

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ОВОЧЕВИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ

Червоткіна О. О., інженер,*

ORCID: 0000-0002-8559-6717

Стручаєв М. І., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8891-4960

Тарасенко В. Г., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0275-0281

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-13-06

Постановка проблеми. Використання вторинних сировинних ресурсів сокового виробництва (вичавків, пюре–відходів), які не втратили своєї харчової цінності є актуальним і перспективним напрямком в розвитку переробної та харчової промисловості.

Як відомо, останнім часом, для реалізації вказаної проблеми широко застосовують процес гранулювання [1], 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 залежить від ступеню досконалості виконання кожного з названих етапів, однак основне значення має перший етап – операцію стиснення порції сировини до потрібної щільності.

Аналіз останніх досліджень. На процес стиснення суттєво впливають пружні, в'язкі і фрикційні властивості матеріалу, який піддається гранулюванню. Таким чином ефективність процесу гранулювання переважно залежить від фізико–механічних властивостей матеріалу, що пресується. Це, насамперед, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя [2]. 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 тощо [3, 4, 5].

Серед названих фізико–механічних властивостей особливе місце займає коефіцієнт тертя від значення якого 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 [6].

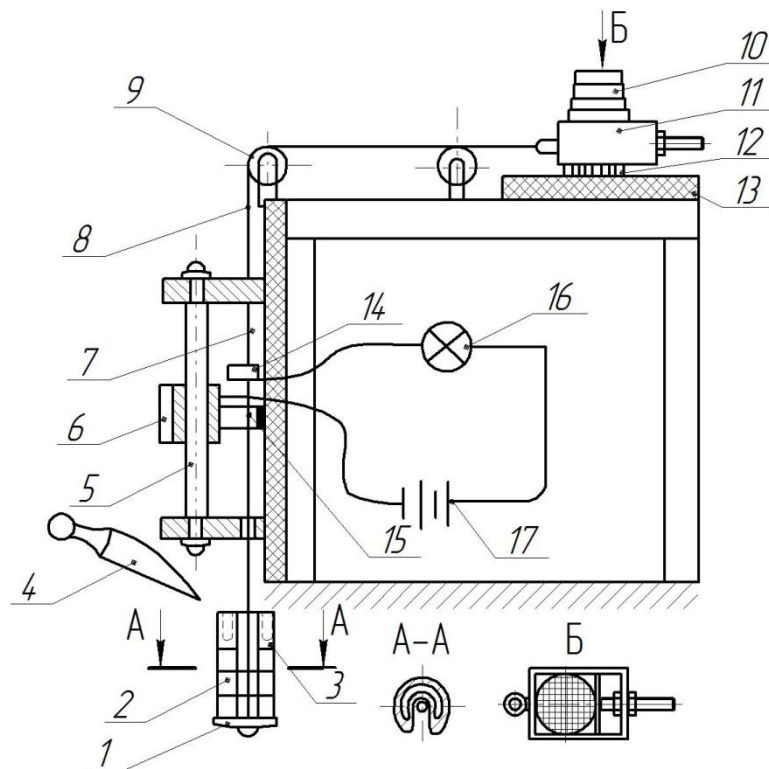
Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою представлених досліджень є експериментальне та аналітичне

визначення коефіцієнта тертя спокою та тертя руху гранул з відходів (жому), одержаного в результаті виготовлення морквяного соку.

Основна частина. Для дослідження коефіцієнтів тертя спокою (при $v = 0$) на кафедрі обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф. Ю. Ялпачика ТДАТУ був розроблений і виготовлений трибометр (рис. 1) з електричною сигналізацією початку зсуву дослідного зразка, а для досліджень коефіцієнта руху (при $v > 0$) модернізовано відому конструкцію приладу І. В Крагельського [7] (рис. 2).

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

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



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.

Рис. 1. Схема дослідного трибометра.

