порушення циркуляції води та повітря всередині ґрунтових шарів;
- порушення терморегуляції ґрунту, дослідним шляхом було встановлено, що переущільнений ґрунт швидше й сильніше прогрівається, а також швидше охолоджується; коливання температур протягом доби будуть більш значними та різкими, що негативно впливає на рослини;

- знижується вологозабезпечення рослин, аерація, погіршуються деякі важливі біологічні процеси; через порушення процесів аерації значно знижується доступність азоту та марганцю, які є життєво необхідними для рослини елементами;

- порушується процес випаровування вологи, рух вологи в нижні шари ґрунту обмежується, через що вона накопичується у верхньому шарі та спричиняє кисневе голодування коренів рослин, порушення волого обміну є причиною утворення на полях так званих «озер»;

- відбувається пригнічення та порушення росту коренів рослин, тому коренева система здебільшого формується неправильно та часто є недорозвиненою.

Таким чином, наслідки переущільнення ґрунтів можуть стати фатальними як для вирощуваної культури, так, у майбутньому, і для самої ріллі.

Розвиток технічного забезпечення сільського господарства іде шляхом застосування широкозахватних агрегатів, застосування яких вимагає реалізації досить великої потужності колісними рушіями. Досить часто для реалізації необхідної потужності застосовують додаткові баластні маси, що призводить до збільшення питомих тисків у зоні контакту колеса з ґрунтом, як наслідок відбувається збільшення ущільнення ґрунту. Ущільнення ґрунту призводить до руйнування його структури та негативних наслідків у вигляді зниження врожайності сільськогосподарських культур [1].

Механічний вплив рушіїв на ґрунт не можна розглядати тільки як ущільнювальний, бо водночас відбувається інтенсивне руйнування ґрунтової структури під впливом буксування. У гусеничних тракторів граничне буксування не перевищує 6–8%, тоді як за номінального тягового зусилля в колісних тракторів граничне буксування може досягати 25–30%, при цьому трактор із колісними рушіями витрачає на деформацію ґрунту і буксування понад 47% потужності двигуна [1]. Ефективним способом підвищення тягово-зчіпних якостей, зменшення питомого тиску на ґрунт і поліпшення прохідності

трактора є збільшення площі контакту рушіїв із ґрунтом шляхом застосування напівгусеничного та гусеничного ходу.

## **1.2. Аналіз гусеничних тракторів тягового класу 3,0**

На даний час гусеничними рушіями оснащено понад чверть усіх транспортно-технологічних машин [7, 10, 11]. Даний тип рушія добре зарекомендував себе за умови роботи машин, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення, на полях із складним рельєфом, перезволожених ґрунтах.

Гусеничні рушії мають [3] різні конструктивні виконання. До складу рушіїв входять гусениці, ведуче колесо (зірочка), напрямне колесо, роликі підтримуючі, опорні котки, які встановлені на рамі на спеціальних каретках, що часто оснащують амортизаторами. Вага трактора, оснащеного гусеничним рушієм, передається через підвіску на опорні котки та гусениці й далі на ґрунт. Ведучі колеса обертаються та приводять у рух гусеничні ланцюги, по внутрішній стороні яких перекочуються опорні котки з несучою системою машини. По мірі перекочування опорних котків задні ланки (траки) гусеничного ланцюга переходять на верхню вітку гусениці, а далі знову вступають у контакт з поверхнею опорної основи, що розташована під передньою частиною машини.

Особливе місце у виконанні технологічних операцій гусеничними машинами відводиться забезпеченню прохідності, плавності ходу і поворотності, що дуже важливо для сільського господарства.

Останнім часом при виконанні сільськогосподарських робіт найбільш частіше використовуються трактори тягового класу 3,0 [9, 10].

Тому що гусеничні трактори мають менший показник впливу та менший питомий тиск на ґрунт, більшу прохідність, дозволяючи на один-два тижні раніше починати польові роботи, що дає можливість одержувати більш високі врожаї не тільки за рахунок меншого ущільнення ґрунту, але і за рахунок підвищення якості технологічного процесу, то вони знаходять все більше

використання при виконанні сільськогосподарських робіт.

До тракторів тягового класу 3,0 відносяться трактори ДТ-75. Трактори ДТ-75 (рис. 1.1) призначені для виконання основних сільськогосподарських робіт в агрегаті з навісними, напівнавісними та причіпними знаряддями і машинами з пасивними та активними робочими органами. У таблиці 1.1 наведена загальна технічна характеристика тракторів ДТ-75Д і ДТ-75 [4, 10].



Рис. 1.1. Гусеничні трактори ДТ-75Д і ДТ-75 тягового класу 3

Таблиця 1.1

Загальна технічна характеристика тракторів ДТ-75

<b>ЗАГАЛЬНІ ДАНІ</b>	<b>ДТ-75</b>	<b>ДТ-75Д</b>
<b>Тяговий клас</b>	3	
<b>Номінальне тягове зусилля, кН</b>	32	
<b>Діапазон швидкостей руху трактора, км/год</b>	5,3...11,2	
<b>Маса експлуатаційна (з баластом), кг</b>	6950	6620
<b>Тип ходової системи</b>	гусеничний	
<b>Ширина гусениць, мм</b>	390/470	
<b>Просвіт, мм:</b> дорожній	370	
<b>Габарити, мм</b> довжина (з навісною системою) x ширина x висота	4530x1850x2710	
<b>База, мм</b>	1612	



ЗАГАЛЬНІ ДАНІ	ДТ-75	ДТ-75Д
<b>ДВИГУН</b>		
<b>Модель</b>	Д- 440-22 (А-41)	
<b>Тип двигуна</b>	чотирициліндровий	
<b>Потужність експлуатаційна, кВт</b>	70	
<b>Питома витрата палива, г/кВт·год</b>	238	
<b>Частота обертання кольнвалу, об/хв</b>	1750	
<b>Робочий об'єм циліндрів, л</b>	7,43	
<b>ТРАНСМІСІЯ</b>		
<b>Муфта зчеплення</b>	суха двохдискова	
<b>Коробка передач</b>	7-східчаста з рухливими шестірнями; 7 передач переднього ходу, 1 - заднього	
<b>Задній вал відбору потужності (ВВП)</b>	одношвидкісний	
<b>Частота обертання ВВП, об/хв</b>	540 або 1000	

Трактори ДТ-75 можуть використовуватися для роботи на слабонесучих і вологих ґрунтах в агрегаті з різними сільськогосподарськими машинами; на дорожньо-будівельних, вантажно-розвантажувальних, меліоративних, транспортних і інших роботах. Низький питомий тиск гусениць трактора на ґрунт, відсутність буксування та підвищена прохідність забезпечують проведення польових робіт в оптимальні агротехнічні строки. Він відрізняється від аналогів простою конструкції, невисокою ціною, економічністю у витраті палива та можливістю тривалої експлуатації при недорогому технічному обслуговуванні.

