

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЦЕСУ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ОЛІЇ СПОСОБОМ ПРЕСУВАННЯ

Д. В. Бабенко, кандидат технічних наук, професор

ORCID ID: 0000-0003-2239-4832

О. А. Горбенко, кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0001-6006-6931

Н. А. Доценко, кандидат технічних наук, доцент

ORCID ID: 0000-0003-1050-8193

Н. І. Кім, кандидат технічних наук

ORCID ID: 0000-0001-9471-8272

Миколаївський національний аграрний університет

У статті представлено аналіз конструктивних рішень шнекових пресів вітчизняного і закордонного виробництва, що застосовуються для різних видів олійних культур. Наведено теоретичні аспекти процесу пресування, зазначено основні технологічні параметри, що впливають на інтенсивність відокремлення олії з мезги, до яких належать: швидкість обертання шнекового валу, ступінь захоплення мезги першим витком, фізико-механічні властивості мезги і ступінь зносу поверхні шнекових витків.

Ключові слова: олійні культури, шнековий вал, параметри роботи, мезга, шнековий олійний прес.

Постановка проблеми. На сучасному етапі промислового розвитку в умовах необхідності переведення економіки держави на інтенсивний шлях оновлення актуальною проблемою є раціональне застосування виробничих потенціалів. Головним завданням сільськогосподарського виробництва є впровадження нових технологій переробки продукції в умовах господарств різних форм власності. Нагальною задачею є також виробництво малогабаритної, малоенергоспоживацької техніки для комплектації технологічних ліній переробки сільськогосподарської продукції.

У Миколаївській області соняшник є однією з найбільш розповсюджених сільськогосподарських культур. Це обумовлено насамперед високою рентабельністю вирощування, можливістю ефективною реалізації як насіння, так і рослинної олії. В даний час для вилучення олії з насіння соняшнику використовують два способи – пресування і метод прямої екстракції. Проте витрати на виробництво олії пресуванням у 8–10 разів менші порівняно з екстракцією. Виходячи з цього, можна стверджувати, що інтенсифікація процесу пресування насіння соняшнику на основі розробки конструктивно-режимних параметрів шнекового олієвідокремлюючого пресу є актуальною.

Аналіз актуальних досліджень. Усі відомі типи шнекових пресів можуть бути поділені на три групи: преси для попереднього зняття – форпреси; преси для остаточного зняття – експелери; преси подвійної дії. Промисловість таких країн, як США, Японія, Індія, Китай та інших, випускає безліч варіантів олієвідокремлюючих пресів. Проте за принципом дії і робочим процесом вони всі однотипні [1]. Геометричні параметри олієвідокремлюючих пресів, їх кінематичні і енергетичні показники відповідають фізико-механічним властивостям олієвмісного насіння. В Україні для виробництва олії пресуванням використовують шнекові преси МШП-500, ПШМ-1, ПШ-150, М8-МШП, М8-МПБ, М8-ПМ, АР-15/45, 8120-Р, БО-850, Б-85-10, СА-590 тощо. Олієвідокремлюючі преси можуть входити до складу ліній з переробки олійної сировини, або бути самостійними одиницями [2]. Для роботи в умовах фермерських господарств, які переробляють незначні об'єми соняшнику, найбільш пристосованим є прес ПШМ-1, який має ряд недоліків: низький вихід олії за один прохід, підвищені витрати часу на очищення преса від забивання, що сприяє значному зниженню продуктивності апарату і необхідності ручного прошовування макухи з бункера

доприймально-підготовчої камери при повторному пресуванні через його погану сипучість [3].

Дослідженню процесу пресування матеріалів присвячено роботи вчених В. П. Горячкіна, І. І. Вольфа, А. А. Чапкевича, Е. М. Гутьяра, М. Н. Летошнева, М. А. Пустигіна та інших вчених. У них розкрито залежність між тиском пресування і переміщенням шнека, що відображає величину і характер виникаючих деформацій. Проте основним показником, що характеризує будь-який процес ущільнення, є кінцева щільність отримуваних монолітів, яка підвищується по мірі збільшення прикладеного тиску. Тому пізніші дослідники С. А. Алферов, І. А. Долгов, В. І. Особов, Є. І. Храпач й інші свої зусилля зосередили на вивченні залежності між тиском пресування і щільністю отримуваних монолітів (макуха, брикети, гранули). У цьому ж напрямку працювали зарубіжні вчені Х. Скальвейт, Е. Мевес, Дж. Л. Батлер, Х. Ф. Мак-Коллі та ін. У результаті було запропоновано велику кількість емпіричних виразів, що зв'язують тиск пресування з фізико-механічними властивостями матеріалу і щільністю отримуваних монолітів.

