

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 24, том 2
Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2024 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 24, том 2
Issue 24, volume 2**

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

DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

**Запоріжжя
2024**



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. 206 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, «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)

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)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семєнс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімонє, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)
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)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнецов 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)

SECTORAL MACHINE BUILDING

Beloev 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)
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)
Pluihin 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)
Холодник 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 24, 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 № 10 від 28.05.2024 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: 10.32782/2078-0877-2024-24-2

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 24, volume 2****Founder**

Dmytro Motorny 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 Motorny Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 10 dated May 28, 2024

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 address: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
Zaporizhzhia, 66, Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>
DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора 7
Zhuravel D., Bondar A. Feasibility study of the feasibility of using adaptive steering of a wheeled tractor
- Самойчук К. О., Самохвал В. А., Червоткіна О. О.** Дослідження роботи багатосекційного пристрою формування паливних брикетів на гвинтових прес-екструдерах 18
Samoichuk K., Samokhval V., Chervotkina O. Study of the operation of a multi-section device for forming fuel briquettes on screw press extruders
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Акулов В. Д.** Шляхи підвищення енергетичної ефективності біогазової установки 27
Skliar O., Skliar R., Akulov V. Ways to increase the energy efficiency of a biogas installation
- Шарапов С. О., Євтушенко С. О., Хованський С. О.** Експериментальний стенд для дослідження процесів змішування в рідинно-парових струминних апаратів 37
Sharapov S., Yevtushenko S., Khovansky S. Experimental stand for research of mixing processes in liquid-vapor jet devices
- Червоткіна О. О., Фучаджи Н. О., Верхоланцева В. О., Самохвал В. А.** Вплив різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул 51
Chervotkina O. O., Fuchadgi N. A., Verkholtantseva V. A., Samokhval V. A. Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality
- Бага В. М.** Підвищення ефективності проточних частин соплових пристроїв пневматичних систем на основі поглибленого дослідження робочого процесу 61
Baha V. Increasing the efficiency of flow parts of nozzle devices of pneumatic systems on the basis of in-depth study of the working process

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Мірошник О. О., Мороз О. М., Пазій В. Г., Миргород Д. Г., Ганус Р. О., Галько С. В.** Дослідження та порівняння характеристик мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики РС83-АВ3 компанії «РЗА СИСТЕМЗ» з пристроями електромеханічного типу 78
Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Myrgorod D., Hanus R., Halko S. Research and comparison of characteristics of the microprocessor relay protection and automation device РС83-АВ3 company "RPA SYSTEMS" with electromechanical devices



- Трунова І. М., Мірошник О. О., Середа А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Автоматизована система обґрунтування реконструкції об'єктів розподільних мереж 96
- Trunova I., Miroshnyk O., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Automated system of justification for reconstruction of distribution network objects
- Бабич М. І., Боярчук В. М., Сиротюк С. В., Коробка С. В., Михалюк М. А., Стукалець І. Г., Баранович С. М.** Визначення витрати води і напору дериваційних гідроелектростанцій для виробництва електроенергії на гірських річках 109
- Babych M., Boyarchuk V., Syrotyuk S., Korobka S., Mykhaliuk M., Stukalets I., Baranovych S.** Determination of water consumption and pressure of derivation hydro-electric power station for electricity production on mountain rivers
- Постол Ю. О., Гулевський В. Б., Постол О. О.** Підвищення енергоефективності житлового сектору 121
- Postol Y., Hulevskiy V., Postol O.** Increase of energy efficiency of the housing sector
- Савойський О. Ю., Сіренко В. Ф., Вольвач Т. С., Сіренко Ю. В.** Підвищення надійності районних трансформаторних підстанції за рахунок орнітологічного захисту ліній електропередачі 130
- Savoiskiy O., Sirenko V., Volvach T., Sirenko Y.** Enhancing the reliability of district transformer substations through ornithological protection of power lines

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Мацулевич О. Є., Вершков О. О.** Вдосконалення методики контролю якості розробки управляючої програми із застосуванням симулятора роботи токарного верстата з ЧПУ 140
- Matsulevych O., Vershkov O.** Improvement of the quality control methodology of control program development using a work simulator CNC lathe
- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Оформлення креслеників у середовищі solidworks відповідно до національних стандартів України та міждержавних стандартів 150
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Design of engineering drawings in solidworks according to national standards of Ukraine and interstate standards
- Залевська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Оленєва К. Д.** Моделювання колінного суглоба з використанням методів геометричного моделювання та фрактальної геометрії на основі даних з магнітно-резонансної терапії 166
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov L., Polovyi A., Oleneva K.** Modeling of knee joint using geometric modeling and fractal geometry methods based on magnetic resonance therapy data



ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Семко Т. В., Іваніщева О. А., Пахомська О. В., Корчак М. І.**
Дослідження можливостей інноваційного обладнання АМС у ресторанних технологіях 176
- Semko T., Ivanishcheva O., Pahomska O., Korchak M.** Research of the possibilities of amc innovative equipment in restaurant technology
- Бандура В. М.** Ресторани – можливості для енергоефективності 186
- Bandura V. N.** Restaurants – opportunities for energy efficiency
- Фучаджи Н. О., Кузьмінська І. М.** Піноутворення в технологічних операціях шляхом збивання 196
- Fuchadzhi N., Kuzminska I.** Foam formation in technological operations through whipping



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-5

УДК 631.363.28

О. О. Червоткіна¹, асистент

ORCID: 0000-0002-6214-0566

Н. О. Фучаджи¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В. О. Верхованцева¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-1961-2149

В. А. Самохвал¹, аспірант

ORCID: 0000-0001-5539-3647

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. Гранулювання кормів, отриманих шляхом змішування попередньо подрібненої сировини, сьогодні є стандартною технологічною операцією на великих і середніх комбикормових заводах і все частіше використовується сільськогосподарськими підприємствами в дрібнотоварному виробництві [1]. Використання кормових гранул на основі рослинної сировини в останні роки стало стандартом у птахівництві та свинарстві, але не набуло значного поширення в інших галузях тваринництва. У той же час, в аквакультурі гранулювання кормів, яке набуло широкого поширення в 20 столітті, було замінено екструзією. Тим не менш, гранулювання кормів залишається важливим для годівлі всеїдних риб у прісноводній аквакультурі, особливо коропа [3].

Ключові слова: грануляція, гранули, комбикорм, матриця, пресс-гранулятор

Постановка проблеми. Метою гранулювання рослинної сировини у кормовиробництві є перетворення однорідної суміші сировини на тверді частинки (гранули) з фізичними властивостями, придатними для згодовування певному виду або статевій групі тварин [2, 4].

Гранулювання сипучих кормів зменшує втрати під час транспортування та згодовування, подовжує термін зберігання та покращує поживну цінність [4]. Наразі зростає використання біопалива, виготовленого з рослинної сировини, тобто відходів деревини (наприклад, тирси, кори) та сільськогосподарських відходів (наприклад, лушпиння соняшника, соломи) у вигляді паливних гранул (пелет) [5]. Метою гранулювання рослинної сировини у виробництві біопалива є забезпечення ефективного транспортування, зберігання та використання в якості палива [6]. Відомо, що процес гранулювання полягає в тому, що сипуча сировина продавлюється через отвори (матриці) в матриці за допомогою пресувального ролика [5].



Попередня обробка сипучої рослинної сировини за допомогою пару, додавання води або, у випадку виробництва кормів і меляси, жирів і олій або інших зв'язуючих речовин, є необхідною умовою для успішного проходження процесу [4]. Операції гранулювання здійснюються в спеціальних грануляторах, оснащених вертикальними кільцевими або горизонтальними рифленими плоскими матрицями (фільтрами) [7].

Однак, незважаючи на широке використання операцій гранулювання в технологічних процесах виробництва комбікормів та біопалива, тривають дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей процесу отримання гранул з рослинної сировини з метою зниження енергоємності процесу та удосконалення пов'язаної з ним технології і технічних засобів для підвищення якості гранул.

Аналіз останніх досліджень. Проведено систематичний огляд наукових статей з питань гранулювання рослинної сировини за методикою, представленою в роботах R. J. Torraso [10] та С. Okoli [11]. Проведено огляд змісту наукових журналів, які публікують статті за даною тематикою. При відборі статей для цього огляду пріоритет надавався публікаціям з найбільшою кількістю цитувань. Також були вивчені списки літератури відібраних статей з метою пошуку додаткових релевантних наукових джерел. Окрім робіт, присвячених гранулюванню сільськогосподарської сировини при приготуванні комбікормів, до огляду також були включені роботи, присвячені виробництву паливних пелет з рослинної сировини, оскільки ці технологічні процеси є дуже схожими.

