

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



ПРАЦІ

Таврiйського державного
агротехнологiчного унiверситету

Технічні науки

PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY

Technical sciences

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

Випуск 26, том 2
Issue 26, volume 2

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

DOI: 10.32782/2078-0877-2026-26-2



Видавничий дiм
«Гельветика»
2026



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. А. І. Панченко. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2026. Вип. 26, т. 2. 216 с.

ISSN 2078-0877

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

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

Editor in chief

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

Заступник головного редактора

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

Deputy editors in chief

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

Відповідальний секретар

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

Executive secretary

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

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

Члени редколегії:

1. Антощенко Р. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
2. Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
3. Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
4. Войтов В. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
5. Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
6. Гуцол Т. Д., д-р техн. наук, проф. (Україна)
7. Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
8. Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
9. Кідалов В.В. д-р ф.-м. наук, проф. (Україна)
10. Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
11. Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
12. Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
13. Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
14. Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
15. Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)
16. Абдуллоев Мамадамон, канд. техн. наук, доц. (Таджикистан)
17. Гловацький Шимон, д-р наук, проф. (Польща)
18. Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
19. Ліна Хані Хуссінат, PhD, доц. (Йорданія)
20. Мудрик Кшиштоф, д-р наук, проф. (Польща)
21. Худхайфа Ахмед, PhD, доц. (Йорданія)
22. Шафранец Андржей, д-р техн. наук, проф. (Польща)

Editorial Board members:

1. Antoshchenkov R., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
2. Burian S., Can. of Eng. Sci., Assoc. Prof. (Ukraine)
3. Vershkov O., Can. of Eng. Sci., Assoc. Prof. (Ukraine)
4. Vojtov V., Dr. of Tech. Sci. (Ukraine)
5. Halko S., Can. of Tech. Sci., Assoc. Prof. (Ukraine)
6. Hutsol T., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
7. Didur V., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
8. Karpaliuk I., Dr. of Tech. Sci., Full Prof. (Ukraine)
9. Kidalov V., Dr. of Phys. And Math. Sci., Prof. (Ukraine)
10. Kiurchev S., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
11. Miroshnyk O., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
12. Moroz O., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
13. Palamarchuk I., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
14. Samoichuk K., Dr. of Tech. Sci., Prof. (Ukraine)
15. Titova O., Dr. of Ped. Sci., Prof. (Ukraine)
16. Abdullo Mamadamon, Can. of Eng. Sci., Assoc. Prof. (Tajikistan)
17. Głowacki, Szymon, Hab. Dr. of Sci. ScD, Prof. (Poland)
18. Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
19. Lina Hani Hussinat, PhD, Assoc. Prof. (Jordan)
20. Mudryk Krzysztof, Dr. of Sci., Prof. (Poland)
21. Huthaifa Ahmad Al_Issa, PhD, Assoc. Prof. (Jordan)
22. Szafranec Andrzej, Dr. of Tech. Sci., Prof. (Poland)



**ПРАЦІ
Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 26, том 2

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа:
Рішення Національної ради України з питань телебачення і
радіомовлення № 1673 від 23.05.2024 року.

Ідентифікатор медіа: R30-04777.

Суб'єкт у сфері медіа – Таврійський державний
агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
(просп. Богдана Хмельницького, буд. 18, м. Мелітополь
Запорізької обл., 72312, office@tsatu.edu.ua,
тел. (099) 614-83-02).

Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
Протокол № 9 від 28.04.2026 р

Відповідно до наказу МОН від 17.03.2020 № 409 видання
включено до Переліку наукових фахових видань України
категорії Б за спеціальностями: F3 Комп'ютерні науки,
G11 Машинобудування (за спеціалізаціями), G3 Електрична
інженерія, G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією),
G13 Харчові технології

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: 10.32782/2078-0877-2026-26-2

**PROCEEDINGS OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

Issue 26, volume 2

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 1998

Print media registration: Decision of the National Council
of Ukraine on Television and Radio Broadcasting
No. 1673 as of 23.05.2024. Media ID: R30-04777.

The media entity is Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University (72312, Zaporizhzhia region,
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave,
office@tsatu.edu.ua, tel. (099) 614-83-02).

Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 9, dated April 28, 2026

According to the Order of the MES of Ukraine as of 17.03.2020,
No. 409, the journal is included in the List of professional
scientific editions of Ukraine (category "B") in the following
specialties: F3 Computer Sciences, G11 Mechanical Engineering
(by specialization), G3 Electrical Engineering, G4 Energy
Production (by specialization), G13 Food Technology

Address of the Editorial office

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region Zaporizhzhia,
66, Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2078-0877-2026-26-2

ЗМІСТ

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Л. В. Мельнікова, А. І. Шестака, А. О. Бойко

РОЗПОДІЛ МЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИХ ПРИВОДІВ8

П. Є. Михаліченко, Є. Ю. Маркова, М. М. Марков

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЛІНІЙНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ..... 19

А. V. Nadtochiy, V. A. Nadtochii

THEORETICAL BASIS OF ELECTRIC DRIVES WITH INHERENT
NONLINEARITIES..... 31

В. П. Савінов, С. В. Галько

ВПЛИВ МАГНІТНО-ВИХРЕВОЇ ОБРОБКИ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА
НА ПРОЦЕС СУМІШОУТВОРЕННЯ ТА ГОРІННЯ В ДИЗЕЛЬНОМУ ДВИГУНІ.....36

