

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 23, том 2
Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

**Таврійського державного
агротехнологічного університету**
Технічні науки

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

**Випуск 23, том 2
Issue 23, volume 2**

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2

Запоріжжя – 2023



УДК [631.3+621.3+664](058)
Т 13

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. Вип. 23, т. 2. 217 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, AGRIS, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Белосев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук, доц. (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімоне, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словакія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Гриб О. Г., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнєцов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Belojev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

**ELECTRICAL POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Gryb O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pliuhin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ**

Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Лясковська С.Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Холодняк Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)
Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц (Україна)
Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

ПРАЦІ**Таврійського державного
агротехнологічного університету****Випуск 23, том 2****Засновник**

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.
Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету
імені Дмитра Моторного
Протокол № 3 від 31.10.2023 р.

«Праці ТДАТУ» включено до **Категорії Б**
Переліку наукових фахових видань України
(науки: технічні), в яких можуть
публікуватися результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових ступенів
доктора наук і доктора філософії /
кандидата наук (накази МОН України від
17.03.2020 р. № 409)

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл.
м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2

COMPUTER SCIENCES

Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Matsulevych O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

FOOD TECHNOLOGIES

Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY****Issue 23, volume 2****Founder**

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Certificate of governmental registration
KB No. 24285-14125ПР dated December 27, 2019
Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 3 dated October 31, 2023

Proceedings of TSATU is included in the List of
scientific professional editions of Ukraine
(technical sciences), category B, in which the
results of theses for obtaining scientific degrees
of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /
Candidate of Sciences can be published (order of
the Ministry of Education and Science of Ukraine
dated March 17, 2020, No. 409)

Address of the Editorial office

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskyy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Панченко А. І., Волошина А. А., Холод І. М., Волошин А. А.** Вплив геометричних параметрів розподільних систем на стабілізацію вихідних характеристик планетарних гідромашин 6
Panchenko A., Voloshina A., Kholod I., Voloshin A. Influence of geometric parameters of distribution systems on stabilization of the output characteristics of planetary hydromashines
- Кюрчев С.В., Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., Ковальов О. О.** Підвищення якості продуктів при використанні удосконаленого способу гомогенізації і нормалізації молока 25
Kiurchev S., Samoichuk K., Yalpachik V., Kovalyov A. Improving product quality using an improved method of milk homogenization and normalization
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження ефективності роботи системи охолодження при інтенсифікації відтискання технічних олій в гвинтових прес-екструдерах для виготовлення паливних брикетів 33
Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O. Studying the efficiency of the cooling system during the intensification of extrusion of industrial oils in screw press extruders for the manufacture of fuel briquettes
- Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Паляничка Н. О.** Дослідження холоду при зберіганні ягід 46
Kiurchev S., Verkholtantseva V., Palianychka N. Research on cold storage of berries
- Тримбач С. П., Степаненко С. П.** Теоретичні дослідження швидкості переміщення частинок сипкого матеріалу в процесі гранулювання 54
Trimbach S., Stepanenko S. Theoretical studies of the movement velocity of particles of bulk material in the granulation process
- Соломка О. В., Ачкевич О. М., Ачкевич В. І.** Застосування систем автоматизованого проектування в сільськогосподарському машинобудуванні 67
Solomka O., Achkevych O., Achkevych V. Application of automated design systems in agricultural engineering
- Коробка С. В., Стукалець І. Г., Сиротюк С. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Болтянський Б. В., Баранович С. М.** Математичне моделювання процесу сушіння фруктів у геліосушарці 78
Korobka S., Stukalets I., Syrotyuk S., Skliar O., Skliar R., Boltianskyi B., Baranovych S. Mathematical modeling of the process of fruit drying in a solar dryer
- Бойко В. Б., Улексін В. О., Золотовська О. В., Лепеть Є. І., Бойко Б. В.** Проект мехатронної системи експериментальної гідропневматичної сівалки 99
Boiko V., Ulexin V., Zolotovska O., Lepet E., Boiko B. Project of mechatronic system of experimental hydropneumatic seeder