Об'єкт досліджень навантажувався до потрібного нормального зусилля 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 встановлювалася на підвіску 1, яка була

з'єднана ниткою 8, перекинутаю через блоки 9, з оправкою 11. Як тільки зусилля F_T перевищувало максимальне значення сили тертя починався рух оправки або плоду, що досліджувався.

При цьому рухомий контакт 14 закріплений на нитці, опускаючись, торкався контакту 15, встановленого на повзун 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 гирь, підвіски і короба з піском. Зважування здійснювалося на вагах ВЕЛ–200.

Коефіцієнт тертя визначався за залежністю:

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

Плавне збільшення зусилля на дослідний зразок завдяки повільному поданню 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 повторних дослідів.

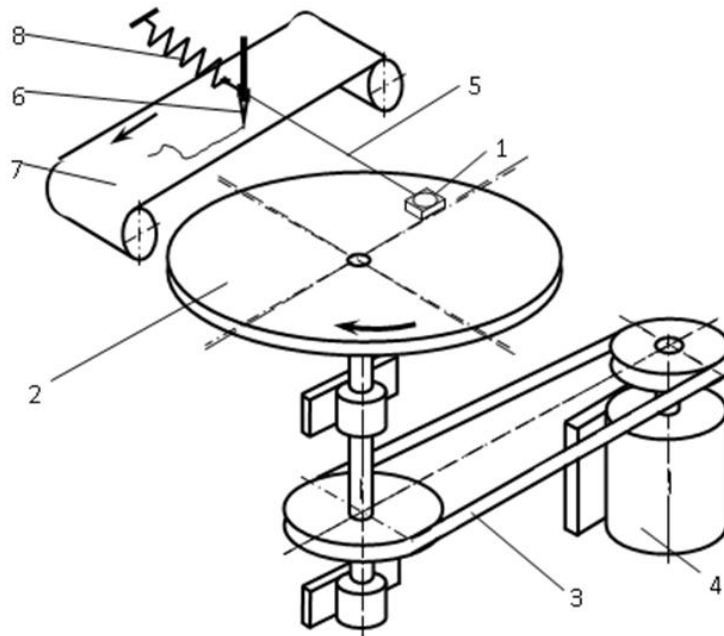
Для підвищення стабільності показань і спрощення керування приладом І. В. Крагельського, на якому проводилося визначення коефіцієнта тертя руху, клиноремінний варіатор приладу був замінений відповідною клиноремінною передачею з постійним передаточним числом.

Плавне 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 рис. 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 вимірювальної пружини 8. Як і у попередній серії дослідів навантаження зразка проводилося за допомогою гирь, які встановлювались 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 – вимірювальна пружина; 8 – стрічка самописця; 9 – привод самописця.

Рис. 2. Прилад для дослідження коефіцієнта тертя руху.

Досліди по визначенню коефіцієнта тертя проводились з п'ятикратною повторністю, розсіювання результатів складало не більш 4...8%.

На рис. 3 наведені графіки побудовані за результатами визначення коефіцієнта тертя спокою.

Змінення коефіцієнтів тертя спокою зумовлені характером проведення дослідів і можна пояснити впливом різної шорсткості поверхонь пластин трибометра та податливістю поверхні контакту, зміненнями адгезійних сил – сил молекулярного зчеплення. Вплив останніх визначається залежністю f_c від величини нормального тиску.

Збільшення нормальної сили тиску супроводжується тенденцією зниження коефіцієнту тертя (рис. 3), що можна пояснити аналізом двочленного закону тертя Кулона [8].