Також були включені дослідницькі матеріали, що вивчають процес гранулювання в грануляторах з вертикальною кільцевою або горизонтальною плоскою матрицею. Інші типи грануляторів не розглядалися.

Наукові роботи, опубліковані до 2007 року, були включені в огляд лише за умови відсутності нових публікацій з конкретного досліджуваного аспекту.

Формулювання цілей статті. Узагальнено результати досліджень впливу різних параметрів на процес гранулювання рослинної сировини та якість отриманих кормових і біопаливних гранул, проаналізовано наукові праці та визначено актуальні результати і перспективні напрями досліджень у цій галузі.

Основними параметрами, що впливають на процес гранулювання рослинної сировини та якість гранул, є склад і розмір частинок сировини та вологість [4, 9]. Температура і тиск мають значний вплив на процес гранулювання та якість гранул з рослинної сировини. Процес також залежить від типу гранулятора і технічних



характеристик робочих органів, таких як пресувальні вальці, матриці і прес-форми.

Вплив розміру частинок сировини. Розмір частинок рослинної сировини впливає на продуктивність гранулювання та якість гранул [4, 13]. Дослідження показали, що зі зменшенням розміру частинок сировини збільшуються сили тертя в каналі матриці і площа її поверхні, зростає кількість і площа контактних майданчиків між частинками, що призводить до збільшення впливу внутрішньо-частинкової міжмолекулярної адгезії, особливо ван-дер-вальсових сил. Це призводить до збільшення щільності гранул, що позитивно впливає на якість.

Зменшення розміру частинок сировини збільшує капілярну дію між твердими і рідкими компонентами, що сприяє кращому і більш рівномірному проникненню води під час попереднього зволоження сировини. Крім того, підвищене тертя, яке відчувають частинки, нагріває їх, чому також сприяє менший розмір частинок і посилення капілярної дії. Все це призводить до зниження вологості готових пелет.

Результати експериментів показують, що зменшення розміру частинок рослинного матеріалу збільшує міцність готових пелет. Наприклад, D. Bergström та ін. виявили, що гранулювання рослинного матеріалу з розміром частинок менше 1 мм вимагало менше енергії і давало гранули з вищою міцністю на стиск, ніж при використанні матеріалу з розміром частинок 1-2 мм і 2-4 мм [18].

Волога в сировині, додана в змішувач під час змішування або введена у вигляді пари під час кондиціонування, допомагає зв'язати гранули між собою під час гранулювання. Зв'язуюча здатність цієї води базується на капілярних ефектах і поверхневому натягу; J. S. Moritz та ін. вивчали вплив додавання 0,25 і 50 г/кг води в змішувач і виявили значення PDI (індекс міцності гранул) 75,6 і 79,6% відповідно; M. R. Abdollahi et al. виявили, що PDI збільшився з 56,5% до 67,2% при додаванні 24 г/кг води до корму, відрегульованого при 60°C. Таким чином, попереднє зволоження рослинного матеріалу збільшує міцність отриманих гранул. Однак, коли вода надмірно зволожена, вона діє як мастило і зменшує тертя матриці під час процесу гранулювання, що негативно впливає на довговічність і міцність гранул. Це явище було детально вивчено Р. Коловичем, який виявив, що збільшення вологості сировини протидіє позитивному впливу на міцність гранул збільшення довжини каналу матриці [14].

Загалом, пелети з недостатньою вологістю мають тенденцію до висихання та руйнування, тоді як пелети з надлишком вологи є недостатньо зміцненими. Вплив вмісту жиру. Вміст жиру в сировині впливає на процес і результат гранулювання корму. Тиск, який



чиниться на частинки рослинного матеріалу під час гранулювання, змушує жири мігрувати на поверхню частинок. Поверхневий шар жиру діє як мастило і зменшує тертя матриці, тим самим знижуючи тиск гранулювання і споживання енергії. Масла і жири зменшують контакт сировини зі стінками каналу матриці, полегшуючи проходження сировини, тим самим зменшуючи ущільнення.

Тому до складу гранульованого корму К.К. Герінга (С.К. Gehring) обов'язково повинна входити певна кількість жиру – не менше 2%. (Gehring) встановили, що введення жиру в корм у змішувачі позитивно впливає на поживну цінність гранул. Це пояснюється тим, що жировий шар, який утворюється на поверхні гранул, допомагає знизити тиск і температуру під час процесу гранулювання та сприяє збереженню теплорозчинних речовин, таких як вітаміни [11].

