

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

УДК 539.621:636.085.533

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ МІЖ ПОВЕРХНЕЮ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН ТА РОСЛИННИМИ РЕШТКАМИ

В. І. ДВОРУК, доктор технічних наук, професор

Національний авіаційний університет

К. В. БОРАК, кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-5611-4707>

E-mail: koss1983@meta.ua

В. Г. РУДЕНКО, завідувач відділення «Агроінженерія»

С. С. ДОБРАНСЬКИЙ, викладач

І. О. БУЧКО, викладач

Житомирський агротехнічний коледж

<https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.01.015>

Анотація. Завдання дослідження полягало у визначенні впливу вологості рослинних рештків, марки сталі, термічної обробки сталі, шорсткості та напрямку хвиль шорсткості на зміну величини статичного та динамічного коефіцієнта тертя між сталю та рослинними рештками після збирання сільськогосподарських культур.

Для досліджень використовували стандартний метод «похилої площини», який дозволяє визначити статичний коефіцієнт тертя. Динамічний коефіцієнт тертя визначали за рахунок врахування часу руху рослинних рештків по похилій площині і часу переміщення без врахування сили тертя (час вертикального падіння, $\alpha=90^\circ$).

У результаті досліджень встановлено, що коефіцієнт тертя ковзання між рослинними рештками і сталлю суттєво відрізняється для кожного елемента рослинних решток, так в середньому коефіцієнт тертя ковзання листя на 18...29 % більше за коефіцієнт тертя ковзання стебел. Обробка сталі, яка дозволяє зменшити поверхневу енергію, призводить до зменшення коефіцієнта тертя ковзання на 5...16 %. Збільшення вологості рослинних рештків призводить до суттєвого збільшення коефіцієнта тертя ковзання.

Зміна шорсткості поверхні сталі призводить до зміни коефіцієнта тертя ковзання, так для полірованої поверхні коефіцієнт тертя ковзання значно більше ніж для поверхонь, які мають чорнову обробку. Зміна напрямку нерівностей на полірованій поверхні не призводить до збільшення статичного і динамічного коефіцієнта тертя ковзання, а за чорнової обробки при поздовжньому напрямку нерівностей статичний коефіцієнт залишається незмінним, а динамічний зменшується на 7...10 %.

Тертя, яке відбувається в результаті взаємодії рослинних рештків зі сталлю неможливо описати законом Амонтона–Кулона, оскільки в даному випадку, молекулярна складова суттєво впливає на величину коефіцієнта тертя

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

рослинні рештки–сталь. Процес тертя необхідно описувати молекулярно-механічною теорією тертя.

Ключові слова: коефіцієнт тертя ковзання, рослинні рештки, сталь, шорсткість, термообробка, вологість

Актуальність. Одним з основних факторів який впливає на інтенсивність зношування є коефіцієнт тертя фрикційної пари. Як відомо коефіцієнт тертя є характеристикою процесу і залежить від багатьох факторів, в зв'язку з цим коефіцієнт тертя не можливо розглядати як деяку незмінну величину. У більшості випадків при наведенні значення коефіцієнта тертя двох матеріалів не вказуються умови (змінні фактори), які можуть суттєво впливати на значення коефіцієнта тертя [1]. В умовах абразивного зношування сталених поверхонь незакріпленими або «напівзакріпленими» абразивними частинками важливим є значення не тільки статичного але і динамічного коефіцієнта тертя. При визначенні даних значень необхідно чітко вказувати умови проведення дослідження і характеристику матеріалів, які досліджують (марка сталі, термообробка, шорсткість, напрямок хвиль шорсткості, вологість абразивного матеріалу та ін.). Крім того слід відзначити, що трибологія не має математичного апарата для визначення коефіцієнта тертя з врахуванням всіх факторів, що призводить до необхідності визначення коефіцієнтів тертя з врахуванням всіх факторів за

допомогою лабораторних експериментів.

При зношуванні робочих органів ґрунтообробних та посівних машин сталені поверхні взаємодіють не з чистим ґрунтом, а складною ґрунтовою масою, яка в свою чергу складається з мінеральних частинок, рідкої фази, живих організмів і рослин та ін., тому використання визначених значень коефіцієнта тертя ґрунт-сталь при прогнозуванні інтенсивності зношування є некоректним. Для врахування впливу складових ґрунтової маси на значення коефіцієнта тертя «сталь-ґрунтова маса» необхідно провести дослідження з визначення коефіцієнта тертя зі сталлю складових ґрунтової маси.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У відомих роботах (табл. 1) наведені коефіцієнти тертя різних культур.