До тракторів тягового класу 3,0 також відносяться гусеничні трактори загального призначення виробництва Харківського тракторного заводу [10, 14].

Представниками сільськогосподарських тракторів серії 150 є трактори загального призначення ХТЗ-150-03 і ХТЗ-150-09 (рис. 1.2) та серії 180 ХТЗ-153Б, ХТЗ-181, ХТЗ-201 (рис. 1.3). Загальна технічна характеристика тракторів ХТЗ-150-03 і ХТЗ-150-09 наведена у таблиці 1.2 [10, 14], ХТЗ-153Б, ХТЗ-181, ХТЗ-201 – у таблиці 1.3 [10, 14].



Рис. 1.2. Гусеничні трактори XT3-150-03, XT3-150-09 серії 150

Таблиця 1.2

Загальна технічна характеристика тракторів XT3-150-03, XT3-150-09

<b>ЗАГАЛЬНІ ДАНІ</b>	<b>XT3-150-03</b>	<b>XT3-150-09</b>
<b>Тяговий клас</b>	3	
<b>Швидкість руху трактора, км/год:</b> переднього ходу	4,3...15,6	4,26...15,31
заднього ходу	5,8...7,8	5,74...7,93
<b>Маса експлуатаційна (з баластом), кг</b>	7950	8150
<b>Радіус ведучої зірочки, м</b>	0,379	
<b>Просвіт, мм: дорожній (під заднім мостом)</b>	300	
<b>Габарити, мм</b> довжина (з навісною системою) x ширина x висота	5000x1880x2680	
<b>База, мм</b>	1800	
<b>ДВИГУН</b>		
<b>Тип</b>	дизельний, шостициліндровий	
<b>Потужність експлуатаційна, кВт</b>	117,7	128,7
<b>Питома витрата палива, г/кВт-год</b>	217	220
<b>Частота обертання колінвалу, об/хв</b>	2000	2100
<b>ТРАНСМІСІЯ</b>		
<b>Муфта зчеплення</b>	суха двухдискова	
<b>Коробка передач</b>	механічних, гідрокерованих 9 передач переднього ходу, 3 - заднього	
<b>Гальма</b>	стрічкові	
<b>Частота обертання ВВП, об/хв</b>	540 і 1000	



Рис. 1.3. Гусеничні трактори ХТЗ-153Б, ХТЗ-181, ХТЗ-201 серії 180

Таблиця 1.3

Загальна технічна характеристика тракторів ХТЗ-153Б, ХТЗ-181, ХТЗ-201

ЗАГАЛЬНІ ДАНІ	ХТЗ-153Б	ХТЗ-181	ХТЗ-201
<b>Тяговий клас</b>	3		
<b>Швидкість руху трактора, км/год:</b> переднього ходу заднього ходу	4,3...15,6 5,8...8,1	4,26...15,31 5,74...7,93	2,76...49,7 4,18...6,99
<b>Маса експлуатаційна, кг</b>	8260	9050	9100
<b>Просвіт, мм:</b> дорожній (під заднім мостом)	300		
<b>Габарити, мм</b> довжина (з навісною системою) x ширина x висота	5250x1880x3075	5455x1880x3075	5600x1880x3075
<b>База, мм</b>	1800	2300	
<b>ДВИГУН</b>			
<b>Модель</b>	ВФ6М1013Е	ЯМЗ-238КМ 2-2	ЯМЗ-236Д
<b>Тип</b>	шести-циліндровий	восьми-циліндровий	шести-циліндровий
<b>Потужність експлуатаційна, кВт</b>	125	139,7	128,7
<b>Питома витрата палива, г/кВт·год</b>	217	220	
<b>Частота обертання колінвалу, об/хв</b>	2000	2100	

ЗАГАЛЬНІ ДАНІ	ХТЗ-153Б	ХТЗ-181	ХТЗ-201
<b>ТРАНСМІСІЯ</b>			
<b>Муфта зчеплення</b>	суха однодискова	суха двухдискова	
<b>Коробка передач</b>	механічна, гідрокерована, 9 передн. ходу, 3 - задн. ходу	механічна, гідрокерована, 8 передн. ходу, 4 - задн. ходу	
<b>Гальма</b>	стрічкові		
<b>Вал відбору потужності (ВВП)</b>	задній незалежний, двошвидкісний		
<b>Частота обертання ВВП, об/хв</b>	540 і 1000		

Трактор ХТЗ-181 – це модернізована версія відомого трактора Т-150-09, яка, в поєднанні з модифікованою трансмісією, ходовою, системами управління, ергономічним дизайном і підвищеним комфортом для оператора, дозволяє використовувати трактор в сучасних сільськогосподарських технологіях, з більш вищим тяговим зусиллям.

Тому, подальші дослідження тягових показників гусеничних тракторів з номінальним тяговим зусиллям 30 кН при роботі на різних агрофонах будуть проводитися на прикладі сільськогосподарського трактора загального призначення ХТЗ-181.

### **1.3. Обґрунтування об'єкта досліджень. Мета і задачі досліджень**

На даний час гусеничними рушіями оснащено понад чверть усіх транспортно-технологічних машин. Даний тип рушія добре зарекомендував себе за умови роботи машин, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення, на полях із складним рельєфом, перезволожених ґрунтах.

Особливе місце у виконанні технологічних операцій гусеничними машинами відводиться забезпеченню прохідності, плавності ходу і поворотності, що дуже важливо для сільського господарства.

Тому що гусеничні трактори мають менший показник впливу та менший питомий тиск на ґрунт, більшу прохідність, дозволяючи на один-два тижні раніше починати польові роботи, що дає можливість одержувати більш високі врожаї не тільки за рахунок меншого ущільнення ґрунту, але і за рахунок підвищення якості технологічного процесу, то вони знаходять все більше використання при виконанні сільськогосподарських робіт.

Машини з гусеничним приводом дуже різноманітні по конструкції і призначенню. Гусеничний рушій є одним з найважливіших механізмів, що визначає тягові якості, продуктивність, економічність і надійність всіх цих машин.

У цьому зв'язку **об'єктом дослідження** у виконуваний роботі є процеси, що відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-енергетичних показників.

**Предмет дослідження** у виконуваний роботі є функціональні залежності, що описують процеси, які відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах.

**Метою досліджень** даної роботи є дослідження зміни тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.

Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Зробити тяговий розрахунок гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
2. Розрахувати і побудувати теоретичні тягові характеристики гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
3. Проаналізувати теоретичні тягові характеристики гусеничного трактора тягового класу 3,0 при роботі на різних агрофонах.
4. Розробити карту контролю гусеничного трактора тягового класу 3,0 по показникам безпеки.

