

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ І КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШНЕКОВОГО ПРЕСУ НА ПРОЦЕНТНИЙ ВИХІД ОЛІЇ

С.І.Пастушенко, доктор технічних наук, професор

О.А.Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

В.В.Стрельцов, асистент

Миколаївський державний аграрний університет

Проведено аналіз відомих конструкцій обладнання для пресування олійної сировини. Наведено результати експериментальних досліджень процесу пресування з використанням лабораторної установки шнекового пресу вдосконаленої конструкції.

Постановка проблеми. Щорічне виробництво насіння соянишнику в Україні становить близько 2,5 млн т, насіння ріпаку та соєвих бобів – до 0,5 млн т. До 50% насіння, що складає значну частину від загального обсягу виробництва, вивозиться для переробки за межі нашої держави. Близько 25% переробляється на державних маслоекстракційних заводах, решта – в умовах господарств-виробників. Отже, виробники насінневої продукції втрачають частково або повністю прибуток від реалізації продуктів переробки насіння олійних культур. Однією з основних причин цього явища є відсутність сучасного обладнання для переробки насіння олійних культур безпосередньо на місцях виробництва. Пов'язано це з тим, що існуючі повнокомплектні набори обладнання, що здійснюють виконання операцій шеретування, відвіювання оболонки, вальцювання, пропарювання та олієвідокремлення за допомогою гвинтових чи гідравлічних пресів застарілі, мають велику енерго- та металоємність, а, отже, їх використання є збитковим для дрібних господарств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо два способи вилучення олії – пресування і метод прямої екстракції. Витрати на виробництво олії пресуванням, як підтверджують дослідження, у 8-10 разів менше, ніж при вилученні способом екстракції. Враховуючи це, найбільш поширеним способом отримання олії є пресовий [1].

Промисловість країн, таких як США, Китай, Росія та інші, випускає велику кількість варіантів олієвіджимних пресів. Однак за принципом дії і робочим процесом всі вони однотипні. Геометричні параметри пресів, їх кінематичні і енергетичні показники визначаються фізико-механічними якостями насіння олійних культур.

Відомі конструкції олійних пресів, що випускаються в Росії, – це РЗ-МОА-10, ПШМ-250, МП-10 та інші [2]. Олієвідокремлюючі преси можуть використовуватися як в складі агрегату РЗ-МОА-10, так і бути самостійними одиницями.

Протягом останніх років в Україні завод „Уманьфермаш” випускає пресове обладнання для невеликих комплексів з виробництва соняшникової олії. Прес може використовуватися в складі комплексу ОВОР-450 та окремо для переробки олійних культур в умовах фермерських господарств.

Віджимання олії з мезги в шнековому пресі відбувається в результаті постійного ущільнення її у напрямку до виходу з пресу і безперервного скорочення вільного об'єму усередині зерного циліндра для проходження мезги через прес.

Величина максимального тиску, що розвивається шнековим пресом, залежить від фізико-механічних властивостей мезги після вологотеплової обробки, її вологості і температури. Тільки при визначеному для даного типу преса поєднанні температури, вологості і обумовлених ними пластичних властивостей мезги можливе максимальне віджимання олії в пресі.

Постановка завдання. При пересушеній меззі, вологість якої нижча оптимальної для даного преса, максимально можливий тиск, що розвивається пресом, виявляється нижчим за тиск, необхідний для появи у меззі пластичних властивостей. З пресу в цьому випадку виходить не макуха-черепашка, а сипкий несформований матеріал у вигляді борошна або крупи. Навантаження на електродвигун преса за амперметром знаходиться за межами допустимого, внаслідок чого можлива поломка преса (руйнування зерного барабана, обрив шнекового валу) або його зупинка під навантаженням (запресовування),

якщо своєчасно спрацьовує електричний захист електродвигуна або механічний захист, передбачений конструкцією преса.

Максимальний тиск, що розвивається шнековим пресом, складає **25-30 МПа**. Ступінь стиснення мезги - відношення об'єму мезги, що надійшла в прес, до об'єму матеріалу, що виходить з пресу, знаходиться в межах **2,8-4,4**. Температура мезги в ході пресування зростає на **15-30°C** в порівнянні з температурою мезги, що поступає в прес [1].

