

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ГУДЗЕНКО МАКСИМ МИКОЛАЙОВИЧ**

УДК 664.3.032.9

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОЛІЇ ПРЕСУВАННЯМ В ЕКСТРУДЕРАХ**

05.18.12 «Процеси та обладнання харчових,  
мікробіологічних та фармацевтичних виробництв»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** доктор технічних наук, професор  
**Сухенко Юрій Григорович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
завідувач кафедри процесів  
і обладнання переробки продукції АПК

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Стадник Ігор Ярославович**,  
Тернопільський національний  
технічний університет імені Івана Пулюя,  
професор кафедри обладнання  
харчових технологій

кандидат технічних наук, доцент  
**Ястреба Сергій Петрович**,  
Полтавська філія Національного  
університету харчових технологій,  
в. о. директора

Захист відбудеться «10» грудня 2019 року о 9<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.004.22 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «08» листопада 2019 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Н. М. Слободянюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасних умовах господарювання, якщо у сільськогосподарському підприємстві вирощується насіння олійних культур, потреба в їх частковій переробці на місці є очевидною. Виробництво олії здійснюється на різних видах технологічного обладнання з використанням як вітчизняного, так і закордонного виробництва. У процесі удосконалення наявних конструкцій олійних пресів науковцями розглядався процес подрібнення олієвмісної сировини до її входження в прес і безпосередньо в нього. Водночас, недостатнє висвітлення питань, пов'язаних з науковим обґрунтуванням раціональних параметрів та конструкційного виконання пресувальних і подрібнювальних робочих органів в екструдерах значною мірою стримує їх технічний розвиток, призводить до появи недосконалого енергозатратного обладнання та зайвих витрат на його виготовлення й експлуатацію. Тому існує потреба у доповненні сучасних уявлень про взаємодію спеціальних подрібнювальних робочих органів зі стискаючими гвинтовими насадками та розробленні удосконалених вузлів для двогвинтових прес-екструдерів. Це розроблення повинно базуватися на основі законів механіки, гідродинаміки і конструктивного втілення раціональних конструктивно-технологічних параметрів робочих органів машини. Такий підхід дасть змогу не лише забезпечити надійність і необхідні функціональні властивості пресів, але також їх високу продуктивність і належну якість продукції та можливість зменшити енергозатратність процесів відтискання олії і виробничі та експлуатаційні витрати.

Саме тому потреба у пошуку та обґрунтуванні раціональних режимів вилучення олії і конструктивних параметрів нових подрібнювально-відтискних робочих органів пресів зумовлює необхідність вибору їх раціонального компонування та конструктивного виконання, що визначає актуальність проведених у дисертації прикладних наукових досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що склали основу дисертації, виконувалися у Національному університеті біоресурсів і природокористування України впродовж 2004–2018 рр. згідно з держбюджетними науковими темами: «Обґрунтувати технологічні процеси і розробити технічні засоби виробництва біодизельного палива на основі продукції рослинництва» (номер державної реєстрації 0104U003798); «СОУ Енергоощадність. Методика визначення енергомісткості при зберіганні і переробці сільськогосподарської продукції» (номер державної реєстрації 0105U005901); «Розробити комплексні ресурсощадні технології виробництва і використання біопалив на агропромислових підприємствах та у сільській місцевості» (номер державної реєстрації 0112U003005) та «Енергозберігаючі технології і калориметрія» (номер державної реєстрації 0109V007107), а також відповідно до плану наукових досліджень кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК.

**Мета та завдання дослідження.** Мета дослідження – підвищення ефективності відтискання рослинних олій шляхом встановлення раціональних

конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи двогвинтових прес-екструдерів з циліндрично-конусними насадками у складі їх робочих органів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологічного процесу виробництва рослинних олій та конструкцій гвинтових пресів для їх відтискання;
- розробити математичну модель процесу вилучення олії в олієвідтискному тракту двогвинтового прес-екструдера на ділянці подрібнення сировини в зоні трикутних кулачкових насадок;
- обґрунтувати інтервал раціонального співвідношення лінійних розмірів елементів циліндрично-конусних насадок двогвинтового прес-екструдера, за якого буде забезпечено необхідні технологічні показники;
- експериментально визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів двогвинтового прес-екструдера з циліндрично-конусними насадками на кількість та якість відтискуваної олії;
- провести виробничі випробування та оцінити техніко-економічну ефективність розроблених конструктивно-технологічних рішень та рекомендацій;
- дати рекомендації промисловим підприємствам з раціонального виготовлення відтискного тракту двогвинтових прес-екструдерів та впровадити розробки в умовах виробництва.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес відтискання рослинних олій у двогвинтовому прес-екструдері.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів робочих органів двогвинтових прес-екструдерів та режимів їх роботи на кількісні та якісні показники процесу відтискання олії.

**Методи дослідження.** Аналіз, узагальнення, математичне моделювання і багатофакторне експериментальне підтвердження моделі з використанням фундаментальних законів механіки та гідродинаміки. Дослідження ґрунтуються на застосуванні методів теоретичної механіки, законів механіки рідин і газів. Під час проведення експериментальних досліджень та виробничих випробувань використано методи планування експериментів, прикладного програмування, електричного вимірювання неелектричних величин, методи статистичного і регресійного аналізу експериментальних даних. Економічну оцінку проводили згідно з чинними нормативами, визначаючи собівартість, продуктивність і термін окупності капіталовкладень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено математичну модель для визначення сил відтискання і потужності, що необхідні та достатні для приводу робочих органів, яка відображає взаємозв'язок фізико-механічних властивостей компонентів насіння олійних культур і конструктивних та технологічних параметрів технічного засобу.

Вперше отримано аналітичні залежності для визначення силових та енергетичних характеристик екструдера з проміжним подрібненням насіння.

Визначено геометричні та кінематичні характеристики вузла подрібнення з новими циліндрично-конусними насадками, що визначають ефективність виходу олії.

Приведено оцінку трансформації процесу тепломасообміну від кількості відтиснутої олії.

Набуло подальшого розвитку математичне моделювання процесу руху сировини і відтискування олії прес-екструдерами з циліндрично-конусними насадками.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено конструкцію нових подрібнювальних робочих органів, спрямованих на інтенсифікацію подрібнення олієвмісного матеріалу; визначено раціональні геометричні параметри циліндрично-конусних насадок та досліджено їх властивості в процесі подрібнення сировини. На основі теоретичних узагальнень, результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень запропоновано науково обґрунтовані конструктивно-технологічні параметри олієвідтискного тракту прес-екструдерів, ефективність яких підтверджена успішною апробацією на підприємстві ТОВ «Укрекспо-Процес» (м. Київ). Впроваджено у виробництво нову конструкцію робочих органів на підприємстві ТОВ «Укрекспо-Процес» з річним економічним ефектом 54,5 тис. грн за рік. Результати досліджень використано також ТОВ «Елерон» для будівництва заводу з виробництва дизельного біопалива для ТОВ «Чигиринська аграрна компанія» і ПП «Плазма» для проектування і виготовлення прес-екструдерів. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України під час викладання дисциплін: «Технологічне обладнання галузі», «Процеси і апарати харчових виробництв». Технічну новизну отриманих результатів підтверджено патентом України на винахід.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні, експериментальні дослідження та розрахунки за темою дисертації автором виконано самостійно. Здійснено вибір об'єкта, предмета та методики досліджень, запропоновано математичні методи моделювання технологічних процесів відтискання олії, які дають змогу проектувати обладнання, що забезпечує збільшення виходу олії та зменшує енергетичні витрати на процес завдяки раціональній конструкції олієвідтискного тракту. Автору належать основні ідеї в опублікованих працях, отриманому патенті на винахід. За підтримки і консультування наукового керівника виконано критичний аналіз та узагальнення результатів проведених теоретичних і експериментальних досліджень та здійснено публікацію основних наукових здобутків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертації доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на: Міжнародній науково-технічній конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей» (м. Київ, 2012 р.); VIII Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Техніка і технологія харчових виробництв» (м. Могильов, Республіка Білорусь, 2012 р.); VI Міжнародній науковій конференції «Екобіотехнології та біопалива в АПК» (м. Київ, 2012 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних

проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 65-річчю кафедри процесів і апаратів харчових виробництв Національного університету харчових технологій «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» (м. Київ, 2016 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції вчених, аспірантів і студентів (м. Київ, 2019 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 25 наукових працях, з яких 12 статей у наукових фахових виданнях України, стаття у науковому виданні іншої держави, стаття в іншому науковому виданні, патент України на винахід і 10 тез наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 187 сторінок. Робота містить 12 таблиць та 47 рисунків. Список використаних джерел налічує 131 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналітичний огляд сучасного рівня розвитку олієвідтискних машин і технологій для виробництва олії» проаналізовано технології, конструкції та типи олійних пресів для виробництва олії та науково-дослідні роботи, присвячені процесу виробництва олії пресовим способом. Розглянуто особливості технічних засобів для подрібнення олієвмісної сировини в пресах та екструдерах, виявлено їхні переваги і недоліки, обґрунтовано необхідність розроблення нових подрібнювальних робочих органів.

