

УДК 637.134.001.57

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО ЖОМУ МОРКВИ

Ялпачик В.Ф., д.т.н., проф.,

Буденко С.Ф., к.т.н., доц.,

Олексієнко В.О., к.т.н., доц.,

Червоткіна О.О., асист.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – у роботі викладені результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнта тертя спокою і руху зразків гранул з жому моркви.

Ключові слова – коефіцієнт, тертя, гранула, експеримент, гранулювання.

Постановка проблеми. Як відомо, останнім часом для реалізації проблеми використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва, що не втратили своєї харчової цінності, застосовують процес гранулювання, який складається з ряду послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресовування і пружного розширення гранули після її вивільнення з камери.

Ефективність процесу гранулювання залежить від ступеню досконалості виконання кожного з наведених етапів, однак, безумовно, основне значення має перший етап – операція стиснення порції сировини до потрібної щільності. Таким чином, вивчення чинників, які впливають на хід операції, складає завдання наведених досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Ефективність процесу гранулювання переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, що пресується, як-то пружні, в'язкі і фрикційні властивості. Це модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя. Багато дослідників відмічають такі властивості, як порозність, співвідношення компонентів у суміші (тверда речовина, рідина і газова фаза), точка адсорбції води на поверхні часток, критична щільність та ін. [1, 2].

Коефіцієнт тертя серед названих фізико-механічних властивостей займає особливе місце, тому що від його значення залежать не тільки умови і зусилля пресування, а також і спроможність готового гранульованого продукту взаємодіяти з елементами технологічного обладнання, зокрема, транспортуючих та фасувальних машин і механізмів.

Метою представлених результатів досліджень є експериментальне та аналітичне визначення коефіцієнта тертя спокою та тертя руху гранул з відходів виготовлення морквяного соку (жому).

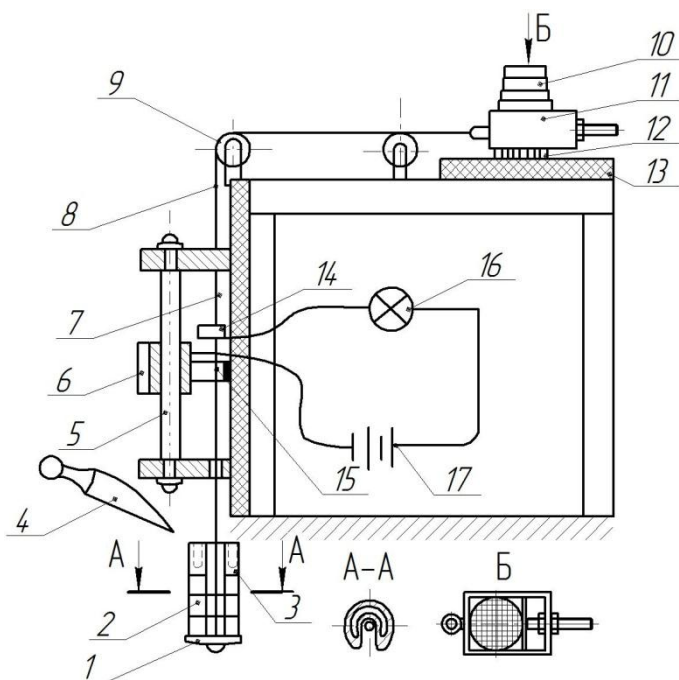
Обладнання та методика проведення експерименту. Дослідження коефіцієнта тертя спокою проводилось на розробленому і виготовленому на кафедрі „Обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика“ ТДАТУ трибометрі (рисунок 1), а досліджень коефіцієнта руху – на модернізованому приладі І.В. Крагельського [3] (рисунок 2).

На трибометрі (рисунок 1) можна визначати коефіцієнт тертя спокою (f_c) як цілих плодів, так і зразків (фрагментів). Для кріплення зразків 12 крихких матеріалів та матеріалів з підвищеною пластичністю передбачалися спеціальні оправки 11.