- Червоткіна О. О., Фучадчи Н. О., Паляничка Н. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 113
Chervotkina O., Fuchadzy N., Palianychka N., Samohval V. Influence of different parameters on the process of granou-luvanne of rosliny syrovine and yacterity granules
- Кошулько В. С., Пацула О. М.** Розробка брикетувального гвинтового пресу лушпинної фракції макухи олійних культур 124
Koshulko V., Patsula O. Development of a briquetting screw press for the husk fraction of the cake of oil crops

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Галько С. В., Мірошник О. О., Сивенко М. М., Qawaqzeh M. Z., Al_Issa Huthaifa.** Визначення оптимальних параметрів накопичуючих та генеруючих джерел електричної енергії в автономних локальних електричних системах 134
Halko S., Miroschnik O., Syvenko M., Qawaqzeh M.Z., Al_Issa Huthaifa. Determination of optimal parameters of accumulating and generating sources of electric energy in autonomous local electrical systems
- Дяденчук А. Ф., Філіпович Є. В.** Моделювання фотоелектричних характеристик гетероперехідного сонячного елемента ZnO/porous-Si/Si 152
Dyadenchuk A., Filipovich Ye. Simulation of the photoelectric characteristics of the ZnO/porous-Si/Si heterojunction solar cell
- Юрченко О. Ю., Барсукова Г. В., Чепіжний А. В., Зубко В. М., Тимошенко Г. А.** Пошук місця пошкодження обмотки електроенергетичного обладнання за зміною робочої температури 167
Yurchenko O., Barsukova H., Chepizhnyu A., Tymoshenko H., Zubko V. Search for the location of damage to the electrical equipment winding due to a change in the working temperature
- Попова І. О., Чаусов С. В.** Дослідження схемного рішення пристрою для застосування в якості фільтра лінійних несиметричних напруг 177
Porova I., Chausov S. Investigation of the circuit solution of a device for using linear unbalanced voltages as a filter

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Колісниченко Т. О., Прісс О. П., Кюрчева Л. М., Сефіханова К. А.** Дослідження органолептичних показників якості емульсійних соусів з йодміщуючими добавками 186
Kolisnychenko T., Priss O., Kiurcheva L., Sefikhanova K. Investigation of organoleptic quality indicators of emulsion sauces with iodine replacement additives
- Ткаченко Л. В., Вітряк О. П.** Технологія коктейлів підвищеної біологічної цінності з використанням молочної сироватки 195
Tkachenko L., Vitriak O. Technology of cocktails of increased biological value using milk whey
- Семко Т. В., Пахомська О. В.** Аюрведа - сучасна система оздоровлення організму людини 206
Semko T., Pahomska O. Ayurveda modern health system human organism



DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-2-113-123

УДК 631.363.28

О. О. Червоткіна¹, асистент

ORCID: 0000-0002-6814-0566

Н. О. Фучаджи¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-9433-6282

Н. О. Паляничка, канд. техн. наук

ORCID 0000-0001-8510-7146

В. А. Самохвал, аспірант

ORCID: 0000-0002-3423-3510

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: oleksandra.chervotkina@tsatu.edu.ua, тел.: +380677413346

ВПЛИВ РІЗНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС ГРАНУЛЮВАННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ТА ЯКІСТЬ ГРАНУЛ

Анотація. Аналіз показав, що попередня теплова обробка та зволоження рослинної сировини, а також її склад і розміри частинок є факторами, які найбільше впливають на якість кормових та біопаливних гранул. Підвищення тиску в діапазоні 20-200 МПа призводить до збільшення міцності гранул, а температура матриці близько 100 °С є оптимальною для отримання щільних якісних гранул з рослинної сировини. Важливу роль отриманні якісних гранул при обробці рослинної сировини грають конструктивні параметри прес-гранулятора. Виконання вхідної частини фільтри матриці у формі звуження конуса сприяє зниженню енергоємності та тиску гранулювання, а збільшення відношення довжини каналу фільтри до його діаметра експоненційно збільшує тиск гранулювання та його енергоємність. Взаємодійність між фізичними процесами, що відбуваються в прес-грануляторі, ускладнює інтерпретацію впливу кожного параметра на процес гранулювання, внаслідок цього автори по-різному оцінюють внесок окремих факторів отримання якісних гранул. Тому необхідно заповнити прогалину у знаннях про взаємодію між окремими параметрами гранулювання та їх вплив на результати процесу.

