

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2022-4

Вібрації в техніці та технологіях

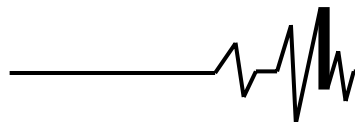


Всеукраїнський науково-технічний журнал
Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 4 (107)

Вінниця 2022

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,
2022. – 4 (107) – 103 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного
університету (протокол № 6 від 23.12.2022 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки
України від 02.07.2020 р. № 886)*

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний науковий
центр “Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства”

Відповідальний секретар

Солона О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Зіньковський А.П. – д.т.н., професор,
Інститут проблем міцності імені Г. С.
Писаренка НАН України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвєєв В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н. доцент, Вінницький
національний аграрний університет

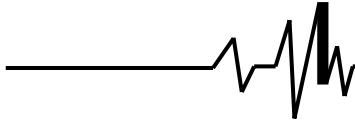
Зарубіжні члени редакційної колегії

Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Мельничук С.В.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

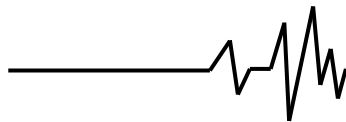
Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/> Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

<i>Sevostianov I., Ivanchuk Y., Kush Y., Volovyk B.</i> SELECTION OF A RATIONNAL TYPE OF A DRIVE FOR REALIZATION OF CLASSIFICATION PROCESSES OF GRAIN RAW	5
<i>Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСТРУДЕНТА З ПРУЖИНИМ ГВИНТОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ.....	12
<i>Полевода Ю.А., Волинець Є.О., Бистрицький О.П.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСТИНОК В ЦИЛІНДРИЧНОМУ КОНТЕЙНЕРІ ВІБРОЗМІШУВАЧА	20
<i>Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А.</i> ТИПИ І КОНСТРУКЦІЇ ВІБРОЗБУДУВАЧІ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ	26

2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Веселовська Н.Р., Романов В.В.</i> ВИПРОБУВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕПЛИЦЬ	36
<i>Strutynskyi S.</i> THE USE OF ADJUSTABLE DAMPING DEVICES FOR INCREASING TECHNICAL LEVEL OF GROUND ROBOTIC COMPLEXES EQUIPPED WITH A MANIPULATOR.....	49
<i>Матвійчук В.А., Савків В.В.</i> ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯ ЗАГОТОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ	59
<i>Rubanenko O., Tokarchuk O., Solona O.</i> SIMULATION OF THE WORK OF PHOTOELECTRIC PLANTS	68
<i>Дубчак В.М.</i> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПОВНЕННЯ ОБ'ЄМНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ СТРУКТУР РОБОЧИХ ОРГАНІВ БУНКЕРНОГО ТИПУ МАТЕРІАЛАМИ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ	75
<i>Віштак І.В.</i> ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВИХ ОПОР НА СТІЙКІСТЬ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ	83
<i>Kucherenko J.</i> ANALISYS OF STUDIES OF MULTIFUNCTIONAL COATINGS FORMATION BY GAS DYNAMIC SPRAYING	88
<i>Sevostianov I., Melnyk O., Pidlypna M.</i> ELABORATION AND RESEARCH OF VIBROSHAKERS WITH ELECTROMAGNETIC DRIVE FOR CLASSIFICATION OF DRY MATERIALS.....	94

**Кондратюк Д. Г.**

к.т.н., доцент

**Вінницький національний
аграрний університет****Дмитренко В. П.**

к.т.н., науковий співробітник

Інститут**картоплярства УААН****Kondratyuk D.**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor**Vinnitsia National Agrarian
University****Dmitrenko V.**Candidate of Technical Sciences,
Research Fellow**Potato Institute of UAAS****УДК 621.867.42****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-4-2****ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЕКСТРУДЕРА З ПРУЖНИМ
ГВИНТОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ**

Для сухого екструдювання зерна здебільшого використовують автогенні одногвинтові екструдери, в яких більше 85 % підведеної енергії витрачається на подолання сил тертя. Це призводить до нагрівання корпусу та гвинта екструдера і нерівномірного зношування їх за довжиною. Найбільший знос спостерігається в зоні максимального тиску і температури.

Зношення гвинта спричиняє зниження продуктивності екструдера і погіршення якості екструдату. Крім того, у разі зношення гребнів, приходится міняти гвинт, тобто зростають витрати, які пов'язані з ремонтом і технічним обслуговуванням екструдера.