Авторами роботи [2, с. 260] відзначається, що:

1. при збільшенні вологості до 70 % коефіцієнт тертя зростає, після чого почина зменшуватися;
2. зміна швидкості взаємного переміщення в межах від 0,1 до 10 м/с не впливає на коефіцієнт тертя ковзання;
3. коефіцієнт тертя ковзання у поздовжньому напрямку стебла

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

більший, ніж у поперечному; листки мають більший коефіцієнт тертя ковзання порівняно зі стеблами.

1. Коефіцієнти тертя ковзання стебел [2, с. 260, 272].

Стебло та його вологість	Коефіцієнт тертя ковзання по поверхні	
	листової сталі	шліфованої сталі
Пшениці вологістю, % (М.І. Клецкін)		
6,7	0,29	0,36
17,0	0,32	0,56
49,6	-	0,83
Гороху вологістю, % (Н.І. Маслов)		
11,0	0,44	
36,8	0,55	
68,5	0,68	

У роботі [3] визначено динамічний коефіцієнт тертя ковзання, який чисельно дорівнює для соломи пшениці по металу 0,26.

Автором [4], були проведені дослідження по визначенню коефіцієнтів тертя стебел льону, в результаті встановлено що статичний

коефіцієнт для стебел льону по сталі при вологості 48% складає 0,48...0,54, а при вологості 0,15% – 0,33...0,38. Деяко відмінні результати для стебел льону були отримані в роботі [6] при взаємодії зі сталлю 45 обробленої до 10 класу шорсткості $R_{\max}=2,4$ мкм; $r=10$ мкм (рис. 1).

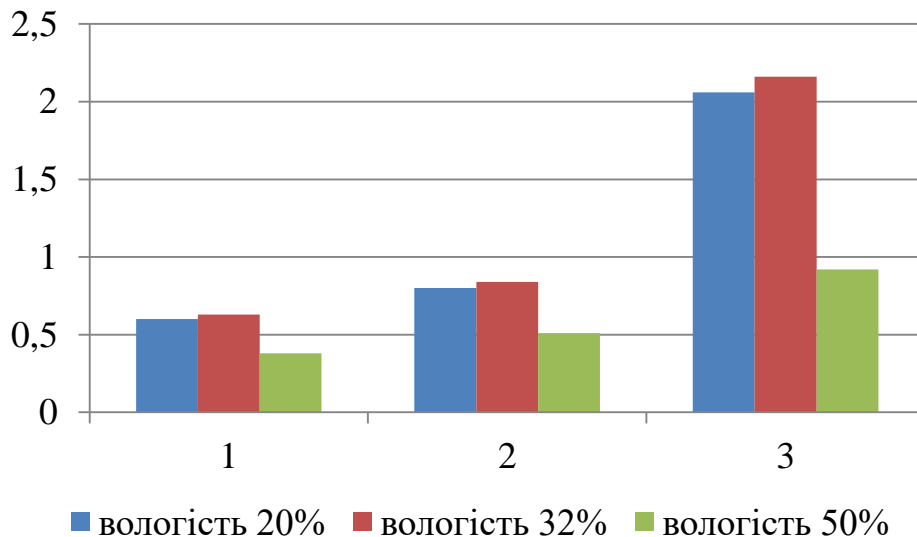


Рис. 1. Зміна коефіцієнтів тертя по всій довжині стебла льону: 1 – нижня частина, 2 – середня частина; 3 – вершина стебла [6].

Коефіцієнти тертя зі збільшенням вологості спочатку зростають, а потім досягнувши максимум починають зменшуватися [5].

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

У роботах [6, 7, 8, 9, 10 та ін.] визначенні коефіцієнти тертя рослинних рештків різних культур, але для якось певного часткового випадку, з даних робіт не зрозуміло, які марки сталей використовувались для дослідження, їх шорсткість та термічна обробка. Крім того слід відзначити, що робочі органи ґрунтообробних та посівних машин взаємодіють з рослинним решками після обмолоту, а їх фізико-механічні властивості суттєво відрізняються від властивостей самих рослин.

Як бачимо з проведеного аналізу коефіцієнти тертя для одних і тих же культур у різних дослідників суттєво відрізняються, що не дозволяє об'єктивно порівняти коефіцієнти тертя різних культур. Для усунення цих недоліків необхідно врахувати всі фактори які можуть впливати на зміну коефіцієнта тертя і проводити дослідження за допомогою простих установок, що нівелюють можливість помилки дослідника.

Мета досліджень – визначити вплив на статичний та динамічний коефіцієнт тертя «рослинні рештки-сталь» виду і стану рослинних рештків, марки сталі, термообробки сталі, шорсткості, напрямку хвиль шорсткості та вологості рослинних рештків.