Ключові слова: корма, біопаливо, прес-гранулятор, фільтри матриці, щільність гранул, міцність гранул, енергоємність гранулювання.

Постановка проблеми. В даний час гранулювання одержуваної в результаті змішування попередньо подрібненої сировини комбікормів стало стандартною технологічною операцією для великих та середніх комбікормових заводів і отримує дедалі більше застосування у невеликих внутрішньогосподарських виробництвах сільгосппідприємств [1]. Застосування гранульованих кормів, що складаються в основному рослинної сировини, стало в останні роки стандартом у птахівництві та свинарстві, тоді як інші галузі тваринництва охоплені їм меншою мірою.



В той же час в аквакультури гранулювання комбікормів, отримавши у ХХ столітті стала вельми поширеною, нашого часу поступається місцем їх екстрагування [2]. Тим не менш, гранулювання кормів залишається актуальним для годування всеїдних риб, зокрема карпових, у прісноводній аквакультури [3].

Метою гранулювання рослинного сировини під час виробництва кормів є перетворення однорідної суміші інгредієнтів, у міцні частки (гранули), які мають фізичними характеристиками, які роблять їх придатними для годування конкретного виду та статеву групи тварин [2, 4].

Гранулювання розсипного корму зменшує його втрати при транспортуванні та годівлі, збільшує термін зберігання, покращує поживну цінність [4].

В даний час збільшується використання біопалива, що виготовляється з рослинної сировини, а саме відходів деревообробної промисловості (тирса, кора та ін) та відходів сільського господарства (лузга соняшнику, соломи та ін.) у вигляді паливних гранул (пеллет). Метою гранулювання рослинної сировини при виробництві біопалива є забезпечення можливості його ефективного транспортування, зберігання та використання як паливо.

Процес гранулювання, як відомо, полягає у пресуванні розсипної сировини у гранули шляхом його продавлювання пресуючими роликками через отвори (фільтери) матриці. Важливе значення для успішного здійснення процесу має попередня обробка розсипної рослинної сировини пором або додавання до нього води, а при виробництві кормів та меляси – жирів або інших сполучних речовин [4]. Операцію гранулювання здійснюють у спеціальних машинах-грануляторах (прес-грануляторах), які оснащені вертикальними кільцевими або горизонтальними плоскими матрицями з каналами (фільтрами).

Але, незважаючи на широке використання операції гранулювання в технологічному процесі виробництва комбікормів та біо-палива, продовжуються наукові дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей процесу одержання гранул з рослинного сировини з метою вдосконалення відповідних технологій та технічних засобів у напрямку зниження енергоємності процесу та поліпшення якості гранул [5].

Аналіз останніх досліджень. Систематичний огляд наукових статей з тематики гранулювання рослинної сировини виконували за методикою, наведену в роботах Р. Дж. Торрако та Ч. Околі, що викладає послідовність відбору публікацій, їх критичного аналізу та синтезу резюмуючих висновків.



Постановка завдання. Узагальнення результатів досліджень та аналіз наукових статей, присвячених впливу різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини і якість одержуваних кормових та біопаливних гранул, для виявлення актуальних результатів та перспективних напрямів досліджень у цій галузі.

Основна частина. Ключовими параметрами, що впливають на протікання процесу гранулювання рослинної сировини і якість гранул, є склад сировини та розмір її частинок, а також вологість [4, 5]. Значний вплив на процес гранулювання рослинної сировини та його результати надають температура та тиск [5]. Також протікання процесу залежить від типу гранулятора та технічних характеристик його робочих органів, зокрема пресуючих роликів, матриці та її фільтр.