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

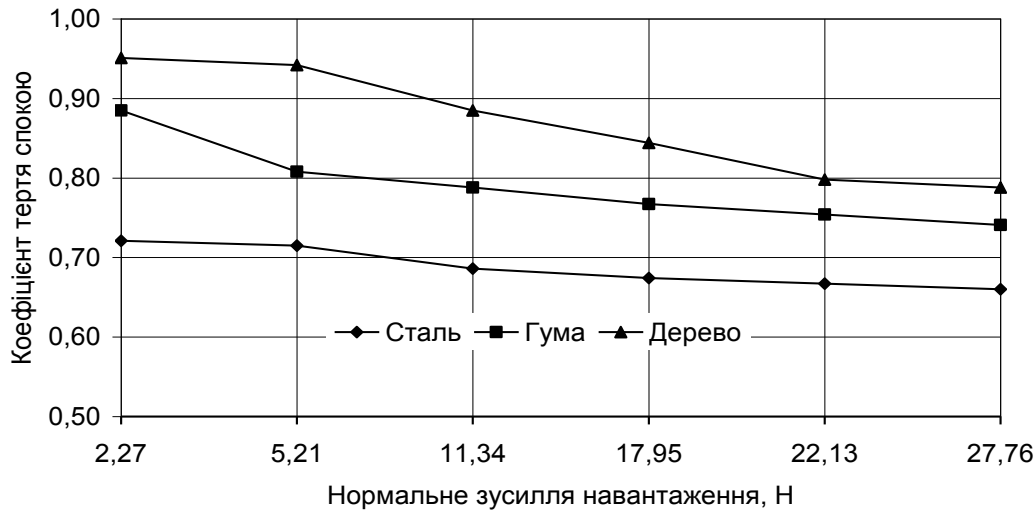


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя спокою від нормального зусилля на зразок.

Збільшення нормальної сили приводить до зниження питомого зусилля F_A/F_N (тут F_A – сумарна сила молекулярного зчеплення; μ – коефіцієнт тертя за законом Кулона; f – коефіцієнт тертя за законом Амонтона).

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

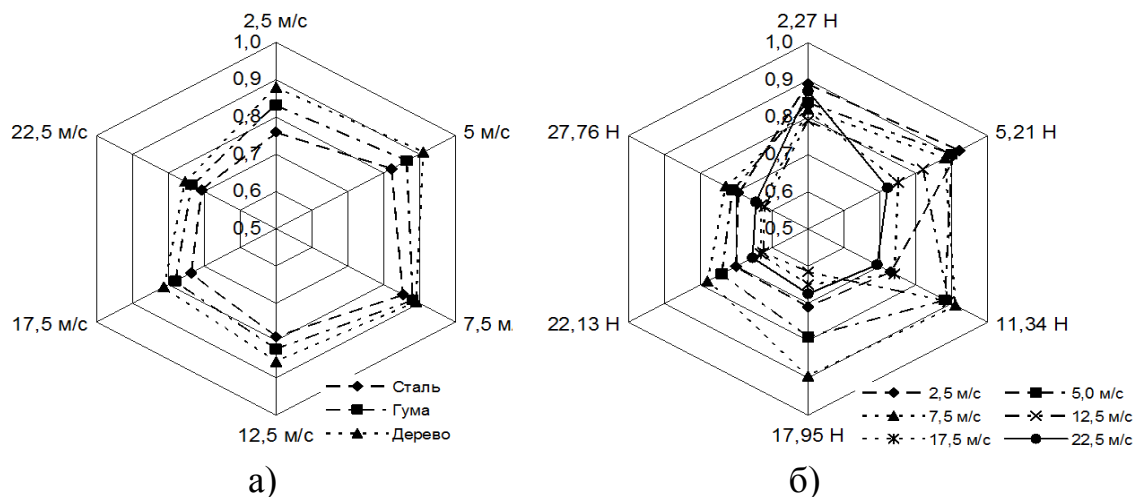


Рис. 4. Залежності коефіцієнту тертя руху від: а) швидкості руху і б) нормального зусилля навантаження.

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

руху зменшується. З аналізу графіка б) видно, що зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт також дещо зменшується. Змінення коефіцієнта руху f_p від змінень нормального тиску F_N та швидкості ковзання не набули стабільного характеру.