Матеріали і методи досліджень. В даний час найбільшого поширення набули два методи для визначення коефіцієнта тертя ковзання:

- метод «руху тіла по горизонтальній поверхні під дією сили»;
- метод «похилої площини».

В даній роботі використовували стандартний метод «похилої площини», який дозволяє визначити статичний коефіцієнт тертя. Статичний коефіцієнт тертя визначався з залежності:

$$f = \operatorname{tg} \alpha_{\kappa}, \quad (1)$$

де α_{κ} – кут, при якому починається рух тіла (рис. 1).

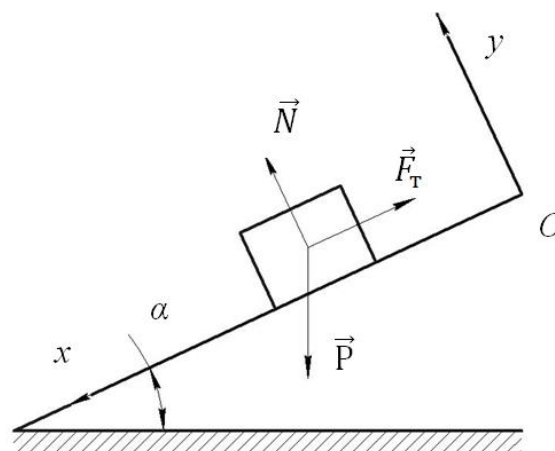


Рис. 2. Схема досліджень.

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

Для визначення динамічного коефіцієнта тертя ковзання використовували методику запропоновану в роботі [11]. Де коефіцієнт тертя ковзання запропоновано визначати за допомогою математичної залежності:

$$f = \left[1 - \left(\frac{t}{t_T} \right)^2 \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

де t – час рух у без врахування сили тертя (час вертикального падіння, $\alpha=90^\circ$), с; t_T – час рух з

врахування сили тертя по похилій площині, с.

Відстань на якій проводили дослідження складала $l=1\text{ м}$. Рух тіла фіксували за допомогою камери GoPro HERO 5 Session, кут нахилу площини фіксував електроний кутомір (рис. 2), обробку даних відеозйомки проводили за допомогою програми Wondershare Filmora Video Editor.

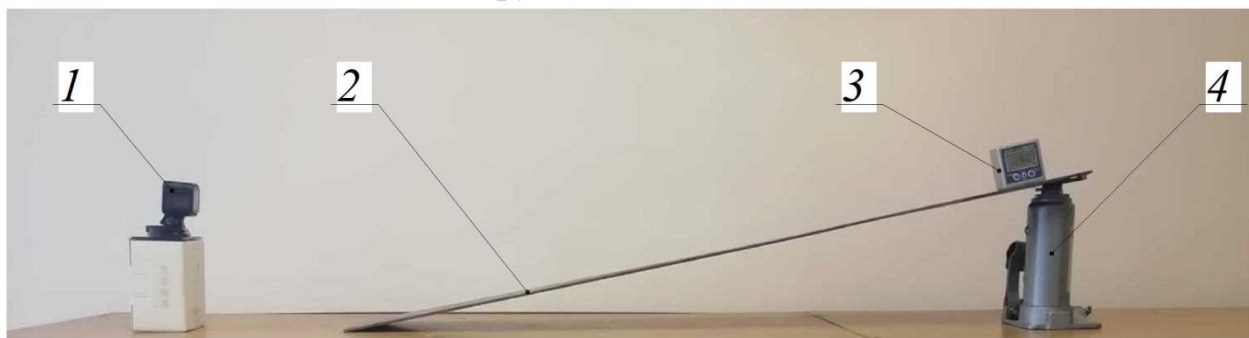


Рис. 3. Загальний вигляд установки для визначення коефіцієнта тертя ковзання рослинних рештків по сталі: 1 – камера GoPro HERO 5 Session, 2 – стальна пластина довжиною 1 м, 3 – кутомір, 4 – пристосування для зміни кута нахилу пластини.

Для досліджень використовувалася сталь 65Г, сталь 45 та сталь 28MnB5 з шорсткістю $Ra=0,4$ мкм, $Ra=1,6$ мкм, та $Ra=6,3$ мкм з вказаними напрямками нерівностей.

Результати досліджень та їх обговорення. Коефіцієнт тертя ковзання по сталі визначали для рослинних рештків культур, які набули найбільшого розповсюдження в агропромисловому комплексі України (табл. 2.)

Такий великий діапазон коефіцієнтів тертя ковзання для

кожної культури пояснюється суттєвою різницею в значеннях коефіцієнтів тертя ковзання стебла та листя рослинних рештків по сталі. В середньому коефіцієнт тертя ковзання листя на 18...29 % більше за коефіцієнт тертя ковзання стебел.