Проведені експериментальні дослідження показали, що зі збільшенням продуктивності преса коефіцієнт вилучення олії зменшується, при вилученні олії з макухи стікання олії здійснюється по всій довжині зерної камери, робота преса при максимальній продуктивності призводить до забивання і зупинки преса.

Встановлені факти дозволяють зробити висновок, що насіння соняшнику в приймально-підготовчій камері не встигає перейти в стан м'ятки, тобто подрібнення їх недостатньо, і вони не встигають нагрітися. Потрапляючи в зерну камеру, ця маса продовжує перехід в мезгу. Тому початкова частина зерної камери, майже до середини, не працює за призначенням, а виконує функції приймально-підготовчої камери. При пресуванні макухи, з метою можливого повного виділення олії, зерна камера працює по всій довжині, оскільки макуха є в даному випадку мезгою. При цьому продуктивність преса значно більша, ніж у першому випадку.

Експериментальні дані, отримані багатьма дослідниками, такі як вихід олії при пресуванні насіння соняшнику і шроту, зміна сили тертя, дозволили зробити припущення, що збільшення довжини приймально-підготовчої камери удвічі дозволить істотно збільшити відсоток вилучення олії. Для підтвердження висунутих гіпотез дороблено експериментальну установку шнекового пресу з метою визначення оптимального взаємозв'язку між конструктивними та кінематичними параметрами пресу.

Виклад основного матеріалу. З метою скорочення об'єму експериментальних досліджень, зменшення числа переналаджень лабораторної установки, а також для отримання об'єктивної інформації про залежність виходу олії (ВО), енергоємності процесу (ЕП) і продуктивності пресу (ПП) від одночасної зміни декількох кінематичних режимів було використане трирівневе D-оптимальне планування другого порядку Боксу для п'яти незалежних факторів [3].

Основними критеріями оптимізації, за якими оцінювалася якість виконання технологічного процесу, були: процентний вихід олії (ВО), енергоємність процесу (ЕП) і продуктивність пресу (ПП). Їх значення повинні задовольняти наступним умовам:

- величина виходу олії повинна сягати максимального рівня, тобто $ВО \rightarrow 100\%$;
- енергоємність процесу повинна прямувати до мінімуму, тобто $ЕП \rightarrow 0$;
- продуктивність пресу повинна бути максимальною, тобто $ПП \rightarrow 100\%$.

Остаточною метою експерименту було вирішення компромісної задачі, при якій на екстремальне значення одного з критеріїв оптимізації можливо накладання обмежень з боку двох інших. Для оптимізації технологічного процесу необхідно знайти математичні моделі, що описують вибрані критерії оптимізації та встановити їх оптимальне співвідношення.

Відповідно до плану експерименту було проведено оцінку залежності показників виконання технологічного процесу від довжини прийнятно-підготовчої камери, m (X_2), вологість м'ятки, % (X_3), температури нагріву, $^{\circ}C$ (X_7), швидкості обертання шнеку, s^{-1} (X_8) і лінійної швидкості руху витків шнеку, m/s (X_9), які найбільшою мірою впливають на якість роботи шнекового пресу.

Повторність проведення дослідів по кожному з критеріїв оптимізації – триразова. У кожному рядку плану розраховувалося середнє значення ВО, ЕП і ПП.