Метою статті є дослідження теоретичних аспектів процесу пресування насіння соняшнику із застосуванням шнекового пресу і обґрунтування його конструктивно-режимних параметрів на основі теоретичних і експериментальних досліджень, технічних і технологічних рішень, що дозволяють значно підвищити ефективність процесу відокремлення олії з насіння соняшнику.

Виклад основного матеріалу. Основною операцією пресового способу отримання олії є віджимання її з мезги, що є сипким пористим матеріалом. На початку віджимання в результаті зближення частинок мезги по каналах між частинками починає стікати олія, яка утримувалася на їх поверхні силовим молекулярним полем. Потім, під час деформації частинок, олія починає стікати по капілярах, що знаходяться на внутрішній поверхні самих частинок. З цієї миті олійна фаза вважається вже безперервною. Таким чином, віджимання олії з мезги можна розглядати як рух рідини, що не стискається, в пористому середовищі, що деформується [4]. Зближення частинок мезги посилює рух олії, що підкоряється законам гідродинаміки. При глибокому віджиманні олії під великим тиском відбувається сплавлення поверхонь частинок мезги з капсулюванням олії в окремих ділянках макухи. Це явище обумовлює нерівномірну олійність загальної маси макухових брикетів (черепашки). Гелієва

частина мезги, з якої відбувається віджимання олії, в ході цього процесу підлягає пружно-пластичним деформаціям. У результаті дослідження впливу характеру деформації на ступінь віджимання олії виявлено, що напруження зсуву матеріалу, створюваного при віджиманні, повинно бути менше напруження зсуву, яке сприяє виникненню пластичної течії. Ця умова повинна дотримуватися тому, що у разі пластичної течії разом з олією крізь отвори для її стікання виходитиме і мезга. При цьому внаслідок падіння тиску віджимання олії погіршуватиметься. Вивчення процесів віджимання олії показало, що залишок олії в макусі залежить від загального і гідродинамічного тиску, товщини шару мезги, проникності шару мезги, її пористості, в'язкості олії, тривалості віджимання, ступеня ущільнення об'ємної маси на початку і наприкінці віджимання і густини олії [5].

Шнековий прес складається з роз'ємного зеєрного циліндра і шнекового валу, який складається з окремих гвинтових ланок, розділених проміжними циліндричними кільцями. При такій конструкції валу матеріал, що подається в прес, спочатку переміщається, а потім за допомогою витків, що мають змінний крок, упресовується в зеєрний простір. Матеріал, який при цьому знаходиться в зеєрному просторі, не повинен обертатися, оскільки при обертанні поступального переміщення матеріалу вздовж осі валу не буде, а отже, не відбуватиметься і віджимання олії. Для попередження обертання мезги і для очищення кілець і витків від мезги, яка до них налипає, між роз'ємними половинами зеєрного циліндра встановлюються фігурні ножі. При проходженні матеріалу по зеєрному циліндру початковий об'єм його за рахунок ущільнення і віджимання олії значно зменшується [6].

Віджимання олії з мезги у шнековому пресі відбувається в результаті поступового ущільнення маси м'язги за рахунок:

- скорочення об'єму маси, що знаходиться між витками, внаслідок поступового зменшення кроку окремих витків і їх висоти;
- механічної дії цих витків на мезгу в процесі обертання шнекового валу;
- тертя пресованого матеріалу по поверхні витків, стінки зеєрного циліндра і тертя частинок мезги між собою;
- опору механізму, який регулює величину вихідного отвору для макухи (конуса, діафрагми, кільця).

При віджиманні олії в шнекових пресах зростання тиску на пресований матеріал і витікання олії відбуваються не тільки за рахунок

дії зовнішніх умов, але і в результаті опірності самої мезги по мірі ущільнення її і віджимання олії. У свою чергу опірність мезги у пресі залежить від її пластичних властивостей. В процесі пресування в шнековому пресі зовнішня і внутрішня структура мезги зазнає значної зміни.