Вплив розміру частинок сировини. Розмір частинок рослинної сировини впливає на продуктивність гранулювання та якість гранул [4, 6]. Дослідження показали, що зменшення розміру частинок сировини збільшує силу тертя у каналі фільтри, площа їх поверхні, тим самим збільшуючи кількість та площу контактних майданчиків між частинками, внаслідок чого у частках посилюється міжмолекулярна адгезія, зокрема дія сили Ван-дер-Ваальса [4]. Все це призводить до підвищення щільності гранул, що позитивно позначається з їхньої якості.

Зменшення розміру частинок сировини збільшує капілярність між їх твердою та рідкою складовими, сприяючи кращому та більш рівномірному проникненню вологи при попередньому зволоженні сировини [6, 9]. Крім того, підвищене тертя, якому піддаються частки, призводить до їх більшого нагрівання, чому також сприяють їх малий розмір та підвищена капілярність [4, 6]. Усе це призводить до зменшення вологості готових гранул.

Результати експериментів свідчать, що зменшення розміру частинок сировини підвищує міцність готових гранул [4]. Так, Д. Бергстрем та співавтори (D. Bergström et al.) встановили, що гранулювання рослинної сировини з розміром частинок менше 1 мм вимагає менше енергії та забезпечує отримання гранул з більш високою міцністю на стиск, ніж при використанні сировини з частками розміром 1-2 та 2-4 мм [7].

Різні дослідники вважають оптимальним при гранулюванні рослинної сировини розмір часток від 1 до 3 мм. Зокрема, С. Мані (S. Mani) вважає оптимальним розмір частинок менше 3,2 мм, а Стелте (W. Stelte) - Від 1 до 3 мм. Але слід враховувати, що попереднє подрібнення сировини до розміру частинок менше 1 мм значно збільшує енергоємність технологічного процесу та знижує його продуктивність, що відповідно підвищує собівартість готових гранул



[5]. Крім того, результати досліджень показали, що занадто дрібний розмір частинок сировини (менше 0,5 мм) погіршує цінність гранул [4].

Виробникам необхідно шукати компроміс між збільшенням міцності гранул при зменшенні розміру часток рослинного сировини та підвищенням собівартості готового гранульованого корму чи біопалива.

Вода, вміст спрацьовується в сировину, а також додається в змішувач при його змішуванні або введена у вигляді пари під час кондиціонування, сприяє зв'язуванню частинок при гранулюванні [4]. Ця аглютинуюча здатність води заснована на капілярному ефекті та поверхневому натягу [4, 8]. Дж. С. Моріц та співавтори досліджували вплив додавання води в змішувач у кількості 0,25 та 50 г/кг і встановили, що значення PDI (індекс довговічності гранул) в результаті склало відповідно 75,6 та 79,6 %. Абдоллахи та співавтори встановили, що додавання води у кількості 24 г/кг корму, кондиціонованого при 60 °С, збільшило PDI з 56,5 до 67,2%. Таким чином, попереднє зволоження рослинного сировини збільшує міцність одержуваних гранул.

Однак при надмірному зволоженні вода може діяти як мастило, знижуючи тертя у фільтрі у процесі гранулювання, що негативно позначається на довговічності та міцності гранул. Це явище докладно досліджував Р. Колович, який встановив, що підвищення вологості сировини нівелює позитивний вплив збільшення довжини каналу матриці на міцність гранул.

В цілому, гранули, виготовлені при недостатній кількості вологи, є сухими та розсипчастими, а надлишок вологи призводить до отримання недостатньо міцних гранул [3].

Зміст жирів у сировині впливає на процес і результати гранулювання кормів. Тиск, надається на частинки рослинної сировини при гранулюванні призводить до того, що жири та олії переміщуються на їх поверхню [4]. Поверхневий шар ліпідів діє як мастило, зменшуючи тертя у фільтрі та тим самим знижуючи тиск гранулювання та зменшуючи витрати енергії. Жир зменшує контакт сировини зі стінками каналу фільтри, полегшуючи проходження корму через нього та цим зменшуючи його ущільнення [4]. Тому гранульований корм повинен містити кілька жирів – мінімум 2% [3].