Дослідження технологічного процесу подрібнення, перемішування зернової маси і виробництва олії шляхом пресування в олійних пресах та екструдерах, визначення їх оптимальних параметрів викладено у працях В. В. Белобородова, А. А. Гаруса, А. М. Голдовського, В. П. Заїки, Т. М. Зубкової, Ю. П. Кудріна, В. А. Маслікова, Ю. П. Мацука, В. С. Морозова, Ю. А. Толчинського, В. Ю. Поліщука, Р. Ф. Сагітова, І. Я. Стадника, С. П. Ястреби та ін. На підставі їх аналізу встановлено, що для забезпечення максимального відтискання олії в камері пресування необхідно впродовж певного часу поступово створювати і нарощувати відповідний тиск. Чим довше матеріал перебуватиме під дією цього тиску, тим повніше відтискатиметься олія. Швидке нарощування тиску сприяє закупорюванню пор, що спричиняє значний залишок олії в макусі. Тривалість проходження олієвмісного матеріалу через камеру пресування екструдера залежить від низки чинників: геометричного профілю шнекового вала, кроку та форми його витків, ступеня стискання матеріалу, площі отворів для відведення макухи, частоти обертання шнекового вала та ін.

Аналіз досліджень процесу пресування теоретичного і прикладного характеру показав, що донині не існує ефективних методик розрахунку

шнекових пресів для відтискання олії. По-перше, запропоновані теоретичні моделі для реалізації цих методик стосуються дослідження одногвинтових пресів та екструдерів, обладнаних гвинтовими валами зі змінними конструктивними параметрами, а також окремих форм витків. Дослідження конструкцій олійних пресів з подрібнювальними робочими органами досить малочисельні, а наявні подрібнювальні насадки чи перемички значно ускладнюють конструкцію обладнання. По-друге, ці моделі переважно враховують фізико-механічні властивості тільки одного виду олієвмісної сировини – насіння соняшнику – і не відображають процес пресування насіння інших олійних культур, які зараз широко культивуються в Україні, наприклад, ріпаку і сої. По-третє, вони повною мірою не відображають наявні дослідження, спрямовані на зниження енергомісткості процесу отримання рослинних олій.

Отже, актуальні дослідження щодо пошуку та обґрунтування раціональних параметрів нових подрібнювальних робочих органів екструдерів зумовлюють необхідність вибору їх раціонального конструювання та конструктивного виконання для збільшення виходу олії зі збереженням її якісних показників та зменшенням енергетичних витрат на процес.

У другому розділі **«Теоретичний аналіз процесу відтискання олії»** розглянуто кінетику процесу подрібнення олієвмісної маси в подрібнювальних робочих органах екструдера для відтискання олії. За час освоєння і експлуатації гвинтових пресів різних конструкцій накопичено великий досвід. З початку пресування насіння переходить з одного фізичного стану в інший аж до виходу олії і макухи. Для дослідження цих процесів використовується метод роз'єднування (декомпозиції) потоку сировини у тракті пресу та розгляду його по частинах. Треба зазначити, що таке моделювання в більшості випадків виявляється чисто умовним, оскільки такі частини взаємопов'язані і роблять вплив на попередні і подальші процеси. До того ж кожний із процесів у складній системі може відбуватися одночасно (паралельно) або паралельно – послідовно, що спостерігається всередині пресуючого тракту екструдера – олійне насіння разом із транспортуванням і подрібненням піддається нагріванню та відтисканню. За математичного моделювання шнекового пресувального механізму вдаються до поділу його на секції. Розділимо пресувальний тракт двогвинтового прес-екструдера (рис. 1) на чотири умовних секції (I–IV). Кожна секція закінчується ділянкою механізму, на якому прохідний переріз зменшується чи збільшується в межах одного виду робочих органів. У секції I відбувається зсув матеріалу в каналі шнека. У секції II – часткове подрібнення сировини в зоні трикутних кулачкових насадок та рух сировини у компресійному затворі. У секції III – відтискування олії через отвори в зєсрних камерах. У секції IV – зсув матеріалу в матриці. Для збільшення виходу олії пресування відбувається у декілька етапів з їх повторенням у відтискному тракті. Вважаючи, що у досліджуваному процесі реалізується центральне подрібнення насіння, можна визначити геометричні параметри вузла подрібнення, які представлено на рис. 2.

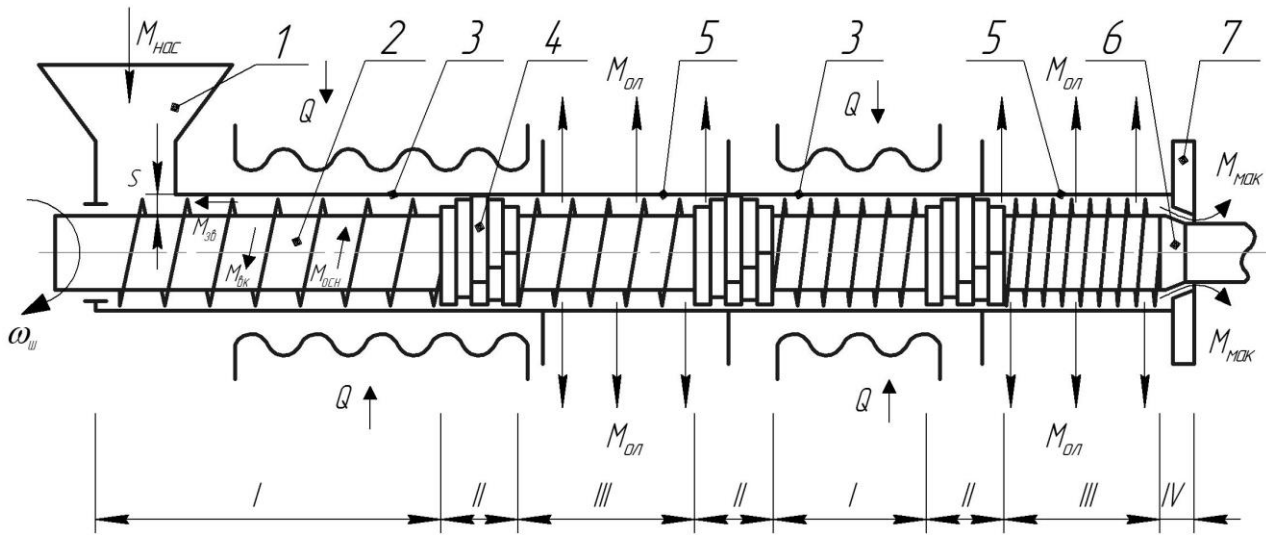


Рис. 1. Розрахункова схема двогвинтового прес-екструдера: 1 – бункер; 2 – гвинтові насадки (шнеки); 3 – камера нагрівання; 4 – подрібнювальні насадки; 5 – зерна камера; 6 – конусна насадка; 7 – матриця;  $M_{нас}$  – маса основного потоку сировини;  $Q$  – кількість теплоти, що підводиться до сировини;  $M_{осн}$  – маса основного потоку сировини;  $M_{ол}$  – маса олії, що відтискується;  $M_{мак}$  – маса макухи;  $M_{зв}$  – маса зворотнього потоку сировини, що спрямований вздовж зазору між циліндром та шнеком;  $M_{зв_к}$  – маса зворотнього потоку сировини, що спрямований вздовж каналу профілю шнека

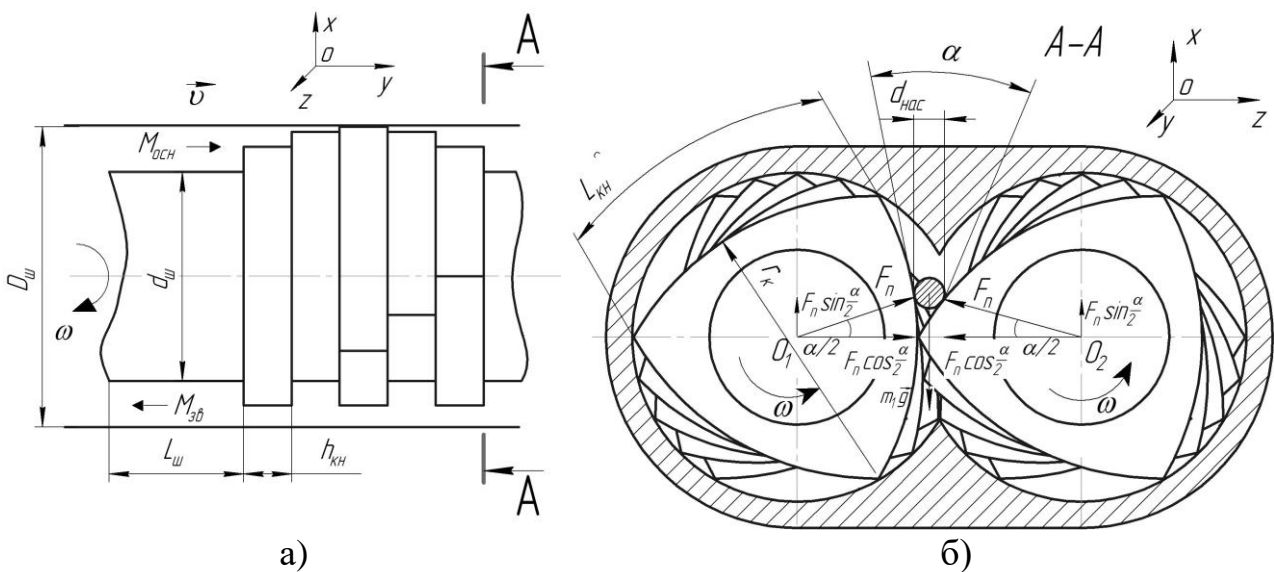


Рис. 2. Схема для визначення геометричних складових вузла подрібнення насіння в трикутних кулачкових насадках:  $D_{ш}$  – зовнішній діаметр витка шнека;  $d_{ш}$  – зовнішній діаметр тіла шнека;  $L_{ш}$  – довжина шнекової насадки;  $h_{кн}$  – ширина кулачкової насадки;  $L_{кн}$  – робоча довжина кулачкової насадки;  $O_1, O_2$  – центри кулачків;  $r_к$  – радіус кулачка;  $d_{нас}$  – діаметр насінини;  $\omega$  – кутова швидкість

