

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3990X-2025-37-1-176>

ДО ПИТАННЯ ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕРТЯ КОЧЕННЯ ТА ПРИЛАДУ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

О.В. Богомолов, В.М. Михайлов, О.О. Богомолов, Е.В. Бойко

Обгрунтовано спосіб визначення коефіцієнтів тертя кочення, в якому сутність процесу визначення коефіцієнта кочення частинки полягає у фіксації кута нахилу похилої площини, на якій знаходиться частинка, при поступовому його збільшенні до початку руху частинки, визначенні тангенса цього кута і множенні його на радіус частинки.

Ключові слова: *тертя, коефіцієнт, спосіб, кочення, обгрунтування, прилад.*

ON THE ISSUE OF SUBSTANTIATION OF THE METHOD FOR DETERMINING ROLLING FRICTION COEFFICIENTS AND THE DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

O. Bogomolov, V. Mikhailov, O. Bogomolov, E. Boyko

The paper considers the issue of substantiating the method for determining the coefficients of rolling friction and the device for its implementation. The methods for determining the coefficients of static, sliding and rolling friction are analyzed. The relevance of the paper lies in the fact that the methods for determining the coefficients of static friction are based either on determining the friction force using dynamometers and on this basis determining the coefficient of static friction, or on the use of inclined surfaces. The aim and objective of the research is to substantiate the method for determining the coefficients of rolling friction and the device for its implementation. The paper applies theoretical and computational-experimental methods based on the provisions of theoretical mechanics and methods of statistical processing of experimental data. Millet, rapeseed, pea and soybean seeds were used to study the angles and coefficients of friction. It is shown that the proposed devices for determining the coefficients of rolling friction of individual small particles, for example grains, are complex in design and are not produced by industry. It is shown that friction plays a significant role both in our lives and in many branches of technology. It is present in everyday actions, in the use of transport and other means of transportation, where friction is necessary to prevent slipping and ensure safety. It is noted that friction can also be negative, for example, in various mechanisms when the movement of bodies relative to each other is difficult, and sometimes the movement

itself. The paper substantiates the method for determining the coefficients of rolling friction, in which the essence of the process of determining the rolling coefficient of a particle consists in fixing the angle of inclination of the inclined plane on which the particle is located, with its gradual increase until the beginning of the particle's movement, determining the tangent of this angle and multiplying it by the radius of the particle.

Keywords: friction, coefficient, method, rolling, justification, device.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Тертя відіграє значну роль як у нашому житті, так і в багатьох галузях техніки. Воно присутнє у повсякденних діях, у використанні транспортних та інших засобів, де тертя необхідне для запобігання ковзанню та забезпечення безпеки тощо. Однак вплив тертя може бути і негативним, наприклад, у різних механізмах при перешкоджанні руху тіл одне відносно одного, іноді й самого руху [1; 2, с. 229–243; 3, с. 33–48]. При контакті фізичних тіл та перешкоджанні їх руху одне відносно одного виникають сили тертя. Розрізняють сили тертя спокою та ковзання. Максимальне значення сили тертя, коли воно ще не ковзає, називають силою тертя спокою, її визначають за формулою [4, с. 128–132]:

$$F = f \cdot N, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт тертя спокою;

N – сила притискання одного тіла до іншого.

Коли ж тіло вже зрушило з місця, то сила тертя зменшується, якщо воно підтримує рівномірний рух.

Коефіцієнти тертя і спокою, і ковзання визначаються за однією і тією самою формулою:

$$f = \frac{F}{N}. \quad (2)$$

Маємо на увазі силу F – тертя спокою або тертя ковзання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення коефіцієнтів тертя спокою використовують прилади різних конструкцій, в яких вимірюють або силу тертя [5; 6, с. 94–103], або кут нахилу похилої площини φ , під яким починається ковзання частинки, і коефіцієнти тертя визначають за формулою:

$$f = tg\varphi. \quad (3)$$

Цей же спосіб описано в патенті США [7, с. 1–3].

