

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

Навчально-науковий інститут загальноуніверситетської підготовки

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 ПОТУЖНІСТЮ 200...300 кВт
З ГІДРООБ'ЄМНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ
ПРИ РОБОТІ НА РІЗНИХ АГРОФОНАХ**

32МСД.077.000000ПЗ

Виконав: здобувач ВО 2 курсу 23 МБ АІ 3 групи
Спеціальності 208 Агроінженерія

за ОПП Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності та ОПП)

Олександр АВЕРКОВ

Керівник

Консультант

Нормоконтроль

Рецензент

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Перспективи розвитку світового тракторобудування

Криза, що охопила світову економіку, не може скасувати основних тенденцій у розвитку машинобудування і зокрема, тракторобудування. Можливе лише коректування деяких часткових положень, уточнення пріоритетів.

До 2008 р. світовий ринок сільгоспмашинобудування [19] становив близько 50 млрд. євро, з яких 15 млрд. доводилося на долю тракторів. Продаж тракторів сучасного технічного рівня «західного типу» складав близько 700 тис. шт. З урахуванням виробництва тракторів власної конструкції в Індії та Китаї загальний об'єм продажів становить близько 1 млн. тракторів у рік. Для порівняння об'єм продажів зернових комбайнів 35 тис. штук у рік. Найбільші ринки: США - 218 тис.; Західна Європа - 175 тис.; Канада - 24 тис.; Бразилія - 30 тис.; колишнього СРСР - 52 тис.; Середня і Східна Європа - 18 тис.; Африка - 16 тис. шт.

Виробництво зосереджене: у Західній Європі - 230 тис. шт. (з них в Італії - 83, Німеччині - 60, Франції - 28, Англії - 25, Фінляндії - 11 тис. штук). У Центральній і Східній Європі - 121 тис. штук, у США і Канаді - 120 тис. шт., Латинській Америці - 56,7 тис. шт., у Китаї - 154 тис. шт. (потужністю більше 25 кВт), в Індії - близько 300 тис.шт.

Досвід минулих років (в 97-98 р. у США і Канаді) показує, що кризові явища сприяють прискоренню концентрації виробництва: поглинанню дрібних тракторобудівних фірм, укрупненню корпорацій; крім того, у цей період різко знижується попит на особливо потужні і, відповідно найбільш дорогі типорозміри тракторів.

Сьогодні 6 фірм - фуллайнерів мають на світовому ринку сільськогосподарських тракторів долю понад 50%, а в Західній Європі і США - до 80%. Кожна з цих фірм пропонує споживачеві світовий типорозмірний ряд тракторів потужністю від 25 - 30 до 500 - 600 к.с. (рис. 1.1) [19].

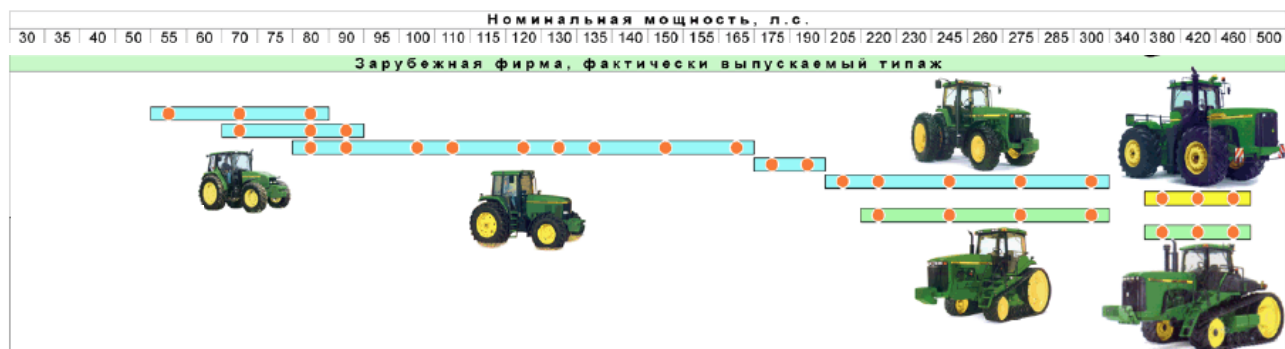


Рис. 1.1. Сільськогосподарські трактори

Типорозмірний ряд світового лідера Джон Дір містить 32 базові моделі (не вважаючи модифікацій і комплектацій). Містить 6 сімейств колісних і 2 сімейства гусеничних тракторів. Сімейства містять по 3-4 моделі машин різних по потужності, але практично на одній платформі [9,19].