#### **1.4. Висновки по розділу**

У зв'язку з тим, що гусеничні трактори мають менший показник впливу та менший питомий тиск на ґрунт, більшу прохідність, дозволяючи на один-два тижні раніше починати польові роботи, що дає можливість одержувати більш високі врожаї не тільки за рахунок меншого ущільнення ґрунту, але і за рахунок підвищення якості технологічного процесу, то вони знаходять все більше використання при виконанні сільськогосподарських робіт. Тому, є необхідним проведення досліджень процесів, що відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-економічних показників.

## РОЗДІЛ 2.

### ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАСУ 3,0

Метою тягового розрахунку трактора є визначення тягово-зчіпних, швидкісних і економічних якостей гусеничного трактора при прямолінійному поступальному русі на різних агрофонах.

Тяговий розрахунок гусеничного трактора виконується для визначення вагових параметрів, потужності і швидкостей руху, що забезпечують досліджуваному трактору задані тягові якості при роботі на різних агрофонах [5, 8, 12, 13, 16].

Тяговий розрахунок гусеничного трактора в умовах роботи на різноманітних ґрунтах виконується на прикладі трактора ХТЗ-181. Загальна характеристика трактора ХТЗ-181 наведена в таблиці 1.3.

#### 2.1. Визначення вагових параметрів трактора

Максимальна експлуатаційна маса трактора визначається з умови забезпечення необхідної дотичної сили тяги з урахуванням компенсації зовнішніх втрат, що враховуються коефіцієнтом опору коченню.

Для гусеничного трактора  $m_{\max}$  [12, 13], кг

$$m_{\max} = \frac{P_{kp_{н1}}}{(\varphi_{дон} - 0,5 \cdot f) \cdot g}, \quad (2.1)$$

де:  $P_{kp_{н1}}$  – номінальна сила тяги на гаку, Н;

$\varphi_k$  – коефіцієнт використання зчіпної ваги гусеничного трактора на:

- перелігу  $\varphi_k = 0,9 \dots 1,1$ ;
- стерні  $\varphi_k = 0,8 \dots 1,0$ ;
- злежаний оранці  $\varphi_k = 0,7$ ;
- поораному полі  $\varphi_k = 0,6 \dots 0,8$ ;
- полі, підготовленому під посів  $\varphi_k = 0,6 \dots 0,7$ ;
- болотно-торф'яній цілині  $\varphi_k = 0,4 \dots 0,6$ ;

$f$  – коефіцієнт опору коченню гусеничного трактора на:

- перелігу  $f = 0,06 \dots 0,07$ ;
- стерні  $f = 0,06 \dots 0,08$ ;
- злежаній оранці  $f = 0,07 \dots 0,09$ ;
- поораному полі  $f = 0,08 \dots 0,1$ ;
- полі, підготовленому під посів  $f = 0,09 \dots 0,12$ ;
- болотно-торф'яній цілині  $f = 0,11 \dots 0,14$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Максимальна експлуатаційна маса гусеничного трактора буде дорівнювати при роботі трактора на:

– перелігу

$$m_{\max(f=0,06, \varphi=1,1)} = \frac{30000}{(1,1 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,06) \cdot 9,81} = 2858 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,07, \varphi=0,9)} = \frac{30000}{(0,9 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,07) \cdot 9,81} = 3535 \text{ кг};$$

– стерні

$$m_{\max(f=0,06, \varphi=1,0)} = \frac{30000}{(1 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,06) \cdot 9,81} = 3153 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,08, \varphi=0,8)} = \frac{30000}{(0,8 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,08) \cdot 9,81} = 4024 \text{ кг};$$

– злежаній оранці

$$m_{\max(f=0,07, \varphi=0,7)} = \frac{30000}{(0,7 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,07) \cdot 9,81} = 4599 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,09, \varphi=0,7)} = \frac{30000}{(0,7 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,09) \cdot 9,81} = 4669 \text{ кг};$$

– поораному полі

$$m_{\max(f=0,08, \varphi=0,8)} = \frac{30000}{(0,8 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,08) \cdot 9,81} = 4024 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,1, \varphi=0,6)} = \frac{30000}{(0,6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1) \cdot 9,81} = 5560 \text{ кг};$$

– полі, підготовленому під посів

$$m_{\max(f=0,09, \varphi=0,7)} = \frac{30000}{(0,7 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,09) \cdot 9,81} = 4669 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,12, \varphi=0,6)} = \frac{30000}{(0,6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,12) \cdot 9,81} = 5663 \text{ кг};$$



– болотно-торф'яній цілині

$$m_{\max(f=0,11,\varphi=0,6)} = \frac{30000}{(0,6 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,11) \cdot 9,81} = 5611 \text{ кг};$$

$$m_{\max(f=0,14,\varphi=0,4)} = \frac{30000}{(0,4 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,14) \cdot 9,81} = 9267 \text{ кг}.$$

Мінімальна експлуатаційна маса  $m_{\min}$  при роботі гусеничного трактора на:

$$m_{\min} = (0,9 \dots 0,95) \cdot m_{\max}, \quad (2.2)$$

– перелігу

$$m_{\min(f=0,06,\varphi=1,1)} = 0,92 \cdot 2858 = 2629 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,07,\varphi=0,9)} = 0,92 \cdot 3535 = 3252 \text{ кг};$$

– стерні

$$m_{\min(f=0,06,\varphi=1,1)} = 0,92 \cdot 3153 = 2901 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,07,\varphi=0,9)} = 0,92 \cdot 4024 = 3702 \text{ кг};$$

– злежаній оранці

$$m_{\min(f=0,07,\varphi=0,7)} = 0,92 \cdot 4599 = 4231 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,09,\varphi=0,7)} = 0,92 \cdot 4669 = 4295 \text{ кг};$$

– поораному полі

$$m_{\min(f=0,08,\varphi=0,8)} = 0,92 \cdot 4024 = 3702 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,1,\varphi=0,6)} = 0,92 \cdot 5560 = 5115 \text{ кг};$$

– полі, підготовленому під посів

$$m_{\min(f=0,09,\varphi=0,7)} = 0,92 \cdot 4669 = 4295 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,12,\varphi=0,6)} = 0,92 \cdot 5663 = 5210 \text{ кг};$$

– болотно-торф'яній цілині

$$m_{\min(f=0,11,\varphi=0,6)} = 0,92 \cdot 5611 = 5162 \text{ кг};$$

$$m_{\min(f=0,14,\varphi=0,4)} = 0,92 \cdot 9267 = 8526 \text{ кг}.$$

## 2.2. Визначення номінальної потужності двигуна

Номінальна потужність двигуна  $N_n$  [12, 13], кВт

$$N_n = \frac{(P_{кпн1} + f \cdot m_{\max} \cdot g) \cdot V_{н1}}{3600 \cdot \eta_{тп} \cdot \chi_s} \quad (2.3)$$

де:  $V_{н1}$  – нижча робоча швидкість,  $V_{н1} = 10 \text{ км/год}$ ;

$\eta_{mp}$  – механічний ККД трансмісії,  $\eta_{mp} = 0,88 \dots 0,93$ ;

$\chi_s$  – коефіцієнт експлуатаційного навантаження двигуна,  $\chi_s = 0,85 \dots 0,9$ .