С. К. Герінг встановив, що введення до складу корму жирів у змішувач позитивно впливає на поживну цінність гранул, тому що утворюється на поверхні гранул жировий шар сприяє зниженню тиску і температури в процесі гранулювання, що сприяє кращому збереженню термолабільних речовин, таких як вітаміни.



Таким чином, збільшення змісту жирів у сировині, з одного боку, діє позитивно, зменшуючи енергоємність процесу гранулювання та підвищуючи поживну цінність корму, з іншого боку, негативно, знижуючи щільність і міцність гранул.

Тому нині більшість фахівців вважає, що кількість жирів у кормі, що піддається гранулюванню, повинно бути щонайменше 2-3 % і трохи більше 8-10 % [3]. У тих випадках, коли потрібно включити в склад комбікорму більша кількість жирів, раціонально виконувати цю операцію вже після гранулювання за допомогою вакуумного напilenня.

Вплив кондиціювання сировини. Попереднє кондиціювання сировини необхідно для отримання гранульованого корму гарної якості, що забезпечується зволоженням сировини і зміною її структури [6]. Під час кондиціювання гаряча пара руйнує структуру крохмалю, що призводить до його желатинізації, і це дозволяє пов'язувати частинки корму, забезпечуючи одержання міцних гранул [4, 6]. При правильному процесі кондиціювання гранули мають високу міцність, знижується витрата енергії, що використовується для їх виробництва, а також зменшується знос фільтр [6, 8].

Таким чином, кондиціювання при вищій температурі дозволяє покращити якість гранул, але при гранулюванні слід враховувати вплив на перебіг процесу складу рослинної сировини.

Тиск є одним із важливих змінних параметрів процесу гранулювання [5].

Воно обумовлено опором при продавлюванні сировини пресуючими роликками через канали у матриці [5]. Тиск гранулювання (пресування) також називають протитиском [5]. Воно обумовлено внутрішнім тертям між частинками сировини в результаті виникнення напруги зсуву та зовнішнім тертям між сировиною та стінками каналу матриці.

Тиск гранулювання залежить від сировини, типу гранулятора та інших параметрів процесу і піддається прямому контролю.

Тиск гранулювання рослинної сировини зазвичай має значення діапазоні 20-200 МПа, причому більш високий тиск характерний для біопаливних гранул.

У прес-грануляторах тиск безпосередньо не вимірюють, а оцінюють за споживаною ними в процесі роботи електричної потужності.

В. Стелте та співавтори при вивченні гранулювання паливних гранул із деревини та соломи встановили, що тиск гранулювання активно знижується при підвищенні температури сировини до 140 °С, після досягнення якої швидкість зниження значно зменшується.



К. Уїттакер та І. Шієлд встановили, що більш високий тиск гранулювання призводить до отримання більш міцних гранул. При підвищенні тиску гранулювання щільність одержаних гранул збільшується, але, лише до визначеної межі [5].

В. Стелте та співавтори встановили, що збільшення тиску гранулювання понад 200 МПа вже не призводить до підвищення щільності гранул. Це узгоджується з результатами більш раннього дослідження М. О. Фабороді, який розділив процес стиснення волокнистих сільськогосподарських матеріалів під тиском на дисперсну та щільну фази. У дисперсній фазі стиску домінує сила інерції окремих частинок сировини, у той час як у щільній фазі переважають пружні сили, оскільки ущільнена сировина діє як єдине тверде тіло. Таким чином, гранули формуються у каналах матриці під впливом тиску гранулювання [9].

С. Мані досліджував та описав процес формування гранул із рослинного сировини з погляду прикладеного тиску. На його думку, початкова стадія утворення гранул, також звана перегрупованням частинок, відбувається при низькому тиску, коли частинки сировини переміщуються і перебудовуються, заповнюючи порожнечі. На другій стадії, у міру збільшення тиску, зростатиме щільність гранул, усередині яких відбувається зчеплення частинок в результаті міжмолекулярної адгезії.

