ENGINEERING SCIENCES

ЗМЕНШЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОГЗМ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГІДРОФОБНИХ ПОКРИТТІВ

Проф., д-р техн. наук, ***Аулін В. В.****, проф., д-р техн. наук,* ***Солових Є. К.****,*
доц., канд. техн. наук, ***Тихий А. А.****, доц., канд. техн. наук,* ***Солових А. Є.****,*
доц., канд. техн. наук, ***Катеринич С. Є.***

Україна, м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract. *The article presents the research results on the problem of increasing the efficiency of working elements of soil tillage and soil-digging machines by reducing their* ***traction resistance****. The analysis of the current state of this problem was carried out and one of the main factors which increases the traction resistance on wet soils is the adherence. It is proposed to cover the places of the greatest adhesion of the working surfaces of deep-throwers with the following polymeric materials: polyethylene, pentonite and Kocetal K300. The results of the studies of the coefficient of friction and adhesion of the working surfaces of serial aerators on the degree of moisture content of the soil are presented. On the basis of the results of research the formation of composite hydrophobic coatings Kocetal K300 is suggested to be used in order to reduce traction resistance.*
Keywords*: Deep-throwers, traction resistance, soil adherence, moisture, hydrophobic coatings.*

Вступ. Тяговий опір робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин (РОГЗМ) є важливим енергетичним показником їх роботи. Цей показник обмежує продуктивність агрегату і визначає витрати енергії на обробіток ґрунту. Тяговий опір РОҐЗМ залежить як від швидкості руху, так і від глибини обробітку ґрунту. Особливо суттєвий вплив спостерігається при роботі глибокорозпушувачів ґрунту, оскільки тяговий опір РОГЗМ, що працює на глибині 0,25...0,30 м, досягає 10 кН, стаючи перешкодою досягнення високої продуктивності агрегату. Тому дослідження і розв'язання проблеми спрямованої на зниження тягового опору РОГЗМ, є актуальними при розробці нових енергоефективних РОГЗМ.

Щоб запропонувати шляхи зниження енергозатрат при обробітку ґрунту, необхідно розглянути залежність тягового опору РОГЗМ від умов їх роботи. Особливо це стосується передусім налипання ґрунту на робочі поверхні РОГЗМ, як однією з причин підвищення їх тягового опору. Аналіз механічних способів усунення налипання грунту на робочі поверхні РОГЗМ, розроблених в різний час в Україні та за кордоном показав, що кожен з них має свої переваги і недоліки. Зазначимо, що дослідження проведені в даному напрямку стосувалися головним чином боротьби з процесом налипання грунту на робочі поверхні РОГЗМ, зокрема глибокорозпушувачів. Виявлено, що серед численних спроб знизити тертя в системі "РОГЗМ-ґрунт" можна відзначити наступні: мащення водою з зовнішнього джерела; мащення водою, отриманої з ґрунту в результаті електроосмосу; зменшення налипання ґрунту в результаті видалення води електроосмос; повітряне мастило; застосування вібрації; заміна пасивних робочих поверхонь активними; зміна геометричної форми поверхні робочого органу; застосування різних матеріалів в якості покриттів на робочі поверхні.

Для усунення процесу налипання ґрунту на РОГЗМ різними дослідниками пропонується велика кількість різноманітних пластичних матеріалів, але дослідження проводяться в основному, з плугами. Запропоновано покривати робочі поверхні плугів в місцях найбільшого налипання ґрунту такими полімерними матеріалами, як: поліетилен (високого і низького тиску), капрон, поліамід, різного роду смоли, вінілпласт, Kocetal K300.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За допомогою водяного мастила, електроосмосу, аеродинамічного мащення здійснюється створення граничних плівок. Один з найбільш відомих способів – мащення водою. Для зниження тягового опору плуга і поліпшення його роботи французька фірма "Kuhn" запропонувала вводити воду на робочу поверхню корпусів. За даними фірми, застосування цього способу при роботі плуга на зволожених ґрунтах, знижується

тяговий опір на 35% [1]. Крім подачі в зону контакту ґрунту з лемішно-відвальною поверхнею чистої води, досліджувалася також подача водо - полімерної суміші, що поліпшувало оборот пласта [2]. В окремих випадках зниження тягового опору становило 30% і більше, в середньому на 20%, при витраті суміші 110-115 л/га. Аналіз ґрунту після випробувань показав, що застосовувані полімери нешкідливі, біодеградують в ґрунті, розчиняючись у воді.