З метою збільшення продуктивності і зменшення витрат на технічне обслуговування запропонована секційна конструкція робочої частини екструдера, характерною особливістю гвинта якої є те, що на зовнішній поверхні секції по гвинтовій лінії нарізані канавки, в які вкладено відрізки пружин. Секції гвинта встановлені впритул, а їх канавки утворюють суцільну гвинтову лінію. Причому, ширина канавок дозволяє пружинам, в результаті періодичної зміни тиску в передматричній зоні екструдера, переміщуватися вздовж осі гвинта.

Визначення раціональних параметрів і режимів роботи екструдера з пружним гвинтовим елементом здійснювали з використанням методу планування багатофакторних експериментів. За критерій оптимізації було обрано питому продуктивність екструдера.

Встановлено, що при діаметрі гвинта екструдера 50 мм, температурі протікання процесу екструзії 142...145 °С, вологості зернової суміші 18,0...18,6 % і діаметрі фільтри 5,5 мм раціональними з точки зору максимальної питомої продуктивності екструдера є наступні значення факторів: частота обертання гвинта 330...480 об/хв.; глибина каналу гвинта 5,3...7,1 мм; крок гвинта 20...21мм; кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпусу екструдера 7...9 штук.

Ключові слова: екструдер, гвинт, пружний, елемент, параметр, питома потужність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що отримання екструдатів із рослинної сировини відноситься до надзвичайно енергоємних процесів. При цьому більша частина енергії витрачається на підвищення температури оброблюваного матеріалу. Питома енергоємність процесу екструзії (кВт·год/т) при незмінних витратах

енергії обернено пропорційна продуктивності. За даними [7] питома енергоємність одногвинтових екструдерів становить 30-70 кВт·год/т.

Ефективним заходом збільшення продуктивності екструдерів є створення сприятливих умов захоплення матеріалу гвинтом в зоні завантаження і зменшення опору



переміщення матеріалу до зони пластифікації [8].

Мета дослідження. Визначити раціональні значення факторів, які найбільш суттєво впливають на процес сухої екструзії зернової суміші і оцінити ступінь їх впливу на питому продуктивність екструдера з пружним гвинтовим елементом.

Основні результати дослідження. З метою збільшення продуктивності і зменшення витрат на технічне обслуговування, нами запропонована конструкція робочої частини екструдера, яка представлена на рис. 1.

Пара гвинт – корпус екструдера виконані секційними. При цьому секції 7; 9 і 11 гвинта встановлені на валу 1 за допомогою призматичної шпонки 14. На зовнішній поверхні секції 7; 9 і 11 по гвинтовій лінії нарізано по чотири витки канавок напівкруглого перерізу. Секції гвинта встановлені впритул, а їх канавки утворюють суцільну гвинтову лінію. Від осевого зміщення секції зафіксовані конусною гайкою 13. Секційний гвинт встановлено в циліндричний секційний корпус, який складається із секцій 4; 5 і 6.

Секція 4 оснащена завантажувальною горловиною 3. До секції 6 корпусу екструдера прикріплено гайку 17, в яку вгвинчується

мундштук 15 з фільєрою 16. Зовні до мундштука 15 жорстко прикріплені рукоятки 18.

В канавки секцій гвинта 7; 9 і 11 вкладено пружини 8; 10 і 12, виконані із дроту ШХ15 діаметром 10 мм. Зовнішній діаметр гвинта становив 50 мм.

Гвинтові канавки секцій 7; 9 і 11 мають ширину (довжину хорди), яка на 3...5 мм перевищує довжину хорди пружин 8; 10 і 12 на рівні зовнішнього діаметра секцій 7; 9 і 11 (рис. 1 вид А).

Для запобігання обертання сировини в корпусі екструдера разом з гвинтом внутрішні поверхні секцій 4, 5 і 6 мають поздовжні пази напівкруглого перерізу (див. рис.1 переріз Б-Б).

Працює робоча частина екструдера наступним чином. Підготовлена зернова суміш із завантажувальної горловини 3 поступає в міжвитковий простір гвинта і подається ним до фільєри. В міру переміщення суміші по робочій камері збільшується ступінь стиску. Суміш, ущільнюючись, нагрівається як за рахунок сил тертя зерен об поверхню гвинта та кожуха, так і за рахунок деформації зсуву. В результаті суміш гомогонізується, набуває в'язко-текучого стану і піддається екструзії.

