

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В.о. завідуючого кафедри  
АІ та ТС, к.т.н., доцент Швець Л.В.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Пояснювальна записка  
до магістерської кваліфікаційної роботи за спеціальністю  
208 «Агроінженерія»**

**НА ТЕМУ: «НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ  
КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ПРЕСА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОЛІЇ»**

Виконала: студентка групи 71АІ маг  
Коник Марина Антонівна

Науковий керівник: д.т.н. проф.  
Анісімов Віктор Федорович

## ВСТУП

Олієжирова промисловість – одна із провідних (за обсягом до 20 %) серед харчових і переробних виробництв, призначення яких забезпечення населення повноцінним і якісним харчуванням. Соняшникова олія – це джерело жиророзчинних вітамінів групи А, D та E, а також ненасичених жирних кислот, які не синтезуються в організмі (їх ще називають вітаміном F). До того ж рослинна олія використовується як сировина при виробництві мила, миючих засобів, маргарину, кулінарного жиру, майонезу та інших продуктів. Такі цілющі властивості цього продукту сприяють інтенсивному розвитку олієжирової галузі.

Причому в останні роки спостерігається випереджуюче зростання виробництва рослинних олій у порівнянні з випуском тваринних жирів [1,2,3]. Україна є одним із провідних виробників соняшникової олії. Тому забезпечення надійності та довговічності і підвищення ефективності роботи обладнання для одержання соняшникової олії є надзвичайно актуальною і важливою проблемою і є одним з основних напрямів розвитку технології і обладнання.

**Актуальність теми.** Незважаючи на багаторічний досвід створення і експлуатації пресового обладнання для відтискання олії, проблема режимів його експлуатації ще не набула належної ваги в наукових дослідженнях. Проте численні питання працездатності олійних пресів, підвищення ефективності їх роботи і конструктивного вдосконалення потребують подальшого дослідження.

**Метою досліджень** є визначення впливу основних технологічних аспектів пресового способу виробництва соняшникової олії на величину виходу олії і визначення оптимальних режимів роботи преса та лінії в цілому.

Завдання, які необхідно для цього виконати:

1) Провести теоретичний огляд технологічних аспектів виробництва соняшникової олії пресовим способом;

2) Провести аналіз роботи обладнання виробничої лінії базового підприємства, з метою визначення можливих недоліків у режимах його роботи;

3) Виконати роботи по плануванню, підготовці й проведенню експериментальних досліджень;

4) Провести аналіз одержаних в результаті експериментальних досліджень даних;

5) Розробити практичні рекомендації по впровадженню теоретично та експериментально аргументованих режимів роботи машин і обладнання у виробничій лінії.

***Об'єкт досліджень*** – ефективність роботи олійного шнекпреса.

***Предмет дослідження*** – технологічні параметри процесу відтискання олії та конструктивні особливості преса.

Для розв'язання визначених задач в роботі були використані теоретичні і експериментальні методи досліджень. Обробка експериментальних даних здійснювалась методами математичної статистики з використанням програмного продукту "STATISTIKA 6".

# РОЗДІЛ 1

## ПРОБЛЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ОЛІЙНИХ ПРЕСІВ

### 1.1. Загальна характеристика олійного виробництва

Як уже відмічалось, Україна є одним із провідних виробників рослинної олії, у першу чергу, соняшникової. Найкращі сорти соняшника мають олійність більше за 50 %.

Сучасна технологія олієжирового виробництва ґрунтується на використанні багатьох механічних, термодифузійних, гідромеханічних процесів, під час яких рослинна сировина (насіння) піддається дії різноманітних факторів. Історично склалося так, що першою була застосована технологія одержання олії вичавлюванням її із зерен рослинної сировини.

Пресовий спосіб виробництва олії, який включає операції очищення насіння від домішків, відділення лузги, подрібнення, вологотеплову обробку, пресування, і зараз є одним з основних. Проте він не забезпечує повне вилучення олії з насіння. Якщо подрібнене насіння (м'ятку) піддати відразу пресуванню, то незважаючи на високий тиск у пресі, 10-15 % олії залишається невичавленою. Після вологотеплової обробки одержують мезгу, з якої на пресах вичавлюють олію. При оптимальній вологості - (5-6 % для попереднього відтискання й 3-4 % - для остаточного) і температурі (100-105° і 110-120°, відповідно, при попередньому й остаточному відтисканні) олійність макухи становить 15-17 % при попередньому й 4-7 % при остаточному пресуванні. Більш повне вилучення олії (більше 99 %) досягається при використанні екстракційної технології. На сучасних підприємствах найбільш часто використовується послідовне вилучення олії: спочатку пресуванням вичавлюється приблизно три чверті всієї олії, а решта

– екстракцією. Тобто пресова технологія і на сьогодні залишається однією з основних: близько 70 % олії одержують із застосуванням пресування [14].

## **1.2. Особливості конструкцій і роботи олійних пресів**

Раніше для вичавлювання олії використовувалися різноманітні (клинові, гвинтові, гідравлічні) олійні преси періодичної дії. На сучасних олійних підприємствах використовують лише шнекові преси безперервної дії, які позбавлені недоліків вище згаданих пресів.

Усі сучасні шнекові преси поділяють на форпреси, які призначені для попереднього вичавлювання олії, експелери – для глибокого (остаточного) вилучення олії й преси подвійної дії (для одночасного попереднього й остаточного пресування [11, 15].

На поточний час вітчизняними й закордонними фірмами-виробниками розроблено й випускається досить багато пресів різноманітних конструкцій і продуктивності (деякі з них наведені в [12, 16-23]. Годинна продуктивність пресів здебільшого знаходиться в межах 200...800 кг.

Робочим органом шнекових пресів є шнековий вал (рис. 1.1), який в більшості конструкцій складається з окремих секцій (витків), розділених проміжними кільцями. Шнековий вал обертається в рознімному ступінчастому барабані, стінки якого складаються з окремих пластин і який має назву зеєрний барабан або зеєр (цідильник). Зеєрні пластини мають таку конструкцію і в зеєрі вкладені таким чином, що між ними є вузькі щілини, через які відходить відтиснена олія. У місці рознімання встановлені фігурні зеєрні ножі, які запобігають провертанню мезги і очищують від неї кільця і витки шнека.

Відтискання олії в шнекових пресах відбувається за рахунок стискання мезги при її просуванні шнеком вздовж зеєра завдяки зменшенню вільного об'єму між витками шнека. Вільний об'єм зменшується внаслідок зміни

кроку витків, діаметра маточини шнекового вала, внутрішнього діаметра робочої камери преса (зеєра).

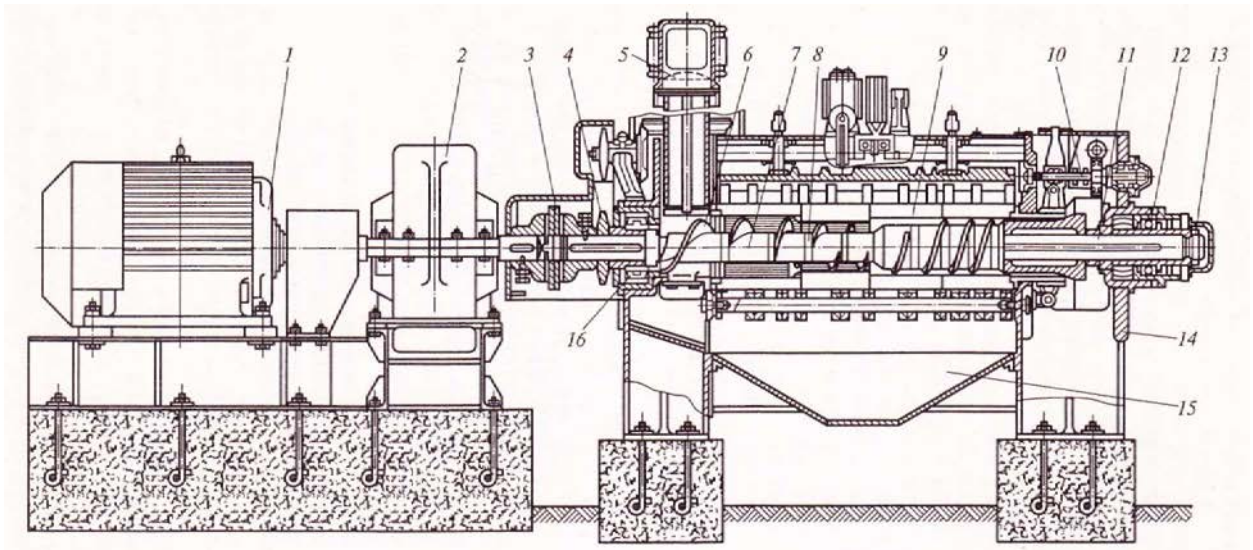


Рис. 1.1. Олійний прес МП-68:

1-електродвигун; 2-редуктор; 3-запобіжна муфта; 4-ланцюгова передача; 5-живильник; 6-шнекові витки; 7-шнековий вал; 8-перехідні кільця; 9-зеєрна камера; 10-механізм регулювання товщини черепашки (макухи); 11-вісь вала; 12-опірні підшипники; 13-стяжна гайка; 14-станина; 15-збірник для олії.