Номинальна потужність двигуна  $N_n$  при роботі гусеничного трактора на:

– перелігу

$$N_{n(f=0,06)} = \frac{(30000 + 0,06 \cdot 2858 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 117,66 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,07)} = \frac{(30000 + 0,07 \cdot 3535 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 120,42 \text{ кВт};$$

– стерні

$$N_{n(f=0,06)} = \frac{(30000 + 0,06 \cdot 3153 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 118,3 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,08)} = \frac{(30000 + 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 123,14 \text{ кВт};$$

– злежаний оранці

$$N_{n(f=0,07)} = \frac{(30000 + 0,07 \cdot 4599 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 123,14 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,09)} = \frac{(30000 + 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 126,72 \text{ кВт};$$

– поораному полі

$$N_{n(f=0,08)} = \frac{(30000 + 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 123,14 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,1)} = \frac{(30000 + 0,1 \cdot 5560 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 131,66 \text{ кВт};$$

– полі, підготовленому під посів

$$N_{n(f=0,09)} = \frac{(30000 + 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 126,72 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,12)} = \frac{(30000 + 0,12 \cdot 5663 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 136,16 \text{ кВт};$$

– болотно-торф'яній цілині

$$N_{n(f=0,11)} = \frac{(30000 + 0,11 \cdot 5611 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 133,89 \text{ кВт};$$

$$N_{n(f=0,14)} = \frac{(30000 + 0,14 \cdot 9267 \cdot 9,81) \cdot 10}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,85} = 158,67 \text{ кВт};$$

### 2.3. Розрахунок регуляторної характеристики двигуна

Номінальний крутний момент двигуна [12, 13],  $M_n$ ,  $H\cdot m$

$$M_n = 9550 \cdot \frac{N_n}{n_n}. \quad (2.4)$$

Номінальний крутний момент двигуна,  $M_n$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$M_{n(f=0,06)} = 9550 \cdot \frac{117,66}{2100} = 535,07 \text{ } H\cdot m;$$

$$M_{n(f=0,07)} = 9550 \cdot \frac{120,42}{2100} = 547,62 \text{ } H\cdot m.$$

Номінальний крутний момент двигуна  $M_n$  при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Номінальна годинна витрата палива [12, 13]  $G_{m_n}$ ,  $кг/год$

$$G_{m_n} = 10^{-3} \cdot g_{e_n} \cdot N_n, \quad (2.5)$$

де  $g_{e_n}$  – номінальна питома витрата палива (за прототипом),  $г/кВт\cdot год$ .

Номінальна годинна витрата палива  $G_{m_n}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$G_{Tn(f=0,06)} = 10^{-3} \cdot 220 \cdot 117,66 = 25,89 \text{ } кг/год;$$

$$G_{Tn(f=0,07)} = 10^{-3} \cdot 220 \cdot 120,42 = 26,49 \text{ } кг/год.$$

Номінальна годинна витрата палива  $G_{m_n}$  при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Годинна витрата палива на холостому ході  $G_{m_x}$ ,  $кг/год$

$$G_{m_x} = (0,25 \dots 0,3) G_{m_n} \quad (2.6)$$

Годинна витрата палива на холостому ході  $G_{mx}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$G_{Tx(f=0,06)} = 0,25 \cdot 25,89 = 6,47 \text{ кг/год};$$

$$G_{Tx(f=0,07)} = 0,25 \cdot 26,49 = 6,62 \text{ кг/год}.$$

Годинна витрата палива на холостому ході  $G_{mx}$  при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Максимальна частота обертання двигуна на холостому ході [12, 13]  $n_x$ ,  $xv^{-1}$

$$n_{x.x} = n_n \cdot \frac{2 + \delta_p}{2 - \delta_p} \quad (2.7)$$

де  $\delta_p$  – ступінь нерівномірності роботи регулятора,  $\delta_p = 0,06 \dots 0,08$ .

$$n_x = 2100 \cdot \frac{2 + 0,06}{2 - 0,06} = 2230 \text{ } xv^{-1}.$$

Поточні значення потужності двигуна  $N_e$ , крутного моменту  $M_\delta$  та годинної витрати палива  $G_m$  визначаються згідно таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри регуляторної характеристики двигуна

Частота обертання вала двигуна, $n$ , $xv^{-1}$	$0,5 \cdot n_n$	$0,6 \cdot n_n$	$0,7 \cdot n_n$	$0,8 \cdot n_n$	$0,9 \cdot n_n$	$n_n$	$n_{x.x}$
Потужність двигуна ефективна, $N_e$ , $кВт$	$0,53 \cdot N_n$	$0,67 \cdot N_n$	$0,78 \cdot N_n$	$0,87 \cdot N_n$	$0,95 \cdot N_n$	$N_n$	0
Крутний момент, $M_\delta$ , $Н \cdot м$	$1,06 \cdot M_n$	$1,11 \cdot M_n$	$1,10 \cdot M_n$	$1,09 \cdot M_n$	$1,06 \cdot M_n$	$M_n$	0
Годинна витрата палива, $G_m$ , $кг/ч$	$0,62 \cdot G_{mn}$	$0,73 \cdot G_{mn}$	$0,82 \cdot G_{mn}$	$0,89 \cdot G_{mn}$	$0,95 \cdot G_{mn}$	$G_{mn}$	$G_{mx}$

Результати розрахунку регуляторної характеристики двигуна для кожного агрофону зводяться в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