Побудовано математичну модель процесу переміщення маси олійної сировини вздовж каналу шнека та подрібнення у подрібнювальному вузлі. Під час складання моделі застосовано такі припущення: матеріал олійної сировини

псевдопластичний в'язко-пружний, що описується реологічною моделлю з послідовно з'єднаних тіл Кельвіна і Максвелла; рух маси основного потоку сировини  $M_{\text{осн}}$  спрямований вздовж паралельних площин, до того ж шнек нерухомий, а навколо нього обертається зовнішній циліндр; сировина в каналі шнека нестискувана; течія рідинного конвективного потоку ламінарна; процес пресування в області  $I$  ізотермічний; переміщення сировини відбувається внаслідок перепаду тиску; нехтуємо інерційними навантаженнями у процесі дифузії; режим руху сировини в часі стаціонарний –  $\frac{\partial v_x}{\partial t} = 0$ ;  $\frac{\partial v_y}{\partial t} = 0$ ;  $\frac{\partial v_z}{\partial t} = 0$ .

У процесі подальшого математичного аналізу використовували такі залежності. Рівняння нерозривності потоку застосовували для математичного вираження закону збереження маси, згідно з яким маса у замкнутій системі залишається постійною:

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Для визначення масових сил у системі використано закон збереження кількості руху. У досліджуваній системі можна виділити три основних сили: силу подрібнення  $F_{\text{п}}$ ; силу тиску, що створюється у витках шнека  $P_z$ ; силу тертя  $F_{\text{тер}}$ . Напрямок сили подрібнення  $F_{\text{п}}$  залежить від співвідношення напрямку дотичних і нормальних сил (рис. 2б).

Силу подрібнення визначали за формулою:

$$F_{\text{п}} = S\sigma_p, \quad (2)$$

де  $S$  – площа міделевого перерізу зерен сировини на контакті твірних пари кулачків;  $\sigma_p$  – руйнівне напруження від нормальних і дотичних сил.

Площу міделевого перерізу зерен сировини на контакті твірних пари кулачків розраховували так:

$$S = \frac{\pi d_c^2 n}{4}, \quad (3)$$

де  $d_c$  – середній діаметр насіння сировини;  $n$  – кількість зернин на твірній кулачка.

Кількість зернин на твірній кулачка розраховували так:

$$n = \frac{h_{\text{кн}}}{d_c}, \quad (4)$$

де  $h_{\text{кн}}$  – ширина кулачкової насадки.

Такий порядок визначення сили подрібнення у подрібнювальному механізмі не враховує реологічних характеристик сировини і гідродинаміки її руху у відтискному тракті, а тому потребує уточнення.

Силу тертя визначили за законом Кулона-Амонтона:

$$F_{\text{тер}} = k_T F_d + F_{\text{адг}}, \quad (5)$$

де  $k_T$  – коефіцієнт тертя у процесі руху сировини у робочій ємкості;  $F_d$  – сила деформації продукту;  $F_{\text{адг}}$  – адгезійна сила, що враховує злипання сировини з елементами преса.

Враховуючи закономірності руху робочих органів екструдера, сировини у відтискному тракті і величини масових сил, рівняння, що описують процес досліджуваній системі, набувають вигляду:

$$\begin{cases} \frac{v_x^2}{x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \frac{v_z^2}{z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\psi}{\rho} \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} \right) = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

де  $v_x$ ,  $v_z$  проекції лінійної швидкості потоку сировини;  $\psi$  – коефіцієнт, що характеризує в'язкопружні властивості середовища.

Вважаємо, що робочий тиск  $p$  у площині  $xoz$  (див. рис. 2) не змінюється, а зміна його має місце тільки по осі каналу шнека  $oy$ .

На основі схеми вузла подрібнення (див. рис. 2) та отриманої системи рівнянь (6) знайдено зусилля для подрібнення матеріалу на основі закону збереження кількості руху речовини:

$$m_1 v_x = \left( 2F_{II} \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{P_x}{S} (1 - k_T) - m_1 g - F_{адз} \right) \frac{L_{KH}}{v_x}. \quad (7)$$

Із цього рівняння випливає:

$$F_{II} = \frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[ \frac{\omega^2 r^2}{L_{KH}} \left( m_1 - \frac{\rho \ln L_{KH}}{z_K h_{KH}} \right) (1 - k_T) + m_1 g + F_{адз} \right]. \quad (8)$$

Із рис. 4а, 4б очевидно, що за збільшення густини технологічної суспензії на 40,5 %, яка відтискується у досліджуваному процесі, сила тиску зростає на 41 %, тобто має місце практично пропорційна залежність між силою тиску та густиною оброблюваної сировини.

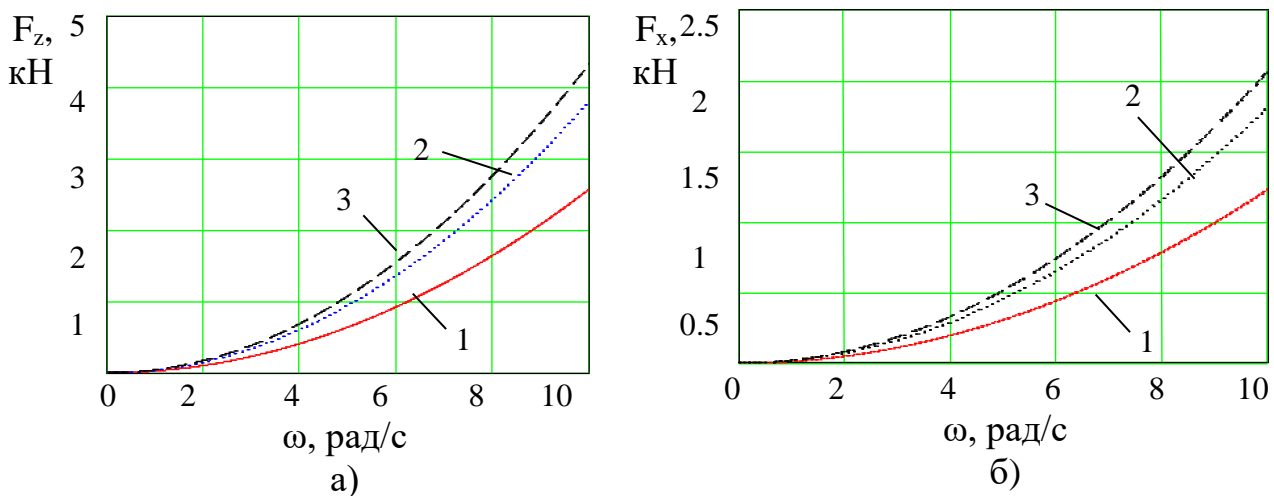


Рис. 4. Залежності горизонтальної  $F_z$  (а) та вертикальної  $F_x$  (б) складових сили подрібнення у робочій порожнині від кутової швидкості приводного вала  $\omega$  під час відтискування олії з насіння: 1 – соняшнику ( $\rho=440$  кг/м<sup>3</sup>); 2 – ріпаку ( $\rho=650$  кг/м<sup>3</sup>); 3 – сої ( $\rho=740$  кг/м<sup>3</sup>)

Абсолютне значення сили подрібнення  $F_{\Pi}$  визначаємо за величинами представлених проєкцій  $F_z$  і  $F_x$ :

$$F_{\Pi} = \sqrt{F_z^2 + F_x^2}. \quad (9)$$

Для рекомендованого режиму обертового руху виконавчих органів екструдера  $\omega=4-7$  рад/с сила подрібнення продукції робочими кулачками  $F_{\Pi}$  збільшується у 3 рази у процесі обробки сировини, густина якої зростає на 40 %. Водночас, цей параметр змінюється у межах 1–3 кН (рис. 5а).

За збільшення густини сировини, яка подрібнюється перед відтискуванням на 40 %, витрати потужності на процес подрібнення збільшуються у 2,8 раза та складають для рекомендованого робочого режиму 0,7–2 кВт (рис. 5б).