Після статистичної обробки експериментальних даних на ПЕОМ отримано математичні моделі, що адекватно описують технологічний процес. Рівняння регресії мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 BO = & 4,733 + 2,459 \cdot X_2^2 + 2,283 \cdot X_5^2 + 1,866 \cdot X_7^2 + \\
 & + 1,892 \cdot X_8^2 - 0,18 \cdot X_9^2 + 0,801 \cdot X_2 + 1,218 \cdot X_5 - \\
 & - 0,099 \cdot X_7 - 0,099 \cdot X_8 + 1,835 \cdot X_9 - 0,063 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_5 + 1,354 \cdot X_2 \cdot X_7 + 1,354 \cdot X_2 \cdot X_8 + 1,141 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_9 - 0,125 \cdot X_5 \cdot X_7 + 0,533 \cdot X_5 \cdot X_8 + 1,021 \cdot X_5 \cdot \\
 & \cdot X_9 + 2,2 \cdot X_7 \cdot X_8 + 0,621 \cdot X_7 \cdot X_9 + 0,696 \cdot X_8 \cdot X_9.
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 EP = & 4,865 + 3,959 \cdot X_2^2 + 2,274 \cdot X_5^2 + 2,061 \cdot X_7^2 + \\
 & + 1,625 \cdot X_8^2 - 2,952 \cdot X_9^2 + 1,274 \cdot X_2 + 1,257 \cdot X_5 + \\
 & + 0,707 \cdot X_7 + 0,707 \cdot X_8 + 2,324 \cdot X_9 + 0,213 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_5 + 1,979 \cdot X_2 \cdot X_7 + 0,65 \cdot X_2 \cdot X_8 - 1,525 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_9 - 1,025 \cdot X_5 \cdot X_7 - 1,329 \cdot X_5 \cdot X_8 - 0,129 \cdot X_5 \cdot \\
 & \cdot X_9 - 0,754 \cdot X_7 \cdot X_8 - 1,221 \cdot X_7 \cdot X_9 - 0,517 \cdot X_8 \cdot X_9.
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 ПП = & 5,804 + 2,419 \cdot X_2^2 + 3,08 \cdot X_5^2 + 0,521 \cdot X_7^2 + \\
 & + 2,013 \cdot X_8^2 - 0,219 \cdot X_9^2 + 0,73 \cdot X_2 + 0,713 \cdot X_5 + \\
 & + 0,163 \cdot X_7 + 0,163 \cdot X_8 + 1,78 \cdot X_9 + 1,119 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_5 + 0,248 \cdot X_2 \cdot X_7 + 1,085 \cdot X_2 \cdot X_8 + 1,548 \cdot X_2 \cdot \\
 & \cdot X_9 - 0,119 \cdot X_5 \cdot X_7 + 1,744 \cdot X_5 \cdot X_8 + 0,306 \cdot X_5 \cdot \\
 & \cdot X_9 + 1,19 \cdot X_7 \cdot X_8 + 1,852 \cdot X_7 \cdot X_9 + 0,39 \cdot X_8 \cdot X_9.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Дослідження поведінки критеріїв оптимізації залежно від зміни незалежних факторів проводитимемо з використанням методу двомірних перетинів.

Аналізуючи рівняння (1-3), можна зробити висновок про найбільший вплив на якість виконання технологічного процесу довжини приймально-підготовчої камери (X_2), вологості м'ятки (X_5) і температури нагріву (X_7). Про це свідчить найбільше значення коефіцієнтів при цих факторах в рівняннях регресії.

Двомірні перетини поверхонь відгуку наведено на рис. 1. Послідовно зафіксувавши X_2 і X_5 на рівні +1 і, провівши розра-

хунки аналогічні вищенаведеним, одержимо рівняння регресії в звичній формі при новому взаємному поєднанні факторів.

При $X_2 = +1$ рівняння регресії набувають вигляд:

$$\begin{aligned} BO &= 7,993 + 2,283 \cdot X_5^2 + 1,866 \cdot X_7^2 + \\ &+ 1,155 \cdot X_5 + 1,255 \cdot X_7 - 0,125 \cdot X_5 \cdot X_7. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} EP &= 10,098 + 2,274 \cdot X_5^2 + 2,061 \cdot X_7^2 + \\ &+ 1,47 \cdot X_5 + 2,686 \cdot X_7 - 1,025 \cdot X_5 \cdot X_7 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} ПП &= 8,953 + 3,08 \cdot X_5^2 + 0,521 \cdot X_7^2 + \\ &+ 1,832 \cdot X_5 + 0,411 \cdot X_7 - 0,119 \cdot X_5 \cdot X_7 \end{aligned} \quad (6)$$