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

С. М. Григоренко, Л. І. Протасова, О. В. Євсєєв

БІОНІЧНО-ОРІЄНТОВАНИЙ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПЛАНУВАЛЬНИК
ПЕРЕМІЩЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ У ДВОВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ.....48

Є. В. Місько

АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО РОЗШИРЕННЯ КІНЕМАТИКИ ПЕРСОНАЖА
В СЕРЕДОВИЩІ UNREAL ENGINE..... 59

А. В. Швед, Є. О. Давиденко

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ
В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ
ПОЗАШТАТНИХ СИТУАЦІЙ64

МАШИНОБУДУВАННЯ (ЗА СПЕЦІАЛІЗАЦІЯМИ)

Я. В. Білокін, В. В. Дідур

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВІДТИСКУ РІДКОЇ ФАЗИ
З КАПЛЯРНО-ПОРИСТОГО ТІЛА.....73

Є. А. Гавриленко, О. Є. Мацулевич

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ ОБВОДУ НА ОСНОВІ ОБЛАСТІ РОЗТАШУВАННЯ
ЕВОЛЮТИ МОНОТОННОЇ КРИВОЇ..... 81

С. В. Гулієнко, В. В. Ясеньчук

ВПЛИВ КУТА ОРІЄНТАЦІЇ КРУГЛОГО ТА ТРИКУТНОГО СПЕЙСЕРА
НА ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР.....94

Д. П. Журавель, С. І. Пастушенко, М. П. Артёмов, М. П. Волинкін

ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДМОВ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДОПОСТАЧАННЯ
ДЛЯ СИСТЕМ КРАПЕЛЬНОГО ЗРОШЕННЯ.....101

<i>О. С. Ковязін, А. О. Парієв, О. О. Дереза, С. В. Дереза</i> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТОВОГО МАСИВУ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТОВО-ПОВІТРЯНОГО ТЕПЛООБМІННИКА.....	112
<i>І. А. Колесніченко, О. В. В'юник</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОСТІЙКОСТІ ТА ФОРМ ЗВ'ЯЗКУ ВОЛОГИ В НАСІННІ РИЦИНИ МЕТОДАМИ ТЕРМІЧНОГО ТА ТЕРМОГРАВІМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗІВ.....	122
<i>С. В. Ляшенко, М. О. Барда</i> ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ.....	130
<i>А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. С. Ковязін, І. А. Панченко, А. А. Волошин</i> ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ВИХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАНЕТАРНОГО ГІДРОМОТОРА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	137
<i>І. Ю. Повар, А. С. Комар</i> ОЧИЩЕННЯ ОЛІЙ ЦЕНТРИФУГУВАННЯМ.....	150
<i>О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, Б. В. Болтянський, В. Д. Акулов, О. С. Пушка</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАКОПИЧЕННЯ МЕТАНОУТВОРЮЮЧИХ МІКРООРГАНІЗМІВ В АНАЕРОБНОМУ БІОФІЛЬТРІ.....	156

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>С. С. Андрєєва, С. Л. Юрченко, В. В. Гербін</i> ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО АДАПТАЦІЇ ТРАДИЦІЙНИХ СТРАВ У СИСТЕМІ РЕСТОРАННОЇ ІНДУСТРІЇ.....	165
<i>В. В. Атанасова, О. Б. Чабанова, К. О. Білик, В. С. Атанасова</i> ТЕХНОЛОГІЯ ПРОДУКЦІЇ З РОСЛИННИМИ АДАПТОГЕНАМИ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА.....	173
<i>В. М. Бандура, М. Є. Сердюк, Т. О. Колісниченко</i> РОЗРОБКА РЕЦЕПТУР МУСОВИХ ДЕСЕРТІВ НА ОСНОВІ МОЛОЧНОЇ ТА ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ.....	182
<i>В. В. Дуб, І. В. Лебединець, Д. В. Дмитревський, Л. М. Задорожна, А. С. Стефашкіна</i> ІНЖЕНЕРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО НОЖА КУТЕРА ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ХАРЧОВОЇ ІНДУСТРІЇ.....	189
<i>В. М. Зубко, Є. А. Петриченко</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ В ЗЕЄРНІЙ ЗОНІ ШНЕКОВОГО ПРЕСУ.....	195
<i>О. О. Simakova, R. P. Nykyforov, S. I. Abdullin, K. S. Soloviova</i> SANITARY AND TECHNOLOGICAL PROCEDURES AND DETERMINATION OF MICROBIOLOGICAL PARAMETERS IN THE PROCESS OF MAKING YEAST-FREE BREAD.....	203
<i>М. В. Шевчук, Г. І. Дашивець</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСТРУЗІЙНІЙ ОБРОБЦІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ.....	210

CONTENTS

ELECTRICAL POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>L. Melnikova, A. Shestaka, A. Boiko</i> LOAD SHARING WITH VARIABLE FREQUENCY DRIVES.....	8
<i>P. Mykhalichenko, Ie. Markova, M. Markov</i> SYNTHESIS OF A MATHEMATICAL MODEL OF A DIRECT CURRENT TRACTION DRIVE WITH NONLINEAR ELEMENTS FOR THE STUDY OF EMERGENCY MODES.....	19
<i>A. Nadtochiy, V. Nadtochii</i> THEORETICAL BASIS OF ELECTRIC DRIVES WITH INHERENT NONLINEARITIES.....	31
<i>V. Savinov, S. Halko</i> THE INFLUENCE OF MAGNETIC-VORTEX TREATMENT OF DIESEL FUEL ON THE PROCESS OF MIXTURE FORMATION AND COMBUSTION IN A DIESEL ENGINE.....	36