Для плющених рослинних рештків сої коефіцієнт тертя більший на 6...12 % в порівнянні з рештками, які не піддавалися механічній дії. Це пояснюється збільшенням площі фактичного контакту між рослинними рештками сої і поверхнею сталі.

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

2. Коефіцієнт тертя ковзання сухих рослинних рештків по сталі (листова сталь без термообробки, шорсткість поверхні після полірування $Ra=0,4$, нерівності носили поперечний напрям)

Рослинні рештки після збирання	Статичний коефіцієнт тертя	Динамічний коефіцієнт тертя
	Сталь 65Г	Сталь 65Г
Соя	0,62...0,71	0,37...0,48
Соя (плющена)	0,68...0,74	0,42...0,53
Пшениця	0,36...0,41	0,21...0,30
Ячмінь	0,44...0,53	0,32...0,37
Люцерна	0,62...0,86	0,44...0,60
Ріпак	0,48...0,57	0,40...0,47
Кукурудза	0,56...0,69	0,43...0,48
Соняшник	0,79...0,84	0,53...0,61
Сіно (лугова трава)	0,36...0,39	0,26...0,29

Коефіцієнт тертя ковзання рослинних рештків по сталям 65Г та 45 суттєво не відрізняються, а для сталі 28MnB5 в середньому він менше на 10...17 %. Зменшення коефіцієнта тертя ковзання сухих рослинних рештків по сталі 28MnB5 пояснюється зменшенням міжмолекулярної взаємодії між рослинним рештками і поверхнею сталі. У свою чергу це пов'язано зі складною обробкою (прокатування в двох перпендикулярних напрямках)

листової сталі 28MnB5, яка імпортується в нашу країну.

Для дослідження впливу режимів обробки сталі 65Г на коефіцієнт тертя ковзання рослинних рештків по сталі проводити об'ємне гартування при температурі 810...830 °С і середнім відпуском із дуже точною витримкою при температурі 460...480 °С з подальшою дробоструминною обробкою (HRC 39-42). В результаті чого отримали результати представлені в табл. 3.

3. Коефіцієнт тертя ковзання сухих рослинних рештків по сталі (сталь 65 Г піддавали об'ємному гартуванню при температурі 810...830 °С і середнім відпуском із дуже точною витримкою при температурі 460...480 °С з подальшою дробоструминною обробкою (HRC 39-42), шорсткість поверхні після полірування $Ra=0,4$, нерівності носили поперечний напрям)

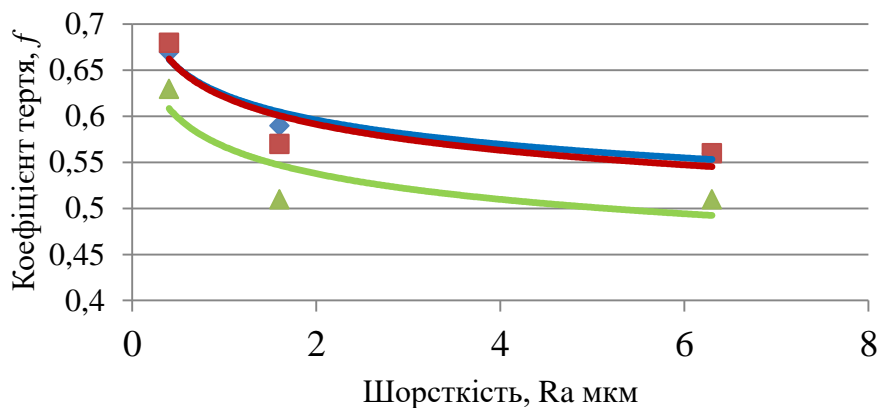
Рослинні рештки після збирання	Статичний коефіцієнт тертя	Динамічний коефіцієнт тертя
	Сталь 65Г	Сталь 65Г
Соя	0,59...0,64	0,34...0,42
Соя (плющена)	0,61...0,65	0,38...0,45
Пшениця	0,34...0,38	0,20...0,28
Ячмінь	0,40...0,45	0,29...0,34
Люцерна	0,52...0,76	0,41...0,51
Ріпак	0,44...0,54	0,35...0,41
Кукурудза	0,48...0,63	0,36...0,41
Соняшник	0,73...0,75	0,48...0,55
Сіно (лугова трава)	0,33...0,36	0,24...0,27

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

Обробка сталі, яка дозволяє зменшити поверхневу енергію (у нашому випадку об'ємне гартування сталі 65Г при температурі 810...830 °С і середнім відпуском із дуже точною витримкою при температурі 460...480 °С з подальшою дробоструминною обробкою (HRC 39-42) призводить до зменшення коефіцієнта тертя на