При $X_5 = +1$:

$$\begin{aligned} BO &= 8,234 + 2,459 \cdot X_2^2 + 1,866 \cdot X_7^2 + \\ &+ 0,738 \cdot X_2 - 0,224 \cdot X_7 + 1,354 \cdot X_2 \cdot X_7 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} EP &= 8,396 + 3,959 \cdot X_2^2 + 2,061 \cdot X_7^2 + \\ &+ 1,487 \cdot X_2 - 0,318 \cdot X_7 + 1,979 \cdot X_2 \cdot X_7 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} ПП &= 6,517 + 2,419 \cdot X_2^2 + 0,521 \cdot X_7^2 + \\ &+ 1,849 \cdot X_2 + 0,044 \cdot X_7 + 0,248 \cdot X_2 \cdot X_7 \end{aligned} \quad (9)$$

Двомірні перетини поверхонь відгуку для інших випадків наведено на рис. 2, 3.

Як видно з рис. 1, при збільшенні довжини приймально-підготовчої камери і вологості м'ятки спостерігається зростання відсотку виходу олії і продуктивності пресу. Зона оптимального поєднання факторів обмежена дугами кривих ВО, ЕП і ПП. Вихід олії при цьому знаходиться в межах 45-50%; енергоємність не перевищуватиме 59 кВт, а продуктивність зросте до 260 кг/год. Для даного технологічного режиму швидкість обертання шнеку дорівнює 0,025 с⁻¹, а лінійна швидкість руху витків шнеку – 0,004 м/с.

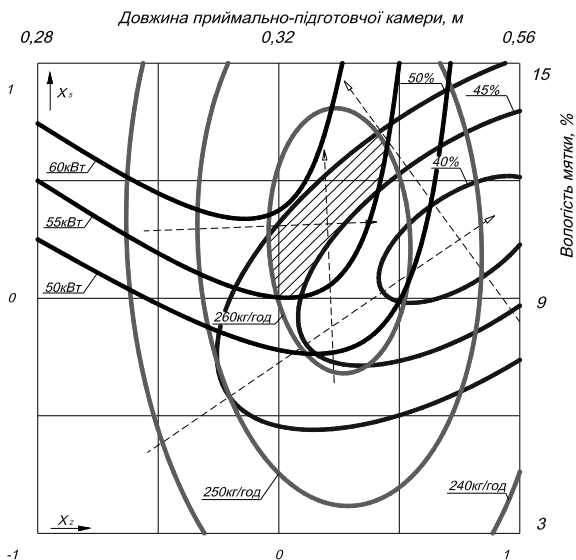


Рис. 1. Двомірні перетини поверхонь відгуку при $X_7=+1$; $X_8=0$; $X_9=0$

Аналіз результатів експерименту, графічна інтерпретація яких наведена на рис. 2, свідчить про кращі якісні показники технологічного процесу при фіксації довжини приймально-підготовчої камери 560 мм. Тут вдається отримати вихід олії до 50% при потужності обладнання 55-60 кВт і продуктивності 260 кг/год (фігура обмежена штриховкою). Вологість у діапазоні 9-15% сприяє кращому виділенню олії.

Аналізуючи останню графічну залежність (рис. 3), можна зробити висновок, що для досягнення значень якісних показників технологічного процесу, порівняно з двома раніше розглянутими варіантами, необхідно, щоб довжина приймально-підготовчої камери була збільшена на 280 мм, в результаті чого отримуємо більш якісно подрібнену масу, а температура пресування знаходиться в межах 105-130°C. Вибраному поєднанню факторів відповідає фігура, обмежена заштрихованою зоною, кривими $VO=50\%$, $EP= 55кВт$ і $ПП=260кг/год$.

Висновок. На підставі проведених теоретично-експериментальних досліджень встановлено найбільш вигідні конструктивно-технологічні параметри шнекового пресу, а саме: довжина приймально-підготовчої камери дорівнює **560** мм, вологість м'ятки – в межах **9-15%**, а температура пресування – **130°С**. При цьому вихід олії складатиме **45-50%**.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кошевой Е.П. Оборудование для производства растительных масел - М.: Агропромиздат, 1991. – 208 с.
2. Масликов В.А. Технологическое оборудование производства растительных масел - М.: Пищевая промышленность, 1974. – 375 с.
3. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1986. – 259 с.