Перелічені технічні рішення схожі між собою і полягають в подачі води або спеціальних розчинів в зону контакту ґрунту з лемішно-відвальною поверхнею, або через отвори в відвалі і лемеші, розташовані в області їх стику [5]. Однак обробка плугами з водяним мащенням великих земельних масивів економічно недоцільна, оскільки вимагає підвезення великої кількості води і великих витрат часу.

Крім безпосереднього введення води між пластом ґрунту і відвалом, отримати мащення можна за допомогою електроосмосу. Г.С. Беліком [3] були вивчені можливості використання електроосмосу ґрунту при оранці для усунення налипання плужних відвалів шляхом створення тонкошарової водяної плівки перенесенням води з ґрунту на поверхню відвалу. Результати досліджень показали, що застосування електроосмосу дає ефект при високій вологості ґрунту 24-26% і швидкостях руху плуга, що не перевищують 0,2-0,3 м/с. За даних умов спостерігалося зниження тягового опору плуга на 14% і зменшення в 20-60 разів по вазі, налиплого шару ґрунту. В роботі [4] досліджувався вплив електроосмосу на зниження коефіцієнта тертя ґрунту по сталі при різних показниках вологості. Польові випробування оранки з використанням електроосмосу при напрузі на електродах 120 В і вологості 25,5% дали зниження тягового опору плуга на 14,3%. Налипання ґрунту на сталь зменшується в кілька десятків разів, а при напрузі на електродах 500 В − взагалі не спостерігалося. Проте складність апаратури перетворення струму та потужність генератора постійного струму для створення електроосмосу на корпусах плуга майже дорівнює результату зниження тягового опору.

Також було проаналізовано спосіб аеродинамічного мащення, коли повітря під тиском подається на робочі поверхні через отвори в відвалі і лемеші. Утворюється газовий прошарок, що повинен усунути тертя ковзання ґрунту по металу, в результаті чого істотно зменшується тяговий опір [3]. Проте аеродинамічне мащення не знайшло масового застосування в силу конструктивної складності виготовлення робочих органів з аеродинамічним мащенням, великої трудомісткості при постановці і зняття додаткового обладнання в процесі експлуатації.

Для протидії налипанню і зниження тягового плугу використовувалася вібрація. Встановлено, що вібрація знижує тяговий опір на 40-65% при амплітуді коливання 5 мм і частоті 20 Гц і малою поступальною швидкості до 0,6 м / сек. Зменшення частоти коливань до 10 Гц викликає менший ефект в зниженні тягового опору 10-30% по відношенню до тягового опору невібруючого корпусу, але вимагає додаткової потужності на вібропривід корпусів [4].

Для зниження тягового опору та боротьбі з налипанням ґрунту були випробувані гальванічні покриття - нікелювання, хромування [4]. Запропоновані покриття знижують налипання поверхонь до 30% за рахунок гідрофобних властивостей, але їх недостатня зносостійкість, мала товщина та висока вартість технології нанесення не дозволяє їх широко використовувати. Аналізуючи описані способи боротьби з налипанням, найбільш перспективним є застосування полімерних композиційних матеріалів в якості покриття робочих органів.

В роботі [3] відзначається, що проведені дослідження по використанню пластмас в якості покриттів робочих поверхонь РОГЗМ. Лабораторні дослідження на глині показали, що при вологості 21,1%, тефлон має коефіцієнт тертя 0,25, рулон (чотирифтористий етилен з наповнювачем) − 0,44, поліетилен високого тиску − 0,78, сталь - 2. Тяговий опір корпусу плугу з пластмасовим покриттям на 23% нижче сталевого і налипання відсутнє. Корпус плуга з поліетиленовим покриттям теж не залипає.

Покриття плуга синтетичним матеріалом марки Worblex-PE 7473 (поліетилен низького тиску фірми Gulrid – Worbla AG) дало зниження тягового опору плуга на пухких піщаних ґрунтах на 5,6-12,7%, на середніх − 2,7-5,4% в інтервалі швидкостей 6-10 км/ч. Витрата палива також знижується на 9,9-11% (піщані ґрунти), і на 6,1-7,0% (середні ґрунту). Дані отримані в порівнянні з плугами зі сталевими корпусами. Знижуються експлуатаційні витрати на 2%, витрата палива на 7%. Напрацювання плуга з пластмасовими покриттями становить близько 120 га [7].