Коефіцієнт граничного тертя найчастіше виражений такою емпіричною залежністю від швидкості відносно руху поверхонь, що труться [9]:

$$f_v = f_o + f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3, \quad (3)$$

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

Склавши для даних трьох швидкостей v_1, v_2, v_3 систему з трьох рівнянь (3) і, розв'язавши їх, знайдемо що:

$$f_1 = \frac{(f_{v1} - f_o)(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + (f_{v2} - f_o)(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{(f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3^3 - v_3^3 v_1) + (f_{v1} - f_o)(v_2^3 v_3 - v_2 v_3^3) + (f_{v3} - f_o)(v_1^3 v_2 - v_1 v_2^3)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}, \quad (5)$$

$$f_3 = \frac{(f_{v3} - f_o)(v_1 v_2^2 - v_2 v_1^2) + (f_{v2} - f_o)(v_1^2 v_3 - v_1 v_3^2) + (f_{v1} - f_o)(v_2 v_3^2 - v_3 v_2^2)}{v_1(v_2^2 v_3^3 - v_3^2 v_2^3) + v_2(v_3^2 v_1^3 - v_1^2 v_3^3) + v_3(v_1^2 v_2^3 - v_2^2 v_1^3)}. \quad (6)$$

Числові значення f_1, f_2, f_3 , обчислені за залежностями (4), (5), (6) і експериментальними значеннями f_{vi} при швидкостях ковзання v_1, v_2, v_3 і різних нормальних навантаженнях наведені у таблиці 1.

Також наведені значення f_{vi} при швидкостях v_4 і v_5 , обчисленими за залежністю (3), а також знайдені експериментальним шляхом. Розрахункові значення задовільно збігаються з експериментальними [10].

Зазначені вище змінення коефіцієнтів тертя руху можна пояснити сукупним впливом вказаних раніше факторів (шорсткість поверхонь, піддатливість зразка, його деформація, сили молекулярного зчеплення, тощо), також додаткових факторів, як-то вплив продуктів зносу, вологості та ін.

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

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	0,00062	0,0004	-0,00006	0,821	0,884	7,12	0,820	0,796	2,93
5,21	0,808	0,92	0,82	0,721	0,044	-0,0075	0,00019	0,880	0,798	10,3	0,750	0,774	3,20
11,34	0,788	0,73	0,89	0,692				0,910			0,741		
17,95	0,767	0,71	0,615	0,674	-0,0034	0,0003	-0,00004	0,895	0,732	18,2	0,652	0,641	1,72
22,13	0,754	0,70	0,625	0,654				0,780			0,632		
27,76	0,741	0,694	0,621	0,645	-0,0087	0,0011	0,00001	0,723	0,741	2,43	0,630	0,617	2,06

Висновки. Наведені вище результати досліджень коефіцієнтів тертя можна використовувати для розрахунку і проектування прес-грануляторів, транспортуючих машин та іншого технологічного обладнання.

Список використаних джерел

1. Investigation of the effect of heat treatment on the quality of the feed additive containing carrot pomace / В. Iegorov, I. Cherneha, L. Fihurska, O. Tsiundyk. *Food science and technology*. 2019. Vol. 13, № 3. P. 77–85. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i3.1483>.

2. Процеси і апарати харчових виробництв. Механічні процеси і технології надвисокого тиску: підручник / В. С. Бойко та ін. Мелітополь: Люкс, 2019. 273 с.

3. Олексієнко В. О., Червоткіна О. О., Циб В. Г. Дослідження механізмів гранулювання. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2016. Вип. 16, т. 1. С. 269–273.

4. Николаев Б. А. Измерение структурно–механических свойств пищевых продуктов. Москва: Экономика, 1964. 224 с.

5. Рогов И. А., Горбатов А. В. Физические методы обработки пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1974. 583 с.

6. Крагельский И. В. О методике определения трения скольжения несмазанных поверхностей трения и износа в машинах. *Доклады и выступления*. Москва; Ленинград: АН СССР, 1940. Т. 11. 172 с.