COMPUTER SCIENCES

<i>S. Hryhorenko, L. Protasova, O. Yevseiev</i> BIONIC-BASED NEURAL NETWORK MOTION PLANNER FOR A CYBER-PHYSICAL SYSTEM IN A TWO-DIMENSIONAL SPACE.....	48
<i>Ye. Misko</i> ARCHITECTURAL APPROACHES TO EXTENDING CHARACTER KINEMATICS IN THE UNREAL ENGINE ENVIRONMENT.....	59
<i>A. Shved, Ye. Davydenko</i> SITUATIONAL MANAGEMENT IN COMPLEX SYSTEMS FOR EMERGENCY DECISION-MAKING: APPLICATION AND APPROACHES.....	64

MACHINE BUILDING (BY SPECIALIZATIONS)

<i>Ya. Bilokin, V. Didur</i> JUSTIFICATION AND SOLUTION OF THE PROBLEM OF LIQUID PHASE PRINTING FROM A CAPILLARY-POROUS BODY.....	73
<i>Ye. Havrylenko, O. Matsulevych</i> ALGORITHM FOR FORMING A CONTOUR BASED ON THE LOCATION AREA OF THE EVOLUTE OF A MONOTONE CURVE.....	81
<i>S. Huliienko, V. Yasenjuk</i> INFLUENCE OF THE ORIENTATION ANGLE OF CIRCULAR AND TRIANGULAR SPACERS ON PRESSURE DROP.....	94
<i>D. Zhuravel, S. Pastushenko, M. Artomov, M. Volynkin</i> FAILURE CHARACTERISTICS OF WATER SUPPLY ELEMENTS FOR DRIP IRRIGATION SYSTEMS.....	101

<i>O. Koviazin, A. Pariev, O. Dereza, S. Dereza</i> EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL SUBSTANTIATION OF INTEGRAL THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF A SOIL MASSIF FOR NUMERICAL MODELING OF AN EARTH-TO-AIR HEAT EXCHANGER.....	112
<i>I. Kolesnichenko, O. Viunyk</i> RESEARCH ON THERMOSTABILITY AND MOISTURE BONDING FORMS IN CASTOR SEEDS USING THERMAL AND THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS METHODS.....	122
<i>S. Lyashenko, M. Barda</i> THEORETICAL BASIS OF MODELING VISCOUS LIQUID MOTION.....	130
<i>A. Panchenko, A. Voloshina, O. Koviazin, I. Panchenko, A. Voloshin</i> PREDICTION OF CHANGES IN OUTPUT CHARACTERISTICS OF A PLANETARY HYDRAULIC MOTOR UNDER OPERATING CONDITIONS.....	137
<i>I. Povar, A. Komar</i> OIL PURIFICATION BY CENTRIFUGATION	150
<i>O. Skliar, R. Skliar, B. Boltianskyi, V. Akulov, O. Pushka</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF ACCUMULATION OF METHANE-PRODUCING MICROORGANISMS IN AN ANAEROBIC BIOFILTER....	156

FOOD TECHNOLOGIES

<i>S. Andrieieva, S. Yurchenko, V. Herbin</i> TECHNOLOGICAL AND ORGANIZATIONAL APPROACHES TO THE ADAPTATION OF TRADITIONAL DISHES IN THE RESTAURANT INDUSTRY.....	165
<i>V. Atanasova, O. Chabanova, K. Bilyk, V. Atanasova</i> TECHNOLOGY OF FOOD PRODUCTS WITH PLANT ADAPTOGENS FOR THE RESTAURANT INDUSTRY.....	173
<i>V. Bandura, M. Serdyuk, T. Kolisnychenko</i> DEVELOPMENT OF RECIPES FOR MOUSSE DESSERTS BASED ON DAIRY AND BERRY RAW MATERIALS.....	182
<i>V. Dub, I. Lebedynets, D. Dmytrevskyi, L. Zadorozhnia, A. Stefaskina</i> DESIGN OF AN ENERGY-EFFICIENT CUTTER KNIFE FOR RESTAURANTS AND THE FOOD INDUSTRY.....	189
<i>V. Zubko, I. Petrychenko</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE VEGETABLE OIL FILTRATION PROCESS IN THE GRAIN ZONE OF A SCREW PRESS.....	195
<i>O. Simakova, R. Nykyforov, S. Abdullin, K. Soloviova</i> SANITARY AND TECHNOLOGICAL PROCEDURES AND DETERMINATION OF MICROBIOLOGICAL PARAMETERS IN THE PROCESS OF MAKING YEAST-FREE BREAD.....	203
<i>M. Shevchuk, H. Dashyvets</i> MODELING OF PROCESSES IN EXTRUSION PROCESSING OF VEGETABLE RAW MATERIALS.....	210

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2026-26-2-14>

УДК 532.135:532.5:519.6

С. В. Ляшенко¹, канд. техн. наук, доц.