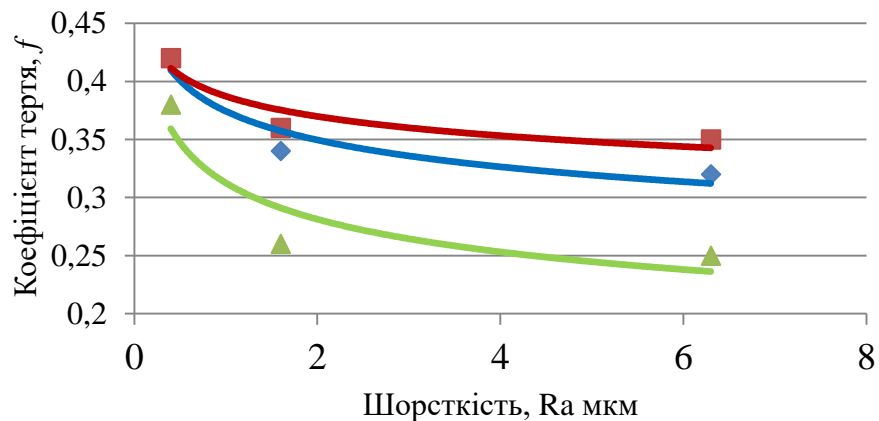
5...16 %. Зменшення коефіцієнта тертя відбувається за рахунок зниження рівня міжмолекулярної взаємодії (адгезії) між рослинними рештками і сталлю.

Для визначення впливу шорсткості поверхні сталі на статичний та динамічний коефіцієнт тертя були проведені відповідні дослідження (рис. 4).



◆ Сталь 65Г ■ Сталь 45 ▲ Сталь 28MnB5

а)



◆ Сталь 65Г ■ Сталь 45 ▲ Сталь 28MnB5

б)

Рис. 4. Вплив шорсткості на статичний та динамічний коефіцієнт тертя ковзання рослинних рештків сої по сталі, нерівності носили поперечний напрямком: а – статичний коефіцієнт тертя; б – динамічний коефіцієнт тертя

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

З графіків (рис. 4.) видно, що для полірованої поверхні коефіцієнт тертя ковзання значно більше ніж для поверхонь, які мають чорнову обробку. В першу чергу це явище пояснюється більшою фактично зоною контакту двох тіл, що призводить до збільшення сил міжмолекулярної взаємодії. Дані результати не суперечать існуючому розумінню природи тертя, адже ще в ранніх роботах багатьох дослідників [12] встановлено, що при терті без змащування зі збільшенням шорсткості поверхні сила тертя зменшується. Після чого в значному інтервалі зміни шорсткості сила

тертя залишається постійною, і тільки при досить грубій обробці поверхні спостерігається невелике збільшення сили тертя. Дана закономірність справедлива як для статичного так і динамічного коефіцієнта тертя [12].

Зміна напрямку нерівностей на полірованій поверхні не призводить до збільшення статичного і динамічного коефіцієнта тертя ковзання, а при чорновій обробці при поздовжньому напрямку нерівностей статичний коефіцієнт залишається незмінним, а динамічний зменшується на 7...10 % (рис. 5).

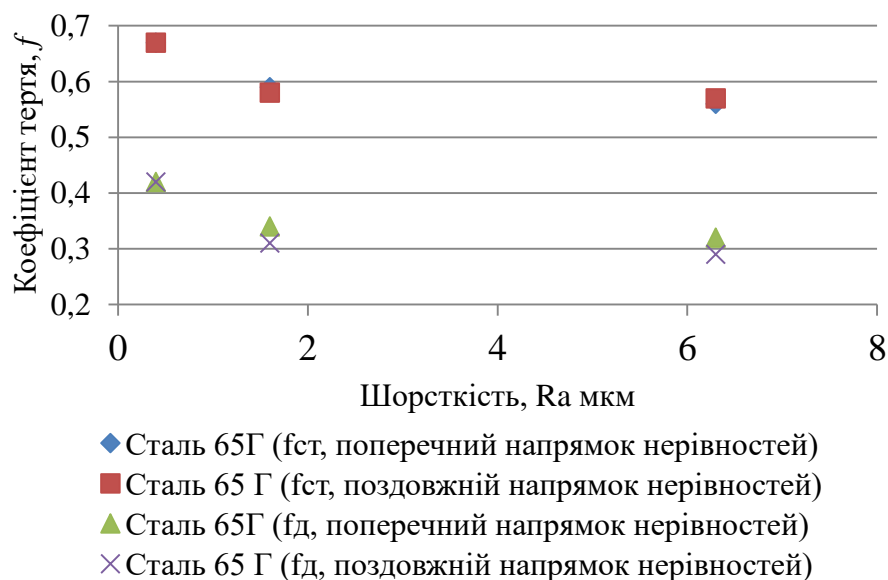


Рис. 5. Вплив напрямку нерівностей поверхні сталі на статичний та динамічний коефіцієнт тертя ковзання рослинних рештків сої по сталі.