Гусеничні трактори оснащуються гумовими гусеницями та близько уніфіковані з колісними машинами аналогічної потужності. Подібним чином побудовані ряди і в інших гігантів: Кейс, Нью Холланд і т.д.

Хід «боротьби» між колісними й гусеничними тракторами визначається технічними досягненнями в області конструкції рушія [19]. До 30-х років минулого століття суперничали сталеві колеса та сталеві гусениці. Переваги гусениць - у тягових властивостях і тиску на ґрунт, недолік - низька довговічність. З появою в 30-х роках минулого століття пневматичних шин на тракторах співвідношення різко змінилося на користь колісних тракторів і гусеничні були практично витиснуті зі світових сільськогосподарських ринків. Переваги колісних тракторів у швидкості, асфальтохідності, і т.д. В міру росту мас і потужностей колісних тракторів усе більше критичними ставали обмеження по тиску на ґрунт, масі й габаритам машини. Підійшли до межі по ширині (з позицій виходу на дороги загального користування). Одночасно з'явилися нові рішення по гумовоармірованим гусеницям. Тому в сегменті дорогою і важкою високопродуктивною технікою найбільші фірми почали робити гусеничні моделі нового рівня, як правило уніфіковані з колісними побратимами. Фірми Челленджер і Джон Дир роблять гусеничний рушій із фрикційним зачепленням (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Трактор Challenger 755С



Рис. 1.3. Трактор Case

Перевага - простота конструкції. Недоліки - значні (до 22 тонн) зусилля натягу гусениць і необхідність їх строгого контролю; труднощі підресорювання ходової системи. Звертає увагу прагнення до максимального збільшення опорної поверхні: ведуче і натяжне колеса опущені на ґрунт. Крім того, приймаються міри до зрушення вперед центра мас трактора щодо опорної поверхні за рахунок компоновання машини та застосування баластових вантажів.

Прагнення позбутися від фрикційної передачі крутного моменту приводить в остаточному підсумку до трикутної форми гусеничного обводу (рис. 1.3 і 1.4). Трактор Кейс Кводтрак із чотирма гусеничними ходами встановленими замість коліс має судячи, по відкликаннях, підвищену вібрацію, а трактор НАТИ-04, сконструйований спеціально як гусеничний трактор, має індивідуальну підвіску опорних котків і оптимальне положення центра мас за рахунок зсуву вперед ведучого мосту (рис. 1.5). У подібній конструкції є резерви й для подальшого підвищення потужності з відповідним розвитком ходової системи.

В 60-х - 70-х роках минулого століття були поставлені на виробництво на Кіровцях і Т-150 східчасті коробки передач із перемиканням без розриву потоку потужності. У той час по масштабах застосування таких трансмісій вітчизняні підприємства перевершували будь-яку світову фірму. Однак, закордонні конкуренти ступнули вперед і сьогодні подібні трансмісії домінують на тракторах всіх фірм потужністю 80 к.с. і вище, але вже оснащуються електронно-гідравлічним керуванням і пристосовані до автоматичного перемикання передач.



Рис. 1.4. Трактор Case IH Quadtrac 485



Рис. 1.5. Трактор НАТИ-04

Серйозну конкуренцію цьому типу трансмісії роблять безступінчасті двухпотокові трансмісії з використанням гідروб'ємної передачі в паралельному потоці. Їх перевага - безступінчастість, недолік - трохи нижчий ККД.

1.2. Аналіз гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт

В останні роки у зв'язку жорсткістю вимог до збереження родючого шару ґрунту, зниженню ущільнення й руйнуванню його структури у нас в країні та за рубежом росте інтерес до гусеничних тракторів, які в цій частині вигідно відрізняються від колісних.