Крім структурних змін, у процесі пресування відбуваються і якісні зміни складових речовин мезги, при цьому рідка олійна частина мезги змінюється несуттєво: спостерігається пониження в'язкості олії, а також нижче кислотне число віджатої олії в порівнянні з кислотним числом олії, що залишилася в макусі. Що стосується твердої білкової частини мезги, то така денатурується, знижуючи при цьому свою розчинність і пластичність [2, 7].

Оскільки олія в меззі знаходиться не тільки на зовнішніх, але і на внутрішніх поверхнях частинок, то в цілях якнайповнішого віджимання олії необхідно, щоб зовнішні і внутрішні частинки були достатньо зближені. Таке зближення відбуватиметься тільки за достатньої пластичності частинок пресованого матеріалу. За даної температури пластичність мезги залежить від її вологості: чим більша вологість мезги, тим легше вона піддається пластичній деформації. Проте, внаслідок того, що пластифікація мезги за низьких температур і високої вологості відбувається при невеликому тиску і супроводжується формуванням досить нещільних брикетів, досягти в цих умовах значного відокремлення олії не вдається. Оптимальна пластичність мезги для того або іншого способу пресування, конструкції преса і матеріалу, що переробляється, досягається шляхом відповідного поєднання вологості і температури мезги, що поступає в прес. Оптимальні температура і вологість для мезги, яка поступає на преси, різні для окремих олійних культур. У разі порушення оптимального поєднання температури і вологості мезги, що поступає в прес, спостерігаються відхилення від сталого нормального перебігу процесу віджимання олії [8].

При пересушуванні мезги припиняється формування макухи в черепашку і пресований матеріал починає виходити з пресу у вигляді сухого, жорсткого борошна або крупи з високим вмістом олії. Цей перехід супроводжується спочатку підвищенням навантаження на приводному електродвигуні преса, а з припиненням утворення черепашки – її різким падінням. Часто у цей момент слабкі у конструктивному відношенні преси виходять з ладу внаслідок поломок найбільш навантажених

елементів або зупиняються під навантаженням, утворюючи запресовування через поломку запобіжних шпильок або спрацювання захисту. При перезволоженні також припиняється формування макухи в черепашку і пресований матеріал виходить у вигляді безформної м'якої маси. Цей перехід супроводжується зменшенням навантаження на електроприводі преса [9]. Таким чином, тиск в зеєрі переважно є функцією пластичності м'язги, вологості і температури пресованого матеріалу, без урахування конструктивних особливостей преса і відрегулювання діафрагми або конуса.

Практика роботи на шнекових пресах показує, що на холодному, не розігрітому пресі неможливо одержати нормальний процес віджимання олії і формування макухової черепашки. Безперервний і ефективний процес віджимання олії починається у ту мить, коли у пресі настає відома теплова рівновага. При порушенні цієї рівноваги порушується і робота преса. Так, при недостатньому живленні розігрітого преса спостерігається перегрів макухової черепашки, який у певний момент може призвести до обвуглювання макухи і до утворення в зеєрі димових газів, які з шумом вириваються з пресу. Це явище свідчить про те, що кількість тепла, що виділилося при терті мезги в зеєрі, перевищує його тепловтрати і нормальну потребу в теплі для процесу брикетування макухової черепашки. За правильно організованої роботи преса і сталого режиму віджимання олії витрата тепла на технологічні потреби процесу пресування (віджимання олії і брикетування макухи) і тепловтрати повинна компенсуватися:

- притоком тепла з нагрітою мезгою;
- теплом, одержаним у результаті переходу механічної енергії в теплову при терті матеріалу по шнековому валу, стінці зеєра і внутрішньому терті частинок мезги.

Зміна співвідношень тепла в прибутковій частині балансу, очевидно, впливатиме на зміну їх у витратній частині. В умовах налагодженої і безперервної роботи преса теплообмін відбувається стабільно і обумовлюється переважно кількістю і якістю матеріалу, що поступає в прес. Для якнайповнішого віджимання олії з пресованого матеріалу необхідне відоме поєднання пластичних і пружних властивостей м'язги і питомого тиску, що розвивається у пресі. Загальний тиск при вилученні олії з мезги складається з тиску на тверду пористу масу матеріалу і на рідку фазу [10].