ORCID: 0000-0002-3227-3738

М. О. Барда², магістрант

ORCID: 0009-0004-5495-8561

¹Полтавський державний аграрний університет²Уманський національний університет

e-mail: didur.vv@gmail.com

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ

Анотація. У статті розглянуто особливості математичного моделювання руху в'язкої рідини в каналах екструдера складної геометрії. Дослідження спрямоване на встановлення закономірностей зміни швидкості та тиску в циліндричних і кільцевих формувальних каналах матриці. Наведено алгоритм підготовки геометричної моделі, задання граничних умов, побудови розрахункової сітки та візуалізації результатів у програмному середовищі тривимірного моделювання. Встановлено, що характер розподілу тиску й швидкості суттєво залежить від форми каналу матриці: у циліндричному каналі спостерігається інтенсивніше гальмування потоку через додаткові опори, тоді як у кільцевому каналі рух в'язкої рідини є більш вирівняним.

Ключові слова: екструдер, руху в'язкої рідини, формувальний канал, матриця, розподіл тиску, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Сучасні технології переробки рослинної сировини, кормових сумішей і в'язких рідин дедалі частіше передбачають використання екструдерів як обладнання, що забезпечує інтенсивну термомеханічну обробку. Якість готового продукту та стабільність роботи екструдера значною мірою визначаються узгодженістю параметрів шнекового органа та формувального вузла. Особливого значення набуває геометрія матриці, оскільки саме вона формує гідродинамічний опір потоку, впливає на розподіл тиску, швидкість руху в'язкої рідини і рівномірність виходу продукту.

Аналітичний опис руху в'язкої рідини в каналах складної форми є суттєво ускладненим через просторовий характер течії, наявність зон обертально-поступального руху, зміну реологічних характеристик матеріалу та складну геометрію проточної частини. Тому використання сучасних засобів комп'ютерного моделювання є доцільним і практично необхідним для аналізу таких процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження в галузі моделювання екструзійних процесів показують, що математичний опис течії в'язкої рідини розвивається у трьох основних напрямках: аналітичні моделі шнекового транспортування, чисельне моделювання в тривимірній постановці та комбіновані інженерні підходи для прогнозування параметрів формування продукту. У сучасному огляді методів моделювання одношнекової екструзії підкреслюється, що чисельні методи стали ключовими для аналізу течії в каналах складної форми, де класичні аналітичні підходи мають обмежене застосування [1–4]. Окремі праці присвячені уточненню математичних моделей руху в'язкої рідини в одношнекових екструдерах. Зокрема, нові дослідження екструзії акцентують увагу на поєднанні реологічних моделей із просторовим аналізом течії, що дозволяє точніше враховувати зміну швидкості, температури та тиску вздовж каналу [5–9].

У прикладних роботах з чисельного моделювання течії в'язкої рідини в екструдері активно застосовують методи скінченних елементів і скінченних об'ємів. Такі підходи дозволяють описувати тривимірний рух в'язкої або неньютонівської рідини, а також прогнозувати поля швид-

кості та тиску в дозувальній зоні й у формувальних каналах. Зокрема, у дослідженні течії термопластичного еластомеру в одношнековому екструдері показано ефективність тривимірної чисельної моделі для визначення витрати, тиску та локальних особливостей потоку [10–14].

Отже, аналіз сучасних джерел підтверджує доцільність використання чисельного моделювання для оцінювання гідродинамічних процесів у формувальних вузлах екструдерів. Особливо актуальним є дослідження впливу геометрії матриці на структуру потоку, що й визначає наукову та практичну цінність виконаної роботи [15–19].

Формулювання мети статті. Метою статті є розробка математичної моделі течії в'язкої рідини в кільцевих і циліндричних каналах екструдера, а також визначення закономірностей зміни тиску та швидкості в залежності від геометрії формувального вузла.

Для досягнення поставленої мети передбачено: обґрунтувати вибір математичної моделі руху в'язкої рідини; задати фізичні параметри середовища та граничні умови; побудувати розрахункову сітку й виконати чисельне моделювання; проаналізувати поля швидкості й тиску в каналах різної форми; перевірити адекватність моделі шляхом зіставлення з експериментальними даними.

Основна частина. Розвиток математичних пакетів і інформаційних технологій значно розширив можливості дослідження складних технологічних процесів, які важко або неможливо повноцінно описати лише аналітичними методами. Для моделювання течії в'язкої рідини в каналах складної форми використано систему тривимірного чисельного аналізу Flow Vision, що дозволяє відтворювати просторові картини розподілу швидкості, тиску та інших фізичних параметрів.

Під час термомеханічної обробки сировини стабільність роботи обладнання залежить від співвідношення між тиском, який створює шнек, і гідродинамічним опором матриці. Геометрія формувального каналу визначає умови течії розплаву та впливає на кінцеву якість екструдату. Для чисельного дослідження були обрані дві конструкції формувального вузла: циліндрична та кільцева. Їхні геометричні характеристики наведено на рис. 1.