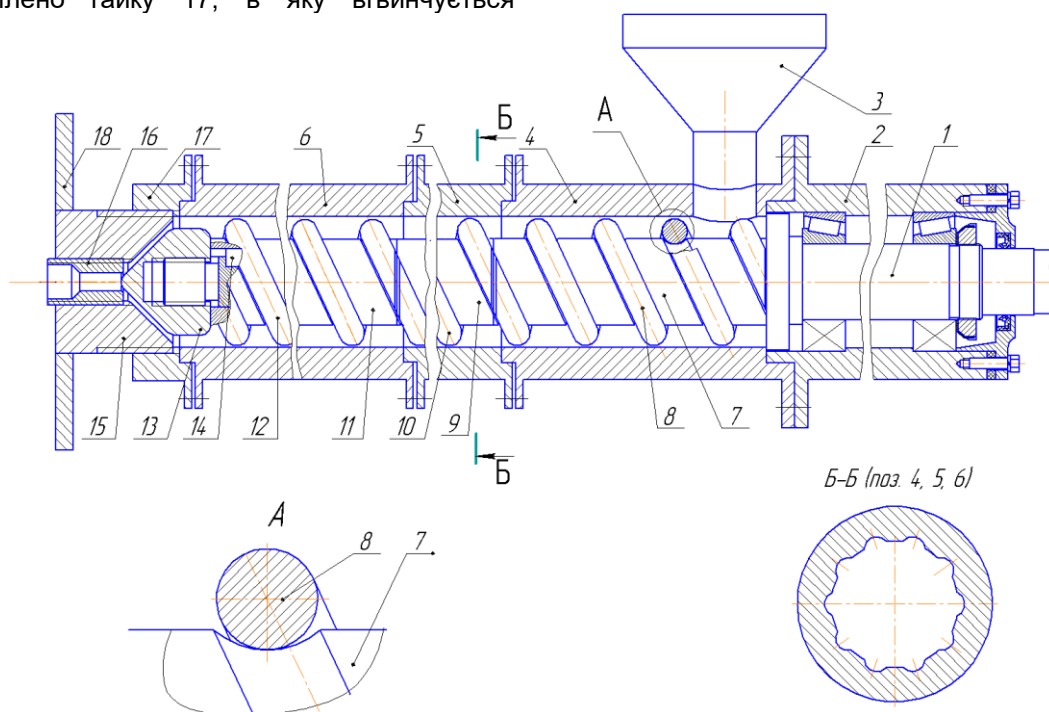
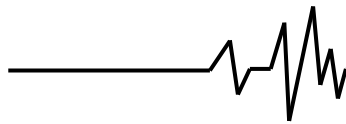


Рис. 1. Конструкція робочої частини екструдера з пружним гвинтовим елементом [96]
1-вал; 2- корпус підшипникової опори; 3- завантажувальна горловина; 4, 5 і 6 – секції корпусу екструдера; 7, 9 і 11 – секції гвинта; 8, 10 і 12 – пружні елементи; 13 – гайка конусна; 14 – шпонка; 15 – мундштук; 16 – фільєра; 17 – гайка; 18 – рукоятка;

За даними [9] в екструдері тиск на поверхні останнього витка гвинта може доходити до 3,9 МПа, який зумовлює зусилля, що діє в напрямку осі гвинта. Оскільки гвинтові

канавки секцій гвинта 7; 9 і 11 мають ширину (довжину хорди), яка перевищує довжину хорди пружин 8; 10 і 12 на рівні зовнішнього діаметра секцій, а пружні елементи утворюють



суцільну спіраль, то це призведе до певного переміщення пружних елементів в напрямку завантажувальної горловини. Відомо, що одним із недоліків одnogвинтових екструдерів є пульсація тиску в зоні перед матрицею. У випадку падіння тиску пружні елементи переміщуються в зворотному напрямку. Таким чином, скачки тиску призведуть до вібрації пружних елементів гвинта, а це сприятиме збільшенню коефіцієнта заповнення міжвиткового простору гвинта, а відтак і продуктивності екструдера.

Визначення раціональних параметрів і режимів роботи екструдера з пружним гвинтовим елементом здійснювали з використанням методу планування багатофакторних експериментів з дотриманням вимог викладених в [10]. За критерій оптимізації було обрано питому продуктивність процесу екструзії, яку визначали як відношення годинної продуктивності екструдера до різниці потужностей, які він споживає під навантаженням і холостому ході, тобто:

$$q = \frac{Q}{N_p - N_x}, \quad (1)$$

$$Q = 17,42 - 0,55X_1 + 0,29X_2 + 0,34X_3 - 0,08X_4 - 0,60X_1^2 - 0,57X_2^2 - 0,55X_3^2 - 0,54X_4^2. \quad (2)$$

В цьому рівнянні змінні приведені в закодованій формі. Для одержання рівняння із змінними в натуральному масштабі можна використати наступні співвідношення:

$$X_1 = \frac{n - 500}{200}; \quad X_2 = \frac{h - 6}{2}; \quad X_3 = \frac{t - 19}{2}; \\ X_4 = \frac{m - 8}{4}.$$

Необхідно зазначити, що ця робота є продовженням раніше опублікованої роботи [11], в якій частково обґрунтовані параметри і режими роботи екструдера з пружним гвинтовим елементом. Зокрема було встановлено, що діаметр фільтри матриці має становити 4,9...5,9 мм, температура протікання процесу екструзії 140...145 °С, а вологість зернової суміші має знаходитися в межах 17,7...20,0 %. Тому подальше обґрунтування раціональних параметрів екструдера було здійснено при вологості зернової суміші 18,0...18,6 %, температурі 142...145 °С і діаметрі фільтри 5,5 мм.