Зважаючи на те, що при віджиманні олія рухається по каналах змінного перерізу і різної

форми з швидкістю, що змінюється, тиск на рідку фазу (гідродинамічний напір) вздовж шнекового валу теж змінюється. Аналогічні зміни тиску зазнає і тверда фаза. Таким чином, загальний тиск і його радіальні і аксіальні складові розглядаються як середні значення тиску на олійну і гелієву фази мезги. Практично важливим представляється розглянути зміну загального тиску і його складових, що виникають уздовж шнекового валу, оскільки від них залежить ефективність віджимання олії при пресуванні і розрахунок самих пресів. Виходячи з наведених уявлень про розподіл тиску на рідку і тверду фази, в даний час пропонуються наступні рівняння для визначення аксіальних і радіальних складових і сумарного тиску в даній точці після шнекового валу [11]. Аксіальна складова тиску P_z на тверду фазу на відстані z від витка шнека, представляється у вигляді рівняння:

$$P_z = P_{z0} e^{-C_z},$$

де P_{z0} – аксіальний тиск на виток при $z = 0$; e – основа натурального логарифма; C – деякий постійний коефіцієнт.

$$C = \frac{4\xi(f_{dn}D + f_{dv}d + f_{dy}\frac{S_y}{\pi})}{D^2 - d^2},$$

де $\xi = \frac{P_{xz}}{P_z}$; P_{xz} – бічний аборадіальний тиск на тверду фазу); f_{dn} , f_{dv} , f_{dy} – коефіцієнти тертя мезги відповідно по внутрішній поверхні зеєра, по шнековому валу і по утримуючим ножах; D – внутрішній діаметр зеєра; d – діаметр валу шнека; S_y – периметр утримуючих ножів.

Радіальний тиск на тверду фазу P_{xz} визначається за таким рівнянням:

$$P_{xz} = \xi P_e^{-C_z}.$$

Загальний сумарний тиск:

$$P = 0,001 \left[\frac{Vl\varepsilon}{K(1+\varepsilon)} + q \right] + e^{-C_z} P_{z0} \sqrt{1 + \xi^2},$$

де V – витрата фільтрованої рідини через даний поперечний переріз на одиницю часу; l – довжина шляху фільтрації; ε – коефіцієнт пористості; K – коефіцієнт фільтрації; q – напір стікання рідкої фази.

Рівняння (4) відображає розподіл тиску після даного витка у безвитковому просторі зеєра [11].

У процесі пресування об'єм мезги зменшується за рахунок віджимання олії, осипу, зближення внутрішніх і зовнішніх поверхонь частинок, а також за рахунок деякого ущільнення гелієвої частини і випаровування вологи.

Час перебування мезги у шнековому пресі при віджиманні залежить від швидкості обертання шнековою валу, від ступеня захоплення мезги першим витком, фізико-механічних властивостей мезги і ступеня зносу поверхонь шнекових витків. Виходячи з принципу, що час перебування мезги на кожному шаблі пресового тракту рівний різниці внутрішнього об'єму зеєра і об'єму валу (тобто вільного простору), поділеної на об'єм мезги, яка проходить через нього в одиницю часу, запропоновано наступну формулу розрахунку тривалості τ_3 перебування мезги на певному шаблі:

$$\tau_3 = \frac{V_{c.3}\varepsilon_3}{V_{xb}1 - \beta_3},$$

де $V_{c.3}$ – об'єм вільного простору певного шабля; ε_3 – ступінь стиснення мезги на тому ж шаблі; V_{xb} – об'єм мезги, яка поступає в прес за хвилину; β_3 – коефіцієнт, що враховує кількість осипу, який вийшов через зеєрні щілини (фільтери) від початку зеєрного тракту до наступного шабля.

Загальний час пресування мезги у пресі при такому розрахунку буде дорівнювати сумі тривалості перебування мезги на кожному шаблі.

Олійність шарів макухової черепашки неоднакова. Як правило, шари макухової форпресової черепашки, яка примикає до валу, мають більшу олійність, ніж шари, що примикають до зеєра. Розподіл олії по шарах макухової черепашки пов'язують з довжиною шляху фільтрації олії. Для внутрішніх шарів макухи, які примикають до валу, шлях проходження олії довший, а для зовнішніх шарів, що примикають до зеєра, коротший.