Для визначення коефіцієнтів тертя спокою сипких матеріалів із мінливими значеннями розраховують його середньостатистичну

величину шляхом обчислення коефіцієнтів для великої кількості частинок, тому для підвищення продуктивності запропоновано прилад, представлений на рис. 1, описаний в [8, с. 9], або більш удосконалений – в [9, с. 1–3].

Для визначення коефіцієнтів тертя ковзання застосовують, як правило, широко відомий простий прилад академіка Желіговського В.А. [10] або прилад складнішої конструкції [8, с. 16], схему якого наведено на рис. 2. Цей прилад для визначення коефіцієнтів тертя поодиноких частинок складний за конструкцією; рухома стрічка приладу має мікроколивання поверхні, що знижує точність визначення коефіцієнта тертя.

Із визначенням коефіцієнта тертя кочення для дрібних кулястих частинок виникають проблеми, тому що силу тертя за допомогою динамометрів виміряти неможливо, бо вона дуже мала; до того ж вона хоч і називається силою тертя кочення, по суті є силою тертя спокою, точніше спокою-кочення, не є безрозмірною, як коефіцієнт тертя спокою ковзання, а вимірюється лінійною величиною мм або м.

Таким чином, по суті приладів для визначення коефіцієнтів тертя кочення поодиноких дрібних частинок немає.

Мета статті – обґрунтування способу визначення коефіцієнтів тертя кочення та приладу для його здійснення.

Матеріали та методи. У статті застосовані теоретичні та розрахунково-експериментальні методи на базі положень теоретичної механіки та методи статистичного оброблення експериментальних даних. Для досліджень кутів та коефіцієнтів тертя використані насіння проса, ріпаку, гороху та сої.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переважна більшість способів та приладів для визначення коефіцієнтів тертя призначені для неперекидних частинок, тобто для частинок, що здатні рухатися з ковзанням по поверхні. Однак значна їх частина має кулясту форму і здатна до кочення по нахиленій площині. У зв'язку з цим пропонується найпростіший спосіб та прилад, що дозволяє визначити коефіцієнт тертя кочення. Розрахункова схема способу та приладу показана на рис. 1.

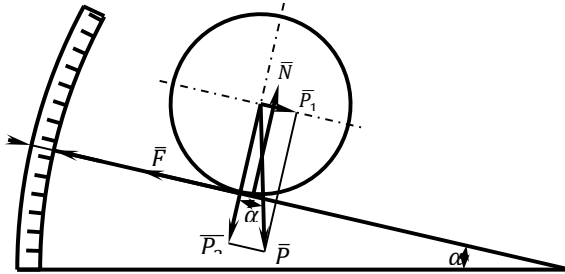


Рис. 1. Розрахункова схема способу визначення коефіцієнтів тертя кочення

Пропонується нахилену площину виконати поворотною з використанням пристрою для заміру кута нахилу. В основу роботи приладу покладені наступні міркування.

Розкладемо силу \vec{P} на складові \vec{P}_1 і \vec{P}_2 при граничному положенні рівноваги, коли $\alpha = \alpha_1$.

Видно, що рушійна сила $Q = P_1 = P \sin \alpha_1$, а нормальна реакція

$$N = P_2 = P \cos \alpha_1.$$

Відомо, що
$$Q = \frac{K}{R} N, \quad (4)$$

де K – коефіцієнт тертя кочення, м;

R – радіус частинки, м.

Тоді

$$P \sin \alpha_1 = \frac{K}{R} \cos \alpha_1, \quad (5)$$

або

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{K}{R}, \alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{K}{R}, K = R \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (6)$$

Зі зменшенням K до нуля кут α також зменшується до нуля. Очевидно, що рівновага зберігатиметься при будь-якому куті $\alpha < \alpha_1$. Частинка при $\alpha < \alpha_1$ буде в спокої, якщо одночасно коефіцієнт тертя кочення f_0 частинки по площині буде таким, що $f_0 \geq \operatorname{tg} \alpha$, тобто якщо $f_0 > \frac{K}{R}$, що зазвичай і буває. Якщо ж виявиться, що $f_0 \leq \frac{K}{R}$, то при $\alpha = \alpha_1$ частинка не буде в спокої та почне рухатися по площині.