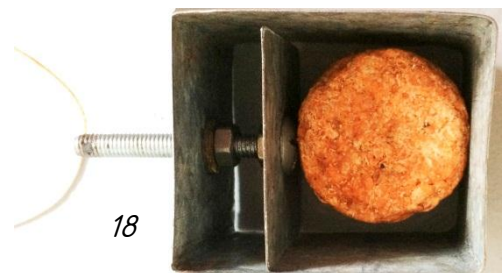
Для імітування різних матеріалів поверхонь тертя трибометр комплектували знімними пластинами 13 з металу, дерева, гуми.

Об'єкт досліджень навантажували потрібним нормальним зусиллям F_N важками (гирями) 10.

Потім об'єкт зсувався силою F_T , яка утворювалась гирями 2 і масою піску, що плавно висипався із совка 4 у короб 3.



Гирі з коробом встановлювали на підвіску 1, яка була з'єднана ниткою 8, перекинutoю через блоки 9, з оправкою 11. Як тільки зусилля F_T перевищувало максимальне значення сили тертя починався рух оправки або плоду, що досліджується.



1 - підвіска; 2 - гирі; 3 - короб; 4 - совок; 5 - напрямна; 6 - повзун; 7 - рама; 8 - нитка; 9 - блок; 10 - важки; 11 - оправка; 12 - зразок; 13 - пластина; 14, 15 - контакти; 16 - лампа; 17 - батарея; 18- оправка з гранулою.

Рис. 1. Схема дослідного трибометра.

При цьому, закріплений на нитці рухомий контакт 14, опускаючись, торкався контакту 15, встановленого на повзуні 6. Електричний ланцюг з лампою 16 і батареєю 17 замикався.

Положення повзуна з контактом 15 на напрямній 5 фіксувалося силами тертя, яка утворювалася діями сил пружності пластинчастої пружини. Перед початком досліду зазор між контактами становив 2...3 мм.

Зусилля F_T визначалося як сума сил ваги гир, підвіски і короба з піском. Зважування здійснювали вагами ВЕЛ-200.

Коефіцієнт тертя визначали із залежності:

$$f = F_T / F_N . \quad (1)$$

Плавне збільшення зусилля на дослідний зразок завдяки повільному подаванню піску до короба і точному визначенню початку руху об'єкта за допомогою світлового сигналу забезпечили високу точність визначення зусилля F_T , про що говорить незначне розсіювання значень результатів повторюваних дослідів.

Для підвищення стабільності показань і спрощення керування приладом І.В. Крагельського, на якому проводили визначення коефіцієнта тертя руху, клинопасовий варіатор приладу був замінений відповідною клинопасовою передачею з постійним передаточним числом.

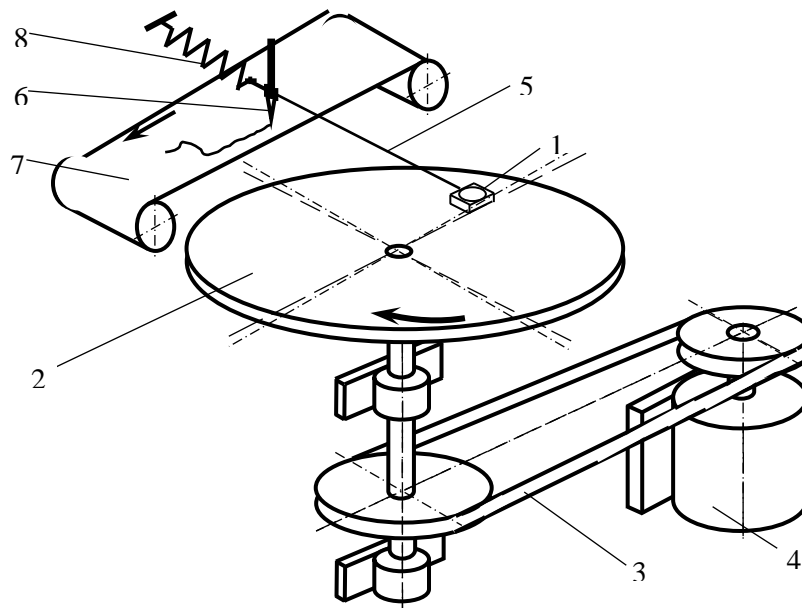
Плавне ж регулювання частоти обертання диска здійснюється за рахунок застосування електродвигуна постійного струму, підключеного за реостатною схемою через випрямляч до звичайної однофазної електричної мережі. Регулювання частоти обертання диска у широких межах (від 200 до 1800 об/хв.) досягається шляхом змінення напруги в обмотці якоря двигуна.