Отримана математична модель (2) дозволяє оцінити ступінь як самостійного, так і спільного впливу основних параметрів процесу на вихідний параметр – питому продуктивність екструдера Q . Як видно із (2), найбільше

де q – питома продуктивність екструдера, кг/кВт-год; Q – продуктивність екструдера, кг/год; N_p і N_x – потужність, яку відповідно споживає екструдер під навантаженням і холостому ході, кВт.

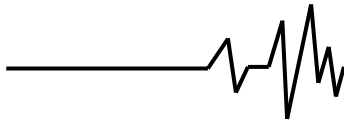
Для вивчення процесу було вибрано наступні фактори, які найбільш суттєво впливають на питому продуктивність екструдера: частота обертання гвинта $n(X_1)$, глибина гвинтового каналу $h(X_2)$, крок пружинної навивки $t(X_3)$ та кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні кожуха екструдера $m(X_4)$. Рівні варіювання факторів були наступними (спочатку записаний нульовий рівень факторів, а після інтервал варіювання): $X_1(500; 200 \text{ об/хв})$, $X_2(6; 2 \text{ мм})$, $X_3(19; 2 \text{ мм})$, $X_4(8; 4)$. В якості сировини використовувалась суміш, яка включала зерно кукурудзи, ячменю і озимої пшениці у масовому співвідношенні 5:3:2.

Після реалізації плану Бокса B_4 , проведення багатофакторних експериментів, розрахунків коефіцієнтів регресії і статистичного аналізу рівняння регресії була одержана наступна адекватна модель досліджуваного процесу

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dX_1} &= -0,55 - 1,20X_1 = 0; \\ \frac{dQ}{dX_2} &= 0,29 - 1,14X_2 = 0; \\ \frac{dQ}{dX_3} &= 0,34 - 1,10X_3 = 0; \\ \frac{dQ}{dX_4} &= -0,08 - 1,08X_4 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

впливають на питому продуктивність екструдера частота обертання гвинта $n(X_1)$, крок пружинної навивки $t(X_3)$ та глибина гвинтового каналу $h(X_2)$. В меншій мірі на цей процес впливає кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні кожуха екструдера $m(X_4)$.

З метою дослідження функції (2) на екстремум, визначимо її стаціонарні точки поверхні відгуку виходячи із наступної системи рівнянь: Розв'язавши систему рівнянь (3), отримаємо наступні значення факторів у закодованому вигляді, при яких математична модель (4.1) буде мати екстремум: $X_{1s} = -0,46$; $X_{2s} = 0,25$; $X_{3s} = 0,31$; $X_{4s} = -0,07$. Підставивши отримані значення факторів в (2), будемо мати, що питома продуктивність екструдера Q_s



в центрі поверхні відгуку становить 17,64 кг/год.кВт.

Аналіз рівняння (2) і встановлення раціональних режимів роботи та параметрів екструдера здійснювали шляхом побудови двовірних перетинів поверхні відгуку.

Дослідимо двовірний перетин поверхні відгуку, який характеризує зміну питомої продуктивності екструдера в залежності від частоти обертання гвинта екструдера $n(X_1)$ і глибини гвинтового каналу $h(X_2)$. Для одержання цього перетину підставимо значення $X_{3s} = 0,31$ і $X_{4s} = -0,07$ в (2). В результаті, будемо мати

$$Q = 17,59 - 0,55X_1 + 0,29X_2 - 0,60X_1^2 - 0,57X_2^2. \quad (4)$$

Визначимо координати центру поверхні. Для цього продиференціюємо (4) і розв'яжемо наступну систему:

Координати центру поверхні відгуку

$$X_{1s} = -0,46; X_{2s} = 0,25.$$

$$\begin{cases} \frac{dQ}{dX_1} = -0,55 - 1,20X_1 = 0; \\ \frac{dQ}{dX_2} = 0,29 - 1,14X_2 = 0. \end{cases}$$

Значення питомої продуктивності в новому центрі поверхні відгуку $Q_s \approx 17,74$ кг/год.кВт.