Дана залежність характерна для всіх видів рослинних рештків, які використовувалися під час проведення дослідження.

Як відомо з попередніх робіт [2] збільшення вологості рослинних

рештків призводить до збільшення коефіцієнта тертя ковзання, що було нами підведено для всіх дослідних матеріалів (рис. 6).

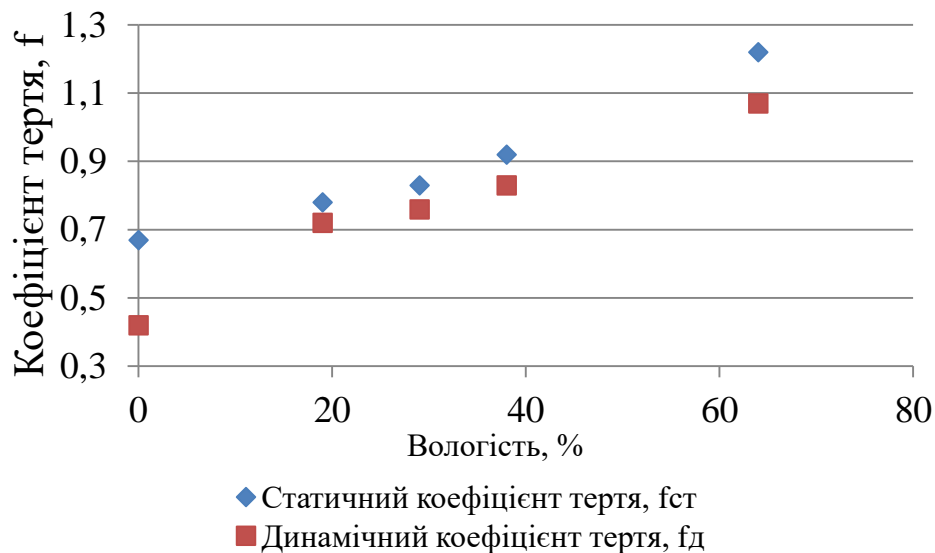


Рис. 6. Вплив вологості рослинних рештків на статичний та динамічний коефіцієнт тертя ковзання рослинних рештків сої по сталі 65Г.

За збільшення вологості різниця між статичним і динамічним коефіцієнтом тертя ковзання суттєво зменшується, в порівнянні з сухими рослинними рештками (рис. 6).

Висновки і перспективи.

Статичний та динамічний коефіцієнт тертя «сталь-рослинні рештки» є велична змінна і залежить від багатьох факторів, в першу чергу від виду і стану рослинних рештків, марки сталі, термообробки сталі, шорсткості, напрямку хвиль шорсткості та вологості рослинних рештків.

Список використаних джерел

1. Крагельський І. В., Виноградова І. Э. Коэффициенты трения. Москва: МАШГИЗ, 1962. 220 с.
2. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О. М. Царенко та ін.; За ред. С. С. Яцуна; Київ: Мета, 2003. 448 с.
3. Леженкін І. О. Обґрунтування параметрів та режимів функціонування робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці: автореф. дис. ... канд. техн.

У результаті проведених досліджень встановлено, що тертя яке відбувається в результаті взаємодії рослинних рештків зі сталю неможливо описати законом Амонта – Кулона оскільки в даному випадку, молекулярна складова суттєво впливає на величину коефіцієнт тертя рослинні рештки – сталь. Процес тертя необхідно описувати молекулярно-механічною теорією тертя запропонованою І. В. Крагельським [13].

наук: 05.05.11 /; Тавр. держ. агротехнол. ун-т. Мелітополь, 2017. 20 с

4. Сай В. А. Дослідження коефіцієнта тертя стебел льону олійного. *Легка промисловість*. 2010. №1 С. 49-50.

5. Попов Р. А. Расчет коэффициентов трения при взаимодействии стеблей льна-долгунца с различными материалами. *Достижение науки и техники АПК*. 2006. №4 С. 20-21.

6. Денисов С. В. Повышение эффективности приготовления кормосмеси

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

на основе стебельчатого корма и обоснование параметров пресс-экструдера: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Сам. гос. сельскох. акад. Самара, 2006 142 с.