Таким чином, процес визначення коефіцієнта K полягає в фіксації кута α_1 шляхом повільного збільшення кута α до початку руху частинки і визначенні його за формулою 6.

Для прикладу було визначено коефіцієнти тертя кочення та ковзання насіння проса та ріпаку, гороху та сої. Цей набір культур характерний округлістю насіння. Розміри проса та ріпаку малі та майже однакові, а гороху та сої значно більші й теж близькі між собою за розмірами. У таблиці 1 наведено середні коефіцієнти та кути кочення та ковзання цих культур.

Таблиця 1

Показники тертя по фанері технічній різних культур

Культура	Просо	Ріпак	Горох	Соя
Кути та коефіцієнти тертя				
Коефіцієнт тертя кочення, мм	0,38	0,32	1,08	1,46
Коефіцієнт тертя ковзання, мм	0,41	0,44	0,43	0,42
Кут тертя кочення, град	12,0	11,2	10,2	13,6
Кут тертя ковзання, град	22,2	23,8	23,9	22,6

Кути та коефіцієнти тертя ковзання були визначені за допомогою приладу академіка Желіговського В.А.

Отримані результати кутів та коефіцієнти тертя ковзання вибраних культур мають незначні розбіжності. Між кутами тертя ковзання розбіжності $1,6^\circ$, а коефіцієнтами тертя $0,03$. Трохи більше розбіжності між кутами α_1 , при якому частинки починають кочення (цей кут можна назвати кутом кочення). Коефіцієнти тертя кочення для обраних культур мають інші розбіжності, зростають ці розбіжності зі збільшенням діаметра зернин, між просом і ріпаком – $0,06$ мм, горохом і соєю – $0,38$ мм. Якщо взяти середнє між просом і ріпаком та горохом і соєю, то ці розбіжності значні й складають $0,92$ мм. Тобто коефіцієнт тертя кочення значно зростає для зерна з більшими розмірами.

Висновки. Запропонований метод визначення коефіцієнтів тертя кочення відрізняється простотою, не потребує складних приладів і за допомогою похилої площини з фіксацією кута, при якому починається кочення, дозволяє визначати коефіцієнти тертя кочення.

Список джерел інформації / References

1. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики. К.: Изд-во УСХА, 1992. 507 с.
Zaika P.M. (1992). Izbrannyye zadachi zemledele'cheskoy mekhaniki. K.: Izd-vo USKHA. 507.
2. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3 т. М.: Колос, 1965. Т. 1. 720 с.

Goryachkin V.P. (1965). Sobraniye sochineniy: v 3 t. M.: Kolos. T. 1. 720 s.

3. Наукові основи ошадливої підготовки насіння з поліпшеним біологічним потенціалом: монографія / Бредихін В.В., Богомолів О.В., Сліпченко М.В. та ін. Харків: Діса, 2023. 408 с.

Bredykhin V.V. (2023). Naukovi osnovy oshchadlyvoyi pidhotovky nasinnya z polipshenym biolohichnym potentsialom: monohrafiya / Bredykhin V.V., Bohomolov O.V., Slipchenko M.V. ta in. Kharkiv: Disa. 408 s.

4. Элементарный учебник физики: учебное пособие в 3 т. / под. ред. Ландсберга Г.С. Т. 1. М.: Наука, 1985. 608 с.

Landsberga G.S. (1985). Elementarnyy uchebnik fiziki: Uchebnoye posobiye. V 3 t. pod. red. Landsberga G.S. T. 1. M.: Nauka. 608 s.

5. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Т. 1. М.: Наука, 1974. 496 с.

Yavorskiy B.M., Pinskiy A.A. (1974). Osnovy fiziki. Tom 1. M.: Nauka. 496 s.

6. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Наука, 1972. 480 с.

Targ S.M. (1972). Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki. M.: Nauka. 480 s.

7. Патент США 3020744, кл. 73-9, кл. G01N19/02, 1962.

Patent SSHA 3020744, kl. 73-9, kl. G01N19/02, 1962.

8. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. М.: Колос, 1978. 287 с.

Zaika P.M., Maznev G.Ye. (1978). Separatsiya semyan po kompleksu fiziko-mekhanicheskikh svoystv. M.: Kolos. 287 s.

9. Пат. 158522 Україна МПК G01№19/02. Прилад для визначення коефіцієнтів тертя сипких матеріалів / О.В. Богомолів, В.М. Михайлов, О.О. Богомолів та ін. № u202401911 Заявл. 11.04.2024; Опубл.19.02.2025. 4 с.

Pat.158522 Ukraina MPK G01№19/02. Prylad dlya vyznachennya koefitsiyentiv tertya sypkykh materialiv / O.V. Bohomolov, V.M. Mykhaylov, O.O. Bohomolov ta in. № u202401911 Zayavl. 11.04.2024; Opubl.19.02.2025. 4 s.

10. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: практикум / Ю.О. Манчинський, М.В. Бакум, В.І. Пастухов та ін. 2-ге вид., перероб і доп. Харків, 2010. 224 с.

Manchyns'kyu Y.O., Bakum M.V., Pastukhov V.I. ta in. (2010). Mekhaniko-tekhnolohichni vlastyivosti sil's'kohospodars'kykh materialiv: praktykum. 2-e vyd., pererob i dop. Kharkiv: 2010. 224 s.

Богомолів Олексій Васильович, д-р техн. наук, професор кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, bogomolov.ph@gmail.com.

Bogomolov Oleksiy, Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production State Biotechnological University, bogomolov.ph@gmail.com.

Михайлов Валерій Михайлович, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи, професор кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, vami2209@gmail.com.

Mykhailov Valeriy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for Scientific Work, Professor Department of Equipment and Engineering of Processing and Food Production, State Biotechnological University, vami2209@gmail.com.

Богомолів Олександр Олексійович, аспірант кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, bogomolov25@gmail.com.

Bogomolov Oleksandr, PhD student Department of equipment and engineering of processing and food production, State Biotechnological University, bogomolov25@gmail.com.

Бойко Євгеній Володимирович, аспірант кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, Державний біотехнологічний університет, oipxv@ukr.net.

Boiko Evgenii, PhD student Department of equipment and engineering of processing and food production, State Biotechnological University, oipxv@ukr.net.

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.31359/2312-3990X-2025-37-1-182>

ДО ПИТАННЯ ОЧИЩЕННЯ ТА СОРТУВАННЯ НАСІННЯ КРОПУ

О.В. Богомолів, В.І. Ірклієнко, І.О. Бочарніков, О.І. Алферов

Наведені результати дослідження фізико-механічних характеристик та сепарації насіння кропу від насіння бур'янистих рослин, результати сортування насіння кропу та визначення схожості насіння кожної фракції, що свідчить про актуальність цієї роботи. Очищення та сортування насіння кропу, проведене на лабораторних решетах, і перевірка на схожість отриманих фракцій показали високу ефективність очищення та сортування насіння кропу за розмірами, про що йдеться у висновках до роботи.

Ключові слова: насіння кропу, розміри, насіння бур'янів, сепарація, сортування, схожість.

ON THE ISSUE OF CLEANING AND SORTING OF DILL SEEDS

O. Bogomolov, V. Irklienko, I. Bocharnikov, O. Alferov

The results of the study of the physical and mechanical characteristics and separation of dill seeds from weed seeds, the results of sorting dill seeds and