Тоді (4) в канонічній формі, прийме вигляд

$$Q - 17,74 = -0,60X_1^2 - 0,57X_2^2. \quad (5)$$

Після підстановки в (5) неоднакових значення питомої продуктивності Q було одержано ряд рівнянь, згідно яких побудована система контурних кривих, що характеризують зміну питомої продуктивності в залежності від зміни частоти обертання гвинта і глибини його канавок. Графічно результати розрахунків представлено на рис. 2.

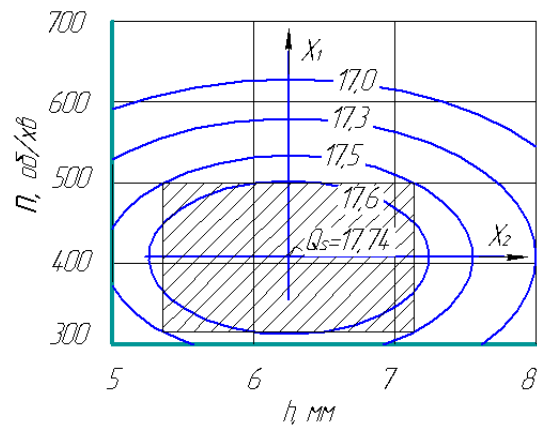


Рис. 2. Двовірні перетини поверхні відгуку для вивчення впливу частоти обертання гвинта екструдера $n(X_1)$ і глибини його канавок $h(X_2)$ на зміну питомої продуктивності при $X_{3s} = 0,31$ і $X_{4s} = -0,07$

Якщо прийняти, що питома продуктивності екструдера не повинна бути меншою за 17,5 кг/кВт·год, то із рис. 2, будемо мати наступні раціональні параметри і режими роботи екструдера: частота обертання гвинта має знаходитись в межах 310...500 об/хв, а глибина гвинтового каналу – 5,3...7,1 мм. Раціональна зона роботи екструдера на рис. 2 заштрихована.

Дослідимо вплив факторів X_3 (крок спіралі гвинта) і X_4 (кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса) на питому продуктивність екструдера. Підставимо значення факторів $X_1 = -0,46$ і $X_2 = 0,25$ в (2). В результаті, будемо мати

$$Q = 17,57 + 0,34X_3 - 0,08X_4 - 0,55X_3^2 - 0,54X_4^2. \quad (6)$$

Координати центру поверхні відгуку $X_{3s} = 0,31$; $X_{4s} = -0,07$. Значення питомої продуктивності в новому центрі поверхні відгуку $Q_s \approx 17,64$ кг/кВт·год. Тоді (6) в канонічній формі, прийме вигляд

$$Q - 17,64 = -0,55X_3^2 - 0,54X_4^2. \quad (7)$$

Підставляючи різні значення питомої продуктивності Q в (7), отримуємо рівняння еліпсів, які характеризують зміну питомої продуктивності екструдера в залежності від зміни кроку спіралі гвинта і кількості пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса екструдера. Графічно результати розрахунків представлено на рис. 3.

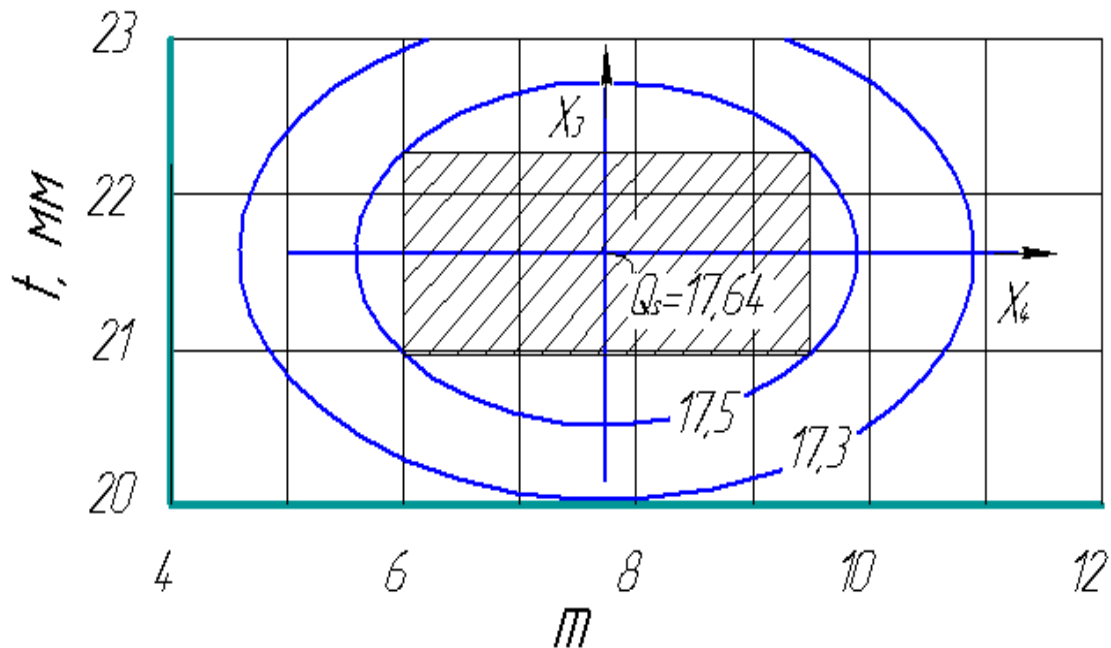
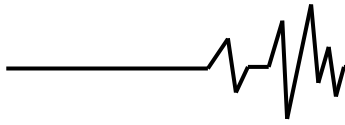