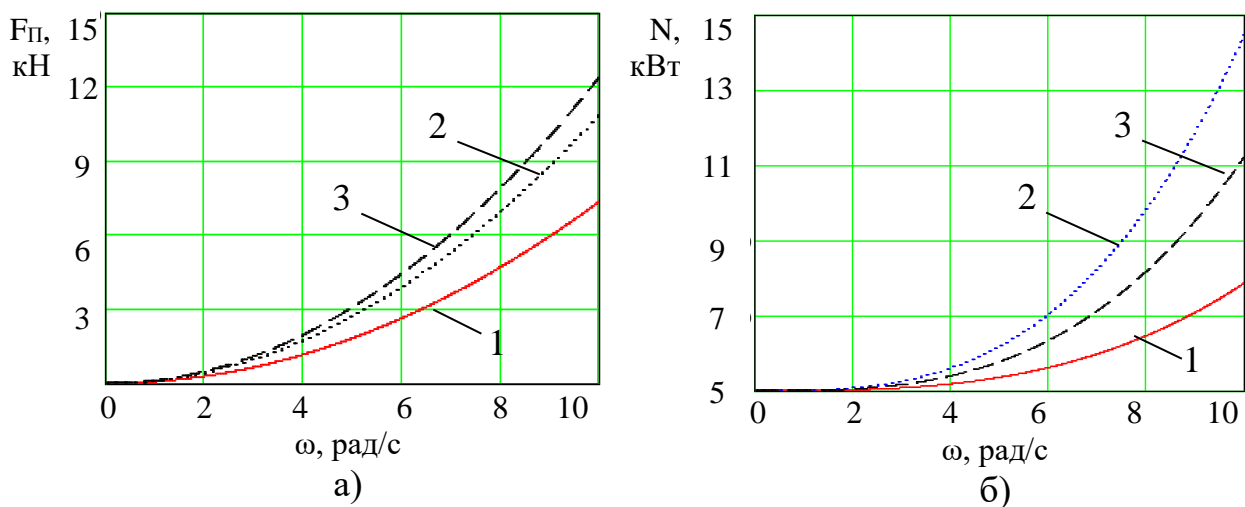


Рис. 5. Залежності сили подрібнення сировини робочими кулачками  $F_{\Pi}$  (а) та витрат потужності при подрібненні продукції робочими кулачками  $N$  (б) від кутової швидкості приводного валу  $\omega$  при відтискуванні олії з насіння: 1 – соняшнику; 2 – ріпаку; 3 – сої

У двогвинтовому прес-екструдері для відтискання олії з однонапрямленим обертанням валів величина діаметрів гвинтових насадок і циліндричної поверхні корпусу навколо них та висота витків гвинтових насадок постійна по всій довжині робочої частини шнекового вала. Відповідно, ущільнення маси здійснюється лише внаслідок зменшення об'єму С-подібної секції гвинтових каналів кожної наступної гвинтової насадки. Це здійснюється ступеневим зменшенням кроку витків гвинтових насадок та зміною ширини гребеня витка. На основі аналізу геометричних параметрів трьох комплектів робочих органів, рекомендованих заводом-виробником двогвинтового прес-екструдера проведено визначення вільного об'єму та теоретичного ступеня стискання робочих органів по відтискному тракту шнекового вала в робочій камері для переробки насіння соняшнику (рис. 6), ріпаку та сої. Ступінь стискання сировини становить відповідно 4,69; 3,36 та 2,55.

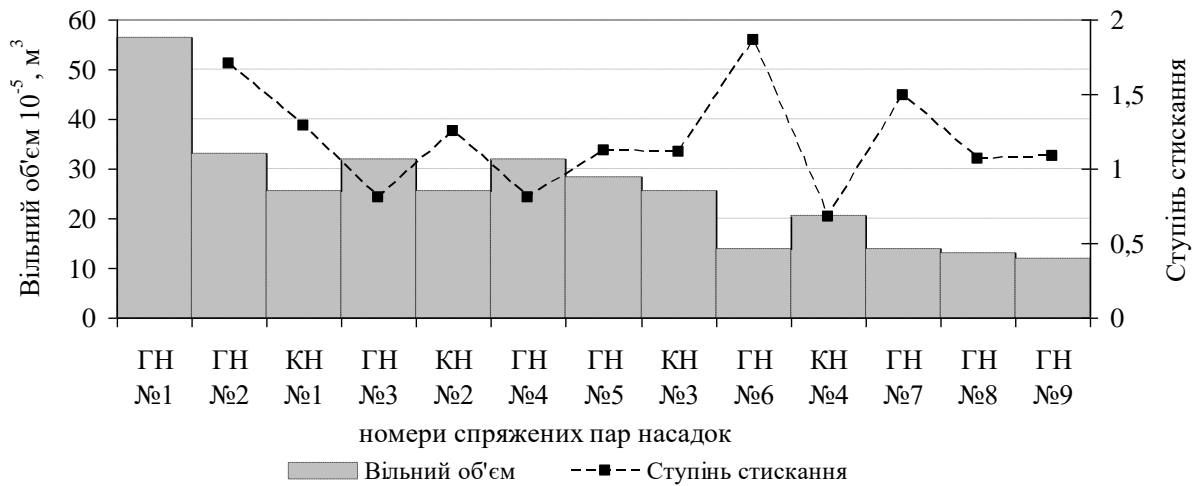


Рис. 6. Зміна вільного об'єму робочих органів і ступеня стиснення сировини по відтискному тракту шнекового вала (набір робочих органів для насіння соняшнику з гвинтовими (ГН) і кулачковими (КН) насадками)

Для інтенсифікації процесу відтискання олії вдосконалення двогвинтового прес-екструдера здійснили за рахунок введення розроблених автором і запатентованих нових робочих органів – циліндрично-конусних насадок (рис. 9, б), які створюють проміжне ущільнення олієвмісної сировини по довжині тракту преса (рис. 7).

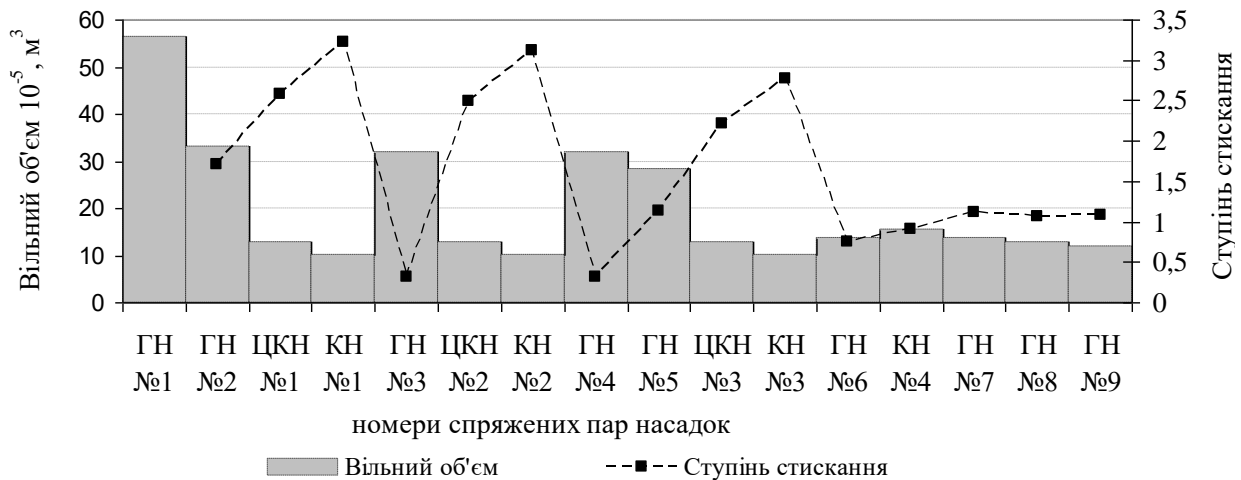


Рис. 7 Зміна вільного об'єму робочих органів і ступеня стиснення сировини по відтискному тракту шнекового вала (набір робочих органів для насіння соняшнику з гвинтовими (ГН), кулачковими (КН) і циліндрично-конусними насадками (ЦКН))

Порівнюючи діаграми (рис. 6, 7), помітно, що, застосовуючи циліндрично-конусні насадки між гвинтовими і кулачковими насадками на валах, величина ступеню стиснення збільшується з наростанням в зоні подрібнювальних насадок і зменшується в наступній у напрямі руху сировини гвинтовій насадці. Після встановлення трьох пар циліндрично-конусних насадок по довжині вала отримали потрібне повторення більш стрімкого збільшення ступеню стиснення, що забезпечило проміжне ущільнення

олієвмісної сировини, інтенсифікацію її подрібнення з одночасним перемішуванням та збільшення виходу олії (див. розділ 4).

У третьому розділі «Програма та методика експериментальних досліджень» розроблено експериментальну установку та підібрано вимірювальне оснащення, розроблено методику проведення досліджень і складено програму виконання досліджень (рис. 8).

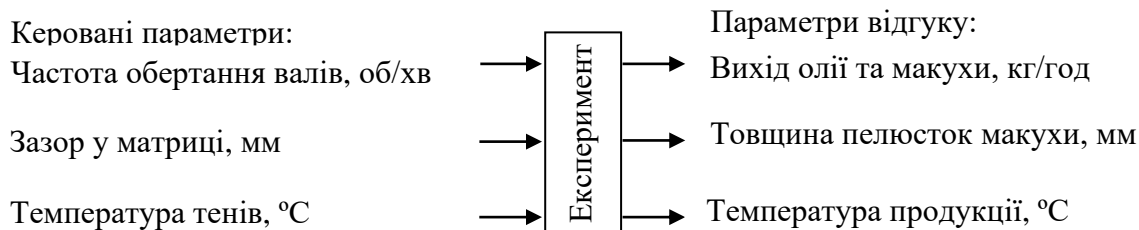


Рис. 8. Схема проведення експериментів у процесі дослідження роботи екструдера

Експериментальні дослідження проводили в навчально-науково-виробничій лабораторії Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Агрономічна дослідна станція» на двогвинтових прес-екструдерах ЕК 75/1200 виробництва НВО «Екструдер», м. Харків (рис. 9а). Розроблені циліндрично-конусні насадки (рис. 9б) встановлено в одній площині на валах назустріч одна одній між гвинтовими насадками і групою трикутних кулачкових насадок.