Результати досліджень С. Мані з гранулювання рослинної сировини (подрібнена солома та стебла) також показали, що при збільшенні тиску в діапазоні 30...160 МПа щільність гранул підвищується. Але якщо в діапазоні тиску 30...80 МПа щільність інтенсивно підвищується, то зі збільшенням тиску понад 90 МПа густина гранул підвищується незначно.

Таким чином, збільшення тиску гранулювання в діапазоні 20-150 МПа сприяє підвищенню щільності гранул.

Температура процесу гранулювання залежить від трьох параметрів: температури сировини на вході; вологість сировини; тертя та опір у каналах матриці гранулятора [5]. Температура та вологість сировини визначаються параметрами процесу кондиціонування, тоді як нагрівання в каналах матриці залежить від їх конструкції та складу сировини [9].

Д. А. Агар встановив, що температура гранул із рослинної сировини знижується зі збільшенням вологості сировини, що він пояснює високою теплоємністю води та прихованою теплотою випаровування [38].

У ході експериментів вчені вимірювали температуру матриці у процесі гранулювання рослинної сировини [9]. Щодо них повідомлень, вона становить від 70 до 150 °С.

У статті С. К. Нільсен приведена термографічна фотографія кільцевої вертикальної матриці, зроблена відразу після зупинки гранулятора, що гранулював подрібнену деревину евкаліпта (рис. 2) [5].

Як видно з рисунку 2, температура різних ділянок матриці змінюється в діапазоні 63-135 °С, причому температура поблизу зовнішнього ряду каналів матриці нижче проти внутрішніми рядами. Це може бути пояснена втратою тепла з поверхні матриці, що призводить до більш високої температури у її центральній частині.

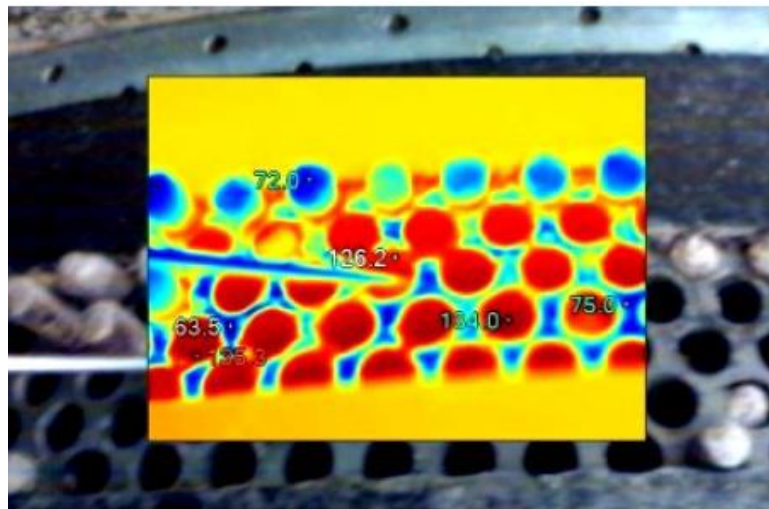


Рис. 1. Термографічна фотографія кільцевої вертикальної матриці, зроблена відразу після зупинки прес гранулятора

Температура процесу гранулювання впливає на зв'язування частинок у гранулах [9]. К. Уїтaker встановив, що температура гранулювання надає вплив на тертя та склеювання частинок, при цьому висока температура призводила до кращого склеювання.

В. Стелте та співавтори вивчали механізми склеювання частинок у паливних гранулах з деревини та соломи та встановили, що гранули, вироблені при вищій температурі, витримують велику силу стиснення до руйнування та мають більш щільну структуру.

Багато досліджень присвячені питанню оптимальної температури гранулювання рослинної сировини. На думку В. В. Кувшинова, оптимальна температура гранулювання кормів - 100-140 ° С. К. Серрано вважає, що оптимальна температура матриці гранулятора для отримання пелет із ячмінної соломи під час роботи у стабільних умовах становить близько 90 °С. М. Є. Мостафа та Дж. С. Туму-луру встановили, що оптимальна температура матриці для гранулювання біопаливної рослинної сировини близька до 100 ° С.