Рис. 3. Перетини поверхні відгуку, в координатах $t(X_3) - m(X_4)$, питомої продуктивності екструдера при $X_1 = -0,46$ і $X_2 = 0,25$

Із рис. 3 впливають наступні раціональні параметри екструдера. Крок спіралі гвинта має становити 21,0...22,3 мм, а кількість канавок пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса екструдера – 6...9 штук.

Дослідимо вплив факторів X_2 (глибини гвинтового каналу) і X_4 (кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса) на питому продуктивність екструдера. Для досягнення зазначеного підставимо значення факторів $X_1 = -0,46$ і $X_3 = 0,31$ в (2). В результаті, будемо мати

$$Q = 17,60 + 0,29X_2 - 0,08X_4 - 0,57X_2^2 - 0,54X_4^2. \quad (8)$$

Координати центру поверхні відгуку $X_{2s} = 0,25$; $X_{4s} = -0,07$. Значення питомої продуктивності в новому центрі поверхні відгуку $Q_s \approx 17,64$ кг/кВт·год. Тоді (8) в канонічній формі, прийме вигляд

$$Q - 17,64 = -0,57X_2^2 - 0,54X_4^2. \quad (9)$$

Підставляючи різні значення питомої продуктивності в (9), отримуємо рівняння еліпсів, які характеризують зміну питомої

продуктивності в залежності від зміни глибини гвинтового каналу і кількості канавок, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса екструдера. Графічно результати розрахунків представлено на рис. 4.

Аналізуючи дані наведені на рис. 4, можна стверджувати, що питома продуктивність екструдера буде становити не менше 17,5 кг/кВт·год, якщо глибина гвинтового каналу гвинта буде знаходитись в межах 5,8...7,2 мм, а кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса екструдера – 6,3...9,0 штук.

Побудувавши і проаналізувавши аналогічно описаному ще три двомірних перетини поверхні відгуку в координатах: $X_2(h) - X_3(t)$, $X_1(n) - X_3(t)$ і $X_1(n) - X(m)$, було встановлено, що раціональними з точки зору максимальної питомої продуктивності екструдера є наступні значення факторів: частота обертання гвинта 330...480 об/хв.; глибина каналу гвинта 5,3...7,1 мм; крок гвинта 20...21мм; кількість пазів, нарізаних на внутрішній поверхні корпуса екструдера 7...9 штук.

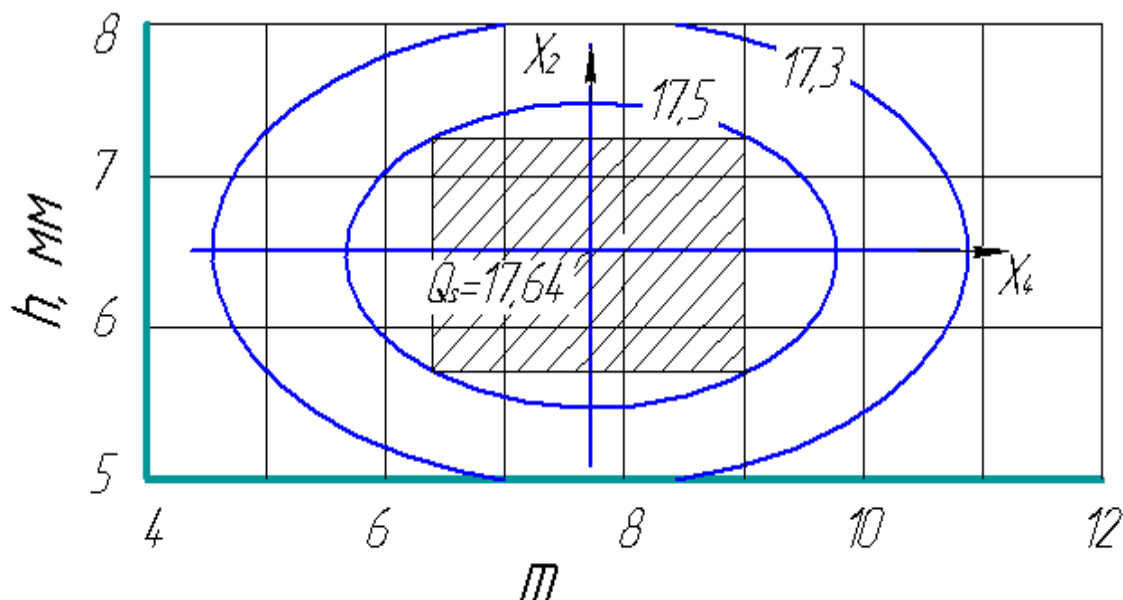
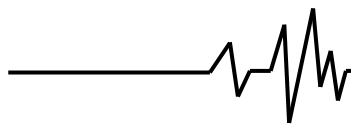