## Параметри регуляторної характеристики двигуна

Частота обертання вала двигуна, $n$ , $xv^{-1}$		$0,5 \cdot n_n$	$0,6 \cdot n_n$	$0,7 \cdot n_n$	$0,8 \cdot n_n$	$0,9 \cdot n_n$	$n_n$	$n_{x.x}$
Частота обертання вала двигуна, $n$ , $xv^{-1}$		1050	1260	1470	1680	1890	2100	2230
<b>1</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Переліг (<math>f = 0,06...0,07</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, $kBm$	$N_{e(f=0,06)}$	62,36	78,83	91,77	102,36	111,78	117,66	–
	$N_{e(f=0,07)}$	63,82	80,68	93,93	104,77	114,4	120,42	–
Крутний момент, $H \cdot m$	$M_{\partial(f=0,06)}$	567,17	593,93	588,58	583,23	567,17	535,07	–
	$M_{\partial(f=0,07)}$	580,48	607,86	602,38	596,91	580,48	547,62	–
Годинна витрата палива, , $kg/ч$	$G_{m(f=0,06)}$	16,05	18,9	21,23	23,04	24,6	25,89	6,47
	$G_{m(f=0,07)}$	16,42	19,34	21,72	23,58	25,17	26,49	6,62
<b>Стерня (<math>f = 0,06...0,08</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, $kBm$	$N_{e(f=0,06)}$	62,7	79,26	92,27	102,92	112,39	118,3	–
	$N_{e(f=0,08)}$	65,26	82,5	96,05	107,13	116,98	123,14	–
Крутний момент, $H \cdot m$	$M_{\partial(f=0,06)}$	570,26	597,16	591,78	586,4	570,26	537,98	–
	$M_{\partial(f=0,08)}$	593,59	621,59	615,99	610,39	593,59	559,99	–
Годинна витрата палива, , $kg/ч$	$G_{m(f=0,06)}$	16,14	19	21,34	23,17	24,73	26,03	6,51
	$G_{m(f=0,08)}$	16,8	19,78	22,21	24,11	25,74	27,09	6,77
<b>Злежана оранка (<math>f = 0,07...0,09</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, $kBm$	$N_{e(f=0,07)}$	65,26	82,5	96,05	107,13	116,98	123,14	–
	$N_{e(f=0,09)}$	67,16	84,9	98,84	110,25	120,38	126,72	–
Крутний момент, $H \cdot m$	$M_{\partial(f=0,07)}$	593,59	621,59	615,99	610,39	593,59	559,99	–
	$M_{\partial(f=0,09)}$	610,85	639,66	633,9	628,13	610,85	576,27	–
Годинна витрата палива, , $kg/ч$	$G_{m(f=0,07)}$	16,8	19,78	22,21	24,11	25,74	27,09	6,77
	$G_{m(f=0,09)}$	17,29	20,35	22,86	24,81	26,49	27,88	6,97
<b>Пооране поле (<math>f = 0,08...0,1</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, $kBm$	$N_{e(f=0,08)}$	65,26	82,5	96,05	107,13	116,98	123,14	–
	$N_{e(f=0,1)}$	69,78	88,21	102,69	114,54	125,08	131,66	–
Крутний момент, $H \cdot m$	$M_{\partial(f=0,08)}$	593,59	621,59	615,99	610,39	593,59	559,99	–
	$M_{\partial(f=0,1)}$	634,66	664,6	658,61	652,63	634,66	598,74	–

1		2	3	4	5	6	7	8
Годинна витрата палива, , кг/ч	$G_{m(f=0,08)}$	16,8	19,78	22,21	24,11	25,74	27,09	6,77
	$G_{m(f=0,1)}$	17,96	21,15	23,76	25,78	27,52	28,97	7,24
<b>Поле, підготовлене під посів (<math>f = 0,09...0,12</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, кВт	$N_{e(f=0,09)}$	67,16	84,9	98,84	110,25	120,38	126,72	–
	$N_{e(f=0,12)}$	72,16	91,23	106,2	118,46	129,35	136,16	–
Крутний момент, Н·м	$M_{\partial(f=0,09)}$	610,85	639,66	633,9	628,13	610,85	576,27	–
	$M_{\partial(f=0,12)}$	656,35	687,31	681,12	674,93	656,35	619,2	–
Годинна витрата палива, , кг/ч	$G_{m(f=0,09)}$	17,29	20,35	22,86	24,81	26,49	27,88	6,97
	$G_{m(f=0,12)}$	18,58	21,87	24,57	26,66	28,46	29,96	7,49
<b>Болотно-торф'яна цілина (<math>f = 0,11...0,14</math>)</b>								
Потужність двигуна ефективна, кВт	$N_{e(f=0,11)}$	70,96	89,71	104,43	116,48	127,2	133,89	–
	$N_{e(f=0,14)}$	84,1	106,31	123,76	138,04	150,74	158,67	–
Крутний момент, Н·м	$M_{\partial(f=0,11)}$	645,41	675,86	669,77	663,68	645,41	608,88	–
	$M_{\partial(f=0,14)}$	764,86	800,94	793,73	786,51	764,86	721,57	–
Годинна витрата палива, , кг/ч	$G_{m(f=0,11)}$	18,27	21,51	24,16	26,22	27,99	29,46	7,37
	$G_{m(f=0,14)}$	21,64	25,48	28,63	31,07	33,16	34,91	8,73

За значеннями таблиці 2.2 будується регуляторна характеристика двигуна для кожного агрофону (рис. 2.1).

З метою подальшого порівняння графіки (рис. 2.1) виконані в одній масштабній сітці, що дозволяє візуально відзначити зміни регуляторної характеристики гусеничного трактора при роботі на різних агрофонах.

З рис. 2.1 видно, що при роботі трактора на перелігі, стерні, злежаній оранці поораному полі та полі, підготовленому під посів регуляторна характеристика двигуна майже не змінюється, а на болотно-торф'яній цілині значно зростають потужність двигуна, крутний момент та годинна витрата палива.