За конструктивними особливостями забезпечення зменшення вільного об'єму по ходу витків шнека сучасні шнекові преси поділяються на такі [6]:

- із ступінчастим зеєром і ступінчастим шнековим валом;
- із ступінчастим зеєром і валом без ступеней;
- з циліндричним зеєром і ступінчастим валом;
- з циліндричним зеєром і валом без ступеней.

Здебільшого скорочення вільного об'єму (або транспортуючої здатності шнека) досягається шляхом зменшення кроку витків і зменшення кільцевого зазору між маточиною шнекового вала і внутрішньою поверхнею зеєрного барабана.

Згідно з [11,13] процес відтискання олії відбувається наступним чином. Мезга, яка живильником подається на перший виток преса, має значну

кількість порожнин (пористість). При просуванні по шнеку мезга зазнає стискання, внаслідок чого зменшується зовнішня поверхня дисперсних часток мезги, на якій знаходиться поверхнева олія. При одночасному скороченні об'єму порожнин олія відділяється, проходить крізь щілини між зеєрними пластинами і відводиться з преса. При подальшому збільшенні тиску стискаються вже самі дисперсні частинки мезги і капіляри гелевої складової частинок. Тобто скорочується внутрішня поверхня і відтискується капілярна олія. При підвищенні тиску і подальшій деформації гелевої складової частина капілярів закривається із залишковою олією, яка визначає залишкову олійність макухи. При подальшому збільшенні тиску, олійність макухи практично не зменшується (рис. 1.2). Аналогічні явища мають місце при зневоднюванні рослинної сировини і напівпродуктів (буякового жому, спиртової барди, плодкових вичавок тощо) шляхом пресування [7].

Для одержання якісних показників роботи преса мезга, яка подається в прес, повинна мати певну вологість і температуру, які залежать не тільки від виду і якості сировини, але й від типу преса. Параметри вологотемпературної обробки м'ятки і мезги визначаються емпірично і вони наведені вище.

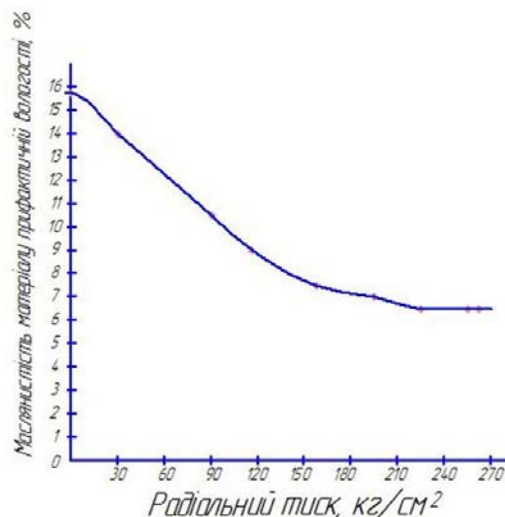


Рис. 1.2. Залежність олійності макухи від радіального тиску мезги [6].

Відтискання олії з мезги відбувається в часі. Тобто, чим більш тривалий процес пресування, тим вище вихід олії [6, 8, 10]. Із збільшенням

обертів зменшується тривалість процесу відтискання (рис. 1.3). Через це частота обертання шнекового вала в сучасних пресах не перевищує 60-70 об/хв, а максимальна лінійна швидкість витків шнека становить 0,5...0,8 м/с.

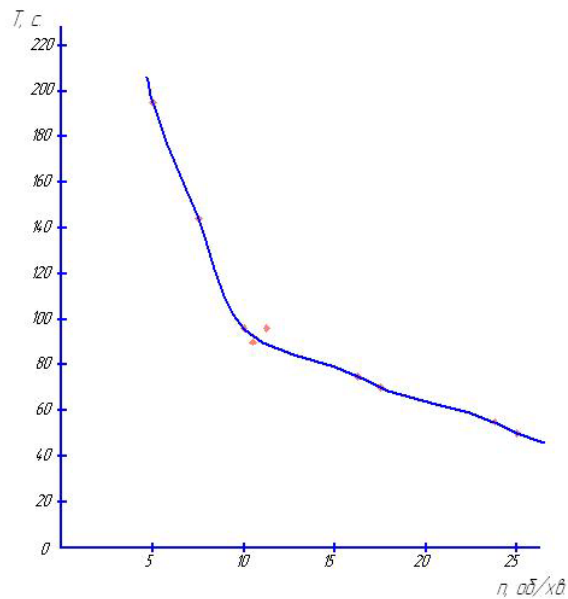


Рис. 1.3. Залежність тривалості відтискання  $T$  соняшникової олії від числа обертів  $n$  шнекового вала [6].

Причому, як показали дослідження [6], залишкова олійність мезги швидко спадає на стадії попереднього відтискання і повільно – на остаточному відтисканні (рис. 1.4). Це узгоджується і з характером зміни олійності мезги по довжині шнекового вала (рис. 1.5).

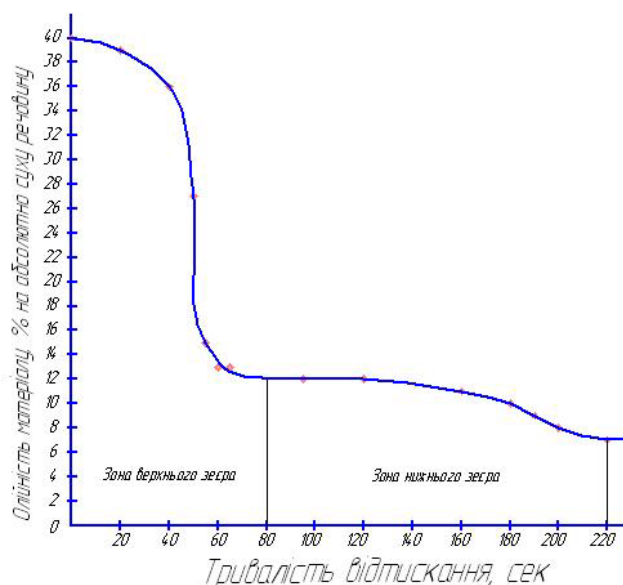


Рис. 1.4. Залежність олійності мезги від тривалості відтискання [6].



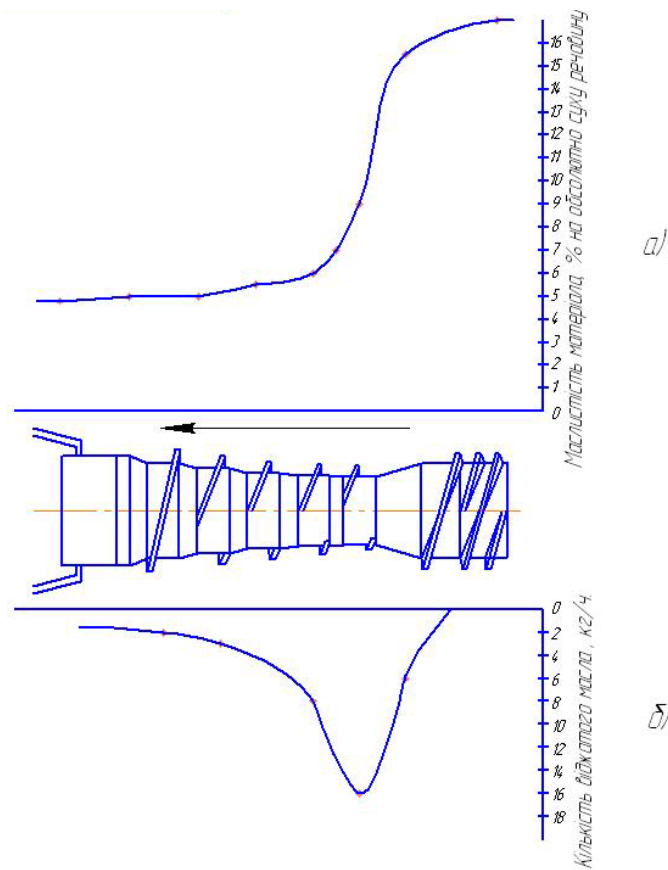


Рис. 1.5. Зміна олійності мезги (а) і кількості відтисненої соняшникової олії (б) вздовж шнекового вала [6].

У роботі [24] вперше було встановлено, що різні шари макухи відрізняються за вмістом залишкової олії. Ця різниця залежить від типу преса та умов пресування і може становити майже 6 %. У більшості випадків в зоні пресування олійність внутрішніх шарів, які ближче до вала, вища за олійність зовнішніх шарів (біля зеєра).

Автор роботи [6] відмічений розподіл залишкової олійності макухи по шарах пов'язує із загальною товщиною шару мезги, тобто з довжиною шляху фільтрації олії. Дійсно, через те, що довжина шляху фільтрації внутрішніх шарів мезги в більшості шнекових пресів більша, олійність цих шарів вища за олійність зовнішніх шарів.

На підставі розглянутих особливостей процесу пресування в шнекових пресах можна зробити висновок, що одним із шляхів підвищення ефективності процесу вичавлювання олії може стати підвищення рухливості і взаємних переміщень дисперсних часток мезги шляхом введення в

середовище механічних коливань. З одного боку, це забезпечує підвищення ступеня ізотропності дисперсного середовища, а з іншого – руйнування гелевої структури дисперсних часток, зменшення пористості середовища і, таким чином, зменшення залишкової олійності.