Рис. 4. Перетини поверхні відгуку, в координатах $h(X_2) - m(X_4)$, питомої продуктивності екструдера при $X_1 = -0,46$ і $X_3 = 0,31$.

Висновки

З метою збільшення продуктивності і зменшення витрат на технічне обслуговування екструдера запропонована секційна конструкція його робочої частини, характерною особливістю гвинта якої є те, що на зовнішній поверхні секції по гвинтовій лінії нарізані канавки, в які вкрито відрізки пружин. Секції гвинта встановлені впритул, а їх канавки утворюють суцільну гвинтову лінію. Причому ширина канавок дозволяє пружинам, в результаті періодичної зміни тиску в передматричній зоні екструдера, переміщуватися вздовж осі гвинта.

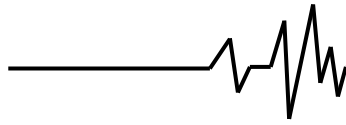
Визначення раціональних параметрів і режимів роботи екструдера з пружним гвинтовим елементом здійснювали з використанням методу планування багатофакторних експериментів. За критерій оптимізації було обрано питому продуктивність екструдера.

Встановлено, що при діаметрі гвинта екструдера 50 мм, температурі протікання процесу екструзії 142...145 °С, вологості зернової суміші 18,0...18,6 % і діаметрі фільєри 5,5 мм раціональними з точки зору максимальної питомої продуктивності екструдера є наступні значення факторів: частота обертання гвинта 330...480 об/хв.; глибина каналу гвинта 5,3...7,1 мм; крок гвинта 20...21 мм; кількість пазів, нарізаних на

внутрішній поверхні корпуса екструдера 7...9 штук.

Список використаних джерел

1. Шаповаленко О. И. Производство комбикормов на Украине. *Комбикорма*. №1. 2000. С.17
2. Зносостійкість деталей екструдерів і термопластавтоматів в абразивному середовищі. Під загальною редакцією В. Г. Каплуна. ХНУ. 2014. 244 с.
3. Єгоров Б. В. Науково-практичні основи технологічних процесів екструзування та експандування зерна і комбикормів. *Технології*. 2011. №7. С. 9-12.
4. Осипенко В. І., Ситник О. О., Некоз О. І., Філімонова Н. В. Обґрунтування шляхів технічного і технологічного вдосконалення екструдерів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2011. №1. С. 66-73.
5. Гончар В. А., Каплун В. Г. Підвищення довговічності матеріального циліндра екструдера для переробки фуражного зерна з добавками сапоніту. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвід. наук.-тех. зб.* Кіровоград. КНТУ. 2010. Вип. 40. ч.1. С. 169-173.
6. Курочкин А. А. Определение объемного расхода сырья в экструдере с



термовакuumним ефектом. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. Вып 1. 2018. С.3-7.

7. Братішко В. В. Механіко-технологічні основи приготування повнораціонних комбикормів гвинтовими грануляторами. Десерт. докт. тех. наук. 05.05.11. Глеваха. 2017. 397 с.

8. Орсік І. Л. Совершенствование технологического процесса экструдирования рыбных отходов повышением подачи смеси конусным питателем пресс-экструдера: автор. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01. Пенза. 2016. 21 с.

9. Єгоров Б. В., Ворона Н.В. Вивчення впливу екструдування на якість кормової добавки. *Зернові продукти і комбикорми*. - №4 (52). 2013. С. 33-36.

10. Бондарь А. Г., Статюха Г. А., Потяженко И. А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): Учебн. пособие. Киев: Выща школа, 1980. 264 с.

11. Кондратюк Д. Г., Дмитренко В. П. Вплив технологічних параметрів процесу екструзії та технічних параметрів екструдера з пружним гвинтовим елементом на індекс розширення екструдату. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. № 2 (109). 2020. С. 97-104.