В роботі [5] повідомляються результати проведених експериментів по оранці липких ґрунтів за допомогою плугів, відвали яких покриті тонкою пластмасовою плівкою налипання

ґрунту при цьому не спостерігалося. З числа випробуваних матеріалів найбільшу довговічність мають тефлон (90 - 120 га) і суміш келона − С з деякими похідними тефлону (150 га).

Тяговий опір відвалів плужних корпусів з Kocetal K300 покриттям в порівнянні зі звичайними сталевими відвалами знижується приблизно на 23% на корпус і приблизно на 20% на плуг в цілому [6]. Крім того відзначаються більш високі агротехнічні показники (на 10−15%) по кришенню ґрунту, глибиною закладення рослинних залишків і поверхневої глибистої ріллі.

Чотирикорпусний навісний плуг загального призначення з Kocetal K300 покриттями на відвалах виробляє до моменту наскрізного протирання покриттів 120 га. Відвал корпусу плуга, при цьому виготовлений з поліетилену низького тиску марки П4009. Випробування показали, що корпуса з таким відвалом, встановлені на плузі ПН-8-35, дозволяють підвищити змінну продуктивність на 0,1 га/год і знизити витрату палива на 0,8 кг/га у порівнянні зі звичайними металевими корпусами. Крім того, корпуса з пластмасовим відвалом не залипають.

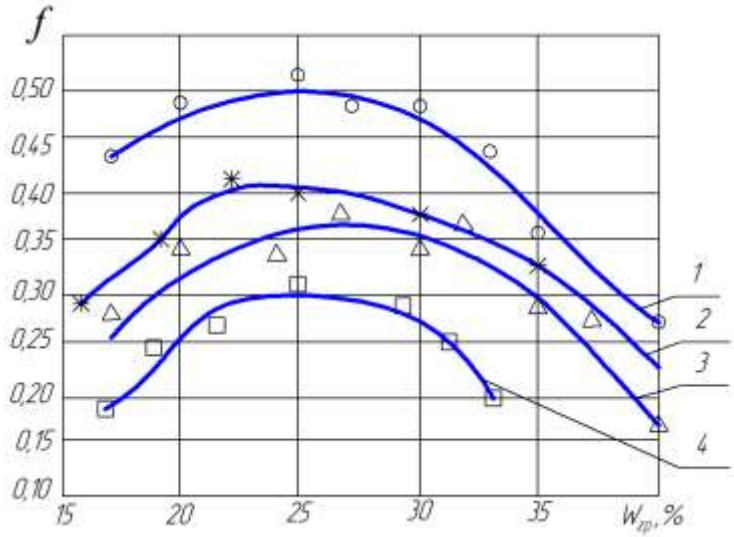
Результати досліджень. За результатами досліджень були визначені адгезійні властивості ґрунту (Центральноукраїнський середньосуглинистий чорнозем) при взаємодії з різними матеріалами. В результаті встановлено, що питома сила зчеплення різних матеріалів (полімерних, сталевих з різною чистотою поверхні) з ґрунтом в міру збільшення її вологості зростає, досягаючи максимуму при W = 30−32%, а потім падає. З досліджених матеріалів найбільш сильно залипає сталь з чистотою поверхні ∀ 4, найменш − Kocetal K300.

Встановлено, що абсолютна величина сили прилипання досягає максимального значення у необробленої сталевої поверхні, найменшого − у поліетилену (в 2,0 рази) і Kocetal K300 (в 2,25 рази). Також виявлено, що сила прилипання з підвищенням вологості поступово збільшується, потім переходить через максимум (30−36%), після чого зменшується. Kocetal K300 і мають вологовідштовхувальними (гідрофобними) властивостями, що є основним чинником для усунення налипання. Проведене лабораторією Центральноукраїнського національного технічного університету визначення відносної зносостійкості пластмас показало, що Kocetal K300 - в 4 більш стійкий, ніж поліетилен в 1,6 раз. В останнє час створені різні композиції на основі Kocetal K300 а (Ф4К20, Ф4С15М5) зносостійкість яких вище, ніж у Kocetal K300 в 1,5−2,0 рази.