Аналіз відомих теоретичних та експериментальних досліджень доводить [25, 139, 28], що при вичавлюванні рідини з дисперсного середовища ефективним є метод вібраційного пресування. У процесі вібраційного навантаження дисперсних середовищ зростає площа активної міжфазової поверхні, на межі фаз збільшується величина вільної поверхневої енергії [26]. Підвищення ефективності пресування під дією імпульсів зовнішніх сил обґрунтовується також положенням резонансно-структурної теорії, згідно з якою при накладанні вібрації частинки дисперсної фази коливаються з резонансними частотами і при цьому деформації зсуву значно більші, ніж при статичному пресуванні [27].

Проте запропоновані конструкційні рішення шнекпресів із введенням енергії вібраційних коливань в зону пресування [15] недосконалі і малоефективні.

### **1.3. Виробність олівідтискних шнекових пресів**

Виробність шнекового преса визначається, як кількість матеріалу, який прес переробляє за одиницю часу. Для визначення виробності використовується розрахунково-емпіричний метод, за яким у формули для визначення теоретичної виробності вводяться, по суті, емпіричні коефіцієнти [6, 11].

У роботі [11] умовно теоретична виробність  $Q$  визначається за формулою:

$$Q = 15\pi D_3^2 L n (1 - \psi) \rho \quad [\text{кг/год}], \quad (1.1)$$

де  $D_3$  - внутрішній діаметр зєрного барабана,

$L$  - довжина першої (живильної) ланки шнекового вала;

$n$  - частота обертання шнекового вала, об/хв.;

$\rho$  - густина мезги, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi$  - коефіцієнт заповнення, який для різних типів пресів становить [11].

Проте в дійсності реальна виробність олійних пресів значно менша від теоретичної. Причини такої невідповідності досить складні. У роботах [6, 29, 30] це пов'язується, в першу чергу, з обертанням частини матеріалу в зєрному циліндрі, тобто спіралеподібним рухом його. Причому в роботі [30] на підставі даних [31, 32] враховано залежність цього руху від коефіцієнтів тертя.

Крім того, частина мезги утворює протитечію і, якби, повертається до живильної ланки [11]. Ця протитечія обумовлена і наявністю зазору 2...3 мм між зєрним барабаном і шнековим валом, і тим, що витки шнека на певний кут (до 50°) не перекриваються, і градієнтом протитиску від регулювального пристрою вздовж гвинтового каналу і іншими причинами. Ця протитечія враховується введенням у формулу (1.2) коефіцієнта повернення  $K_v$  [11]:

$$Q = 15\pi D_3^2 L n (1 - \psi) \rho (1 - K_v). \quad (1.2)$$

У роботі [11] наведені формули для розрахунку коефіцієнту повернення, проте визначати їх можна лише експериментально – розрахунковим методом. За даними [8, 10, 11],  $K_v$  майже не залежить від частоти обертання шнекового вала, а лише від величини вихідної щілини регулювального пристрою (рис. 1.6)

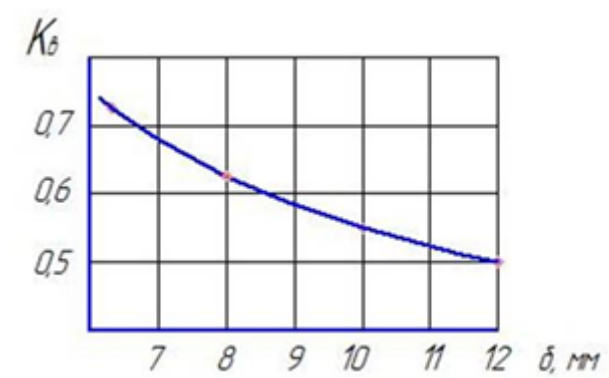


Рис. 1.6. Залежність коефіцієнта повернення  $K_\delta$  від величини вихідної щільності регулювального пристрою [11].

Аналіз залежності (1.2) засвідчує особливе значення функціонування (а також конструкційних параметрів) регулювального пристрою: адже під час експлуатації пресів зміна коефіцієнта повернення, а відтак і виробності преса можлива лише через регулювальний пристрій.

Крім того, в світлі зазначеного особливої ваги набуває проблема зносостійкості деталей зєрного тракту (ланок шнека, зєрних ножів і планок, проміжних кілець і елементів регулювального пристрою). Адже спрацювання цих деталей спричинює, внаслідок збільшення зазорів між деталями тракту, величину протитечії (тобто коефіцієнта повернення) і падіння глибини відтиснення, а відтак і збільшення олійності макухи. Для відновлення глибини відтиснення доводиться зменшувати зазор регулювального пристрою, що автоматично різко зменшує виробність преса і збільшує енерговитрати.

#### 1.4. Стискання мезги в шнекпресі і роль регулювального пристрою

У процесі роботи преса відбувається зменшення об'єму матеріалу (мезги) внаслідок зближення дисперсних часток і вичавлювання олії. Величина цього зменшення характеризується ступенем стискання – відношенням початкового об'єму мезги до кінцевого. Саме на стискання

мезги припадають найбільші витрати потужності при пресуванні [33]. Згідно з [11] витрати на стискання становлять більше 60 % всіх енергетичних витрат на пресування. Проведені дослідження показали, що залежність між ступенем стискання і тиском, якого зазнає мезга при певній вологості і температурі, підкоряється рівнянню степеневого типу, де  $k$  і  $n$  - емпіричні коефіцієнти.

Ступінь стискання мезги в пресі розрахований, як зазначено вище, через відношення об'ємів, в дійсності залежить ще й від регулювального пристрою, який створює протитиск: із зменшенням перерізу щілини вихідного вузла ступінь стискання преса зростає.

На сучасних пресах здебільшого використовують регулювальні пристрої конусного типу. Для прикладу на рис. 1.7 наведена схема вихідного вузла преса ПМ-450, який випускає ВАТ "Уманьферммаш", з регулювальним пристроєм.

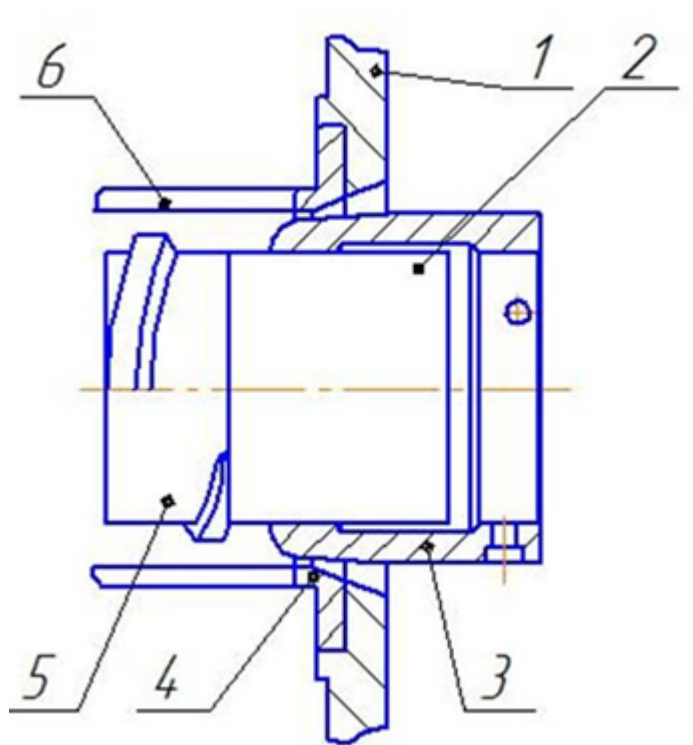


Рис. 1.7. Схема вихідного вузла преса ПМ-450:

1 – корпус преса; 2 – втулка на валу преса (вал не показано); 3 – конус;  
4 – вихідний фланець; 5 – ланка шнека №7; 6 – планка зерного циліндра.

Теоретичні і експериментальні дослідження засвідчують [6,11], що розподіл тиску по довжині шнека може бути таким, як на рис. 1.8.

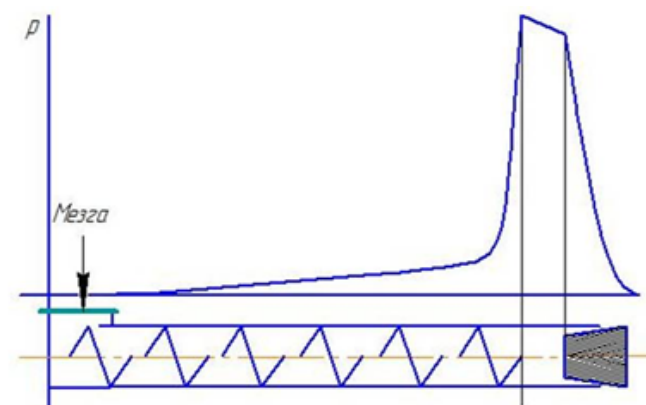


Рис. 1.8. Схема розподілу тиску по довжині шнекового вала [11].

Із наведеної схеми видно, що найбільші величини тиску мають місце у вихідному вузлі. Причому олія у форпресах відтискається при відносно невеликому тиску (до 5,0 МПа [11]), хоча тиск на конусі регулювального пристрою може досягати значних величин. Це обумовлено тим, що мезга є пружнов'язкопластичним тілом. Тому градієнт тиску в ній дуже великий і через це тиск по довжині вихідного вузла до останнього витка різко спадає. Тобто переміщення регулювального конуса в основному змінює тиск на мезгу в передконусному просторі, а по довжині шнекового вала зміна тиску на мезгу незначна [11]. Однак переміщення конуса (на рис. 1.7 ліворуч) спричинює зміну протитиску макухи і відповідно зростання коефіцієнта повернення.