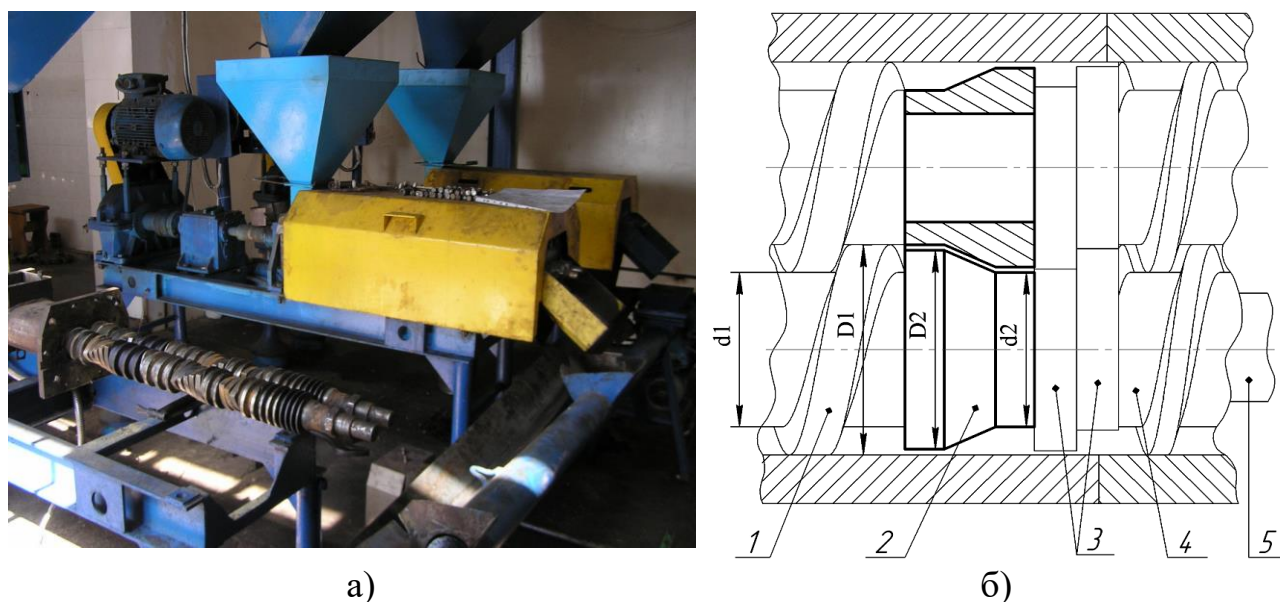


Рис. 9. Загальний вигляд експериментальних прес-екструдерів ЕК 75/1200 (а) та фрагмент робочих органів з циліндрично-конусними насадками (б): 1, 4 – гвинтові насадки; 2 – циліндрично-конусні насадки; 3 – трикутні кулачкові насадки; 5 – вал;  $d_1$ ,  $D_1$  – зовнішній діаметр тіла і витка гвинтових насадок 1, 4, відповідно;  $D_2$ ,  $d_2$  – зовнішній діаметр циліндричної поверхні циліндрично-конусної насадки 2

Розраховано, що зовнішній діаметр циліндричної поверхні циліндрично-конусної насадки D2 визначається зі співвідношення  $D2 = (0,924 \div 0,987) \times D1$ .

Експерименти проводилися у виробничих умовах під час відтискання олії з насіння ріпаку, соняшника та сої. Конструктивно-технологічні параметри прес-екструдера контролювали різними вимірювальними приладами. Керування приводом і системою нагрівання прес-екструдера здійснювали з пульту управління. Для вимірювання температури обігрівання корпусів використовували напівпровідникові елементи КТУ-81 фірми «Philips» та термопари ТХК-2488. Контроль температури олії на виході із зєрної камери здійснювали біметалічними термометрами Sewal PST63P та пірометром АХІОМЕТ VA6520. Товщину набірних кілець для установаження зазору в матриці та товщину пелюсток макухи контролювали штангенциркулем ШЦК-1-150-0,02. Кількість відтиснутої олії та макухи оцінювали зважуванням електронними вагами DOMOTEC PLUS DT52. Частоту обертання валів вимірювали цифровим тахометром UNI-T UT-372. Адгезію сировини до деталей екструдера оцінювали адгезіометром. Час пресування кожної порції насіння фіксували за допомогою електронного секундоміра РС894. Вимірювання показників якості електроенергії проводили цифровим мультиметром DMK-32 фірми Lovato Electric, який дає змогу вимірювати показники якості електроенергії з періодом від 1 с до 16 хв і записувати дані вимірювань у пам'ять персонального комп'ютера, використовуючи програмне забезпечення системи SCADA. Передача даних здійснюється за допомогою конвектора RS-232/RS-485. Опрацювання експериментальних даних та графічне оформлення роботи здійснено, застосовуючи комп'ютерне програмне забезпечення: Microsoft Office Excel, MathCad 15, Statistica 8.0, Компас 3D V 16.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» висвітлено та проаналізовано результати проведених експериментів.

Для обґрунтування параметрів процесу пресування насіння озимого ріпаку, соняшнику та сої проведено багатофакторний експеримент, під час якого контрольованими параметрами були: температура нагрівальних корпусів  $T$ , вихід олії  $V$ , продуктивність прес-екструдера  $Q$ , а змінними – величина зазору  $b$  в матриці та частота обертання валів  $n_e$ . У результаті опрацювання отриманих даних і використання програмного забезпечення Statistica 8.0 отримано рівняння регресії, що описують вихід олії та продуктивність екструдера.

Залежність виходу ріпакової олії  $V$  (%) від температури обігрівання корпуса  $T$  та від величини зазору в матриці  $b$  описується рівнянням:

$$V = -127.7 + 17.5b + 1.195T - 0.87b^2 - 0.005T^2 \quad (10)$$

Залежність величини продуктивності  $Q$  (кг/год) від температури обігрівання корпуса  $T$  (°C) та від величини зазору  $b$  (мм) описується рівнянням:

$$Q = +179.06 - 6.418b + 0.393b^2 + 0.007b \cdot T. \quad (11)$$

Графічні залежності за частоти обертання валів 4,38 рад/с подано на рис. 10.

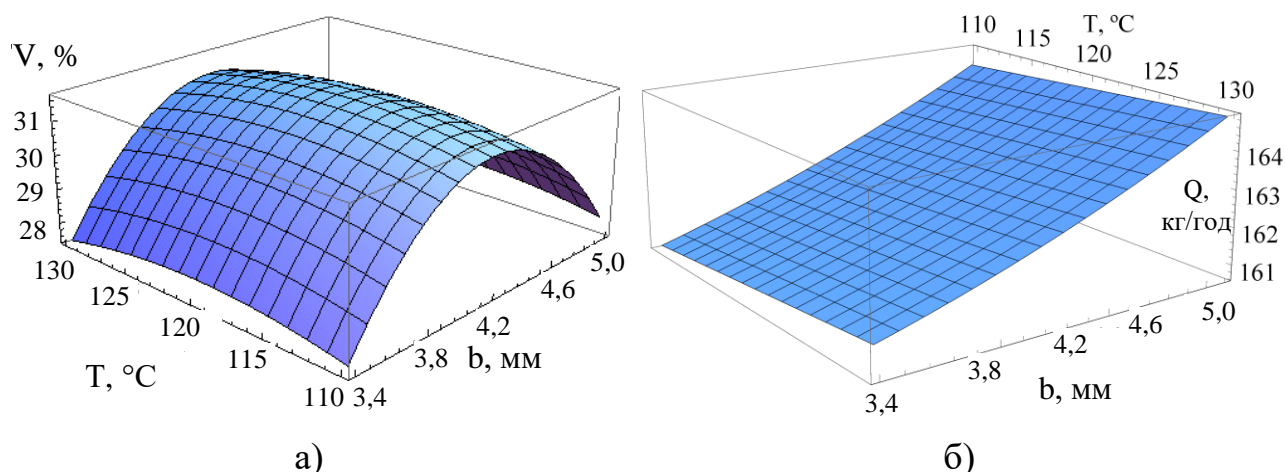


Рис. 10. Залежність виходу олії (а) та величини продуктивності екструдера (б) від температури обігрівання корпусу та від величини зазору в матриці  $b$

Аналіз приведених даних показує, що при мінімальній величині зазору  $b=3,4$  мм, вихід олії за всіх температурних режимів був мінімальний у зв'язку зі зменшеною пропускною спроможністю екструдера (див. рис. 10, а). Подальше збільшення зазору до 4,2 мм призводить до збільшення пропускної спроможності преса та виходу олії. Однак, при збільшенні зазору до 5,0 мм, вихід олії зменшується через збільшення вихідного отвору та зменшення тиску на олійну сировину, що призвело до неповної віддачі олії сировиною. Водночас, загальна продуктивність (пропускна спроможність) преса продовжила збільшуватися (див. рис. 10, б) у зв'язку зі зменшенням опору видалення макухи на виході з преса, що спричинило збільшення в ній залишку олії.

Перший етап експериментальних досліджень проведений з конструкцією відтискного тракту заводу-виробника. Другий етап досліджень проведений з новою конструкцією відтискного тракту та наборами робочих органів, до складу яких увійшли розроблені циліндрично-конусні насадки. При порівнянні отриманих величин виходу олії (рис. 11) очевидна ефективність застосування розроблених циліндрично-конусних насадок. Адже з набором циліндрично-конусних насадок вихід ріпакової олії збільшився до 3 %.