Таким чином, проведеними раніше дослідженнями взаємодії різних полімерних матеріалів з ґрунтом при покритті ними робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь показали високу ефективність їх застосування для усунення налипання і зниження коефіцієнта тертя.

Проведені дослідження по визначенню залежності коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту від вологості (рис.1). Як показують експериментальні дані, коефіцієнт тертя змінюється в широких межах для різних типів ґрунтів. Відзначено, що в інтервалі швидкостей 0,5−3,0 м/с, абсолютна величина коефіцієнта тертя змінюється несуттєво і практично можна вважати її постійною.

Однак питомий тиск в зоні контакту і механічний склад ґрунту суттєво впливають на величину коефіцієнта тертя.



1 – глинистий чорнозем по поліетилену; 2 – суглинистий чорнозем по поліетилену; 3 – глинистий чорнозем по Kocetal K300; 4 – суглинистий чорнозем по Kocetal K300

Рис. 1. Залежність коефіцієнта тертя ґрунту по поверхні РОГЗМ від її вологості.

Вологість ґрунту по горизонтах (0-5) і (5-10) см, відповідно 24,3 і 26,8%.

Проведеними дослідженнями встановлено, що з досліджуваних глибокорозпушувачів найбільш схильні до налипання серійні. Маса налиплого на них ґрунту при даній вологості становить близько 0,7 кг (Табл. 1.).

Таблиця 1. Налипання ґрунту на поверхні глибокорозпушувача

Розпушувачі	Показник	*V, м/с*				
		1,8	2,2	2,7	3,1	3,5
Серійний	m, ср	0,639	0,629	0,624	0,596	0,578
	± σ	0,036	0,035	0,034	0,031	0,039
	v, %	5,89	5,79	5,71	5,58	6,92
	± m	0,011	0,011	0,010	0,011	0,011
Kocetal K300	m, ср	0,153	0,136	0,0131	0,123	0,112
	± σ	0,006	0,0064	0,0075	0,0063	0,004
	v, %	4,53	4,96	6,04	5,34	4,72
	± m	0,002	0,0025	0,002	0,0025	0,0015
Поліетилен	m, ср	0,232	0,214	0,186	0,164	0,142
	± σ	0,011	0,011	0,010	0,0089	0,0078
	v, %	5,32	6,01	5,26	5,41	5,51
	± m	0,003	0,0035	0,002	0,0032	0,0017
Пентопласт	m, ср	0,557	0,552	0,536	0,527	0,513
	± σ	0,031	0,034	0,031	0,032	0,034
	v, %	5,81	6,32	5,84	6,23	6,34
	± m	0,012	0,012	0,011	0,011	0,011

Аналогічний процес відбувається з глибокорозпушувачем з пентопластовим покриттям, на яких маса налиплого ґрунту складає 0,557 ... 0,513 кг. Таке значне налипання розпушувача з пентопластовим покриттям можна пояснити гідрофільністю пентопласта. Зі збільшенням швидкості налипання всіх розпушувачів зменшується.

Налипаємість серійних РОГЗМ в 4,4 ... 5,53 і в 1,85 ... 2,03 рази (в залежності від швидкості) більше, ніж у вкритих Kocetal K300 і поліетиленом, відповідно. На серійних розпушувачах налиплий шар ґрунту утворює наріст конусної форми, що в результаті приводить до зміни робочої форми розпушувача і створює тертя ґрунту об ґрунт.

Зі збільшенням вологості ґрунту налипання серійних розпушувачів збільшується, і при вологості 28−30% вони практично непрацездатні. З наведених даних випливає, що істотно менше налипання глибокорозпушувачів з покриттям Kocetal K300 при підвищеній вологості ґрунту. Відзначимо, що в ґрунті постійно циркулюють електричні струми природного походження, а також діють електричні поля атмосфери [3]. У кожного ґрунту є електричний потенціал, що має певне значення, яке змінюється в часі і за величиною і залежить від безлічі різних факторів (механічний склад, водний режим, температура ґрунту, вміст органічної речовини і т. д.). Даний електричний потенціал змінюється і при обробітку ґрунту різними сільськогосподарськими знаряддями. Так в процесі роботи РОГЗМ в ґрунті виникає електричний потенціал. При використанні полімерного матеріалу в якості покриття дисків сошників, істотну роль у виникненні електричного потенціалу відіграють процеси обумовлені тертям і поляризацією контактуючих поверхонь.