Таким чином, збільшення вмісту жиру в сировині має позитивний ефект зниження енергоємності процесу гранулювання та підвищення поживної цінності корму з одного боку, і негативний ефект зниження щільності та міцності гранул з іншого. Тому більшість експертів зараз вважають, що кількість жиру в кормі, що підлягає гранулюванню, повинна становити не менше 2-3% і трохи більше 8-10%.

Якщо до складу корму потрібно включити велику кількість жиру, доцільно виконувати цю операцію після гранулювання методом вакуумного розпилення.

Тиск є одним з найважливіших змінних параметрів процесу гранулювання. Цей тиск створюється опором сировини, коли вона проштовхується через канавки матриці пресувальними роликами. Тиск гранулювання (пресування) також називають протитиском. Він викликаний внутрішнім тертям між частинками сировини через напруження зсуву і зовнішнім тертям між сировиною і стінками каналу матриці. Тиск гранулювання залежить від сировини, типу гранулятора та інших параметрів процесу і може безпосередньо контролюватися. Тиск гранулювання рослинної сировини зазвичай коливається в межах 20-200 МПа, причому вищі тиски характерні для гранул з біопалива.

В. Штельте та ін. виявили, що підвищення тиску гранулювання понад 200 МПа не призводить до збільшення щільності гранул [14]. Це узгоджується з результатами більш раннього дослідження М. О. Фаборода. Він розділив процес пресування волокнистих сільськогосподарських матеріалів під тиском на дисперсну та щільну фази. Дисперсна фаза пресування відбувається під дією інерційних сил окремих частинок сировини, а щільна – під дією пружних сил, оскільки пресований матеріал поводить себе як єдине ціле. Таким чином,



гранули формуються в каналі матриці під впливом тиску гранулювання. С. Мані вивчив і описав процес формування гранул з рослинної сировини з точки зору пресування. На його думку, початкова стадія формування гранул, також відома як перегруповування частинок, відбувається при низькому тиску, де частинки сировини рухаються і перегруповуються, заповнюючи порожнечі. На другій стадії, зі збільшенням тиску, щільність гранул збільшується, в результаті чого виникає міжмолекулярна адгезія, і частинки склеюються між собою. Результати досліджень С. Мані з гранулювання рослинної сировини (подрібненої соломи і стебел) також показали, що при гранулюванні під тиском 30... 160 МПа, було показано, що щільність гранул зростає зі збільшенням тиску в діапазоні 30. Однак щільність інтенсивно зростає в діапазоні тисків 30...80 МПа, а при тисках вище 90 МПа щільність гранул зростає незначно. Тому збільшення тиску гранулювання в діапазоні 20-150 МПа сприяє збільшенню щільності гранул.

Залежно від типу сировини, процес гранулювання характеризується вищевказаними параметрами. Механічна міцність сировини відіграє важливу роль у виробництві біопаливних гранул.

Доцільно включати не лише листяні породи дерев, але й хвойні породи та сільськогосподарську сировину: дослідження N. Y. Narun та M. Afzal показали, що змішування сільськогосподарської біомаси та деревини покращує механічні та фізичні властивості паливних гранул [13]; J. Koshak та A. Koshak, детально вивчали вплив складу корму для птиці на питому енергоємність процесу гранулювання [51]. Вони виявили, що збільшення вмісту зерна в кормі на 35,16% збільшує питому енергоємність процесу на 60,13%. Збільшення на 7,2% вмісту шроту та олії в кормі призводить до зниження питомої енергоємності на 18,1%.

Вплив кожного фактора на кінцевий результат може бути різним. [22]. За даними К. Мурамацу, внесок різних факторів у вплив на PDI (показник довговічності гранул) корму наступний: термічна обробка (кондиціонування) – 44%; вологість сировини – 16%; вміст жиру – 9%; розмір частинок сировини – 1%; інші фактори – 31%. Результати моделювання вказують на те, що кондиціонування сировини є найбільш ефективним для покращення якості пелет, далі йде додавання вологи, зменшення вмісту жиру і, нарешті, зменшення розміру частинок сировини. Вплив конструкції матриці на роботу гранулятора. Головним виконавчим органом гранулятора є матриця. Її основними конструктивними параметрами є площа, товщина, яка визначає довжину каналу матриці, а також кількість і розташування матриць. Оскільки гранулювання кормів менш трудомістке, ніж біопалива, міцність матриці гранулятора для паливних гранул слід



збільшувати за рахунок зменшення її ширини i , відповідно, площі та збільшення товщини [17].