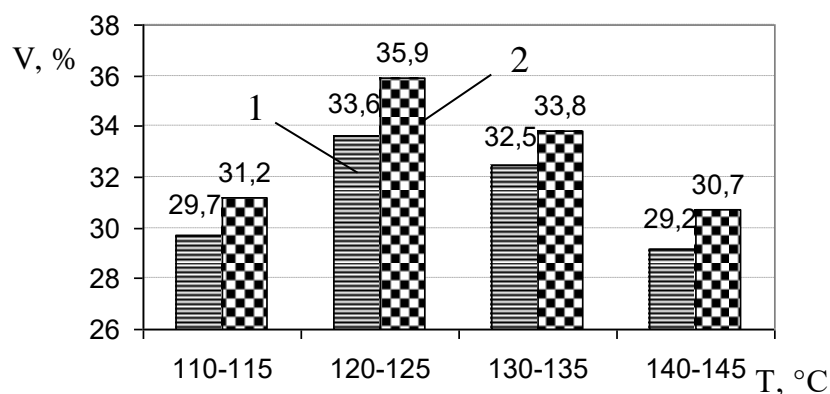


Рис. 11 Залежність виходу ріпакової олії від виду встановлених насадок у відтискному тракту екструдера за різних температур обігрівання корпусів: 1 – з насадками заводу-виробника; 2 – з циліндрично-конусними насадками

Результати перевірки адекватності математичної моделі процесу відтискання олії в екструдері (див. розділ 2), виконаної за результатами експериментальних досліджень з використанням як критерію оцінки витрат потужності на переробку насіння ріпаку за різної кутової швидкості приводного вала  $\omega$  (рис. 12), показали, що отримані теоретичні та експериментальні результати відрізняються не більше ніж на 9 %. Аналогічні описаним були результати відтискання соняшнику і сої.

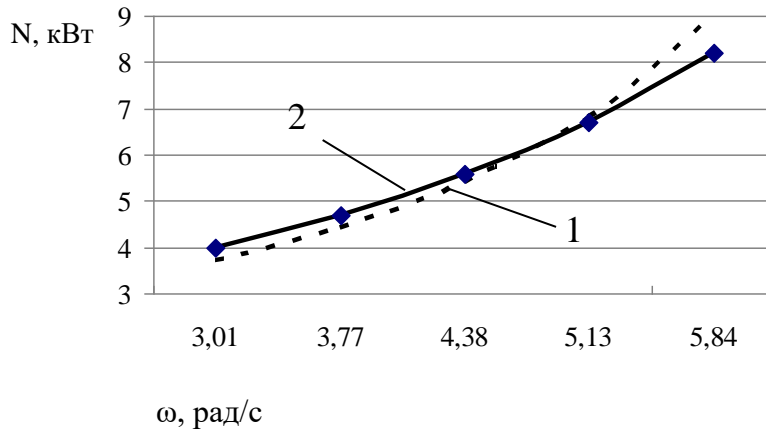


Рис. 12. Порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних досліджень у процесі визначення витрат потужності на реалізацію досліджуваного процесу відтискання олії з ріпаку: 1 – за результатами математичного моделювання процесу; 2 – за результатами експериментальних досліджень

На основі отриманих теоретичних і експериментальних даних визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри прес-екструдера (табл. 1).

Таблиця 1

### Раціональні конструктивно-технологічні параметри прес-екструдера для переробки олійних культур

Олійні культури	Температура робочих зон нагрівання, °С	Товщина зазору в матриці, мм	Кутова швидкість валів, рад/с
Соняшник	125–130	5,0	4–6
Ріпак	120–125	4,2	4–5
Соя	115–120	4,2	3–4

У п'ятому розділі «Техніко-економічна оцінка розробленого обладнання для виробництва олії» подано результати проведених досліджень з визначення перспективних комплектів обладнання технологічних ліній для цехів з виробництва олії продуктивністю не більше 1000 кг/год, визначення енергомісткості технологічного процесу виготовлення олії. На основі багатокритеріального аналізу, використавши метод «відстані до цілі», з точки зору енергозбереження, визначено комплект обладнання лінії виробництва рослинних олій Національного університету біоресурсів і природокористування України, який передбачає відтискання олії з необрушеного насіння у вдосконалених двогвинтових прес-екструдерах ЕК 75/1200. За даними матеріального балансу, згідно з розробленою методикою визначили рух

сировини, вихід проміжних та побічних продуктів виробництва олії, технічну характеристику основного обладнання та дані обліку фактичних витрат сировини і паливно-енергетичних ресурсів, необхідні для обчислення енергомісткості технологічного процесу. Визначено енергомісткість технологічного процесу виготовлення олії лінії виробництва рослинних олій Національного університету біоресурсів і природокористування України за обсягу 500 т нерафінованої ріпакової олії за 180 робочих днів склала 717,8 МДж/т. Водночас, частка процесу відтискання олії в трьох прес-екструдерах склала 76 % від загальної частки енергомісткості технологічного процесу, або 545,45 МДж/т. За показниками базового і дослідного зразків прес-екструдера виконано розрахунок їх економічної ефективності. Проведено оцінку приросту прибутку за використання вдосконаленого прес-екструдера та розраховано річний економічний ефект.

Вдосконалені двогвинтові прес-екструдери пройшли виробничу апробацію в ТОВ «Елерон» під час будівництва заводу для виробництва дизельного біопалива для СТОВ «Чигиринська аграрна компанія». Науково-технічні рекомендації використано для проектування і виготовлення прес-екструдерів у ПП «Плазма» та ТОВ «Укрекспо-Процес», що підтверджено відповідними актами впровадження.

## ВИСНОВКИ

На підґрунті аналізу і систематизації процесів відтискування олії, принципів дії та конструкцій вітчизняних і зарубіжних машин та оцінки їх взаємодії з олієвмісною сировиною в роботі отримано нові наукові результати, які розширюють уявлення про закономірності проходження подрібнювальних і тепломасообмінних процесів у різних функціональних зонах двогвинтових прес-екструдерів, що дало змогу розробити теоретичні основи, експериментально обґрунтувати і практично реалізувати новий підхід у вирішенні проблеми підвищення ефективності використання екструдерів, виходу олії, покладений в основу їх класифікації, математичного моделювання процесів, конструктивних і технологічних рішень, вибору кінематичних і динамічних параметрів подрібнювальних і відтискних вузлів, що забезпечує енерго- і матеріалоощадність процесів, високий вихід олії належної якості та є науково-технічною основою для створення нових високопродуктивних прес-екструдерів.

У дисертації відповідно до поставленої мети і сформульованих завдань отримано такі результати:

1. Аналіз технологічного процесу і обладнання для виробництва рослинних олій показав, що прес-екструдери є перспективними для використання у переробних цехах, які працюють за спрощеною технологічною схемою відтискання, із застосуванням розробленої схеми знакозмінного поздовжнього навантаження стискання-розтягування з одночасним подрібненням сировини для зменшення опору транспортуванню і відтисканню.

2. У результаті математичного моделювання було отримано необхідні залежності для визначення сили тиску у відтискному тракті екструдерів та енерговитрат на процес за врахування масових та адгезійних сил, що дало змогу обґрунтувати робочі режими попереднього подрібнення сировини.

3. За результатами аналітичного та графоаналітичного визначення силових та енергетичних характеристик і конструктивного оформлення процесу відтискування різних видів олієвмісної сировини у модернізованому прес-екструдері виявлено, що у разі збільшення густини подрібненої безпосередньо в машині олієвмісної маси на 40 % витрати потужності на процес подрібнення збільшуються у 2,8 раза та складають для рекомендованого робочого режиму ( $\omega=4-7$  рад/с) 0,7–2 кВт. Розбіжність отриманих значень у процесі порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних досліджень за енергетичними критеріями оцінювання не перевищує 9 %, що підтверджує адекватність математичної моделі та доцільність її використання у розрахунках.

4. Встановлено раціональні конструктивно-технологічні параметри модернізованого прес-екструдера на основі проведених експериментальних досліджень: температура першої та другої зони обігрівання корпусів – 115–130 °С, зазор у матриці – 4,2–5 мм, кутова швидкість шнекового вала – 4–7 рад/с, час технологічного впливу на олієвмісний матеріал у тракті пресу 45–75 сек. Їх застосування дозволяє збільшити продуктивність машини і зменшити енерговитрати на процес відтискання олії.

5. Визначено теоретичний ступінь стискання у прес-екструдері з набором нових робочих органів у процесі переробки насіння соняшнику, ріпаку та сої, який становить відповідно 4,69; 3,36 та 2,55, що забезпечило проміжне ущільнення олієвмісної сировини, інтенсифікацію її подрібнення та збільшення виходу олії до 3 %.

6. Розроблено робочу документацію для виготовлення циліндрично-конусних насадок, що дає змогу модернізувати наявні двогвинтові прес-екструдери. Новизну конструкторської розробки підтверджено патентом України на винахід.

7. Енергомісткість технологічного процесу виготовлення ріпакової олії на лінії виробництва рослинних олій Національного університету біоресурсів і природокористування України з модернізованими екструдерами в обсязі 500 т олії зменшено на 14 %.

8. Оцінка економічної ефективності впровадження дисертаційного дослідження у виробництво виявила високий рейтинг розробки. Очікуваний річний економічний ефект за обсягу виробництва 224 т олії склав 100352 грн, а приріст прибутку від виробництва 1 т олії становить 448 грн.