Схема приладу показана на рисунку 2.

Об'єкт випробування (гранула, закріплена в спеціальній оправці) 1 укладається на поверхню диска 2, який обертається навколо вертикальної площини через клинопасову передачу 3 від електродвигуна постійного струму 4. Об'єкт за допомогою нитки 5 з'єднаний з пером самописця 6, яке переміщається по стрічці 7 на відстань, обумовлену деформацією тарованої виміральної пружини 8. Як і у попередній серії дослідів, навантаження зразка проводили за допомогою гир, які встановлювали на зразок, закріплений в оправці.

Диск приладу має пристрої для швидкої заміни і кріплення його покриття, що імітує різні види поверхонь тертя, зокрема, дерево, метал (сталь) і гума.

Запис зусилля тертя проводиться на стрічку з міліметрового паперу шириною 50 мм. Привод самописця теж має безступінчасте регулювання переміщення стрічки. Це дає можливість узгодження швидкостей диска і паперу, а також одержання достовірної інформації про динаміку змінення зусилля тертя.



1 - об'єкт випробувань; 2 - диск; 3 - клинопасова передача; 4 - електродвигун постійного струму; 5 - нитка; 6 - перо самописця; 7 - вимірвальна пружина; 8 - стрічка самописця; 9 - привод самописця.

Рис. 2. Прилад для дослідження коефіцієнта тертя руху.

Досліди з визначення коефіцієнта тертя проводили з п'ятикратною повторністю, розсіювання результатів складало не більш 4...8%.

Результати досліджень. На рисунку 3 наведені графіки, побудовані за результатами визначення коефіцієнта тертя спокою.

Змінення коефіцієнтів тертя спокою, зумовлені характером проведення дослідів, можна пояснити впливом різної шорсткості поверхонь пластин трибометра та податливістю поверхні контакту, зміненнями адгезійних сил – сил молекулярного зчеплення.

Вплив останніх визначається залежністю коефіцієнта тертя спокою (f_c) від величини нормального тиску.

Збільшення нормальної сили тиску супроводжується тенденцією зниження коефіцієнту тертя (рисунок 3), що можна пояснити аналізом двочленного закону тертя Кулона [4].

$$F_T = F_A + F_N \cdot \mu = F_N \left(\frac{F_A}{F_N} + \mu \right) = F_N \cdot f. \quad (2)$$

де F_A - сумарна сила молекулярного зчеплення;

μ - коефіцієнт тертя за законом Кулона;

f - коефіцієнт тертя за законом Амонтона.

Таким чином, збільшення нормальної сили приводить до зниження питомого зусилля F_A/F_N .