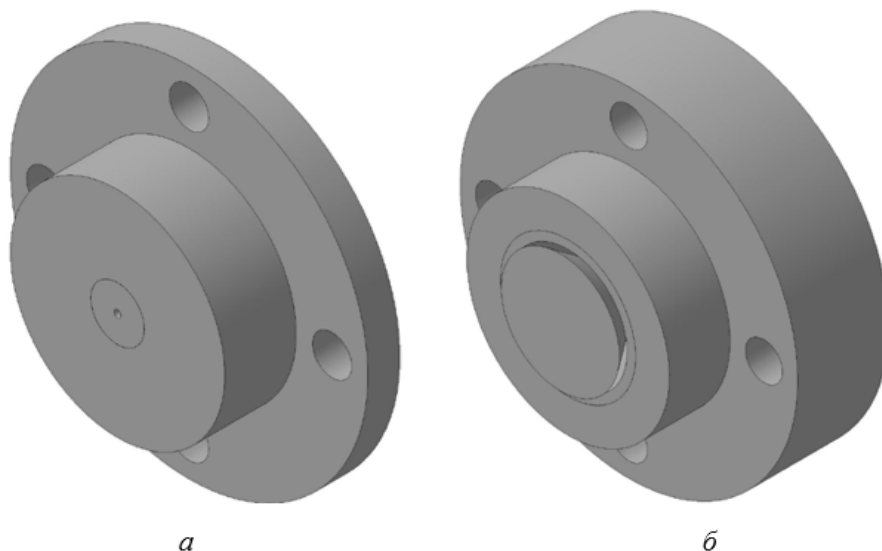


Рис. 1. Конструкція формувального вузла:
а – циліндричної форми; **б** – кільцевої форми

Геометричні параметри досліджуваних матриць:

– довжина матриці: 0,043 м для циліндричної та 0,055 м для кільцевої;

- довжина формувального каналу: 0,029 м і 0,045 м відповідно;
- площа формувального каналу: $1,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ та $2,53 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;
- кут конуса шнека: 50° ;
- кут конуса обтікача для кільцевої матриці: 35° .

Вибір математичної моделі. Для опису течії розплаву в каналі матриці використано модель ламінарної рідини, що є прийнятною для малих швидкостей і чисел Рейнольдса менше 2300. У межах цієї постановки розв'язуються рівняння Нав'є–Стокса та рівняння нерозривності.

Рівняння Нав'є–Стокса для компонент швидкості мають вигляд:

$$\frac{\partial v_x}{\partial \tau} + \frac{\partial (v_x)^2}{\partial x} + \frac{\partial (v_x v_y)}{\partial y} + \frac{\partial (v_x v_z)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{Re} \nabla^2 v_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial \tau} + \frac{\partial (v_x v_y)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y)^2}{\partial y} + \frac{\partial (v_y v_z)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{Re} \nabla^2 v_y \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial \tau} + \frac{\partial (v_x v_z)}{\partial x} + \frac{\partial (v_y v_z)}{\partial y} + \frac{\partial (v_z)^2}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{Re} \nabla^2 v_z \quad (3)$$

Рівняння нерозривності:

$$\nabla \cdot V = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Для розрахунків прийнято такі початкові параметри розплаву: тиск $P = 101000$ Па, температура $T = 273$ К, початкова швидкість на вході $v = 0,22$ м/с, густина $\rho = 1290$ кг/м³, динамічна в'язкість $\mu = 9000$ Па·с.

Граничні умови. На межах розрахункової області було задано такі умови:

1. На стінках каналу – умова прилипання: $v_w = 0$.
2. На вході в канал – нормальна швидкість: $v_n = v_{nw}$.
3. Для обертового шнека – тангенціальна закрутка з кутовою швидкістю: $\omega = 37,68$ рад/с.
4. На виході продукту – нульовий тиск: $p_w = 0$.

Схему задання граничних умов для циліндричного та кільцевого формувального вузла доцільно подати на рис. 2.

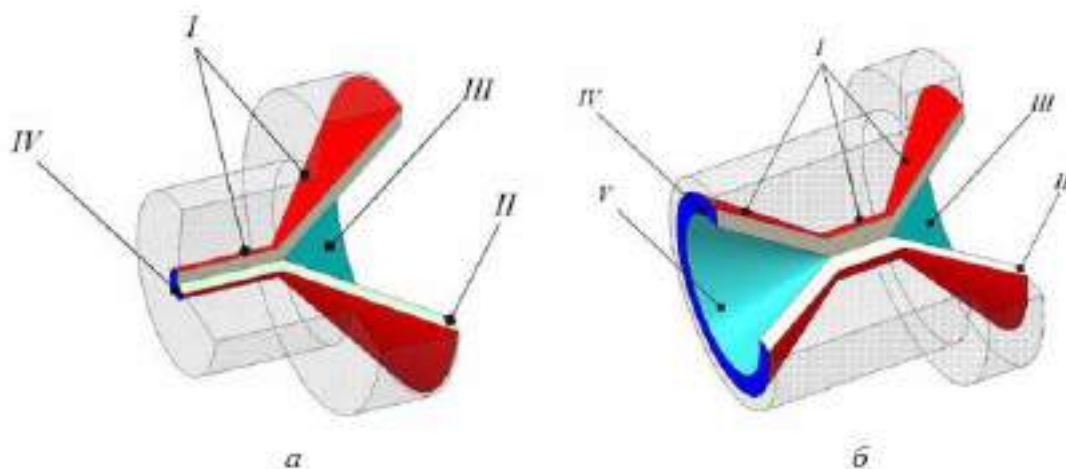


Рис. 2. Граничні умови формувального вузла:
а – циліндричної форми; **б** – кільцевої форми

Чисельний метод розв'язання. У програмі Flow Vision використано метод скінченних об'ємів для розв'язання рівнянь конвективно-дифузійного перенесення:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \nabla(V_f) = \nabla(D\nabla f) + Q \quad (5)$$

де f – розрахункова змінна;

V – швидкість;

D – коефіцієнт дифузії;

Q – джерельний член.