За літературними даними [6], тиск у форпресах становить близько 30 МПа, а при однократному пресуванні і в експелерах може досягати значно більших величин – до 40 і навіть до 70 МПа. Для зменшення сил тертя у вихідному вузлі перспективним може бути реалізація в його конструкції ефекту зменшення тертя при вібраційній обробці [34].

Через те, що найбільший тиск у шнекпресах спостерігається на виході з преса, саме зносостійкість деталей вихідного вузла і останньої ланки

шнекового вала визначають надійність і довговічність всього преса. Проте ґрунтовні дослідження роботи вихідного вузла відсутні.

### 1.5. Спрацювання деталей олійних пресів

Проблема забезпечення зносостійкості є однією з першочергових при експлуатації олійних пресів. У багатьох випадках вже через декілька тижнів експлуатації виникає необхідність ремонту внаслідок інтенсивного спрацювання окремих деталей. Експлуатаційні спостереження і дані літературних джерел засвідчують, що найбільш інтенсивно спрацьовуються деталі зерного тракту (витки шнеків, зерні ножі і планки, проміжні кільця, вихідні конуси та ін).

На рис. 1.9, 1.10 та додатках Д.1, Д.2, Д.3 наведені приклади спрацьованих деталей.



Рис. 1.9. Виток шнека:

а – новий; б - після 2-ох місяців експлуатації.

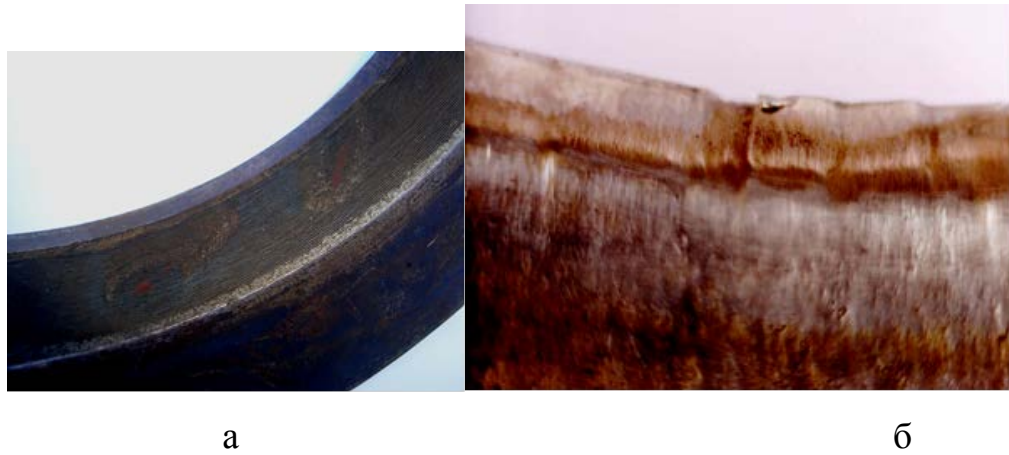


Рис. 1.10. Поверхня вихідного фланця:  
а – нова; б – після 1,5 місяців експлуатації (x 4).

Спрацювання деталей пресів відразу спричинює погіршення роботи преса, що проявляється через зменшення продуктивності, збільшення енергетичних витрат, зменшення ступеня відтиснення олії, зростання олійності макухи та ін. [10,11].

Але незважаючи на важливість проблеми, підвищення довговічності деталей олійних пресів практично знаходиться поза увагою виробників обладнання і науковців. У першу чергу, це відноситься до вивчення процесів поверхневого руйнування в умовах тертя і дії середовищ олійного виробництва, без чого неможливий науково-обґрунтований підхід до вирішення проблеми зносостійкості деталей. Проте навіть відомі дані про характер і механізм зношування деталей пресів при контактній взаємодії із зазначеними середовищами досить суперечливі. Зокрема, в роботах [36, 37] стверджується, що зерні ножі і інші деталі зерної камери олійних пресів зазнають абразивного зношування. У той час Прейс Г.О. [38] заперечує наявність абразивного зношування деталей зерного тракту. Він вважає, що тверді абразивні частинки, які можуть потрапити до складу мезги, будуть занурюватися в продукт і не зможуть створювати абразивну дію на деталі зерної камери. На підтвердження цієї думки він зазначає, що поверхні спрацьованих деталей виглядають, як поліровані, і на них відсутні подряпини і інші сліди абразивного зношування. У той же час, згідно з автором [6] і за



даними спостережень автора (див. рис. 1.10) далеко не всі спрацьовані деталі мають вигляд полірованих.

Слід відмітити, що проф. Прейс Г.О. вперше зробив спробу науково обґрунтовано, з позицій фізико-хімічної механіки контактної взаємодії при терті та зношуванні розглядати процеси спрацювання робочих поверхонь деталей олійних пресів. На його думку, інтенсивне спрацювання цих деталей обумовлене лише проявом встановленого акад. Ребіндером П.А. ефекту адсорбційного пластифікування і адсорбційного зниження міцності поверхневих шарів металів в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР), які входять до складу середовищ олійного виробництва. Він навіть запропонував виділити зношування ряду деталей обладнання харчових виробництв (в тому числі і олійного) в окремий вид зношування – хіміко-механічне зношування. Проте ця пропозиція не знайшла підтримки серед фахівців з тертя та зношування, які вважають запропоноване хіміко-механічне зношування корозійно-механічним.

Зазначені вище суперечності обумовлені, в першу чергу, відсутністю чіткої, науково-обґрунтованої думки про механізм спрацювання металів відповідно до умов експлуатації деталей олійних пресів. Тобто є нагальна потреба створення фізичної моделі спрацювання металів у цих умовах.

Аналогічні зазначеним вище суперечності мають місце при розгляді рекомендацій з вибору матеріалів деталей, методів обробки тощо. Майже відсутні дані про застосування для деталей шнекових пресів технологій поверхневого зміцнення (крім цементації). Проведення досліджень зносостійкості матеріалів у зазначених умовах стримується також відсутністю обґрунтованої і апробованої методики експериментальних досліджень. Відомі лише дослідження з визначення коефіцієнтів тертя мезги по сталі [32, 39, 40, 41].

## **1.6. Висновки**

На підставі аналізу науково-технічної інформації, тривалих експлуатаційних спостережень, узагальнення виробничого досвіду можна зазначити, що незважаючи на багаторічне використання в олійному виробництві пресового устаткування для відтиснення олії з рослинної сировини, проблема поліпшення роботи, вдосконалення конструкції, підвищення надійності і довговічності зерних шнекпресів залишається актуальною.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Багатоплановість поставлених в дисертації завдань, складність явищ, які мають місце при роботі шнекпреса під час вичавлювання олії, обумовлюють необхідність комплексного методичного забезпечення проведення досліджень. Дослідження, спрямовані на підвищення довговічності і ефективності роботи олійних пресів, проводилися за схемою, яка включала:

- вивчення умов роботи, аналіз відмов та характеру спрацювання деталей шнекпресів;
- аналіз напруженого стану, визначення напружень і деформацій оброблюваного матеріалу у вихідному вузлі преса;
- експериментальне дослідження процесів зношування і визначення зносостійкості матеріалів і покриттів при терті в середовищах олійного виробництва;
- розроблення конструктивно-технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи і довговічності олійних пресів, та перевірка їх у виробничих умовах.

Дослідження спрацювання деталей і експериментальних зразків включали: аналіз складу та структури матеріалів; визначення їхніх механічних характеристик; макро- і мікроскопічний аналіз поверхонь тертя і поверхневих шарів. Для вирішення зазначених питань використовували, крім традиційних методів і засобів визначення фізико-механічних характеристик матеріалів, мікроскопічного і мікродюрометричного аналізів (мікроскопи МБС-2, МІМ-7, МІС-11, твердоміри ТК-2, ТП-2, мікротвердомір ПМТ-3 та ін.), сучасні засоби електронноспектроскопії (GEO) та спеціальні експериментальні стенди.

## **2.1. Визначення показників надійності і довговічності елементів зеєрного тракту шнекпресів**

Надійність і довговічність обладнання, вузлів і деталей звичайно досліджується методами експериментальних спостережень, прискорених випробувань, експертних оцінок [42]. З урахуванням того, що найбільш повну інформацію стосовно надійності обладнання надає метод експлуатаційних спостережень, саме він був вибраний для визначення показників надійності і довговічності елементів зеєрного тракту шнекпресів для вичавлювання олії із соняшника. Методика оцінки показників надійності складалася з таких етапів: збирання даних про відмови деталей шнекпресів, встановлення емпіричного закону розподілу відмов, оцінка відповідності емпіричного та теоретичного законів розподілу, визначення параметрів закону відмов і оцінки надійності. Аналіз умов експлуатації олійних пресів засвідчує, що їх надійність визначається критеріями безвідмовності і довговічності .

В якості нормованих показників було вибрано напрацювання на відмови та строк служби [43]. Планування робіт із збирання інформації здійснювалося відповідно до ГОСТ 27.502-83 [44].

При проведенні спостережень відмічали: марку преса, назву підприємства, режим роботи, дату спостережень, середню тривалість роботи преса за добу, час появи відмов, напрацювання преса до відмов, характер і причину відмов.