Електричний заряд, виникаючий при контакті або терті на полімері, змінюється в часі, так як може нейтралізуватися іонами з навколишнього простору. Згідно електромолекулярної теорії взаємодії води і ґрунту механізм виникнення прилипання і існування його максимуму пояснюються утворенням подвійного електричного шару на поверхні ґрунтових частинок [6].

Проведені дослідження виникнення і зміни електричного потенціалу в ґрунті при роботі глибокорозпушувачів з різними полімерними покриттями показали, що для одних і тих же фізико - механічних характеристик ґрунту і однаковою швидкості, для РОГЗМ з Kocetal K300 покриттям потенціал має позитивне, щодо нульової точки значення, і змінюється в межах + 50 +100 мВ. У разі використання поліетиленового покриття знак потенціалу залишився незмінним, хоча його значення знизилося і набуло значення 30−50 мВ. У разі використання

глибокорозпушувачів пентопластовим покриттям, потенціал змінювався в діапазоні нульового значення в межах 20−30 мВ. Для серійних (без покриття) РОГЗМ потенціал мав у всіх дослідах від'ємне значення в межах 50−30 мВ. Також можна відзначити, що величина потенціалу залежить від сили тиску на поверхню РОГЗМ.

Згідно електромолекулярної теорії, робота необхідна для подолання прилипання, витрачається на поділ протилежних зарядів подвійного електричного шару. Прилипання ґрунту до різних матеріалів виникає з появою в ній рихло зв'язаної води. При невеликій кількості цієї води гідратованих молекули її міцно утримуються електростатичним полем частинок, і в цьому випадку прилипання відсутнє. Зі збільшенням кількості рихло зв'язаної води, міцність зв'язків периферійних диполів води з частинками ґрунту зменшується, але при цьому підвищується міцність їх зв'язків з контактуємим матеріалом, що і викликає збільшення сили прилипання та підвищення тягового опору РОГЗМ. Причому міцність зв'язків з контактною поверхнею буде тим вище, чим більше його замочуваність.

Висновки. Таким чином, отримані значення потенціалу і його зв’язку з процесом налипання РОГЗМ. Результати вказують на залежність налипання поверхні з полімерними покриттями не тільки від гідрофільності (Kocetal K300, поліетилен) або гідрофільності (пентопласт) самого покриття, але і електричного потенціалу, що виникає в зоні контакту. Електричний заряд, що виникає на поверхні полімера, сприяє розділенню зарядів і тим самим усунення прилипання та як результат зниження тягового опору. Цим можна також пояснити зрушення в більшу сторону (для полімерних матеріалів) максимального значення вологості при якому спостерігаються найменші сила прилипання і коефіцієнт тертя.

ЛІТЕРАТУРА

1. Aulin V., Lyashuk O., Tykhyi A., Karpushyn S., Denysiuk N. (2018) Influence of rheological properties of a soil layer adjacent to the working body cutting element on the mechanism of soil cultivation Acta Technologica Agriculturae 4 Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2018, pp. 153-159. https://doi.org/10.2478/ata-2018-0028
2. Aulin V.V., Tykhyii A.A. (2017) Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія, Кропивницький: Вид. Лисенко В.Ф., 2017. – 279 с.
3. Aulin V.V., Tykhyii A.A. (2016) Динамика износа режущих элементов рабочих органов почвообрабатывающих машин при взаимодействии с почвой Motrol. Commision of Motorization and Energetics in Agriculture – 2016. – Vol.18. №2 – С. 41-48
4. Аулін В.В. (2014) Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.
5. Аулін В.В. (2014) Вибіркове зношування робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин як відображення стохастичної природи їх взаємодії з частинками ґрунту / В.В. Аулін, В.А. Настоящий, А.А. Тихий / Зб. наук. праць Укр. держ. академії залізн. транспорту . – 2014. – Вип. 148. – С.25-33.
6. Аулін В.В. (2013) Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині / В.В. Аулін, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.120-126.
7. Аулін В.В. (2013) Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.114-119.