Інтегрування цього рівняння за об'ємом комірки та інтервалом часу дає дискретизовану форму:

$$V_i(f_i^{n+1} - f_i^n) + \sum_j F_{ij}S_{ij} + \sum_j G_{ij}g_{ij} + Q_i = 0 \quad (6)$$

Для підвищення точності при складній геометрії каналу застосовано адаптацію сітки за граничними умовами. Прямокутна декартова сітка з локальним подрібненням забезпечила деталізацію потоку в зоні зазору між шнеком і стінкою каналу.

Схеми розташування середніх величин у комірках і апроксимації конвективного перенесення подано на рис. 3.

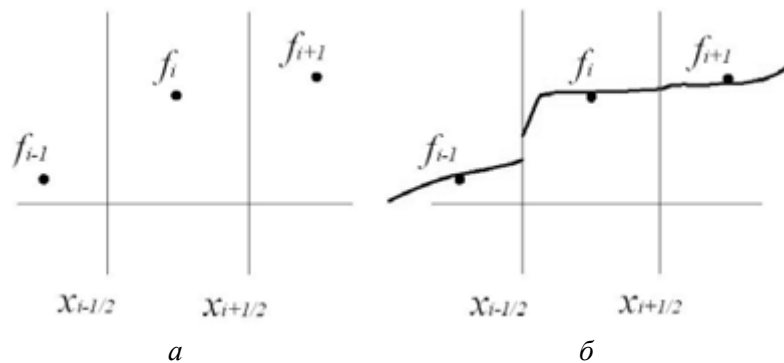


Рис. 3. Схема апроксимації рівняння конвективного перенесення та розташування середніх величин у комірках

Результати моделювання. За результатами розрахунків побудовано графіки зміни тиску та швидкості розплаву по довжині формувального каналу для двох типів матриць. У каналах циліндричної та кільцевої форми виділено дві зони: I – зона гвинтового руху розплаву; II – зона поступального руху.

Для циліндричної матриці в першій зоні спостерігається плавне зниження тиску на 10–15 % від початкового значення та одночасне зменшення модуля швидкості. Це пояснюється зменшенням впливу обертового конуса шнека, а також прилипанням пристінкових шарів розплаву до стінок каналу. У другій зоні тиск продовжує спадати, а швидкість після короткої стабілізації знову зменшується.

Для кільцевої матриці в першій зоні зниження тиску є незначним, а модуль швидкості зменшується приблизно на 25 %. У другій зоні відбувається істотніше зниження тиску, проте швидкість зростає через перехід від обертально-поступального руху до більш вирівняного поступального переміщення, без додаткових локальних опорів (рис. 4, 5).

Перевірка адекватності моделі. На основі результатів моделювання були сконструйовані формувальні головки екструдера та проведено серію експериментів. Порівняння розрахункових і експериментальних даних показало, що відхилення швидкості в каналах складної форми становить 10–13 % залежно від типу матриці, а відхилення тиску – 18–25 %. Такі

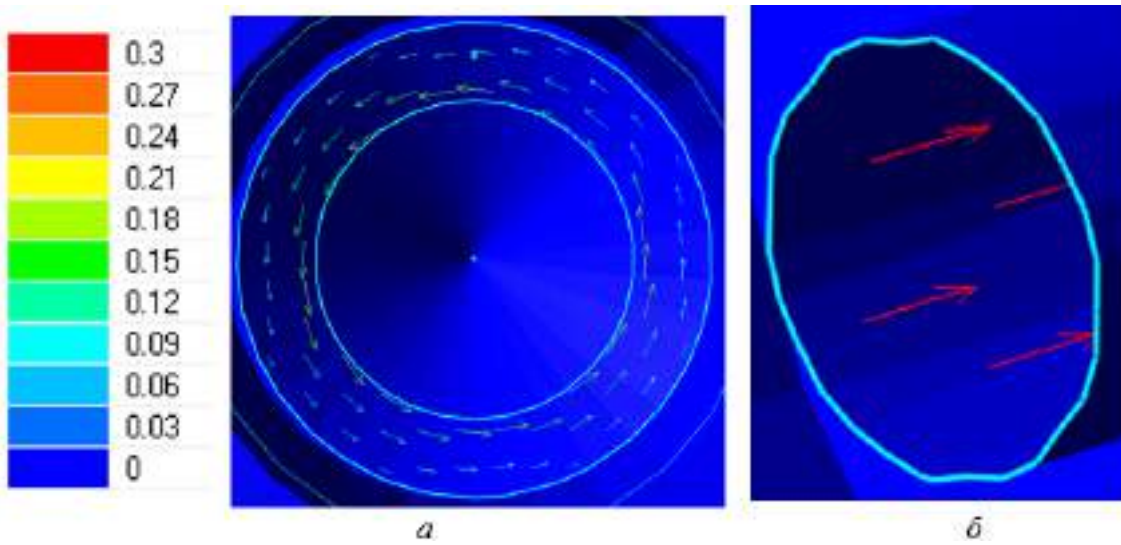


Рис. 4. Переріз матриці на відстані від входу:
 a – 9 мм (I зона); b – 20 мм (II зона)