Для одержання достовірних результатів щодо надійності і довговічності необхідно знати закони розподілу часу безвідмовної роботи преса. Враховуючи, що преси для вичавлювання олії не мають надлишковості, можна вважати, за аналогією з роботою [42], що час безвідмовної роботи пресів підкоряється експоненціальному розподілу.

Достовірність і точність показників надійності визначається значеннями довірчої вірогідності та відносною довірчою похибкою. У

відповідності з [44] приймаємо довірчу вірогідність 0,9, граничну відносну похибку оцінки показників надійності  $\sigma = 0,15$ . Згідно з вимогами [43, 44], об'єм вибірки при дослідженні безвідмовності має бути не менше 15 одиниць, а тривалість спостережень  $t_{\Sigma} > 30T_0$ , де  $T_0$  - нормована величина напрацювання виробу на відмови.

Визначення закону розподілу часу напрацювання на відмови здійснювали у відповідності із рекомендаціями роботи [42] шляхом систематизації даних про час появи відмов і розподілом їх на рівні за часом інтервали. Для кожного інтервалу тривалістю  $\Delta t$  визначали: частоту відмов ( $m_i$ ), частість ( $m_i / \sum m_i$ ), накопичену частість ( $\sum \{m_i / \sum m_i\}$ ), емпіричну густину вірогідності розподілу часу безвідмовної роботи ( $f^*(t_i) = (m_i / \Delta t) * \sum m_i$ ).

Перевірку відповідності розподілу часу безвідмовної роботи, одержаного за результатами спостережень, можливому теоретичному розподілу виконували за критеріями Пірсона [45]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i},$$

де  $r$  - число інтервалів;

$m_i$  - частість відмов, які відповідають  $i$ -му інтервалу;

$n$  - об'єм вибірки;

$p_i$  - вірогідність попадання даних спостережень в  $i$ -ий інтервал.

Якщо в інтервалі очікування число спостережень  $np_i < 10$ , то інтервали об'єднувались так, щоб у новому інтервалі число результатів спостережень було не менше 10.

Визначене значення  $(\chi^*)^2$ , яке відповідає ступеням вільності  $k = r - 1$  і заданій довірчій вірогідності  $\gamma = 0,9$ , порівнювали з табличними значеннями

$\chi^2$ , і при умові  $\chi^2 < (\chi^*)^2$  підтверджується висновок про справедливість гіпотези експоненціального розподілу часу безвідмовної роботи.

Інтенсивність відмов при експоненціальному розподілі:

$$\lambda = \frac{1}{t_{cp}},$$

де  $t_{cp}$  - середнє значення напрацювання на відмови, яке визначали за виразом:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k t_i}{\sum_{i=1}^k m_i}$$

Аналогічно визначали закони розподілу напрацювання на відмови та показників зносостійкості матеріалів.

При дослідженні статистичних зв'язків між показниками працездатності використовували методи кореляційного аналізу.

Коефіцієнти парної кореляції підраховали за [46]:

$$r_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N \sqrt{\left(\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2\right) \left(\frac{\sum y_i^2}{N} - \bar{y}^2\right)}}, \quad (2.1)$$

де  $x, y$  – параметри;

$\bar{x}, \bar{y}$  - середнє арифметичне значення параметрів;

$N$  - число дослідів.

Для встановлення статистичної значущості коефіцієнтів кореляції будували критичну ділянку виду [47]:

$$|r| > t_q \cdot \sigma_r,$$

де  $t_q$  - квантиль розподілу величини  $\frac{x_{max} - \bar{x}}{\sigma_r}$  для  $q$  %-го рівня значущості;

$\sigma_r$  - середнє арифметичне відхилення емпіричного коефіцієнта кореляції  $r$  від теоретичного [47]:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}$$

Рівень значущості приймали  $q = 0,01$ .

У випадку статистично значущих кореляційних зв'язків на основі лінійної моделі одержували рівняння регресії  $y = b_0 + b_1 x$ , коефіцієнти якого визначаються за формулами [46].

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}; \quad (2.2)$$

$$b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}. \quad (2.3)$$

Розрахунок коефіцієнтів кореляції, коефіцієнтів рівняння регресії та планування експериментів здійснювали за допомогою розробленої програми "Statistica 6" (дод. И).

## 2.2. Визначення спрацювання деталей олійних пресів

Метою визначення спрацювання деталей олійних пресів було встановлення закономірностей зношування, а також втрати працездатності пресів. Зношування таких деталей зерного тракту, як зерні ножі і пластини, проміжні втулки, вихідні конуси, оцінювали за величиною лінійного спрацювання. Враховуючи, що працездатність преса обумовлена, в першу чергу, зношуванням крайків витків шнекпресів, особлива увага надавалась визначенню затуплення цих крайків.

Численні спостереження за роботою олійних пресів автора та інших дослідників [6, 11, 12] засвідчують, що затуплюються, в першу чергу, передні крайки витків шнеків. Навіть при незначному заокругленні крайків падає виробність преса і збільшуються енерговитрати. Величину затуплення крайків витків оцінювали за радіусом заокруглення, який визначали методом відбитків на свинцевих зразках за допомогою мікроскопа БМІ-1.

### **2.3. Методика дослідження зносостійкості матеріалів в середовищах олійного виробництва**

Дослідження зносостійкості матеріалів в умовах, наближених до роботи деталей шнекпресів, здійснювали на спеціальному експериментальному стенді торцевого тертя, змонтованому на базі вертикально-свердлильного верстата 2A135 (рис. 2.1, дод. Е).



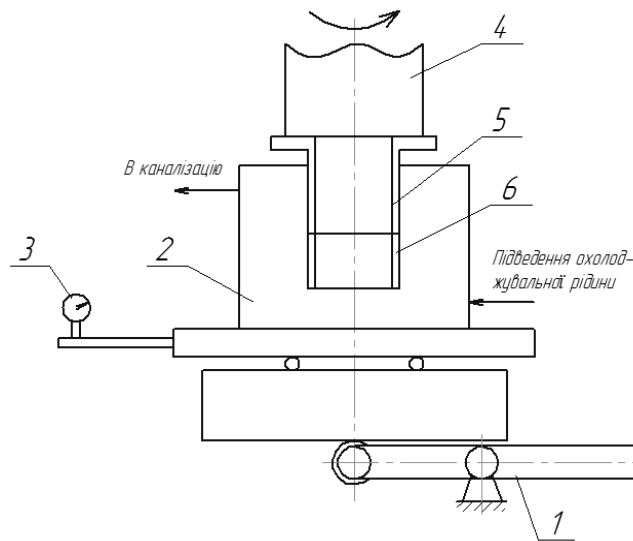


Рис. 2.1. Принципова схема дослідної установки торцевого тертя:

1 - важіль; 2 - камера охолодження; 3 - динамометр ДОСМ-3-02; 4 - шпиндель;  
5 - досліджуваний зразок; 6 - контртіло.

Через важіль 1 (рис. 2.1) забезпечується осьове навантаження на вузол тертя із досліджуваного металевого зразка 5 і контртіла 6 з робочого середовища. Зразок 5 одержує обертання від шпинделя 4 верстата.

Як контртіло 6 використовували пресовані втулки з лушпиння, макухи і 90% макухи з 10% мятки. Досліджувані зразки 5 виготовляли із сталей 45 (HRC20), 40X (HRC45), У8 (HRC35). Величину моменту тертя фіксували переносним зразковим механічним динамометром стиску 3 типу ДОСМ-3-2, лінійне спрацювання визначали за допомогою індикатора годинникового типу з ціною поділки 0,001мм. Навантаження  $P$  на досліджувані зразки здійснювались через важільну систему 1. Для термостатування температури в зоні тертя використовувалась водяна сорочка 2.

За результатами досліджень були отримані кінетичні залежності моментів тертя, а через них і коефіцієнти тертя для вибраних сталей і контртіл (розділ 4).

На рис. 2.2 показано більш детальну схему вузла тертя.

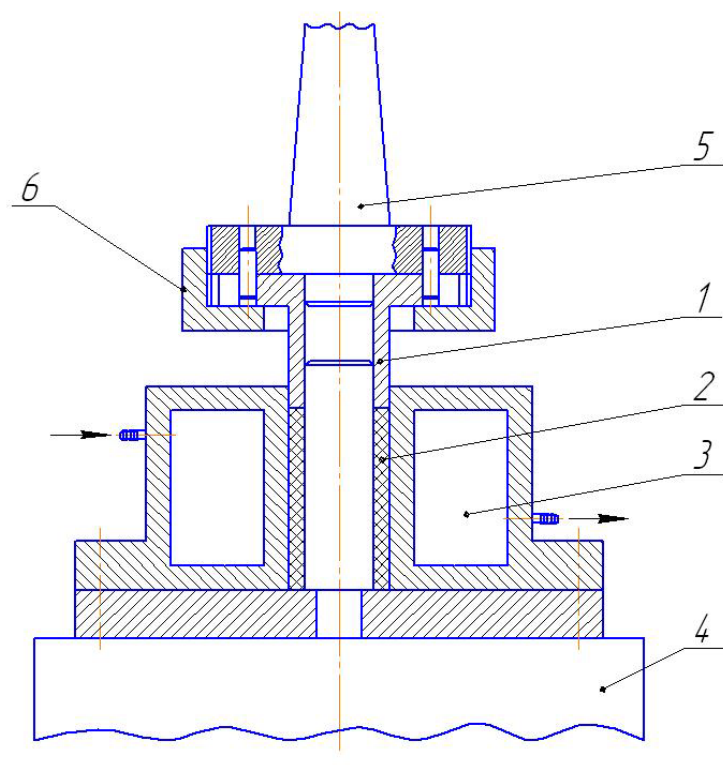


Рис. 2.2. Схема вузла тертя експериментально стенду:

1- досліджуваний зразок; 2 - контртіло; 3 - корпус з охолоджувальною камерою; 4 – опорна плита; 5 – шпindelна оправка; 6 – притискна гайка.