7. Ялпачик В. Ф. Методика визначення фізико–механічних та теплофізичних властивостей плодів, овочів і ягід при тривалому зберіганні в замороженому виді. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь, 2005. Вип. 29. С. 81–90.

8. Словарь–справочник по трению, износу и смазке деталей машин / Е. П. Шведов, Д. Я. Равинский, В. Д. Зозуля, Э. Д. Браун. Киев: Наукова думка, 1979. 188 с.

9. Крагельский И. В., Виноградова И. Э. Коэффициенты трения: справочное пособие. Москва: Машгиз, 1962. 220 с.

10. Ялпачик В. Ф., Буденко С. Ф., Червоткіна О. О. Коефіцієнт тертя гранульованих відходів сокового виробництва. *Техніка і технології АПК*. 2017. № 1(88). С. 22–25.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ ОВОЧЕВИХ ВІДХОДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРЕС–ГРАНУЛЯТОРА З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ

Червоткіна О. О., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г.

Анотація

В умовах модернізації і технологічного оновлення виробництва велике значення набуває відповідальність критеріям ресурсозбереження та енергоефективності вдосконалення, які широко використовуються в складних технологічних процесах. Одним з доцільних шляхів вдосконалення процесу пресового гранулювання є розробка нових і оптимізація існуючих конструкцій прес–грануляторів.

В даній статті викладені результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту тертя спокою і руху зразків гранульованих відходів виробництва соку моркви. У статті обґрунтовано напрямок вдосконалення робочого процесу прес–гранулятора з плоскою матрицею.

Ключові слова: прес–гранулятор, коефіцієнт тертя, овочеві відходи, матриця.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРАНУЛИРОВАНИЯ ОВОЩНЫХ ОТХОДОВ НА ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРЕ С ПЛОСКОЙ МАТРИЦЕЙ

Червоткина А. А., Стручаев Н. И., Тарасенко В. Г.

Аннотация

В условиях модернизации и технологического обновления производства большое значение приобретают усовершенствования, которые отвечают критериям ресурсосбережения и энергоэффективности и широко используются в сложных технологических процессах промышленности.

Одним из целесообразных путей совершенствования процесса прессового гранулирования является разработка новых и оптимизация существующих конструкций пресс-грануляторов.

В данной статье изложены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента трения покоя и движения образцов гранулированных отходов производства сока моркови. В статье обоснованы направления совершенствования рабочего процесса пресс-гранулятора с плоской матрицей.

Ключевые слова: пресс-гранулятор, коэффициент трения, овощные отходы, матрица.

RESEARCH OF THE PROCESS OF GRANULATION OF VEGETABLE WASTE ON A PRESS GRANULATOR WITH A FLAT MATRIX

O. Chervotkina, N. Struchaiev, V. Tarasenko

Summary

In the context of modernization and technological renewal of production, it acquires great importance, meeting the criteria of resource saving and energy efficiency, improving the complex technological processes widely used in industry. Recently, to implement this problem, the granulation process is widely used, which consists of a number of successive stages: compression, pressure holding, pressure relief, stress relaxation, non-pressure holding, extrusion and elastic expansion of the granule after its release from the chamber. The efficiency of the process depends on the degree of perfection of each of these stages, but the main importance is the first stage - the operation of compressing a portion of raw materials to the desired density. The compression process is significantly affected by the elastic, viscous and frictional properties of the material to be granulated.

The use of secondary raw materials of juice production (extracts, puree-waste), which have not lost their nutritional value is a relevant and promising area in the development of processing and food industries. One of the most expedient ways to improve the press granulation process is the development of new and optimization of existing designs of press granulation machines.

This article presents the results of experimental studies to determine the coefficient of friction at rest and the movement of samples of granular waste from the production of carrot juice. A mathematical model of the process of press granulation of plant raw materials in a closed wedge-shaped space between the matrix and each of the pressing rollers is presented. The article substantiates the directions of improving the working process of a press granulator with a flat die.

Key words: pellet press, coefficient of friction, vegetable waste, matrix.