Гусеничні трактори менше пробуксовують, особливо на вологих ґрунтах, у них значно більше площа контакту із ґрунтом. Вони забезпечують можливість більш раннього і більш пізнього (на три-п'ять днів) проведення відповідно весняних і осінніх польових робіт, які неможливо виконати колісними тракторами. Елементи ходових систем гусеничних тракторів, особливо закордонних, оснащених більше еластичними гумовими гусеницями, краще гасять коливання від нерівностей ґрунту, що підвищує плавність ходу машин. У зв'язку з відсутністю передніх коліс на гусеничних тракторах краща оглядовість.

При подальшому підвищенні потужності загострюється проблема зчеплення ходової системи трактора із ґрунтом для реалізації збільшення тягових

зусиль. Краще вона вирішується тракторами з гусеничною ходовою системою, тому вони розвивають більш високі тягову потужність і тяговий ККД. З огляду на це, повнопривідним колісним тракторам класичного компонування на відміну від гусеничних стає скрутним передавати всю потужність за допомогою пневматичних шин коліс, а їх здвоювання значно збільшує габаритну ширину, унеможливаючи переміщення таких тракторів по дорогах із твердим покриттям. Саме тому в діапазоні високих потужностей гусеничні трактори представляють значно більший інтерес для аграріїв, чим колісні.

Всіх цих переваг гусеничних тракторів не применшують навіть складності, що виникають у забезпеченні їх правильного баластування для запобігання значного перерозподілу навантажень на гусеничні обводи при виконанні тягових робіт, а також обмеження швидкості на дорогах із твердим покриттям і ушкодження ґрунту при різких поворотах.

Стандартні гусеничні трактори високої потужності переважно використовуються як на енергоємних роботах загального призначення по обробці ґрунту, так і на дорожньо-будівельних і меліоративних роботах з переміщення ґрунту.

Аналіз показав [9,19], що на сьогоднішній день основними виробниками гусеничних тракторів являються компанії Challenger та John Deere.

Трактори Challenger – результат десятиліть лідерства в розробці і виробництві машин на гумових гусеницях. Тому детальніше зупинимося на тракторах Challenger потужністю 200...300 кВт.

Серія тракторів MT700B (рис. 1.6) та MT800B (рис.1.7) – це нове покоління потужних гусеничних тракторів від Challenger, які розширюють межі ефективності та продуктивності.

Трактори серії Challenger ідеальні для робіт, що вимагають високого тягового зусилля, наприклад, при використанні глибокорозпушувачів, широкозахватних культиваторів, дискових борін, пневматичних сівалок або причіпних скреперів.



Рис. 1.6. Трактор Challenger MT700



Рис. 1.7. Трактор Challenger MT800

Трактори Challenger серій MT700У, MT800У нове покоління потужних сільськогосподарських тракторів на гумових гусеницях. Ці машини сполучають у собі видатну потужність, новітні технології й універсальність. Ці машини мають найвищу транспортну швидкість серед гусеничних тракторів. Права та ліва сторона шасі переміщається незалежно друг від друга, а наявність стабілізатора поперечної стійкості дозволяє кожній гусениці м'яко перекочуватися по перешкодах.

На моделях серії MT700В (табл. 1.1) встановлені двигуни Caterpillar C9 ACERT, виготовлені з використанням новітніх технологій, що, в свою чергу, забезпечує їх відповідність всім вимогам екологічної безпеки згідно вимог нормативів контролю токсичності Tier III; на моделях серії MT800В (табл. 1.1) - Caterpillar C15 ACERT Tier III.

Таблиця 1.1

Технічна характеристика гусеничних тракторів Challenger потужністю 200...300 кВт [14]

Модель	MT745B	MT755B	MT765B	MT835B	MT845B
Двигун	CAT® C9 ACERT™			CAT® C15 ACERT™	
Потужність двигуна, к.с. (кВт)					
номінальна	269 (200)	301 (224)	320 (238)	350 (260)	400 (298)
максимальна	277 (206)	310 (231)	330 (246)	368 (274)	420 (313)
Питома витрата палива, г/кВт.год	220				