Кількість і характер розподілу пресувальних каналів (матриць) в матриці має дуже важливе значення в процесі гранулювання; на думку В. Штельте, кількість отворів повинна бути якомога більшою, не порушуючи при цьому механічну цілісність самої матриці при проектуванні [14].

Фільєри в кільцевій фільєрі розташовані рядами в напрямку по нормалі до кола. Внутрішня поверхня матриці розділена на наступні зони

– Активна – загальна площа отвору циліндричного каналу пресування.

Внутрішня поверхня матриці поділяється на наступні зони

– Перехідна – сумарна площа проекції конічного входу каналу матриці;

– Неактивна – поверхня матриці.

За даними різних авторів, площа активної зони кільцевої матриці гранулятора становить 30-60% її внутрішньої поверхні.

Згідно з результатами досліджень N.P.K. Nielsen, неактивна зона матриці також впливає на тиск гранулювання. Це пояснюється тим, що в неактивній зоні матеріал рухається по колу навколо матриці, поки не досягне перехідної зони, тоді як круговий рух матеріалу збільшує напруження, що виникають в зоні між матрицею і роликком.

Вплив швидкості обертання кільцевої матриці. Кількість матеріалу, що ущільнюється при кожному проході вальців, залежить від швидкості подачі в гранулятор і швидкості обертання кільцевої матриці.

Швидкість обертання кільцевої матриці також визначає ступінь стиснення сировини [8]; J. Nu виявив, що збільшення швидкості стиснення з 44,5 мм/хв до 75,5 мм/хв збільшує енергоспоживання при гранулюванні; K. Wu також виявив, що збільшення швидкості обертання матриці збільшує енергоспоживання, але Він дійшов висновку, що сила, яка діє між матрицею і роликком, зменшується, а крутний момент обертання кільцевої матриці також зменшується.

Висновки. Підвищення ефективності процесу гранулювання рослинної сировини для виробництва біопаливних гранул та гранульованих кормів знаходиться в центрі уваги інженерів та науковців. Аналіз результатів досліджень показує, що попередня термічна обробка і зволоження рослинного матеріалу, а також його склад і розмір частинок є факторами, які мають найбільший вплив на якість кормів і біопаливних гранул. На якість кормових гранул також сильно впливає вміст жиру в сировині.



Щодо значень цих параметрів, то вчені вважають, що оптимальним розміром частинок для гранулювання рослинної сировини є 1-3 мм. Рослинна сировина для біопаливних пелет потребує вологості 10-15%, тоді як для кормових пелет – 15-20%. Рослинна сировина для кормових гранул повинна оптимально містити 2-10% жиру. Контроль температури і тиску в процесі гранулювання допомагає виробляти гранули високої якості: підвищення тиску в діапазоні 20-200 МПа збільшує міцність гранул, а температура матриці близько 100°C є оптимальною для виробництва щільних, високоякісних гранул з рослинної сировини.

Результати аналізу показують, що конструктивні параметри гранулятора відіграють важливу роль в отриманні гранул високої якості при переробці рослинної сировини. Багато вчених вважають, що виконання вхідної частини матриці у вигляді конічного конуса сприяє зниженню енергоспоживання і тиску гранулювання, а збільшення відношення довжини до діаметру L/D каналу матриці експоненціально збільшує тиск гранулювання і енергоспоживання. Конструкція пресувального ролика і вплив зазору між ним і матрицею є досить важливими факторами, що визначають перебіг процесу гранулювання, але для встановлення оптимальних значень цих параметрів необхідні подальші дослідження.

Однак, незважаючи на значний обсяг знань, накопичений за останні роки, подальші дослідження взаємодії факторів, що впливають на якість гранул, отриманих з рослинної сировини, все ще необхідні. Складні взаємодії між численними фізичними процесами, що відбуваються одночасно в грануляторі, ускладнюють інтерпретацію впливу кожного параметра на процес гранулювання. Тому внесок окремих факторів у виробництво високоякісних гранул оцінюється різними авторами по-різному. Тому необхідно заповнити прогалини в наших знаннях про взаємодію між окремими параметрами гранулювання та їх вплив на результати процесу.