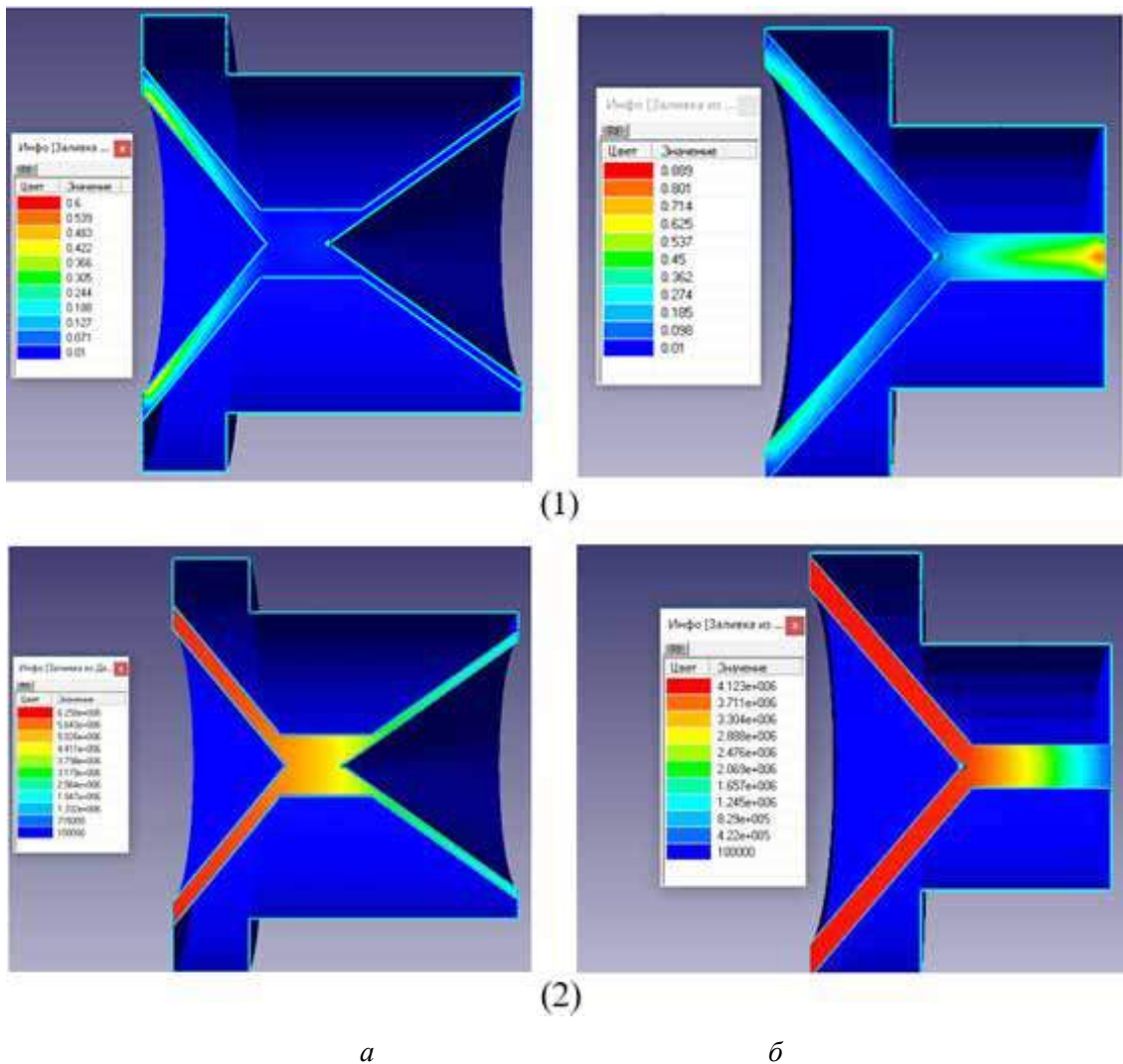


Рис. 5. Візуалізація зміни швидкості (1) і тиску (2) по довжині каналу матриці:
 a – циліндричної форми; b – кільцевої форми



результати можна вважати прийнятними для досліджуваного технологічного процесу та використаної моделі.

Висновки. У статті виконано математичне моделювання течії розплаву біополімеру в формувальних каналах екструдера циліндричної та кільцевої форми. Встановлено, що геометрія каналу істотно впливає на розподіл тиску та швидкості розплаву, а отже – на умови формування екструдату. Застосування рівнянь Нав'є–Стокса, рівняння нерозривності та методу скінченних об'ємів дозволило одержати наочну картину зміни фізичних параметрів у робочій зоні матриці. Виявлено, що кільцева форма формувального каналу забезпечує більш рівномірний рух розплаву, тоді як у циліндричному каналі сильніше проявляються локальні гідродинамічні опори. Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними підтвердило задовільну адекватність побудованої моделі. Це дає підстави рекомендувати її для інженерного аналізу, проектування та вдосконалення формувальних вузлів екструдерів у технологіях переробки біополімерних і кормових сумішей.