7. Брагинец Н. В., Бахарев Д. Н., Альтум Мохаммад, К определению некоторых механико-технологических свойств кормовой смеси для мелкого рогатого скота. *Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка*. 2013. №132. С. 155-161.

8. Вертий А. А. Повышение эффективности процесса измельчения грубых стебельчатых кормов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Воронеж, 2019. 158 с.

9. Самойлова Т. Ф. Обоснование параметров и режимов работы мобильного смесителя компонентов компоста: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Донской государственный аграрный университет. Зерноград. 2016. 168 с.

10. Цимбала Б. М. Підвищення зносостійкості шнекових екструдерів для виробництва паливних брикетів у кислотних та лужних середовищах: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 / Харк. нац. тех. унів. сільс. госп. ім. П. Василенка. Харків. 2017. 223с.

11. Аврутов В. В. К задаче определения трения скольжения. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*. 2011. Вип. 42. С. 195-199.

12. Комбалов В. С. Влияние шероховатости твёрдых тел на трение и износ. Москва: Наука, 1974. 112 с.

13. Крагельский И. В. Трение и износ. Москва: Машиностроение, 1968. 480 с.

References

1. Kragel's`kij, I. V., Vinogradova, I. E. (1962). Koe`fficienty` treniya [Friction coefficients]. Moska: MASHGIZ, 220.

2. Yatsun, S. S., Tsarenko, O. M., Voitiuk, D. H., & et al. (2003). Mekhaniko-tekhnologichni vlastyvoli silskohospodarskykh materialiv [Mechanical and technological properties of agricultural materials]. Kyiv: Meta, 448.

3. Lezhenkin, I. O. (2017). Obgruntuvannia parametriv ta rezhymiv funktsionuvannia robochoho orhanu dlia separatsii obchisanoho vorokhu pshenytsi

[Substantiation of parametres and operating modes of working body for separation ochesannogo heap of wheat]. Tavriiskyi derzhavnyi ahrotekhnolohichniyi universytet. Melitopol, 20.

4. Sai, V.A. (2010). Doslidzhennia koefitsiienta tertia stebel lonu oliinoho [Investigation of the coefficient of friction of stems of flax oil]. *Lehka promyslovist*, 1, 49-50.

5. Popov, R.A. (2006). Raschet koe`fficientov treniya pri vzaimodejstvii stebel' ħna-dolgunca s razlichny`mi materialami [Calculation of the friction coefficients during the interaction of flax stalks with various materials]. *Dostizhenie nauki i tekhniki APK*, 4, 20-21.

6. Denisov, S.V. (2006). Povy`shenie e`ffektivnosti prigotovleniya kormosmesi na osnove stebel`chatogo korma i obosnovanie parametrov press-e`kstrudera. (Master's thesis). Samarskaya gosudarstvenaya skl`s`koxozyajstvennaya akademiya. Samara, 142.

7. Braginecz N. V., Baxarev D. N., & Al`-Atum, M. (2013). K opredeleniyu nekotory`x mexaniko-tehnologicheskix svojstv kormovoj smesi dlya melkogo rogatogo skota [The definition of some mechanical properties of technology for feeding mixtures small cattle]. *Visnik Harkivs`kogo naczional`nogo texnichnogo universitetu im. P. Vasilenka*, 132, 155-161.

8. Vertij , A. A. (2019). Povy`shenie e`ffektivnosti processa izmel`cheniya grubyx stebel`chaty`x kormov [Improving the efficiency of the grinding process of coarse stalk feed]. *FGBOU VO Voronezhskij GAU. Voronezh*, 158.

9. Samojlova, T. F. (2016). Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty` mobil`nogo smesatelya komponentov komposta [Substantiation of parameters and operating modes of a mobile mixer of compost components]. *Donskoj gosudarstveny`j agrarny`j universitet. Zernograd*, 168.

10. Tsymbal, B. M. (2017). Pidvyshchennia znosostiikosti shnekovykh ekstruderiv dlia vyrobnytstva palyvnykh bryketiv u kyslotnykh ta luzhnykh sere dovyschakh [Improving wear resistance of a screw extruder for production of biomass

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

briquettes in acidic and alkaline environments]. Khark. nats. tekhn. univ. silsk. hosp. im. P. Vasylenka. Kharkiv, 223.

11. Avrutov, V. V. (2011). K zadache opredeleniya treniya skol'zheniya [To the problem of determining sliding friction]. Visnik NTUU «KPI». Seriya priladobuduvannya, 42, 195-199.

12. Kombalov, V. S. (1974). Vliyanie sheroxovatosti tvorydy`x tel na trenie i iznos [Effect of solids roughness on friction and wear]. Moskva: Nauka, 112.