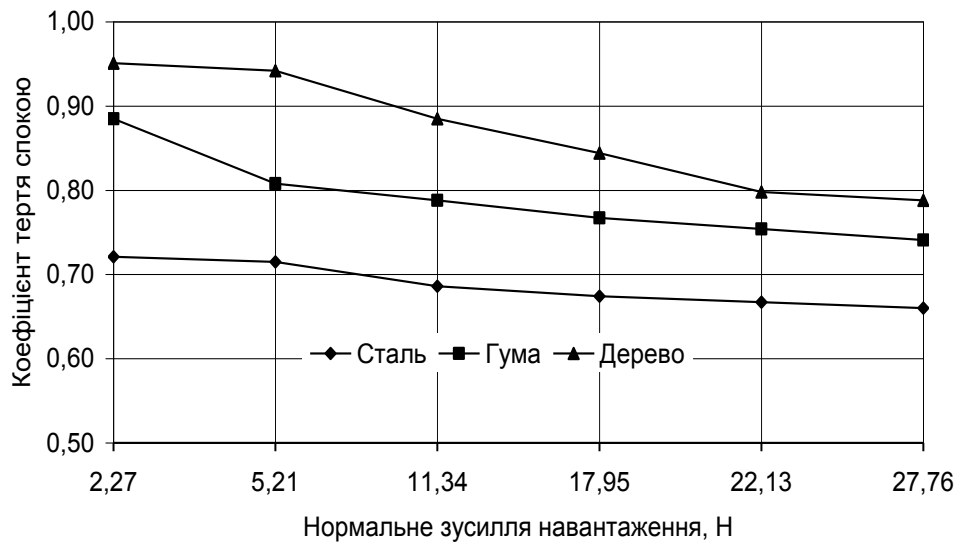
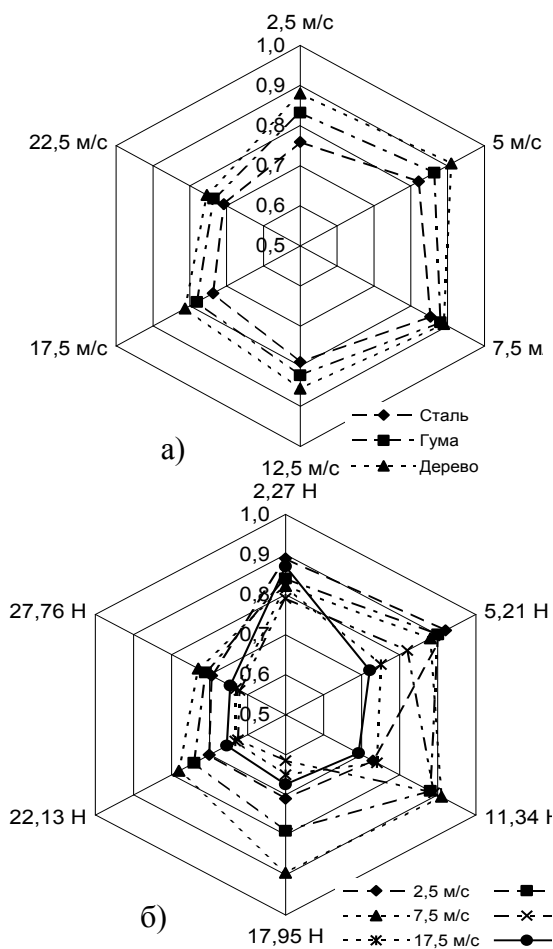


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя спокою дослідної гранули жому моркви від нормального зусилля.

Коефіцієнт тертя руху f_p визначали за формулою Амонтонна при тих же значеннях нормальної сили, що й для визначення коефіцієнту тертя спокою. Досліди проводились для широкого діапазону колових швидкостей руху дослідної гранули жому моркви від 2,5 м/с до 22,5 м/с. Результати дослідів показані на діаграмах рисунку 4.



Як видно з графіків, мінімальні значення коефіцієнта одержані при терті по сталі, максимальні – по дереву. Як і значення коефіцієнту тертя спокою, зі збільшенням нормального зусилля тиску коефіцієнт тертя руху зменшується. З аналізу графіка б) видно, що зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт тертя також дещо зменшується. Це явище можна пояснити зниженням питомого зусилля F_A/F_N та деяким змінням характеру поверхонь контакту гранули і поверхні руху при підвищенні швидкості.

а) від швидкості руху; б) від нормального зусилля навантаження.

Рис. 4. Залежності коефіцієнта тертя руху гранули моркви.

Змінення коефіцієнта тертя руху f_p від змінень нормального тиску F_N та швидкості ковзання не набули стабільного характеру.

Для аналітичного визначення коефіцієнта тертя руху застосували емпіричну залежність коефіцієнта тертя від швидкості відносно руху поверхонь, що труться [5]:

$$f_v = f_o + f_1v + f_2v^2 + f_3v^3, \quad (3)$$

де f_o - коефіцієнт тертя при $v = 0$; f_1, f_2, f_3 - експериментальні коефіцієнти, які можуть бути як позитивними, так і від'ємними.