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 Science*. 2020. Vol. 613(1). e012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012018>.
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 04.02.2023).



3. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. 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. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*. 2020. Vol. 364. P. 971-985. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>.

6. Gageanu I., Cujbescu D., Persu C., Tudor P., Cardei P., Matache M., Vladut V., Biris S., Voicea I., Ungureanu N. Influence of input and control parameters on the process of pelleting powdered biomass. *Energies*. 2021. Vol.14(14). P. 4104. <https://doi.org/10.3390/en14144104>.

7. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О., Михайлов Є. В., Червоткіна О. О. *Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси* / В. С. Бойко, К. О. самоечук, В. Г. Тарасенко [та ін.]. Київ: ПрофКнига, 2021. 468 с.

8. Indartono Y. S., Heriawan H. & Kartika I. A. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of Calophyllum seeds. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65. P. 91-97.

9. Mustruk M., Gudzenko M., Palamarchuk I., Vasylyv V., Slobodyanyuk N., Kuts A., Nychyk O., Salavor O. & Bober A. Mathematical modeling of the oil extrusion process with pre-grinding of raw materials in a twin-screw extruder. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 937–944. <https://doi.org/10.5219/1436>.

10. Кіндзера Д. П., Атаманюк В. М., Госовський Р. Р., Мотіль І. М. Дослідження процесу формування паливних брикетів із рослинної сировини та визначення їх характеристик. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 69. С. 138–146.

11. Червоткіна О. О., Олексієнко В. О., Фучаджи Н. О. Обґрунтування параметрів робочого органу гранулятора для отримання гранул на основі овочевої сировини. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 7. С. 57-62.

12. Єременко О. І., Василенков В. Є., Руденко Д. Т. Дослідження процесу брикетування біомаси шнековим механізмом. *Інженерія природокористування*. 2020. № 3(17). С. 15-22.



13. 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.2016.06.44>.

14. Stelte W., Holm J. K., Sanadi A. R., Barsberg S., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*. 2011. Vol. 90(11). P. 3285-3290. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.011>.

15. Lyu F., Thomas M., Hendriks W. H., Van der Poel A. F. B. Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 261. e114347. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114347>.

16. 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: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.)*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 360-363.

17. Самойчук К. О., Самохвал В. А. Розробка міні-лінії для виготовлення паливних брикетів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 152-159.

18. Carré P. New approach for the elucidation of the phenomena involved in the operation of vegetable oil extraction presses. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*. 2022. Vol. 9(6). № 6. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021048>.

19. Дідур В., Кюрчев В., Чебанов А., Асєєв А. Підвищення ефективності технологічного процесу переробки насіння рицини на рицинову олію. *Сучасні шляхи розвитку агропромислового виробництва*. 2019. Ч. 1. С. 17-27. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_3.

20. Alonge A. F., Jackson N. Extraction of vegetable oils from agricultural materials: A review. *Proceedings of the 12th CIGR Section VI International Symposium: International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2019. P. 1184-1206.

21. Bălțatu C., Mateescu M., Anghelache D., Tăbărașu A. The importance of moisture in extracting oils from oilseeds. A review. *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara-International Journal of Engineering*. 2022. Vol. 2. P. 167-170.

22. Fakayode O. & Ajav E. Development, testing and optimization of a screw press oil expeller for moringa (*Moringa oleifera*) seeds. *Agricultural Research*. 2019. Vol. 8. P. 102–115. <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0342-6>.



23. Gudzenko M. M., Vasylyv V. P., Mushtruk M. M., Zheplinska M. M., Palamarchuk I. P., Burova Z. A., Sarana V. V. Parameters of screw nozzles of twin-screw extruder-press on oil yield. *Animal Science and Food Technology*. 2021. Vol. 12(3). P. 5-17. <https://doi.org/10.31548/animal2021.03.001>.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2024 р.

O. O. Chervotkina¹, N. A. Fuchadgu¹, V. A. Verkholtantseva¹, V. A. Samokhval¹
¹Dmytro Motorny Tavria state agrotechnological university

INFLUENCE OF VARIOUS PARAMETERS ON THE VEGETABLE RAW MATERIAL PELLETING PROCESS AND PELLETS QUALITY

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 high quality 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: granulation, pellets, compound feed, matrix, press-granulator

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 24, 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 01.06.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 23,95. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.