13. Kragel'skiy, I. V. (1968). Trenie i iznos [Friction and wear]. Moskva: Mashinostroenie, 480.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТЬЮ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН И РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОСТАТКАМИ

В. И. Дворук, К. В. Борак, В. Г. Руденко, С. С. Добранський, И. О. Бучко

Аннотация. Задача исследования состояла в определении влияния влажности растительных остатков, марки стали, термической обработки стали, шероховатости и направления волн шероховатости на изменение величины статического и динамического коэффициента трения между сталью и растительными остатками после сбора сельскохозяйственных культур.

Для исследований использовали стандартный метод «наклонной плоскости», который позволяет определить статический коэффициент трения. Динамический коэффициент трения определяли за счет учета времени движения растительных остатков по наклонной плоскости и времени перемещения без учета силы трения (время вертикального падения, $\alpha=90^\circ$).

В результате исследований установлено, что коэффициент трения скольжения между растительными остатками и сталью существенно отличается для каждого элемента растительных остатков, так в среднем коэффициент трения скольжения листьев на 18...29 % больше коэффициента трения скольжения стеблей. Обработка стали, которая позволяет уменьшить поверхностную энергию, приводит к уменьшению коэффициента трения скольжения на 5...16 %. Увеличение влажности растительных остатков приводит к существенному увеличению коэффициента трения скольжения.

Изменение шероховатости поверхности стали приводит к изменению коэффициента трения скольжения, так и для полированной поверхности коэффициент трения скольжения значительно больше, чем для поверхностей, которые имеют черновую отделку. Изменение направления неровностей на полированной поверхности не приводит к увеличению статического и динамического коэффициента трения скольжения, а при черновой обработке при продольном направлении неровностей статический коэффициент остается неизменным, а динамический уменьшается на 7...10 %.

Трение, которое происходит в результате взаимодействия растительных остатков со сталью невозможно описать законом Амонтона-Кулона поскольку в данном случае, молекулярная составляющая существенно влияет на величину

Дворук В. І., Борак К. В., Руденко В. Г., Добранський С. С., Бучко І. О.

коэффициент трения растительные остатки-сталь. Процесс трения необходимо описывать молекулярно-механической теорией трения.

Ключевые слова: *коэффициент трения скольжения, растительные остатки, сталь, шероховатость, термообработка, влажность*

THE INVESTIGATION OF STATIC AS WELL AS OF DYNAMIC FRICTION COEFFICIENT BETWEEN WORKING ORGANS OF TILLAGE MACHINERY AND PLANT REMAINS

V. I. Dvoruk, K. V. Borak, V. G. Rudenko, S. S. Dobransky, I. O. Bychko

Abstract. *The purpose of this study was to determine the effect of moisture content in plant remains, steel grade, heat treatment of the steel, roughness and the direction of the rough surface waves upon the variation of the coefficients of static and dynamic friction between the steel and plant remains after the crops have been harvested.*

For the purpose of the study the conventional Inclined Plane Method was applied to determine the coefficient of static friction. The coefficient of dynamic friction was determined in consideration of the time required for the plant remains to move across the inclined plane, and the time of movement without regard to the friction force (vertical incidence time, $\alpha = 90^\circ$).

As follows from the study, the coefficient of sliding (kinetic) friction between plant remains and steel is significantly different for either element of the plant remains, so that the coefficient of sliding (kinetic) friction of leaves is on average 18... 29 % greater than the coefficient of sliding (kinetic) friction of stems. Steel treatment, whereby the surface energy is abated, reduces the sliding (kinetic) friction by 5... 16 %. Gain in moisture by plant remains leads to a significant increase of the coefficient of sliding (kinetic) friction.

Changes of the steel surface roughness lead to a variation in the coefficient of sliding (kinetic) friction, so that it is much greater for the polished surface by contrast with those ones with rough finish. Variations in the direction of the irregularities on the polished surface do not lead to increase of the coefficient of static and dynamic sliding friction. Therefore, in case of rough surface finish and should irregularities have the longitudinal pattern, the coefficient of static friction remains unaffected, while the dynamic one is decreased by 7...10 %.

The friction conditioned by the interaction of plant remains and steel may not be described by the Amonton's & Coulomb's Law, since in this case the coefficient of friction between the plant remains and steel is significantly affected by the molecular component. The process of friction must be described based upon the molecular-mechanical theory of friction. The molecular-mechanical theory of friction shall be taken as a basis for description of the friction process itself.

Keywords: *Coefficient of sliding (kinetic) friction, Plant remains, Steel, Roughness, Heat treatment, Moisture content*