Досліджувальний зразок 1 (рис. 2.2) за допомогою притискної гайки 6 кріпиться до оправки 5, яка встановлена в шпинделі верстата. Контртіло 2 з робочого середовища (мезги, макухи, лузги) запресовується в посадочне місце корпуса 3 з охолоджувальною камерою. Корпус 3 закріплений на опорній плиті 4 співвісно із шпинделем верстата. Опорна плита 4 вільно обертається навколо вертикальної осі, що забезпечує заміри моменту тертя за допомогою динамометра 4 (рис. 2.1).

## 2.4. Методика електрохімічних досліджень

При корозії в статичних умовах утворені на поверхні металів шари продуктів корозії екранують поверхню металевого зразка, що спричинює значне підвищення електроопору на границі метал-електроліт. Через це відсутня відповідність між показниками корозії, визначеними електрохімічними і гравіметричними методами. При терті утворені на

поверхні металів продукти корозії руйнуються і видаляються з поверхні зразка. Тому при визначенні інтенсивності корозійних процесів при терті в слабокислих і нейтральних середовищах можливе використання електрохімічних методів [48, 49, 50].

Для вивчення кінетики електродних процесів при терті в робочому середовищі 3 (рис. 2.3), яке складалося з мезги, використовували спеціальну робочу камеру 1, яка встановлена на нижньому поворотному шпинделі установки (на рис. 2.3 не показано). Робоча камера одночасно виконувала роль електрохімічної комірки – триелектродної системи, в якій робочим елементом (РЕ) є поверхня тертя досліджуваного металевого зразка, допоміжним (ДЕ) – кільцевий платиновий електрод 4, який утворює з РЕ ланцюг поляризації. Неробочі поверхні зразка 2 ізолювано епоксидною смолою. Враховуючи, що всі деталі робочої камери, які контактують з робочим середовищем, виконано з оргскла, максимальне питоме навантаження на поверхні тертя при електрохімічних дослідженнях не перевищувало 0,5 МПа.

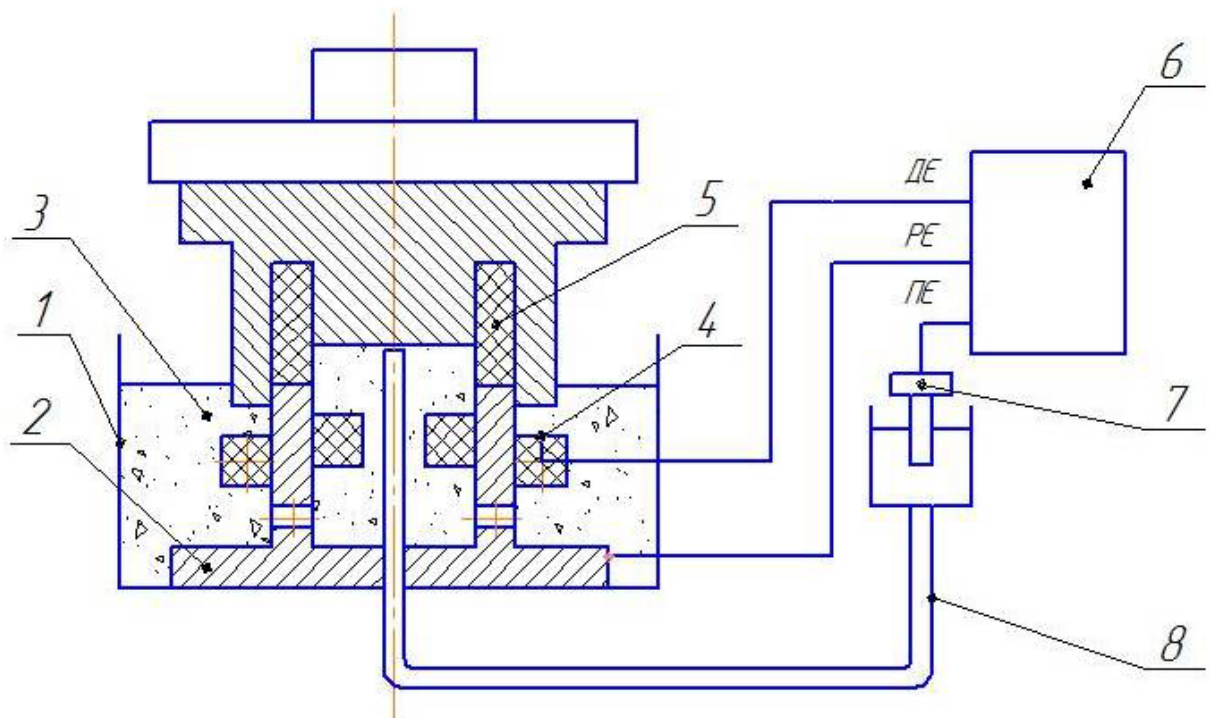


Рис. 2.3. Схема вузла тертя для електрохімічних досліджень:

1 - робоча камера; 2- металевий зразок ; 3- робоче середовище; 4- кільцевий платиновий електрод; 5- пресована макуха; 6- потенціостат "П-5827М"; 7- хлорсрібний порівнювальний електрод; 8- полімерна трубка.

Кінетику електродних процесів при терті металевого зразка 2 по зразку з пресованої макухи 5 досліджували потенціодинамічним методом [48] з використанням потенціостата 6 "П-5827М". Електродний потенціал вимірювали відносно хлорсрібного порівнювального електрода (ПЕ) 7 типу "ЕВЛ-1-М1" в насиченому розчині хлориду калію, який підводили в зону тертя через канал 8 з полімерної трубки. Перевагою хлорсрібного електрода є те, що він має малий дифузійний потенціал на "межі насичений розчин хлориду калію – робоче середовище". Температуру робочого середовища в зоні тертя визначали за допомогою термopари (на схемі не показано).

У роботі швидкість корозії оцінювали за струмом корозії, який визначали у відповідності з [51] екстраполяцією тафелевських ділянок поляризаційних кривих. Катодні та анодні поляризаційні криві знімали за допомогою описаної вище установки (рис. 2.3).

Струми поляризації на підставі рівнянь Тафеля визначаються як:

$$i_{na} = e^{\frac{i_{кор}}{\Delta\phi/\beta_k}} \left( e^{\frac{\Delta\phi(\beta_a + \beta_k)}{\beta_a \beta_k}} - 1 \right), \quad (2.4)$$

$$i_{нк} = e^{\frac{i_{кор}}{\Delta\phi/\beta_a}} \left( e^{\frac{\Delta\phi(\beta_a + \beta_k)}{\beta_a \beta_k}} - 1 \right), \quad (2.5)$$

де  $i_{na}$  та  $i_{нк}$  - струми анодної та катодної поляризації, відповідно;

$i_{кор}$  - струм корозії;

$\Delta\phi$  - зсув потенціалу при струмі поляризації;

$\beta_a$  та  $\beta_k$  - коефіцієнти Тафеля.

Рівняння 2.4 та 2.5 є, відповідно, рівняннями анодної і катодної частин поляризаційної кривої. При значному зсуві потенціалу вирази 2.4 та 2.5 приводяться до виду:

$$\Delta\varphi = \beta_a \cdot (\ln i_{na} - \ln i_{кор}), \quad (2.6)$$

$$\Delta\varphi = \beta_k \cdot (\ln i_{нк} - \ln i_{кор}). \quad (2.7)$$

На підставі (2.6) та (2.7) при стаціонарному потенціалі  $\Delta\varphi = 0$  буде справедливо:

$$i_{na} = i_{ка} = i_k$$

Значення струмів корозії  $i_k$  визначаються з поляризаційних кривих в напівлогарифмічних координатах при екстраполяції лінійних тафелевських ділянок до точок перетину А і В (рис. 2.4).