9. Вдосконалені двогвинтові прес-екструдери пройшли виробничу апробацію в лінії заводу з виробництва дизельного біопалива у ТОВ «Елерон», де економічна ефективність склала 77959,7 грн за дольової участі автора дисертації 15 %. Науково-технічні рекомендації використано для проектування і виготовлення прес-екструдерів у ПП «Плазма» та ТОВ «Укрекспо-Процес», що підтверджено відповідними актами впровадження з економічним ефектом 54000 грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Дацишин О. В., Гудзенко М. М. Тенденції розвитку олієвіджимних пресів. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2006. № 95. С. 280–286. *(Здобувачем проведено аналіз розвитку олієвіджимних пресів, описано особливості їх конструкційних робочих органів).*
2. Гудзенко М. М. Машинні технології виробництва рослинних олій в умовах сільськогосподарських підприємств малої потужності. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2007. № 107. С. 348–355.
3. Дацишин О. В., Гудзенко М. М. Порівняльна оцінка олієвіджимних пресів. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2007. № 117. С. 324–333. *(Здобувачем проведено розрахунки технічного рівня олієвіджимних пресів на основі порівняння числових значень коефіцієнта енергомісткості та металомісткості, зібрано базу даних щодо технічних характеристик існуючих олієвіджимних пресів та їх виробників).*
4. Дацишин О. В., Гудзенко М. М. Аналіз олієвідтискних пресів із ручним приводом. Вісник Львівського національного аграрного університету. 2008. № 12. Т. 1. С. 279–287. *(Здобувачем проведено аналіз тенденцій розвитку олієвідтискних пресів із ручним приводом, описано особливості їх конструкційних робочих органів та запропоновано напрями удосконалення конструкцій цих пресів).*
5. Дацишин О. В., Гудзенко М. М. Порівняльний аналіз одногвинтових екструдерів для відтискання олії. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2009. № 9. Т. 1. С. 31–38. *(Здобувачем проведено аналіз тенденцій розвитку існуючих одногвинтових екструдерів, проведено порівняльні розрахунки за питомими показниками, описано особливості їх конструкційних робочих органів).*
6. Гудзенко М. М., Дацишин О. В. Огляд конфігурацій та форм подрібнюючих насадок олієвідтискних гвинтових пресів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. № 134. Ч. 2. С. 86–95. *(Здобувачем проведено аналіз тенденцій розвитку форми і конструкції подрібнюючих насадок, як робочих органів безпосередньо у гвинтових пресах для відтискання олії, описано особливості їх конструкцій та запропоновано напрям їх удосконалення).*
7. Гудзенко М. М., Сухенко Ю. Г., Захарієнко В. М. Аналіз сучасних конструкцій одногвинтових пресів для відтискання олії. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. № 144. Ч. 2. С. 166–171. *(Здобувачем проведено аналіз тенденцій розвитку існуючих одногвинтових пресів для відтискання олії, описано особливості їх конструкцій та запропоновано розмежувувати конструкції олієвідтискних пресів за технологічною подібністю).*
8. Сухенко Ю. Г., Гудзенко М. М., Захарієнко В. М. Вплив геометричних параметрів гвинтових насадок на продуктивність олієвідтискного преса. Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства

імені Петра Василенка. 2010. Т. 1. С. 236–240. *(Здобувачем проведено основні розрахунки та запропоновано конструктивно-технологічні рішення з урахуванням отриманих характеристик відомих аналогів пресів для відтискання олії).*

9. Сухенко Ю. Г., Сарана В. В., Сухенко В. Ю., Гудзенко М. М. Рациональне устаткування для переробки насіння олійних культур. Продовольча індустрія АПК. 2012. № 2. С. 29–32. *(Здобувачем зібрано та проведено аналіз існуючого комплектного обладнання технологічних ліній для переробки насіння олійних культур в умовах сільськогосподарських підприємств малої потужності, визначено питомі показники комплектного обладнання та оцінено ефективність використання ліній в умовах сільськогосподарських підприємств малої потужності).*

10. Ткачук А. І., Гудзенко М. М. Виробництво ріпакової олії в умовах аграрного підприємства. Продовольча індустрія АПК. 2010. № 3–4. С. 24–27. *(Здобувачем проведено розрахунки згідно з розробленою методикою розрахунку енергомісткості технологічного процесу виготовлення олії. За результатами дослідження розроблено заходи з енергозбереження).*

11. Єременко О. І., Гудзенко М. М., Лук'янець В. О. До питання техніко-технологічного оснащення переробки насіння ріпаку в Україні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. Вип. 144. Ч. 3. С. 173–182. *(Здобувачем визначено перспективи вітчизняної переробки насіння ріпаку. Проведено аналіз існуючих комплексів машин та розрахунки їх техніко-економічних показників).*

12. Гудзенко М. М. Аналіз конструкцій сучасних олієвідтискних пресів типу «hole cylinder press». Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. Вип. 144. Ч. 4. С. 343–351.

#### **Стаття у науковому виданні іншої держави**

13. Гудзенко М. Влияние некоторых технологических параметров маслопресса на его качественные и технические показатели. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2013. Vol. 15. No 3. P. 142–149.

#### **Стаття в іншому науковому виданні**

14. Єременко О. І., Гудзенко М. М. Перспективна лінія фільтрування олії для виробництв малої потужності. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. 10. Т. 2 (59). С. 138–140. *(Здобувачем проведено аналіз технологічних процесів та обладнання для первинного очищення олії в умовах малопотужних олійниць. Визначено перспективний тип лінії для фільтрування олії та запропоновано рекомендації для якіснішого очищення олії).*

#### **Патент України на винахід:**

15. Гудзенко М. М., Мельничук М. Д., Дубровін В. О., Сухенко В. Ю. Патент України на винахід 103231 Україна. МПК (2006/1) В30В 9/16. МПК

(2006/1) С11В 1/06. Двогвинтовий прес-екструдер. Національний університет біоресурсів і природокористування України. № 201111303; заявлено 23.09.11; опубліковано 25.09.13; Бюл. № 18. 4 с. *(Здобувачем запропоновано нові робочі органи в екструдер – подрібнюючі циліндрично-конусні насадки, розроблено їх конструкцію та описано їх роботу, визначено співвідношення їх діаметрів).*

#### **Тези наукових доповідей:**

16. Бернацький М. П., Сухенко Ю. Г., Гудзенко М. М. Удосконалення машинної технології виробництва олії для ВП НУБіП України НДГ «Агрономічна дослідна станція». Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, м. Київ, 20–22 квітня 2010 року: тези доповіді. Київ, 2010. С. 13–14. *(Здобувачем запропоновано лінію модульної будови, безперервної дії для переробки насіння олійних культур на харчову і технічну олію для біопалива).*

17. Гудзенко М. М. Обґрунтування раціонального температурного режиму відтискання насіння ріпаку на прес-екструдерах. Наукові здобутки молоді у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, м. Київ, 20–22 квітня 2011 року: тези доповіді. Київ, 2011. С. 338.

18. Дубровін В. О., Драгнев С. В., Гудзенко М. М. Обґрунтування раціональної технології виробництва олій для біодизельних заводів господарського типу. Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей: Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 22–23 березня 2012 року: тези доповіді. Київ, 2012. С. 108. *(Здобувачем проведено аналіз існуючих технологічних схем виробництва олій в умовах сільськогосподарських підприємств та обґрунтовано раціональну структурну схему технологічного процесу переробки насіння олійних культур у олію, яка реалізована у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція»).*

19. Муштрук М. М., Гудзенко М. М., Сухенко В. Ю. Научно-техническое обеспечение производства качественного биотоплива из масличных культур. Техника и технология пищевых производств: VIII Международная научная конференция студентов и аспирантов, г. Могильов, Республика Беларусь, 26–27 апреля 2012 года: тезисы доклада. Могильов, 2012. С. 81. *(Здобувачем обґрунтовано компактне розташування обладнання для відтискання олії).*

20. Сарана В. В., Гудзенко М. М., Ягола Р. В. Визначення раціонального типу комплектного обладнання лінії для переробки насіння соняшнику. Екобіотехнології та біопалива в АПК: VI Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Люблін, Сімферополь, Львів, 27.09–03.10.2012 року: тези доповіді. Київ, Люблін, Сімферополь, Львів, 2012. С. 44–45. *(Здобувачем проведено основні розрахунки по визначенню раціонального типу комплектного обладнання лінії для переробки насіння соняшнику).*

21. Бойко Ю. І., Сухенко В. Ю., Гудзенко М. М. Шляхи вдосконалення робочих органів олійних пресів. Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей: II Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 20–21 березня 2013 року: тези доповіді. Київ, 2013. С. 161. *(Здобувачем запропоновано напрям вдосконалення робочих органів екструдера для відтискання олії та представлено результати порівняльних експериментальних досліджень виготовлених зразків у виробничих умовах).*

22. Гудзенко М. М. Дослідження конфігурацій місильних елементів двогвинтових екструдерів. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, 11–15 березня 2014 року: тези доповіді. Київ, 2014. С. 130.