Склавши для даних трьох швидкостей v_1, v_2, v_3 систему з трьох рівнянь і розв'язавши їх, знайдемо числові значення f_1, f_2, f_3 , обчислені за залежностями і експериментальними значеннями f_{vi} при швидкостях v_1, v_2, v_3 . Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні і розрахункові значення коефіцієнтів тертя руху гранульованої моркви по гумі при різних швидкостях ковзання і різних нормальних навантаженнях

| f_N , Н | Експериментальні значення | | | | Розрахункові значення | | | Значення f_{v4} при $v_4 = 7,5$ м/с | | | Значення f_{v5} при $v_5 = 17,5$ м/с | | |
|--------------|---------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-----------------------|---------|---------|--|------------|------------|---|------------|------------|
| | f_o | Значення f_i при швидкості | | | f_1 | f_2 | f_3 | Експеримент | Розрахунок | Похибка, % | Експеримент | Розрахунок | Похибка, % |
| | | 2,5 м/с | 12,5 м/с | 22,5 м/с | | | | | | | | | |
| 2,27 | 0,885 | 0,89 | 0,79 | 0,871 | 0,00006 | 0,0017 | -0,0013 | 0,821 | 0,795 | -14,7 | 0,820 | 0,811 | 1,1 |
| 5,21 | 0,808 | 0,92 | 0,82 | 0,721 | 0,00058 | -0,0078 | 0,0038 | 0,88 | 0,875 | 0,5 | 0,750 | 0,762 | 1,57 |
| 11,34 | 0,788 | 0,73 | 0,89 | 0,692 | 0,0003 | 0,0068 | 0,0036 | 0,91 | 0,879 | 1,7 | 0,741 | 0,715 | 3,4 |
| 17,95 | 0,767 | 0,71 | 0,615 | 0,674 | 0,00022 | 0,0013 | -0,0012 | 0,895 | 0,783 | 14,3 | 0,652 | 0,618 | 3,5 |
| 22,13 | 0,754 | 0,70 | 0,625 | 0,654 | -0,00022 | 0,0016 | -0,0007 | 0,78 | 0,768 | 1,5 | 0,632 | 0,60 | 5,3 |
| 27,76 | 0,741 | 0,694 | 0,621 | 0,645 | -0,00019 | 0,0012 | 0,0005 | 0,729 | 0,720 | 1,2 | 0,630 | 0,602 | 4,6 |

Висновок. Наведені вище результати досліджень коефіцієнтів тертя дослідної гранули з жому моркви можна використовувати для розрахунку і проектування прес-грануляторів, транспортуючих машин та іншого технологічного обладнання.

Література:

1. *Классен, П.В.* Основы техники гранулирования. / В.В. Классен, И.Г. Гришаев. - М.: Химия, 1982. - 272 с.
2. *Мельников, С.В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм. / С.В. Мельников. - Л.: Колос 1978. - 560 с.
3. *Крагельский, И.В.* О методике определения трения скольжения несмазанных поверхностей трения и износа в машинах // Доклады и выступления. - М.-Л.: АН СССР. 1940. Т.11. - 172 с.
4. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин. / Е.П. Шведов, Д.Я. Равинский, В.Д. Зозуля. - К.: Наукова думка, 1979, - 188 с.
5. *Крагельский, И.В.* Коэффициенты трения. Справочное пособие. / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова - М.: Машгиз, 1962, - 220 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЖМЫХА МОРКОВИ

Ялпачик В.Ф., Буденко С.Ф., Червоткіна О.О.

Аннотация – в работе изложены результаты экспериментальных исследований с определением коэффициента трения покоя и движения образцов гранул из жмыха моркови.

A STUDY OF THE COEFFICIENT OF FRICTION OF GRANULAR CAKE CARROT

V. Yalpachik, S. Budenko, O. Chervotkina

Summary

The paper presents the results eksperimentalnih studies with determination of the coefficient of friction of rest and motion samples of pellets from oil cake of carrot.