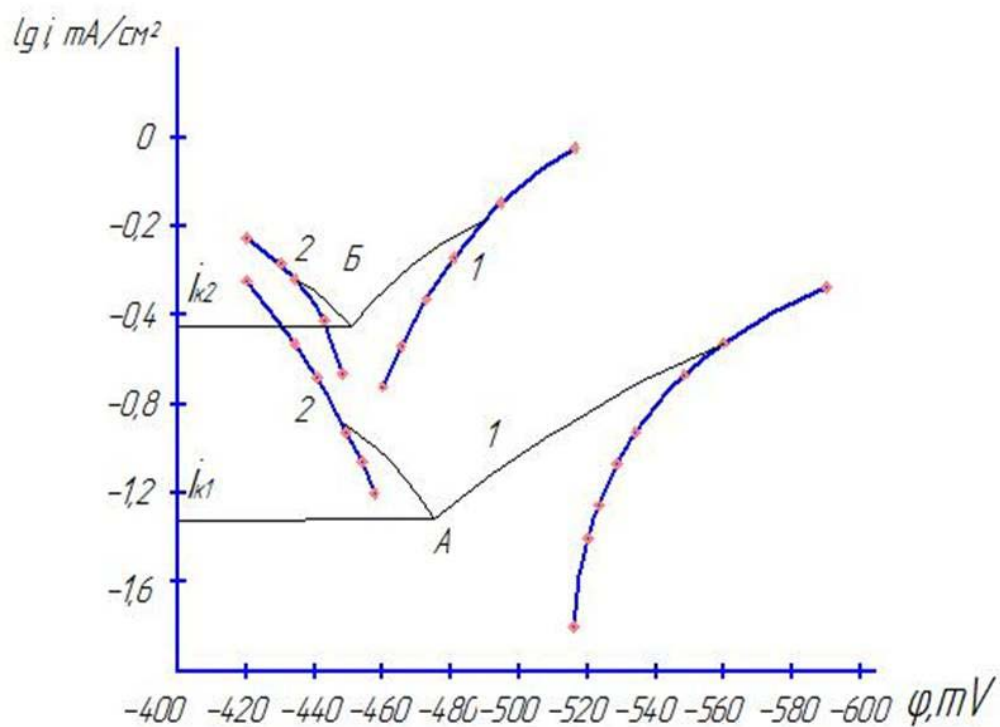


Рис. 2.4. Визначення струмів корозії  $i_{k1}$  (в статиці) і  $i_{k2}$  (при терті) методом екстраполяції анодних (1.1) і катодних (2.2) поляризаційних кривих.

## 2.5. Технологія одержання зносостійких покриттів

Аналіз літературних джерел [52, 53] і пошукові дослідження засвідчують, що найбільш перспективними технологіями поверхневого зміцнення для деталей олійних пресів можуть бути термодифузійна обробка (цементація, борування, хромування та іонне азотування) [54, 55].

Проте, завдячуючи простоті технології та обладнання, на особливу увагу заслуговує термодифузійне насичення в порошкових сумішах [56].

Цементацію витків шнеків, вихідних конусів та проміжних втулок здійснювали в газовій суміші на основі природного газу при температурі 1203 К протягом 6 годин з наступним гартуванням та низьким відпуском.

Термодифузійне хромування та борування досліджуваних зразків та деталей пресів здійснювали в твердій засипці (в порошках) з герметизацією карбідом силіцію. Склад порошкових сумішей і режими обробки аналогічні наведеним в роботах [53, 56] (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

### Склад порошкових сумішей і режими термодифузійної обробки

Вид обробки	Склад сумішей, %	Режими обробки	
		$T$ , К	$\tau$ , год
Борування	$80(50B_4C+50Al_2O_3)+20Na_3AlF_6$	1200	6
Хромування	$50FeCr+48Al_2O_3+2NH_4Cl$	1273	5

Іонне азотування здійснювали на установці у Хмельницькому технологічному університеті за методикою, наведеною в роботі [57].

## **2.6. Програмне забезпечення дослідження напружено-деформованого стану дисперсного середовища у вихідному вузлі шнекпреса**

Аналітичне дослідження напружено-деформованого стану дисперсного матеріалу, яким є такі середовища олійного виробництва, як мезга та макуха, було виконано сітковими методами (див. розд. 5). Математичне забезпечення при аналізі числової моделі протиснення і деформування цих середовищ у вихідному вузлі шнекпреса було здійснено за допомогою програмної системи PLASTIC-002 [58].

Ця програмна система дозволяє:

- формувати реальні двовимірні об'єкти різної конфігурації;
- побудувати потужну скінчено-елементну модель з десятками тисяч вузлів;
- вводити в графічному відтворенні початкові та граничні умови для вирішення сформульованих завдань методом скінчених елементів;
- моделювати процеси пружнов'язкопластичного деформування дисперсних матеріалів;
- одержати графічне і числове представлення результатів рішення.

Для виконання зазначених задач до інструментальної побудови системи PLASTIC-002 входять такі структурні підсистеми:

- створення геометричної моделі вихідного вузла;
- формування розрахункової схеми вузла;
- сітковий генератор;
- задання вхідних даних (характеристик матеріалів), початкових і крайових умов;
- функціональна система моделювання процесу пружнов'язкопластичного деформування дисперсного середовища;
- візуалізація результатів обчислювальних досліджень.

Геометричне моделювання включає опис геометричних параметрів вихідного вузла шнекпреса, а також граничні умови числової моделі. Сітковий генератор забезпечує створення скінченно-елементної моделі. Візуалізація результатів обчислення забезпечує відтворення досліджуваних функцій ( $\sigma_r$ ,  $\sigma_s$ ,  $U_s$ ,  $p_0$  та ін.) в об'ємі вихідного вузла у вигляді ізосмуг.

Функціонування програмної системи "PLASTIC-002" забезпечується наявністю пакета підпрограм, до яких належать:

- керуюча підпрограма;
- підпрограма контрольного друку вхідних даних;
- підпрограма визначення структури та розмірів масивів для збереження матриць систем рівнянь МКЕ;
- підпрограма формування систем рівнянь МКЕ з урахуванням граничних та крайових умов;
- підпрограми рішень систем лінійних рівнянь;
- підпрограми визначення напружень та деформацій.



## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СПРАЦЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ОЛІЙНИХ ПРЕСІВ

#### 3.1. Аналіз відмов і оцінка спрацювання деталей пресів

Як уже відмічалось (розділ 1.5), в процесі експлуатації деталі олійних пресів зазнають інтенсивного спрацювання. Загальновідомо, що спрацювання деталей зерного тракту приводить до втрати працездатності шнекового преса. Причому, спрацювання кожної з деталей обумовлює той чи інший специфічний фактор втрати працездатності. Так, наприклад, спрацювання зерних ножів приводить до збільшення шару налипання мезги на витки шнека і проміжні кільця, що викликає зайві втрати на тертя. Водночас, при цьому збільшується ймовірність повертання цього шару разом із шнековим валом. Відтак зменшується аксіальна складова швидкості руху продукту в міжвитковому просторі шнека, а, відповідно, і виробність преса. При зменшенні внаслідок зношування діаметра проміжних кілець збільшується кільцевий зазор між секціями шнека і зростає перетікання продукту в зворотному напрямі, що спричинює падіння ступеня відтискання і виробності преса.

Зношування витків шнека (максимальне на периферії), як уже було відмічено, відбувається при перетіканні мезги через нитку витка в зворотньому напрямі. Спрацювання витків шнека здебільшого починається з утворення фаски (з подальшим заокругленням) на крайці витків (за ходом мезги). Тобто зазор між шнеком і зером з циліндричного стає конусоподібним (клиноподібним в осьовому перерізі). Мезга, яка потрапляє в цей клин, стискається в ньому, що обумовлює збільшення радіального тиску на шнек і зеро. У результаті збільшуються сили тертя і різко зростають енерговитрати, що чітко відслідковується за показниками електровимірювальних приладів (рис. 3.1). При подальшій експлуатації преса з одночасним збільшенням заокруглення крайків зменшується діаметр

витків шнека. При цьому, як і при спрацюванні планок зеєра, внаслідок збільшення кільцевого зазору між зеєром і шнеком зменшується виробність преса і ступінь відтискання.

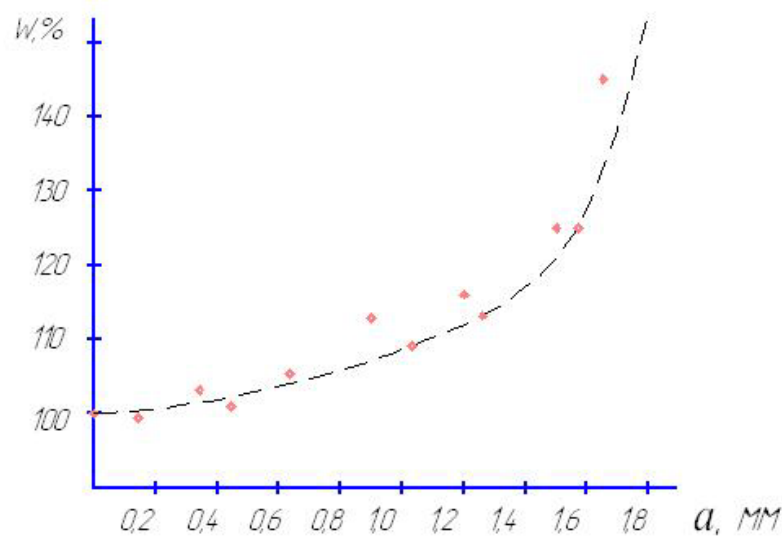


Рис. 3.1. Залежність відносного збільшення енерговитрат  $W$  від ширини фаски на крайці останнього витка  $a^*$ .

Спрацювання регульовального конуса відразу позначається на зменшенні тиску в передконусному просторі, і як наслідок, підвищується олійність макухи. Тобто збільшуються втрати олії з макухою.

Враховуючи неоднаковий вплив спрацювання різних деталей зеєрного тракту на показники роботи пресів, нами на підприємствах Полтавської та інших областей протягом тривалого часу проводились спостереження за експлуатацією шнекпресів. Вивчались умови роботи пресів, визначались моменти та причини відмов. При зупинках на ремонт відбирались спрацьовані деталі, визначались їх механічні характеристики та здійснювались дослідження поверхонь тертя. В якості показників надійності, як і в роботі [42], були вибрані напрацювання на відмову  $Q$  при поступових відмовах деталей зеєрного тракту (в тисячах тонн насіння) та інтенсивність відмов  $\lambda$  і строк служби  $T_{сл}$  (в год.) при інших відмовах.