23. Поголяшко А. С., Горобець Р. В., Драгнев С. В., Гудзенко М. М. До питання удосконалення двогвинтових прес-екструдерів для відтискання олії. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: V Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів, м. Київ, 23–24 квітня 2015 року: тези доповіді. Київ, 2015. С. 248–249. *(Здобувачем представлено аналіз тенденції удосконалення набірних робочих органів двогвинтового прес-екструдера, а саме подрібнюючих насадок для підвищення інтенсифікації процесу подрібнення олієвмісної сировини в прес-екструдері).*

24. Бойко Ю. І., Сухенко Ю. Г., Сухенко В. Ю., Гудзенко М. М. Аналіз геометричних параметрів робочих органів двогвинтового прес-екструдера. Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 8–10 листопада 2016 року: тези доповіді. Київ, 2016. С. 170–171. *(Здобувачем представлено аналіз геометричного профілю набірних робочих органів двогвинтового прес-екструдера з подальшим моделюванням різноманітних подрібнюючих насадок).*

25. Гудзенко М. М., Сухенко Ю. Г. Аналіз роботи нагрівальних елементів двогвинтового прес-екструдера. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: Міжнародна науково-практична конференція вчених, аспірантів і студентів, м. Київ, 17–18 квітня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 245–246. *(Здобувачем представлено результати досліджень роботи екструдерного обладнання та наведено причини поломок тенів прес-екструдера).*

## АНОТАЦІЯ

**Гудзенко М. М. Удосконалення процесу та обладнання для виготовлення олії пресуванням в екструдерах.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальністю 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019.

Дисертацію присвячено питанням підвищення ефективності виробництва олії пресуванням в екструдерах шляхом інтенсифікації процесу подрібнення з одночасним перемішуванням перероблюваного олієвмісного матеріалу та відтискання.

Встановлено, що для забезпечення максимального відтискання олії по тракту екструдера необхідно створювати проміжне ущільнення для відтискуваної олієвмісної маси. Дисертація містить теоретичні й експериментальні дослідження, спрямовані на удосконалення конструкцій двогвинтових прес-екструдерів для відтискання олії з насіння олійних культур, збільшення її виходу та зменшення енергомісткості процесу пресування.

Розроблено конструкцію нових циліндрично-конусних насадок, які у процесі взаємодії з іншими робочими органами у відтискному тракту екструдера створюють проміжне ущільнення олієвмісної сировини, що призводить до полегшення подачі олії з закупорених внутрішніх шарів потоку сировини до зерних отворів. Внаслідок цих заходів інтенсифікується стискання олієвмісної маси, досягається її рівномірний розподіл по відтискному тракту, збільшується вихід олії, зменшується енергомісткість процесу відтискання.

Встановлено залежності енергетичних показників процесу відтискання олії від керованих параметрів: температури обігрівання корпусів, зазору в матриці, кутової швидкості шнекового вала.

**Ключові слова:** прес-екструдер, конструкція, подрібнювальні насадки, процес, відтискання, математичне моделювання, олія, питома енергомісткість, ефективність.

## АННОТАЦИЯ

**Гудзенко М. Н. Совершенствование процесса и оборудования для изготовления масла прессованием в экструдерах.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 «Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2019.

Диссертация посвящена вопросам повышения эффективности производства растительного масла прессованием в экструдерах путем интенсификации процесса измельчения с одновременным перемешиванием перерабатываемого маслосодержащего материала и отжима.

На основании анализа научных работ установлено, что для обеспечения максимального отжима растительного масла по тракту экструдера необходимо создавать промежуточное уплотнение в компрессионных затворах для отжимаемого маслосодержащего материала. Диссертация содержит теоретические и экспериментальные исследования, направленные на совершенствование конструкций двухвинтовых прес-экструдеров для отжима растительного масла из семян масличных культур, увеличение его выхода и уменьшения энергоемкости процесса прессования.

Разработана конструкция новых цилиндрически-конусных насадок, которые при взаимодействии с другими рабочими органами в шнековом тракте экструдера создают промежуточное уплотнение маслосодержащего материала, что приводит к облегчению выхода масла с закупоренных внутренних слоев потока сырья в зерновых камерах. Вследствие этих мер интенсифицируется сжатие маслосодержащего материала, достигается его равномерное распределение по тракту шнекового вала, увеличивается выход масла, уменьшается энергоемкость процесса отжима.

Установлены зависимости энергетических показателей процесса отжима растительного масла от управляемых параметров: температуры обогрева корпусов, зазора в матрице, угловой скорости шнекового вала.

**Ключевые слова:** пресс-экструдер, конструкция, измельчающие насадки, процесс, отжим, математическое моделирование, растительное масло, удельная энергоемкость, эффективность.

## ANNOTATION

**Hudzenko M. M. Improvement of Process and Equipment for Production of Oil by Twin-Screw Extruder Extrusion.** – The Manuscript.

The dissertation for scientific degree of technical sciences on the specialty 05.18.12 «Processes and Equipment of Food, microbiological and pharmaceutical production». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to issues of increasing the efficiency of oil production by pressing in extruders by intensifying grinding while mixing the processed oil material.

The thesis contains theoretical and experimental studies aimed at improving the design of a twin-screw press for squeezing oil from oilseeds, increasing its yield and reducing the energy intensity of the pressing process. Design parameters reasonable for the developed cylindrical-cone nozzles. The influence of the main structural parameters had established of theoretically and experimentally of the extruder, the specific energy consumption of the oil pressing process, reasonable rational modes of operation.

The increase in pressure along the extruder path contributes to clogging of the oil in the inner layers of the mass flow, which leads to a significant residue of oil in the cake. Based on the analysis of theoretical studies, it was found that to ensure maximum extraction of oil during the extruder path, it is necessary to create an intermediate support (pressure) for the squeezed oil mass. The developed design of new working bodies – cylindrical-cone nozzles, which, when interacting with other working bodies in the extruder path, creates an intermediate compression of the oil raw material, aimed at intensifying the grinding while mixing the processed oil material. Intermediate compression with simultaneous grinding and mixing of the oil mass will allow the oil from the clogged inner layers to stand out more intensively. As a result, it is possible to intensify the degree of pressure increase, to achieve its

uniform distribution on the elementary volume of the oil mass and at the same time increase the amount of squeezed oil.

As a result of mathematical modeling, the necessary dependencies were obtained to determine the pressure force in the extrusion path of the extruders and the energy consumption of the process taking into account the mass and adhesion forces, which allowed substantiating the working modes of preliminary grinding of raw materials.

A mathematical model of the process of moving the mass of oil raw material along the auger channel and grinding in the grinding unit is constructed. According to the results of analytical determination of the required power and energy characteristics of the process of squeezing different types of oil-containing raw materials with the help of a designed extruder, it turned out that with an increase in the density of this product, which is crushed before squeezing by 40 %, the power consumption of the grinding process 2 times and make 0.7–2 kW for the recommended operating mode; In this process, the rotation mode of the extruder actuators within  $\omega=4\text{--}7$  rad/s is recommended.

In a twin-screw oil extruder for unidirectional rotation of the shaft, the diameter of the screw nozzles and the cylindrical surface of the housing around them and the height of the turns of the screw nozzles are constant throughout the length of the working part of the screw shaft.

The rational design and technological parameters of the modernized press extruder were determined on the basis of the experimental researches, which were: the temperature of the first and second heating zones of the buildings 115–130 °C, the gap in the matrix 4.2–5 mm, the angular speed of the screw shaft 4–7 rad/s, the time of technological influence on the oil-containing material in the tract of the press is 45–75 seconds.

Application of new working bodies allows to increase the productivity of the machine and to reduce energy consumption for the process of oil extraction. The theoretical compression ratio of a press extruder with a set of new working bodies for the processing of sunflower, rapeseed and soybean seeds is 4.69; 3.36 and 2.55. This ensured the intermediate compaction of the oil-containing raw material, the intensification of its crushing and the increase of oil yield to 3 %.

Working documentation for the production of cylindrical cone nozzles is developed, which allows upgrading the existing twin screw extruders. The novelty of the design was confirmed by the patent of Ukraine for the invention.

According to the material balance according to the developed methodology, the movement of raw materials, the output of intermediate and by-products of oil production were determined. The technical characteristics of the main equipment and the data of the calculation of the actual costs of raw materials and fuel and energy resources are required to calculate the energy intensity of the technological process. The determined energy intensity of the technological process of making the oil of the studied scheme in the volume of 500 tons of rapeseed oil for 180 working days was 717.8 MJ/t.

Energy intensity of the process of making rapeseed oil on the line with modernized extruders in the volume of 500 tons of oil is reduced by 14 %.

The specific indicators of complete equipment for the processing of oilseeds make it possible to objectively evaluate the efficiency of the use of lines in the conditions of low-capacity agricultural enterprises. Evaluation of the efficiency of the tested machine on competitiveness in comparison with the factory counterparts with a standard set of working bodies revealed a high rating of development. Advanced twin-screw extruders have been tested in the conditions of JSC Chigirin Agrarian Company, where the economic efficiency amounted to UAH 77959.7 with a share of 15 %. Cylindrical cone nozzles in twin-screw extruders expected annual economic effect amounted to UAH 54500. The profit increase when using an advanced press extruder in the production of 1 ton of oil is UAH 448. The volume of production of 224 tons of oil amounted to 100352 UAH

**Key words:** twin-screw extruder, design, grinding nozzles, extraction, outlet, mathematical modeling, oil, specific energy consumption, efficiency.

Підписано до друку 08.11.19  
Ум. друк. арк. 0,9  
Наклад 100 прим.

Формат 60x84\16  
Обл.-вид.арк. 0,9  
Зам. № 191015

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041  
тел.: 527-81-55