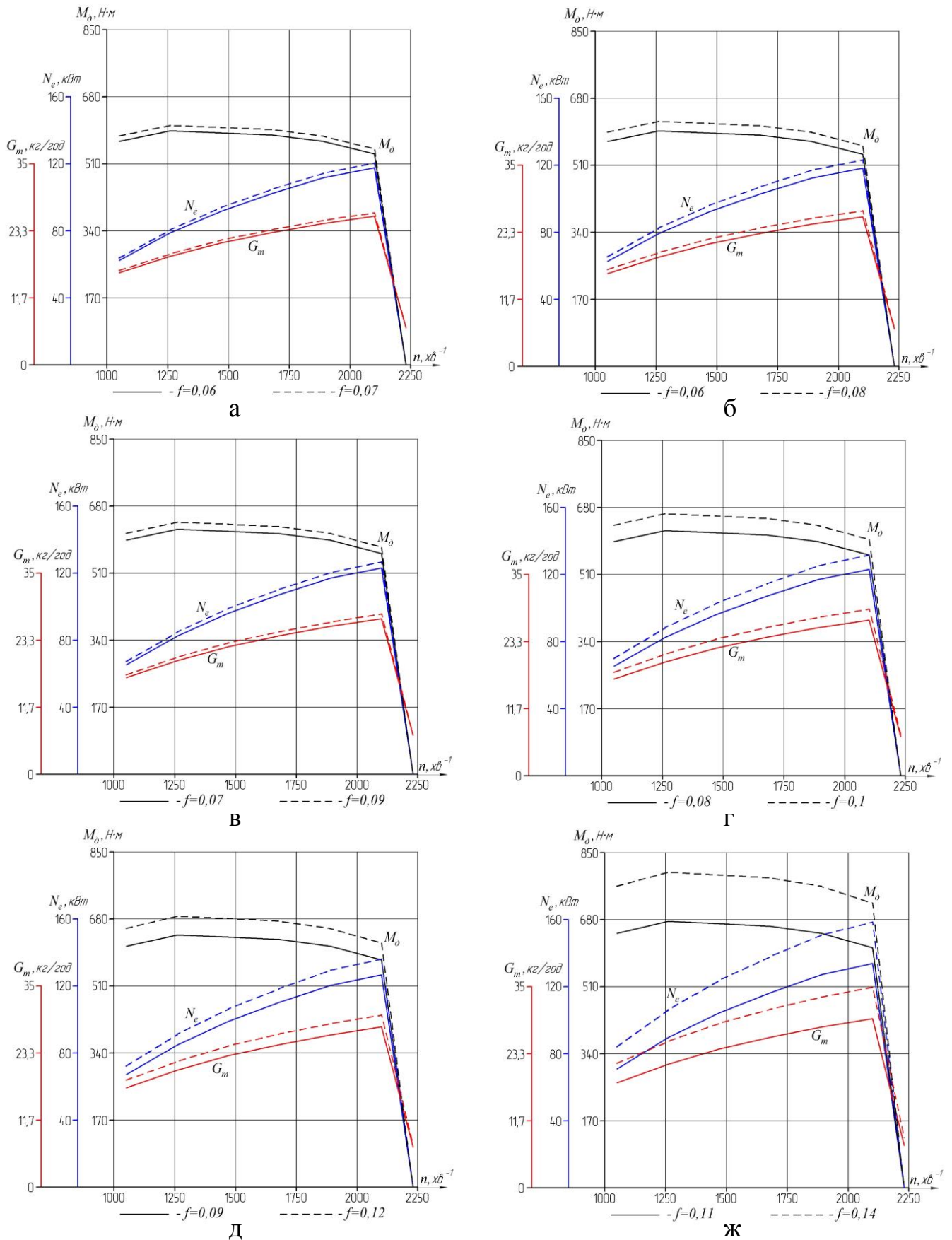


Рис. 2.1. Регуляторна характеристика двигуна при роботі гусеничного трактора на:  
а – перелігі; б – стерні; в – злежаній оранці; г – поораному полі;  
д – полі, підготовленому під посів; ж – болотно-торф'яній цілині

## 2.4. Визначення швидкостей руху трактора і тягових зусиль

Для кожного класу трактора існує визначений діапазон тягових навантажень  $\delta_m$ , утворюваний агрегатуємими сільськогосподарськими машинами [12, 13, 16]. Для забезпечення економічної роботи трактора у всьому діапазоні тягових навантажень необхідно змінювати передаточне число трансмісії таким чином, щоб при різноманітних значеннях дотичної сили на рушійх крутний момент на валу двигуна був у зоні мінімальних питомих витрат палива. Крутні моменти двигуна змінюються в однакових межах при роботі трактора на всіх передачах, якщо робочі швидкості підбираються за принципом геометричної прогресії.

Знаменник геометричної прогресії  $q$ :

$$q = \sqrt[z-1]{\frac{P_{крn1} + f \cdot m_{max} \cdot g}{\frac{P_{крn1}}{\delta_m} + f \cdot m_{min} \cdot g}}, \quad (2.8)$$

де:  $\delta_m$  – тяговий діапазон трактора,  $\delta_m = 2$ ;

$z$  – число основних робочих передач,  $z = 4$ .

Знаменник геометричної прогресії  $q$  при роботі трактора на:

– перелігу

$$q_{(f=0,06)} = \left( \frac{30000 + 0,06 \cdot 2858 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,06 \cdot 2629 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,24;$$

$$q_{(f=0,07)} = \left( \frac{30000 + 0,07 \cdot 3535 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,07 \cdot 3252 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,23;$$

– стерні

$$q_{(f=0,06)} = \left( \frac{30000 + 0,06 \cdot 3153 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,06 \cdot 2901 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,24;$$

$$q_{(f=0,08)} = \left( \frac{30000 + 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,08 \cdot 3702 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,23;$$

– злежаній оранці

$$q_{(f=0,07)} = \left( \frac{30000 + 0,07 \cdot 4599 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,07 \cdot 4231 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,23;$$

$$q_{(f=0,09)} = \left( \frac{30000 + 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,09 \cdot 4295 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,22;$$



– поораному полі

$$q_{(f=0,08)} = \left( \frac{30000 + 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,08 \cdot 3702 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,23;$$

$$q_{(f=0,1)} = \left( \frac{30000 + 0,1 \cdot 5560 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,1 \cdot 5115 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,21;$$

– полі, підготовленому під посів

$$q_{(f=0,09)} = \left( \frac{30000 + 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,09 \cdot 4295 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,22;$$

$$q_{(f=0,12)} = \left( \frac{30000 + 0,12 \cdot 5663 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,12 \cdot 5210 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,2;$$

– болотно-торф'яній цілині

$$q_{(f=0,11)} = \left( \frac{30000 + 0,11 \cdot 5611 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,11 \cdot 5162 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,21;$$

$$q_{(f=0,14)} = \left( \frac{30000 + 0,14 \cdot 9267 \cdot 9,81}{30000/2 + 0,14 \cdot 8526 \cdot 9,81} \right)^{(1/(4-1))} = 1,17.$$

Робочі швидкості руху по передачах  $V_{n_i}$ , км/год.

$$V_{n_2} = V_{n_1} \cdot q; \quad V_{n_3} = V_{n_1} \cdot q^2; \quad V_{n_4} = V_{n_1} \cdot q^3; \quad (2.9)$$

Робочі швидкості руху по передачах  $V_{n_i}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$V_{n2(f=0,06)} = 10 \cdot 1,24 = 12,4 \text{ км/год};$$

$$V_{n2(f=0,07)} = 10 \cdot 1,23 = 12,3 \text{ км/год};$$

$$V_{n3(f=0,06)} = 10 \cdot 1,24^2 = 15,38 \text{ км/год};$$

$$V_{n3(f=0,07)} = 10 \cdot 1,23^2 = 15,13 \text{ км/год};$$

$$V_{n4(f=0,06)} = 10 \cdot 1,24^3 = 19,07 \text{ км/год};$$

$$V_{n4(f=0,07)} = 10 \cdot 1,23^3 = 18,61 \text{ км/год}.$$

Робочі швидкості руху по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Для гусеничних тракторів радіус ведучої зірочки приймається за прототипом,  $r_3 = 0,379\text{ м}$  (табл. 1.3).