Але Б. Шафран виявив, що підвищення температури від 170 до 220 °С при гранулюванні деревини може збільшити щільність гранул, що, свою чергу, підвищує теплотворну здатність біопалива.

На основі аналізу наукових праць можна зробити висновок, що оптимальна температура гранулювання необхідно експериментально визначати для кожного виду рослинного сировини.

Вище було показано вплив входять до складу рослинної сировини води та жирів, а також розміру його частинок процес гранулювання. Кожен вид сировини має свої особливості перебігу процесу гранулювання залежно від наведених параметрів.

При виготовленні біопаливних пилет велику роль відіграє механічна міцність вихідної сировини, тому до його складу крім деревини твердих порід раціонально включати деревину м'яких порід і сільгоспну сировину [9]. Дослідження Н. Ю. Харун і М. Афзал показали, що змішування сільськогосподарської біомаси з деревною покращує механічні та фізичні властивості паливних гранул.

Ж. Кошак та А. Кошак докладно досліджували вплив складу комбікорму для птиці на питому енергоємність процесу гранулювання [51]. Вони встановили, що збільшення вміст зерна в кормі на 35,16 % призводить до підвищення питомої енергоємності процесу на 60,13%. Збільшення змісту шротів та олій у кормі на 7,2 % викликає зниження питомої енергоємності на 18,1%.

Декілька факторів можуть спільно впливати на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул [4, 52]. При цьому частка впливу кожного фактора на кінцевий результат різна.

На думку К. Мурамацу, внесок у вплив різних факторів на PDI (індекс довговічності гранул) корми наступний: теплова обробка (кондиціонування) - 44%; вологість сировини - 16%; вміст жирів - 9%; розмір частинок сировини - 1%; інші фактори - 31% [4]. Результати моделювання показали, що найбільш ефективним дією для покращення якості гранул є кондиціонування сировини, за яким у порядку зменшення слідує додавання вологи, зменшення вмісту жирів і, нарешті, зменшення розміру частинок сировини.

На думку К. П. Кумарагуру Васагам, якість гранул приблизно на 60% залежить від попередньої обробки рослинної сировини [3].

На думку О. Клименка та О. Гуцовой- Митропольській, внесок у дію різних факторів на якість гранул корму: склад корму - 40%; кондиціонування - 20%; розмір часток - 20%; технічні характеристики гранулятора - 15%; охолодження - 5%. На думку спеціаліста фірми «Vorregaard LignoTech» М. Іванов, співвідношення впливу факторів при гранулюванні кормів таке: склад сировини - 45 %; кондиціонування - 30%; розмір частин сировини - 10%; параметри матриці - 10%; вологість і температура - 5%.



Думки дослідників про співвідношення впливу різних факторів на процес гранулювання рослинної сировини зведено у таблицю. На думку С. К. Нільсен та співавторів, складна взаємодія між численними фізичними процесами, що відбуваються одночасно в прес-гранулятор, ускладнює інтерпретацію впливу кожного параметра на процес одержання біопаливних гранул [5]. Вони вважають, що в сучасній науковій літературі існує прогалина у розумінні взаємодії між деякими параметрами гранулювання та їх впливом на результати процесу.

Таблиця 1

Думки дослідників про співвідношення впливу різних факторів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул

Фактор	Частка впливу фактора на процес гранулювання та якість гранул, %		
	<i>К. Мурамацу</i>	<i>А. Кліменко і А.Гущева- Митропольска</i>	<i>М. Іванов</i>
Теплова обробка (кондиціювання)	44	20	30
Вологість сировини	16	-	2
Вміст жирів	9	-	-
Розмір частинок сировини	1	20	10
Склад сировини	-	40	45
Конструктивні параметри прес-гранулятора	-	15	10
Охолодження	-	5	-
Температура	-	-	3
Інші фактори	31	-	-

Тому, незважаючи на значний обсяг знань, накопичених за останні роки, необхідні подальші дослідження взаємодії факторів, що впливають на якість гранул із рослинної сировини.