Список використаних джерел

1. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of Polymer Processing. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.
2. Rauwendaal C. Polymer Extrusion. 5th ed. Munich : Hanser Publishers, 2014.
3. Marschik C., Roland W., Miethlinger J. Melt Conveying in Single-Screw Extruders: Modeling and Experiments. *Polymers*. 2022. Vol. 14, No. 5. Article 875. DOI: 10.3390/polym14050875.
4. Ghoreishy M.H.R. Finite element analysis of a thermoplastic elastomer melt flow in a single screw extruder. *Materials Processing Technology*. 2005.
5. Кнауп F., Wortberg J. Improvement in an Analytical Approach for Modeling the Melting Behavior in Single-Screw Extrusion. *Polymers*. 2024. Vol. 16, No. 22. Article 3130. DOI: 10.3390/polym16223130.
6. Radwan M. et al. Understanding the Dynamics of Polymer Extrusion through Three-Dimensional Numerical Flow Simulation. *Heliyon*, 2024.
7. Журавель Д.П., Дідур В.В. Обґрунтування технологічної схеми детоксикації рицинової макухи для потреб кормовиробництва. *Збірник тез доповідей XIII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, смт. Глеваха Київської області. м. Київ, Україна, (01–17 жовтня 2025 року) : матеріали конференції. Глеваха–Київ, 2025. С. 76–80.
8. Журавель Д.П., Дідур В.В. Обґрунтування технологічного процесу збирання рицини. *Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки»* (17–18 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2025. 717 с. С. 147–150.
9. Дідур В.В., Журавель Д. П., Повар І.Ю, Петриченко Є.А. Теоретичні основи розрахунку конструкційно-технологічних параметрів конічної центрифуги для очищення рослинних олій. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 3. С. 118–124. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-16>.
10. Журавель Д.П. Технології переробки насіння рицини дворазовим пресуванням. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»*. Запоріжжя, 2022. С. 32–34.
11. Дідур В.В., Журавель Д. П., Повар І.Ю, Петриченко Є.А. Наукові основи очищення рослинних олій у конічних центрифугах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 25, т. 3. С. 125–130. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-3-17>.
12. Журавель Д.П., Дідур В.В., Шевчук М.В. Обґрунтування триботехнічних властивостей біологічних олив для гідросистем сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 15, т. 2. С. 45–53. DOI: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-6>.
13. Дідур В.В., Журавель Д.П., Колесніченко І.А., Петриченко Є.А. Моделювання теплової обробки насіння олійних культур високотемпературним теплоносієм. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання / ТДАТУ*; гол. ред. д.т.н., проф. В.М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. Вип. 15, т. 2. С. 37–44. DOI: <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-2-5>.



14. Дідур В.В., Журавель Д.П., Колесніченко І.А., Петриченко Є.А. Моделювання тепломасоперенесення в поверхневих капілярно-пористих середовищах. *Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»* (01–25 листопада 2025 року). Запоріжжя, 2025. С. 46–49.

15. Дідур В.В., Журавель Д.П. Аналіз технологічного процесу механізованого збирання рицини в умовах Південного Лісостепу України. *Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»* (01–25 листопада 2025 року). Запоріжжя, 2025. С. 56–61.

16. Журавель Д.П., Дідур В.В. Механіко-технологічні основи глибокої переробки насіння рицини на енергетичну біосировину: монографія. Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 275 с., іл.

17. Дідур В.В., Журавель Д.П. Аналіз технологій отримання олії з олійних культур. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 3. 10 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-3-18.

18. Журавель Д.П. Обґрунтування методу очищення біологічних олій в електричному полі. *Збірник тез доповідей XIII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, смт Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, (01–18 жовтня 2024 року) : матеріали конференції. Глеваха–Київ, 2024. С. 68–72.

19. Журавель Д.П., Дідур В.В. Моделювання процесу очищення рицинової олії в електричному полі. *Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»* (01–25 листопада 2024 року). Запоріжжя, 2024. С. 98–104.

Дата першого надходження статті до видання: 08.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 25.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)



S. Lyashenko¹, M. Barda²

¹*Poltava State Agrarian University*

²*Uman National University*

THEORETICAL BASIS OF MODELING VISCOUS LIQUID MOTION

Summary

The article summarizes the theoretical foundations of modeling the motion of a viscous fluid in channels of complex geometry. It is substantiated that mathematical modeling is an effective tool for studying flow processes that are difficult to describe by analytical methods only. The paper considers the main stages of model construction, including the choice of physical assumptions, the formulation of governing equations, and the specification of boundary and initial conditions. Special attention is paid to the Navier–Stokes equations, the continuity equation, and the convection–diffusion equation as the basic relationships for describing viscous flow. It is shown that for channels of complex shape, the finite volume method is one of the most effective numerical approaches, as it makes it possible to obtain pressure and velocity distributions within the computational domain. The presented theoretical provisions can be used in the analysis, design, and improvement of technological equipment in which viscous fluid motion plays an important role. Modeling viscous fluid motion is an important area of modern hydrodynamics, which allows us to describe and predict the behavior of fluids in natural and technical systems. The theoretical foundations of this process are based on the laws of conservation of mass, momentum, and energy, which are mathematically formalized in the form of equations of motion, in particular the Navier–Stokes equations. Taking into account the viscosity of the fluid makes it possible to describe the internal friction between the flow layers, which significantly affects the nature of the motion, including laminar and turbulent regimes. The paper considers key approaches to building mathematical models, methods for simplifying equations, boundary and initial conditions, as well as numerical methods for solving them. Special attention is paid to the analysis of parameters that determine the flow regime, in particular the Reynolds number, and their influence on the flow structure. The obtained theoretical provisions are the basis for creating effective models used in engineering, ecology, and industry to solve practical problems related to fluid transportation, heat transfer, and optimization of technological processes.

Keywords: extruder, viscous fluid motion, molding channel, die, pressure distribution, mathematical modeling.