Модель	MT745B	MT755B	MT765B	MT835B	MT845B
Частота обертання колінвалу, об/хв	2100				
Запас крутного моменту, % при частоті обертання об/хв	42% при 1400				
Робочий об'єм двигуна, л	8,8		15,2		18,1
Паливна система (керування упорскуванням)	Common Rail, електронне управління				
Трансмісія	Caterpillar®, Powershift, 16 передач вперед /4 назад				
Максимальна швидкість, км/год	39,6				
Гідролічна система	Система пропорційної подачі масла незалежно від навантаження			Система пропорційної подачі масла незалежно від навантаження (Load Independent Flow Division)	
Максимальний потік (стандарт / опція), л/хв	167,5 / 224,2				
Золотникові гідроклапани, шт	4/до 6 - опція				
Максимальний тиск системи, Бар	200				
Ходова частина					
Колісна база, мм	2438			3000	
Підвіска поперечної балки	2 пружини Marsh Mellow				
Підвіска ходової частини	Опорні котки на підвісці				
Передні катки	Вузькі, широкі			Середні, широкі	
Опорні котки	Вузькі, середні, широкі			Середні, широкі	
Приводні катки	Вузькі, середні, широкі			Середні, широкі	

Модель	MT745B	MT755B	MT765B	MT835B	MT845B
Ємність паливного бака, л	Стандарт - 446, бак збільшеної ємності - 560 (опція)			Стандарт - 1155, бак збільшеної ємності - 1249 (опція)	1249
Гусениці, ширина					
Загального призначення, мм	406.4; 457.2; 508; 635; 762			698, 762, 914	
Для важких умов, мм	406.4; 457.2; 635; 762			698, 762, 914	
Для надважких умов, мм	355.6; 406.4; 457.2; 635			698, 762, 914	
Радіус ведущого катка, мм	775				
Вал відбору потужності (опція), об/хв	1000				
Розміри					
Базова колія, мм	3048				
Ширина з гусеницями 635 мм, мм	2936			-	
Ширина з гусеницями 698 мм, мм	-			3746	
Ширина з гусеницями 762 мм, мм	3036			3810	
Ширина з гусеницями 914 мм, мм	-			3962	
Висота без маячка, мм	3444			3509	
Експлуатаційна маса, кг	12000			15000	

В стандартній комплектації трактори серії MT700B [9,16] оснащені надійною і перевіреною трансмісією Powershift 16/4. Це коробка передач була спеціально розроблена компанією Catterpillar для гусеничних тракторів і здатна передати величезну потужність і крутний момент двигунів безпосередньо на гусениці. На сьогоднішній день це самі витривалі та довговічні трансмісії в галузі.

Гідравлічний насос з продуктивністю 166 л/хв. (стандартна комплектація), або 223 л/хв (опція) забезпечує всі потреби машини в гідравлічній потужності навіть при виконанні найбільш складних завдань. Машини серії MT700B в стандартній комплектації оснащені чотирма електрогідравлічними золотниковими клапанами. На замовлення можуть встановлюватися, додатково, 5-й і 6-й клапани, завдяки яким створюється тиск, що дозволяє використовувати обладнання з великими потребами в гідравлічній потужності.

Великий вибір опцій ходової частини, що включає 4 варіанти ширини гусениць і 3 варіанти ширини колії, дозволяє пристосувати Challenger серії MT700B для виконання всіх необхідних робіт. Удосконалена система Mobil-Trac™ забезпечує кращу прохідність і їздові якості при більш високих швидкостях і рухливості, поліпшену тягу і надає менший тиск на ґрунт тракторів Challenger серії MT800B.

Управління всіма системами трактора здійснюється за допомогою центру управління трактора TMC, який є ексклюзивною розробкою Challenger. Більш того, оператор отримує доступ до великого об'єму недоступної раніше інформації. Оператор може контролювати в режимі реального часу температуру, тиск, продуктивність і експлуатаційні характеристики. Він завжди обізнаний про поточний стан трактора і може на ходу змінювати налаштування для підтримки максимальної продуктивності агрегату. Нова функція дозволяє відстежувати натяг гусениць, попереджаючи оператора у разі, якщо натяг кожної з гусениць досягає критичної позначки, найвищої або найнижчої.