References

1. O.I. Shapovalenko. Compound feed production in Ukraine. *Compound feed* No. 1. 2000. P.17

2. Wear resistance of parts of extruders and thermoplastic machines in an abrasive environment. Under the general editorship of V. G. Kaplun. KhNU 2014. 244 p.

3. Egorov B.V. Scientific and practical bases of technological processes of extrusion and expansion of grain and compound feed. *Technologies*. 2011. No. 7. P. 9-12.

4. Osypenko V. I., Sytnyk O. O., Nekoz O. I., Filimonova N. V. Justification of ways of technical and technological improvement of extruders. *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2011. No. 1. P. 66-73.

5. Gonchar V. A., Kaplun V. G. Increasing the durability of the material cylinder of the extruder for processing feed grain with saponite

additives. Design, production and operation of agricultural machines: national inter-department. science and technology coll. Kirovohrad KNTU 2010. Issue 40. Part 1. P. 169-173.

6. Kurochkin A. A. Determination of volume flow of raw materials in an extruder with thermovacuum effect. *Bulletin of the Samara State Agricultural Academy*. Issue 1. 2018. P.3-7.

7. Bratishko V.V. Mechanical and technological basics of preparation of complete ration compound feed by screw granulators. *Dessert. dr. technical of science* 05.05.11. Glevakha 2017. 397 p.

8. Orsik I. L. Improvement of the technological process of fish waste extrusion by increasing the feed of the mixture with a cone feeder of a press-extruder: author. thesis ... candidate technical Sciences: 05.20.01. Penza. 2016. 21 p.

9. Egorov B.V., Vorona N.V. Study of the effect of extrusion on the quality of feed additives. *Cereal products and compound feed*. - #4 (52). 2013. P. 33-36.

10. Bondar A. G., Statyukha G. A., Potyazhenko I. A. Experiment planning in the optimization of chemical technology processes (algorithms and examples): *Uchebn. allowance* Kyiv: Higher School, 1980. 264 p.

11. Kondratyuk D. G., Dmytrenko V. P. Influence of technological parameters of the extrusion process and technical parameters of the extruder with an elastic screw element on the extrudate expansion index. *Technology, energy, transport of agricultural industry*. No. 2 (109). 2020. P. 97-104.

JUSTIFICATION OF EXTRUDER PARAMETERS WITH FLEXIBLE SCREW ELEMENT

For dry grain extrusion, autogenous single-screw extruders are mostly used, in which more than 85% of the supplied energy is spent on overcoming frictional forces. This leads to heating of the body and screw of the extruder and uneven wear along their length. The greatest wear is observed in the zone of maximum pressure and temperature.

The wear of the screw causes a decrease in the productivity of the extruder and a deterioration in the quality of the extrudate. In addition, in case of wear of the ridges, it is necessary to change the screw, that is, the costs associated with the repair and maintenance of the extruder increase.



In order to increase productivity and reduce maintenance costs, a sectional design of the working part of the extruder is proposed, the characteristic feature of the screw of which is that grooves are cut on the outer surface of the section along the helical line, into which spring segments are inserted. The sections of the screw are installed close together, and their grooves form a continuous screw line. Moreover, the width of the grooves allows the springs, as a result of periodic pressure changes in the pre-matrix zone of the extruder, to move along the axis of the screw.

Determination of rational parameters and modes of operation of the extruder with an elastic screw element was carried out using the method of planning multifactorial experiments. The specific

performance of the extruder was chosen as the optimization criterion.

It was found that with the diameter of the extruder screw 50 mm, the temperature of the extrusion process 142...145 °C, the moisture content of the grain mixture 18.0...18.6% and the diameter of the die 5.5 mm, the following values of the factors are rational from the point of view of the maximum specific productivity of the extruder: screw rotation frequency 330...480 rpm; the depth of the screw channel is 5.3...7.1 mm; screw pitch 20...21mm; the number of grooves cut on the inner surface of the extruder body is 7...9 pieces.

Key words: extruder, screw, elastic, element, parameter, specific power.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кондратюк Дмитро Гнатович – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008).

Дмитренко Віктор Петрович – науковий співробітник, Інститут картоплярства УААН (ву. Чкалова, 22, Немішаєве, Київська обл., 07853)

Kondratyuk Dmytro – PhD, Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Services of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnitsa, Ukraine, 21008).
Victor Dmitrenko –Research Fellow, Potato Institute of UAAS (st. Chkalova, 22, Nemeshaevo, Kiev region, 07853)

Dmitrenko Victor - Candidate of Technical Sciences, Research Fellow, Potato Institute of UAAS