Висновки. Підвищення ефективності процесу гранулювання рослинної сировини для виробництва біопаливних пелет та гранульованих кормів знаходиться у центрі уваги інженерів та вчених.

Аналіз результатів досліджень показав, що попередня теплова обробка та зволоження рослинної сировини, а також його склад та розміри частинок є факторами, які мають найбільший вплив на якість кормових та біопаливних гранул. На якість гранул комбікорму, крім цього, великий вплив має вміст жирів у вихідній сировині.

*Список використаних джерел*

1. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*. 2021. Vol. 11. P. 264-270.
2. Regupathi E. R., Suriya A., Geethapriya R. S. On studying different types of pelletizing system for fish feed. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2019. Vol. 7(2). P. 187-192. URL: <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2019/vol7issue2/PartC/7-2-4-857.pdf> (дата звернення 23.09.2023).
3. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. Springer, New Delhi, 2015. P. 227-240. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_21.
4. Muramatsu K., Massuquetto A., Dahlke F., Maiorka A. Factors that affect pellet quality: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015. Vol. 9(2). P. 717-722. <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.09.002>.
5. Dujmovic M., Safran B., Jug M., Radmanovic K., Antonovic A. Biomass Pelletizing Process. *Drvna Industrija*. 2022. Vol. 73(1). P. 99-106. <https://doi.org/10.5552/drvind.2022.2139>.
6. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 148. P. 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>.
7. Bergström D., Israelsson S., Ohman M., Dahlqvist S. A., Gref R., Boman C., Wasterlund I. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89(12). P. 1324-1329. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.06.001>.
8. Froetschner J. Conditioning Controls Quality of Pellet. *Feed Tech*. 2006. Vol. 10(6). P. 12-5. URL: <https://vk.cc/chaXTz> (дата звернення 28.09.2023).
9. Червоткіна О. О., Тарасенко В. Г. Аналіз умов залучення сировини до зони стиснення та обґрунтування довжини каналу пресування. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матер. III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 360-363.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2023 р.



O. Chervotkina¹, N. Fuchadzy¹, N. Palianychka¹, V. Samohval¹
¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

INFLUENCE OF DIFFERENT PARAMETERS ON THE PROCESS OF GRANOU-LUVANNE OF ROSLINY SYROVINE AND YACTERITY GRANULES

Summary

Determining the regularities of the process of pelleting vegetable raw materials is relevant for the improvement of technologies and technical equipment in order to reduce energy intensity and improve the quality of pellets. The generalization of the results of the research aimed at studying the influence of various parameters on the process of pelleting vegetable raw materials and the quality of feed and biofuel pellets is the purpose of the research.

A selection and systematic review of the scientific literature on the subject of the study for the period of 2007-2022 has been carried out. The analysis has proved that heat pre-treatment and moistening of vegetable raw materials, as well as their composition and particle size are the factors that have the greatest impact on the quality of feed and biofuel pellets. Increasing the pressure in the range of 20...200 MPa results in increasing the pellets durability. A die temperature of around 100°C is optimum for obtaining dense pellets of highquality from vegetable raw materials. The design parameters of the pelletizer play an important role in obtaining high-quality pellets when processing vegetable raw materials.

The design of the inlet in the form of a tapering cone helps to reduce energy consumption and pelleting pressure. An increase in the ratio of the die channel length to its diameter exponentially increases the pelleting pressure and its energy intensity. The interplay between the physical processes occurring in the pelletizer makes it difficult to interpret the impact of each parameter on the pelleting process, so different authors have different assessments of the contribution of individual factors in producing high-quality pellets. Therefore, the interaction between the individual pelleting parameters and their influence on the results of the process should be examined more precisely.

Keywords: feeds, biofuel, pelletizer, die, pellet density, pellet durability, pelleting energy intensity.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 23, том 2

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А. І.

Підписано до друку 01.11.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум.-друк. арк. 15 Наклад 100.
ТОВ «Науково-виробнича компанія «Інтер-М»
Свідоцтво 33 № 26 від 23.06.2008 р.
69014, Україна, м. Запоріжжя, вул. Колерова,5