Підвіска Opti-Ride забезпечує плавний рух трактора Challenger серії MT800B по самій пересіченій місцевості. Чотири опорних котки на напівнеза-

лежною підвісці кожного візка рухаються незалежно один від одного, дозволяючи трак копіювати рельєф. Тяги стабілізаторів і пружини Marsh Mellow ізолюють поперечну балку від шасі. Ліва та права візки, що рухаються незалежно один від одного, дозволяють трактору плавно долати перешкоди.

У кабіні трактора серії MT700B оператор знаходиться в обстановці класу «люкс». Ергономічний дизайн кабіни забезпечує оператору комфортне багатогодинне перебування в ній під час польових робіт. Конструкція стандартного сидіння з пневматичною підвіскою або нового, встановлюваного на замовлення сидіння VRS Deluxe, забезпечує максимальний комфорт будь-якого оператора і зручний доступ до всіх органів управління.

Додаткова супутникова система навігації Auto-Guide™, використовуючи передові технології GPS, направить Ваш трактор по полю з більшою точністю та на більш високих швидкостях. Це особливо ефективно вночі або в умовах з обмеженою видимістю. Система навігації Auto-Guide™ керує трактором без допомоги оператора, прокладаючи паралельні гони, забезпечує велику продуктивність і зменшує втомлюваність оператора. Система Auto-Guide™ повністю інтегрована в мережу Intellitronics™.

Подальші дослідження тягово-енергетичних показників гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт при роботі на різних агрофонах будуть проводитися на прикладі гусеничного трактора Challenger MT 835B з гідрооб'ємною трансмісією.

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

Трактори є основними енергетичними засобами виконання технологічних операцій у різних галузях виробництва. Вони широко використовуються у сільському господарстві, зокрема, у землеробстві і тваринництві.

В останні роки у зв'язку жорсткістю вимог до збереження родючого шару ґрунту, зниженню ущільнення і руйнуванню його структури в нас у країні та за рубежом росте інтерес до гусеничних тракторів, які в цій частині вигідно

відрізняються від колісних.

Гусеничні трактори менше пробуксовують, особливо на вологих ґрунтах, у них значно більша площа контакту із ґрунтом. Вони забезпечують можливість більш раннього та більш пізнього (на три-п'ять днів) проведення відповідно весняних і осінніх польових робіт, які неможливо виконати колісними тракторами. Елементи ходових систем гусеничних тракторів, особливо закордонних, оснащених більше еластичними гумовими гусеницями, краще гасять коливання від нерівностей ґрунту, що підвищує плавність ходу машин. У зв'язку з відсутністю передніх коліс на гусеничних тракторах краща оглядовість.

При подальшому підвищенні потужності загострюється проблема зчеплення ходової системи трактора із ґрунтом для реалізації збільшених тягових зусиль. Краще вона вирішується тракторами з гусеничною ходовою системою, тому вони розвивають більш високі тягову потужність та тяговий ККД. З огляду на це, повнопривідним колісним тракторам класичного компонування на відміну від гусеничних стає складно передавати всю потужність за допомогою пневматичних шин коліс, а їх здвоювання значно збільшує габаритну ширину, унеможливаючи переміщення таких тракторів по дорогах із твердим покриттям. Саме тому в діапазоні високих потужностей гусеничні трактори представляють значно більший інтерес для аграріїв, чим колісні.

Вивчення стану питання показує, що одним зі шляхів підвищення експлуатаційної ефективності трактора є модернізація його ходової системи шляхом використання гідрооб'ємних передач. Використання модернізованих трансмісій забезпечує високу стабільність швидкісного режиму, що досить важливо для рівномірного завантаження робочих органів і якості технологічного процесу та дозволяє значно підвищити продуктивність трактора при одночасному поліпшенні завантаження двигуна трактора і як наслідок зменшенні питомої витрати палива.

У цьому зв'язку **об'єктом дослідження** у виконуваній роботі є процеси, що відбуваються при роботі гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт з

гідрооб'ємною трансмісією, при роботі на різних агрофонах, які впливають на зміну їх тягово-енергетичних показників.