Висновки та перспективи подальших розвідок. Проведений аналіз характеристик і застосування пресового обладнання у різних країнах світу засвідчив, що принципи дії і робочий процес є однотипними. Застосування олієпресів вітчизняного виробництва в умовах господарств з невеликими обсягами переробки олійних культур свідчать про ряд недоліків, до яких можна віднести низький вихід олії за один прохід, підвищені витрати часу на очищення преса від забивання, що сприяє значному зниженню продуктивності апарату і необхідності ручного проштовхування макухи з бункера в приймально-підготовчу камеру при повторному пресуванні через його погану сипучість. Проведений аналіз теоретичних аспектів процесу пресування дозволив визначити основні технологічні параметри, до яких належать швидкість обертання шнекового валу, ступінь захоплення мезги першим витком, фізико-механічні властивості мезги і ступінь зносу

поверхонь шнекових витків. Дослідження цих параметрів і впровадження у промислове виробництво пресового обладнання результатів досліджень дозволить усунути проблемні моменти при застосуванні у технологічному процесі олійного виробництва.

Список використаних джерел:

1. Щербаков В. Г. Технология получения растительных масел / В. Г. Щербаков. – М. : Колос, 1992. – 207 с.
2. Калошин Ю. А. Технология и оборудование масложировых предприятий / Ю. А. Калошин. – М. : Академия, 2002. – 363 с.
3. Кошевой Е. П. Оборудование для производства растительных масел / Е. П. Кошевой. – М. : Агропромиздат, 1991. – 208 с.
4. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навчальний посібник / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздев. – Вінниця : Нова книга, 2008. – 488 с.
5. Том'юк В. В. Дослідження розподілу тиску вздовж шнекового вала олійновідтискного преса / В. В. Том'юк // Вісн. Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – 2009. – №78. – С. 242–249.
6. Патент UA №49079, B30B9/12. Комбінований шнековий прес для отримання рослинної олії / В. В. Стрельцов, О. А. Горбенко, О. О. Катрич; Заявлено 30.11.2009. Опубліковано 12.04.2010.
7. Дидур В. А. Влияние противотоков на режим работы шнекового пресса. / В. А. Дидур, В. А. Ткаченко, В. В. Дидур // Праці ТДАТУ. – 2011. – Вип.11, Т. 4. – С.20–34
8. Том'юк В. В. Визначення коефіцієнта та кута зовнішнього тертя насіння ріпаку / В. В. Том'юк // Вісн. Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів : ЛНАУ, 2008. – №12, т.2. – С. 598–602.
9. Ніщенко І. О. Вплив конструктивних параметрів шнекового вала на енергетичні показники олійновідтискного преса / І. О. Ніщенко, С. Й. Ковалишин, В. В. Том'юк // загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. / Конструювання та експлуатація сільськогосподарських машин: Вип. 40, Ч.2. – Кіровоград : КНТУ, 2010. – С. 186–200.
10. Ковалишин С. Й. Оптимізація параметрів олійновідтискного преса / С. Й. Ковалишин, В. В. Том'юк // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2010. – №14. – С. 261–269.
11. Методика расчета зерновой камеры шнекового пресса / В. А. Дидур, В. А. Ткаченко, В. В. Дидур, Ю. А. та ін // Праці ТДАТУ. – 2011. – Вип.11, Т. 4. – С.20–34

Д. В. Бабенко, Е. А. Горбенко, Н. А. Доценко, Н. И. Ким. Теоретические аспекты процесса отделения растительного масла способом прессования.

В статье представлен анализ конструктивных решений шнековых прессов отечественного и зарубежного производства, применяемых для различных видов масличных культур. Приведены теоретические аспекты процесса прессования, указаны основные технологические параметры, влияющие на интенсивность отделения масла из мезги, к которым относятся: скорость вращения шнекового вала, степень захвата мезги первым витком, физико-механические свойства мезги и степень износа поверхности шнековых витков.

Ключевые слова: масличные культуры, шнековый вал, параметры работы, мезга, шнековый маслопресс.

D. Babenko, O. Gorbenko, N. Dotsenko, N. Kim. Theoretical aspects of oil separation process by pressing.

The article presents the analysis of constructive solutions of screw presses of domestic and foreign production that used for different types of oilseeds. The paper indicates the theoretical aspects of the pressing process and the main technological parameters that influenced on the intensity of the separation of oil from the pulp, which include: the speed of the screw shaft, the degree of seizing of the pulp by the first turn, the physical and mechanical properties of the pulp and the degree of wear of the surface of the screw turns.

Key words: oilseeds, screw shaft, parameters of work, pulp, oil screw press.