Передаточне число трансмісії нижчої передачі визначається з формули робочої швидкості трактора на нижчій передачі:

$$V_{n_1} = 0,377 \frac{r_3 \cdot n_n}{i_{mp_1}}.$$

Звідки передаточне число трансмісії нижчої передачі буде визначатися за рівнянням

$$i_{mp_1} = 0,377 \frac{r_3 \cdot n_n}{V_{n_1}}. \quad (2.11)$$

$$i_{mp_1} = 0,377 \cdot 0,379 \cdot 2100 / 10 = 30,01.$$

Тому що, робочій швидкості на нижчій передачі відповідає передаточне відношення трансмісії нижчої передачі, і навпаки, тобто

$$\frac{V_{n_z}}{V_{n_1}} = \frac{i_{mp_1}}{i_{mp_z}} = q, \quad (2.12)$$

то можна записати, що

$$\frac{i_{mp_2}}{i_{mp_1}} = \frac{i_{mp_3}}{i_{mp_2}} = \dots = \frac{i_{mp_z}}{i_{mp_{z-1}}} = \frac{1}{q}.$$

Звідси, передаточні числа трансмісії по передачах будуть дорівнювати

$$i_{mp_2} = \frac{i_{mp_1}}{q}, \quad i_{mp_3} = \frac{i_{mp_1}}{q^2}, \quad i_{mp_z} = \frac{i_{mp_1}}{q^{z-1}}. \quad (2.13)$$

Передаточні числа трансмісії по передачах при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$i_{mp_2(f=0,06)} = 30,01 / 1,24 = 24,2;$$

$$i_{mp_2(f=0,07)} = 30,01 / 1,23 = 24,4;$$

$$i_{mp_3(f=0,06)} = 30,01 / 1,24^2 = 19,52;$$

$$i_{mp_3(f=0,07)} = 30,01 / 1,23^2 = 19,84;$$

$$i_{mp4(f=0,06)} = 30,01 / 1,24^3 = 15,74;$$

$$i_{mp4(f=0,07)} = 30,01 / 1,23^3 = 16,13.$$

Передаточні числа трансмісії по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Номінальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa_n}$ ,  $H$

$$P_{\kappa_{ni}} = \frac{M_n \cdot i_{mp_i} \cdot \eta_{mp}}{r_3}, \quad (2.14)$$

де:  $M_n$  - номінальний кружний момент двигуна,  $Hm$ .

Номінальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa_n}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$P_{\kappa_{n1}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 30,01 \cdot 0,88}{0,379} = 37283,79 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n1}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 30,01 \cdot 0,88}{0,379} = 38158,28 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n2}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 24,2 \cdot 0,88}{0,379} = 30065,57 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n2}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 24,4 \cdot 0,88}{0,379} = 31025,06 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n3}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 19,52 \cdot 0,88}{0,379} = 24251,24 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n3}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 19,84 \cdot 0,88}{0,379} = 25226,93 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n4}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 15,74 \cdot 0,88}{0,379} = 19555,04 \text{ H};$$

$$P_{\kappa_{n4}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 16,13 \cdot 0,88}{0,379} = 20509,6 \text{ H}.$$

Номінальна дотична сила тяги по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Максимальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa_{\max}}$ ,  $H$

$$P_{\kappa_{\max_i}} = \frac{M_{\max} \cdot i_{mp_i} \cdot \eta_{mp}}{r_3}, \quad (2.15)$$

де:  $M_{\max}$  – максимальний кружний момент двигуна,  $Hm$

Максимальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa_{\max}}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$P_{\kappa_{\max 1}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 30,01 \cdot 0,88}{0,379} = 41385,17 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 1}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 30,01 \cdot 0,88}{0,379} = 42355,81 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 2}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 24,2 \cdot 0,88}{0,379} = 33372,91 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 2}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 24,4 \cdot 0,88}{0,379} = 34437,92 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 3}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 19,52 \cdot 0,88}{0,379} = 26918,98 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 3}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 19,84 \cdot 0,88}{0,379} = 28001,98 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 4}(f=0,06)} = \frac{535,07 \cdot 15,74 \cdot 0,88}{0,379} = 21706,18 H;$$

$$P_{\kappa_{\max 4}(f=0,07)} = \frac{547,62 \cdot 16,13 \cdot 0,88}{0,379} = 22765,72 H.$$

Максимальна дотична сила тяги по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Сила опору коченню  $P_f$ ,  $H$

$$P_f = f \cdot m_{\max} \cdot g \quad (2.16)$$

де:  $f$  – коефіцієнт опору коченню,

$g$  – прискорення вільного падіння.

Сила опору коченню  $P_f$  при роботі гусеничного трактора на:

– перелігу

$$P_{f(f=0,06)} = 0,06 \cdot 2858 \cdot 9,81 = 1682,22 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,07)} = 0,07 \cdot 3535 \cdot 9,81 = 2427,48 \text{ H};$$

– стерні

$$P_{f(f=0,06)} = 0,06 \cdot 3153 \cdot 9,81 = 1855,86 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,08)} = 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81 = 3158,04 \text{ H};$$

– злежаний оранці

$$P_{f(f=0,07)} = 0,07 \cdot 4599 \cdot 9,81 = 3158,13 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,09)} = 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81 = 4122,26 \text{ H};$$

– поораному полі

$$P_{f(f=0,08)} = 0,08 \cdot 4024 \cdot 9,81 = 3158,04 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,1)} = 0,1 \cdot 5560 \cdot 9,81 = 5454,36 \text{ H};$$

– полі, підготовленому під посів

$$P_{f(f=0,09)} = 0,09 \cdot 4669 \cdot 9,81 = 4122,26 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,12)} = 0,12 \cdot 5663 \cdot 9,81 = 6666,48 \text{ H};$$

– болотно-торф'яній цілині

$$P_{f(f=0,11)} = 0,11 \cdot 5611 \cdot 9,81 = 6054,83 \text{ H};$$

$$P_{f(f=0,14)} = 0,14 \cdot 9267 \cdot 9,81 = 12727,3 \text{ H}.$$

Номінальна сила тяги на крйку по передачах  $P_{крн}$ , H

$$P_{крн_i} = P_{кн_i} - P_f. \quad (2.17)$$

Номінальна сила тяги на крйку по передачах  $P_{крн}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$P_{крн1(f=0,06)} = 37283,79 - 1682,22 = 35601,57 \text{ H};$$

$$P_{крн1(f=0,07)} = 38158,28 - 2427,48 = 35730,8 \text{ H};$$

$$P_{крн2(f=0,06)} = 30065,57 - 1682,22 = 28383,35 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{H2}(f=0,07)} = 31025,06 - 2427,48 = 28597,58 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{H3}(f=0,06)} = 24251,24 - 1682,22 = 22569,02 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{H3}(f=0,07)} = 25226,93 - 2427,48 = 22799,45 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{H4}(f=0,06)} = 19555,04 - 1682,22 = 17872,82 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{H4}(f=0,07)} = 20509,6 - 2427,48 = 18082,12 \text{ H}.$$

Номінальна сила тяги на крЮку по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

Максимальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa p_{\max}}$ , H

$$P_{\kappa p_{\max i}} = P_{\kappa_{\max i}} - P_f. \quad (2.18)$$

Максимальна дотична сила тяги по передачах  $P_{\kappa p_{\max}}$  при роботі гусеничного трактора на перелігу

$$P_{\kappa p_{\max 1}(f=0,06)} = 41385,17 - 1682,22 = 39702,95 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 1}(f=0,07)} = 42355,81 - 2427,48 = 39928,33 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 2}(f=0,06)} = 33372,91 - 1682,22 = 31690,69 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 2}(f=0,07)} = 34437,92 - 2427,48 = 32010,44 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 3}(f=0,06)} = 26918,98 - 1682,22 = 25236,76 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 3}(f=0,07)} = 28001,98 - 2427,48 = 25574,5 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 4}(f=0,06)} = 21706,18 - 1682,22 = 20023,96 \text{ H};$$

$$P_{\kappa p_{\max 4}(f=0,07)} = 22765,72 - 2427,48 = 20338,24 \text{ H}.$$

Максимальна дотична сила тяги по передачах при роботі гусеничного трактора на стерні, злежаній оранці, поораному полі, полі, підготовленому під посів та болотно-торф'яній цілині розраховується аналогічно.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У зв'язку з тим, що гусеничні трактори мають менший показник впливу та менший питомий тиск на ґрунт, більшу прохідність, дозволяючи на один-два тижні раніше починати польові роботи, що дає можливість одержувати більш високі врожаї не тільки за рахунок меншого ущільнення ґрунту, але і за рахунок підвищення якості технологічного процесу, то вони знаходять все більше використання при виконанні сільськогосподарських робіт. Тому, є необхідним проведення досліджень процесів, що відбуваються при роботі гусеничного трактора тягового класу 3,0 на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-економічних показників.

2. При проведенні тягового розрахунку гусеничного трактора визначено його вагу, потужність двигуна, моменти, що підводяться до ведучих коліс, коефіцієнти корисної дії, діапазони швидкостей руху і відповідне передаточне число, тягові зусилля та витрати палива при різних режимах роботи. В результаті проведеного тягового розрахунку гусеничного трактора тягового класу 3,0 (на прикладі трактора ХТЗ-181) в умовах роботи на різних агрофонах встановлено, що при зміні агрофону від перелігу до болотно-торф'яної цілини потужність двигуна, крутний момент, швидкість руху трактора майже не змінюються, а сила опору кочення значно збільшується.

3. В результаті проведеного розрахунку теоретичної тягової характеристики гусеничного трактора тягового класу 3,0 в умовах роботи на різних агрофонах побудовані теоретичні тягові характеристики, які дають змогу проаналізувати зміну тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів тягового класу 3,0.

Аналіз зміни тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів тягового класу 3,0 (на прикладі трактора ХТЗ-181) при роботі на різних агрофонах показав, що за граничними значеннями параметрів агрофонів від перелігу до болотно-торф'яної цілини:

- збільшення маси трактора є досить значним і становить від 1,96 до 2,62 разів;

- збільшення номінальних значень потужності двигуна, годинної витрати і крутного моменту є незначним і становить від 1,14 до 1,32 разів;

- збільшення сили опору коченню є досить значним і становить від 3,6 до 5,24 разів;

- зменшення максимальної швидкості руху незначне і становить від 1,09 до 1,18 разів;

- зменшення максимального тягового ККД незначне і становить від 1,15 до 1,27 разів.

Необхідно відзначити, що визначення номінальних значень сили тяги на крюку визначалося для умов руху трактора по горизонтальній ділянці і зі сталою швидкістю, а номінальна потужність двигуна визначалося для трактора в загальному випадку руху, тобто трактор рухався із прискоренням і на підйом. Тому, при русі на горизонтальній ділянці зі сталою швидкістю трактор має запас дотичної сили тяги і як наслідок сили тяги на крюку від 5600 *H* – на перелігі до 7500 *H* – на болотно-торф'яній цілині.

4. В роботі багато уваги приділено вимогам безпеки експлуатації сільськогосподарської техніки, вимогам пожежної безпеки та безпеки у надзвичайних ситуаціях. Розроблена карта контролю тракторів тягового класу 3,0 за показниками безпеки (на прикладі трактора ХТЗ-181) надає можливість удосконалювати методичне забезпечення управлінням охороною праці і використовувати їх при контролі робочих місць за показниками безпеки у всіх випадках передавання техніки від одної матеріально-відповідальної особи іншій, у тому числі при укладенні угоди орендного підряду, організаційно-технологічній підготовці виробництва і оперативному контролю, а також підвищити якість проведення ремонтів, технічних оглядів.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ачкевич В.І., Чуба С.В. Ходові системи сучасної сільськогосподарської техніки // Наукові горизонти, 2018. – № 12 (73). – С. 74-80.
2. Беликов А.С., Сафонов В.В., Годяев С.Г. и др. Охрана труда в агропромышленном комплексе Украины: учебник для студентов высших учебных заведений Украины III-IV уровня аккредитации. – Черкассы, 2014 – 646 с.
3. Голотюк М.В. Оцінка впливу гусеничного рушія на ґрунт // Сільськогосподарські машини. – Вип. 40. – С. 44-51.
4. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. /А.Ф. Головчук, В.Ф. Орлов, О.П. Строков; За ред. А.Ф. Головчука. – К.: Грамота. – 2003. – Кн. 1: Трактори. – 336 с.: іл.
5. Котиков В.М., Ерхов А.В. Тракторы и автомобили. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 416 с.
6. Луценков В.Л., Бутко Д.А., Крыжачковский Н.Л. и др. Контроль тракторов, комбайнов и автомобилей по показателям безопасности. – К.: Урожай, 1993 – 296 с.
7. Макаров. В.С. Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машинирекомендаций по выбору их параметров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2015. – № 2 (109). – С. 170-176.
8. Мирошниченко А.Н. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 490 с.
9. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М., Абдула С.Л. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві: навчальний посібник. – Мелітополь, 2005. – 337 с., іл.
10. Панченко А.І., Волошина А.А. Сучасні трактори сільськогосподарського призначення. Трактори країн СНД: посібник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. – 176 с.

11. Панченко А.І., Волошина А.А. Сучасні трактори сільськогосподарського призначення. Закордонні трактори країн: посібник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. – 600 с.

12. Панченко А.І., Волошина А.А. Тяговий розрахунок трактора з механічною трансмісією: методичні вказівки з дисципліни «Трактори і автомобілі» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – ТДАТУ, 2020. – 34 с.

13. Панченко А.І., Волошина А.А., Болтянський О.В. Розрахунок експлуатаційних показників тракторів і автомобілів: методичні вказівки для курсового проекту з дисципліни «Трактори і автомобілі» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 46 с.

14. Продукція Харківського тракторного заводу ім. С. Орджонікідзе // Режим доступу: <http://www.xtz.ua>.

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

16. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 475 с.