Предмет дослідження – функціональні залежності, що описують процеси, які відбуваються при роботі гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією на різних агрофонах.

Метою дослідження даної роботи є підвищення експлуатаційної ефективності гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт шляхом дослідження зміни їх тягово-енергетичних показників при роботі на різних агрофонах.

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

1. Зробити тяговий розрахунок гусеничного трактора потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах.

2. Зробити розрахунок і побудувати теоретичні тягові характеристики гусеничного трактора потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах.

3. Зробити аналіз теоретичних тягових характеристик гусеничного трактора потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах.

4. Розробити карту контролю гусеничного трактора Challenger MT 835B по показниках безпеки.

1.5. Висновки по розділу

Вивчення стану питання показує, що одним зі шляхів підвищення експлуатаційної ефективності трактора є модернізація його ходової системи шляхом використання гідрооб'ємних передач.

Високі експлуатаційні якості гідрооб'ємної трансмісії були встановлені при випробуванні закордонних сільськогосподарських машин. Відзначено підвищення маневреності, різке скорочення витрат часу на технічні відходи, істотне поліпшення умов праці. Гідрооб'ємна трансмісія забезпечує високу стабіль-

ність швидкісного режиму, що досить важливо для рівномірного завантаження робочих органів і якості технологічного процесу.

Використання модернізованих трансмісій дозволяє значно підвищити продуктивність трактора при одночасному поліпшенні завантаження двигуна трактора і як наслідок зменшенні питомої витрати палива.

У цьому зв'язку є необхідним проведення досліджень процесів, що відбуваються при роботі гусеничного трактора потужністю 200...300 кВт (на прикладі трактора Challenger MT 835B) з гідروоб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-енергетичних показників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчення стану питання показує, що одним зі шляхів підвищення експлуатаційної ефективності трактора є модернізація його ходової системи шляхом використання гідрооб'ємних передач. Використання модернізованих трансмісій дозволяє значно підвищити продуктивність трактора при одночасном поліпшенні завантаження двигуна трактора і як наслідок зменшенні питомої витрати палива. У цьому зв'язку є необхідним проведення досліджень процесів, що відбуваються при роботі гусеничного трактора потужністю 200...300 кВт (на прикладі трактора Challenger MT 835B) з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах, які впливають на зміну його тягово-енергетичних показників.

2. В результаті проведеного тягового розрахунку гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах визначено вагові параметри трактора, розраховано і побудовано регуляторну характеристику двигуна та визначено тягові зусилля при прямолінійному поступальному русі. При проведенні тягового розрахунку трактора з гідрооб'ємною трансмісією вибрано гідромашини та визначено їх параметри: потужність насосів, їх кількість та сумарний робочий об'єм гідромоторів та їх кількість при різних режимах роботи. Аналіз проведених розрахунків показав, що при роботі гусеничного трактора на різноманітних ґрунтах: від перелігу до болотно-торф'яної цілини тягове зусилля на крюку зменшується на 25% з 80 кН до 60 кН, відповідно, а коефіцієнт опору кочення збільшується майже у 6 раз.

3. В результаті розрахунку теоретичної тягової характеристики гусеничних тракторів потужністю 200...300 кВт з гідрооб'ємною трансмісією при роботі на різних агрофонах побудовані теоретичні тягові характеристики. З метою подальшого порівняння графіки виконані в одній масштабній сітці, що дозволяє візуально відзначити зміни тягових показників тракторів при роботі на різних агрофонах. Аналіз проведених досліджень показує, що залежно від агрофону (від перелігу до болотно-торф'яної цілини): збільшення маси трактора ста-

новить від 1,5 до 2,02 разів, а збільшення сили опору коченню є досить значним і становить від 2,8 до 4 разів; зменшення номінальної сили тяги на кріюку становить від 1,1 до 1,25 разів, максимальної сили тяги на кріюку становить від 1,1 до 1,2 разів, мінімальної сили тяги на кріюку становить від 1,2 до 1,6 разів, а зменшення максимальних тягової потужності та тягового ККД становить від 1,1 до 1,3 разів. Також слід відзначити, що установочна потужність та дійсна швидкість руху трактора не змінюються залежно від типу ґрунта.