Примітка. \*) Ширину фаски визначали методом відбитків

Аналіз відмов олійних пресів (табл. 3.1) показав, що зупинки пресів на ремонт обумовлені в основному поступовими відмовами через спрацювання деталей зєрного тракту. При цьому напрацювання на відмову через спрацювання для цих деталей підкоряється нормальному розподілу (рис. 3.2).

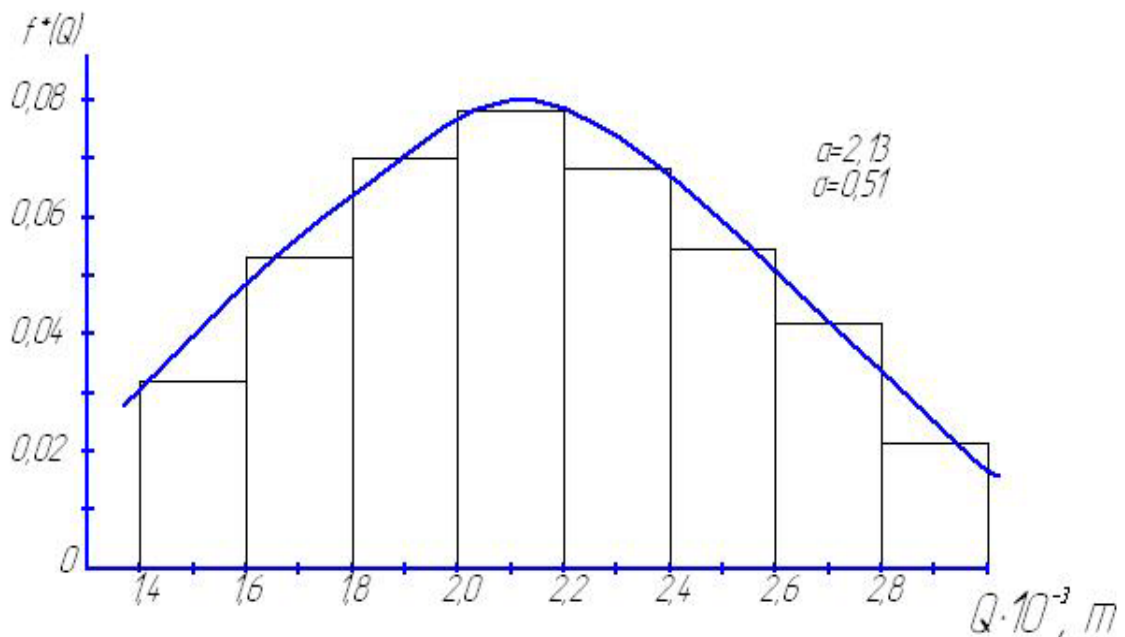


Рис. 3.2. Гістограма розподілу вірогідності  $f^*(Q)$  напрацювання до відмови  $Q$  через зношування вихідного витка шнека.

Для оцінки спрацювання деталей зєрного тракту були вибрані такі величини:

- для зєрних планок – лінійне спрацювання (зменшення товщини планок);
- для зєрних ножів – затуплення крайків;
- для проміжних кілець і регульовального конуса – зменшення діаметра;
- для витків шнека – заокруглення крайків по нитці шнека (ширина фаски).

Як показали результати кореляційного аналізу, між цими показниками і напрацюванням на відмови відмічається досить тісний кореляційний зв'язок.

Найбільш повна кореляція спостерігається між напрацюванням і радіусом заокруглення крайків зерних ножів перед останнім витком (рис. 3.3).

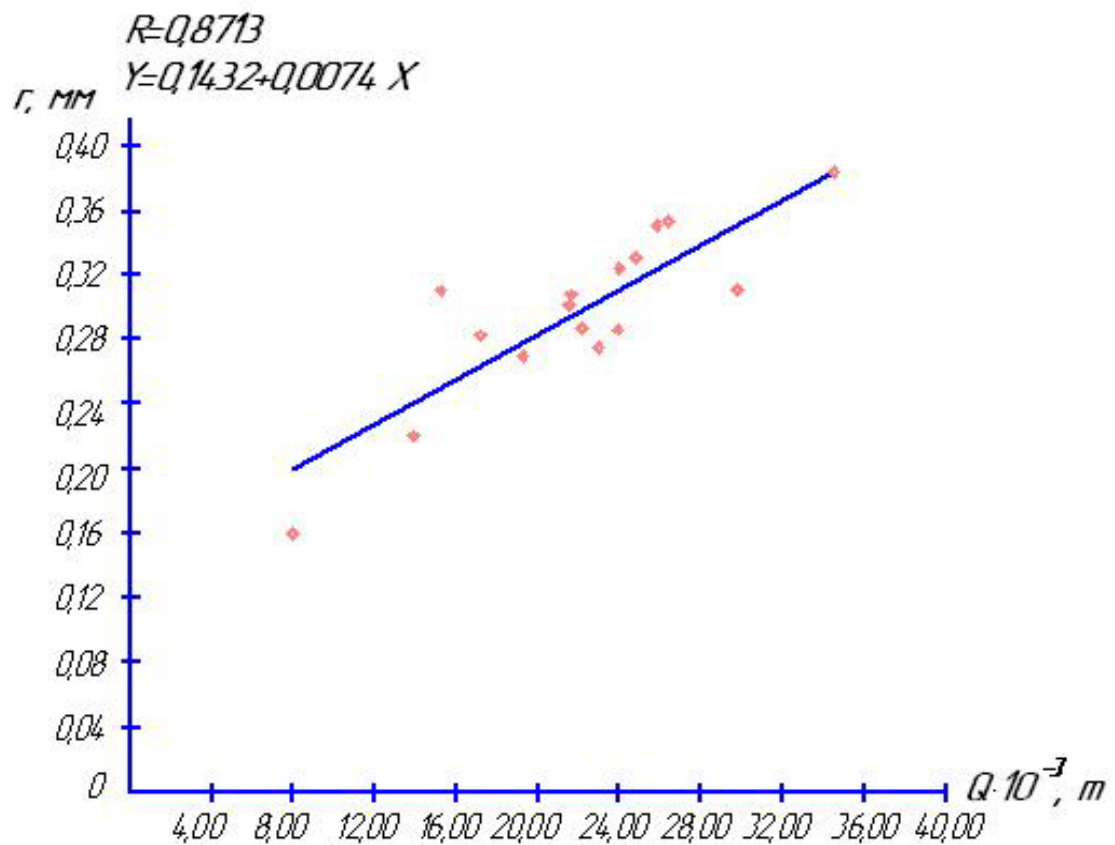


Рис. 3.3. Кореляція між напрацюванням  $Q$  і радіусом заокруглення крайків зерних ножів  $r$  (критичне значення коефіцієнта кореляції при  $q = 0,01, R_{кр} = 0,164$ ).

Таблиця 3.1.

## Характеристика відмов пресів

Вузли і деталі	Причини втрати працездатності	Характер відмов	Причини пошкоджень	Відносна кількість відмов, %	Показники надійності $Q, \lambda, T_{сл}$
Планки зеєра	Зменшення товщини і затуплення крайків	Поступовий	Зношування	26,9	$Q = 2,5$
Планки зеєра	Поява тріщин	Змішаний	Деформація і руйнування, дефекти термообробки	0,18	$\lambda = 0,0006$
Ніж зеєрний	Затуплення крайків і спрацювання	Поступовий	Зношування	19,00	$Q = 1,8$
Виток шнека вихідний	Спрацювання і заокруглення нитки	Поступовий	Зношування	28,10	$Q = 2,3$
Виток шнека живильний	Спрацювання і заокруглення нитки	Поступовий	Зношування	2,20	$Q = 3,8$
Кільце проміжне	Зменшення діаметра через спрацювання	Поступовий	Зношування	12,00	$Q = 3,5$
Фланець вихідного вузла	Спрацювання поверхні вихідного отвору	Поступовий	Зношування	2,80	$Q = 2,0$
Конус регулювальний	Спрацювання конічної поверхні	Поступовий	Зношування	6,64	$Q = 2,5$
Конус регулювальний	Руйнування	Раптовий	Дефекти матеріалу і термообробки	0,27	$\lambda = 0,0008$
Втулки регулювального пристрою	Спрацювання різі	Поступовий	Зношування	0,05	$T_{сл} = 6600$
Інші вузли	Руйнування	Змішаний	Старіння, деформація, руйнування	1,86	$T_{сл} = 3350$

Проте застосування в якості критерію спрацювання радіуса заокруглення зеєрних ножів не зовсім коректне, бо при спрацюванні ножів, крім заокруглення крайків, відбувається лінійне спрацювання по ширині ножів. Більш адекватною характеристикою, на думку автора, можуть бути показники зношування витків шнека, а саме ширина фаски по нитці витка. Адже саме від стану крайків витків в значній мірі залежить, як було зазначено вище (розділ 1), ефективність процесу пресування. До того ж між напрацюванням на відмови і шириною фаски на крайці витка також встановлена достатньо повна кореляція (рис. 3.4).

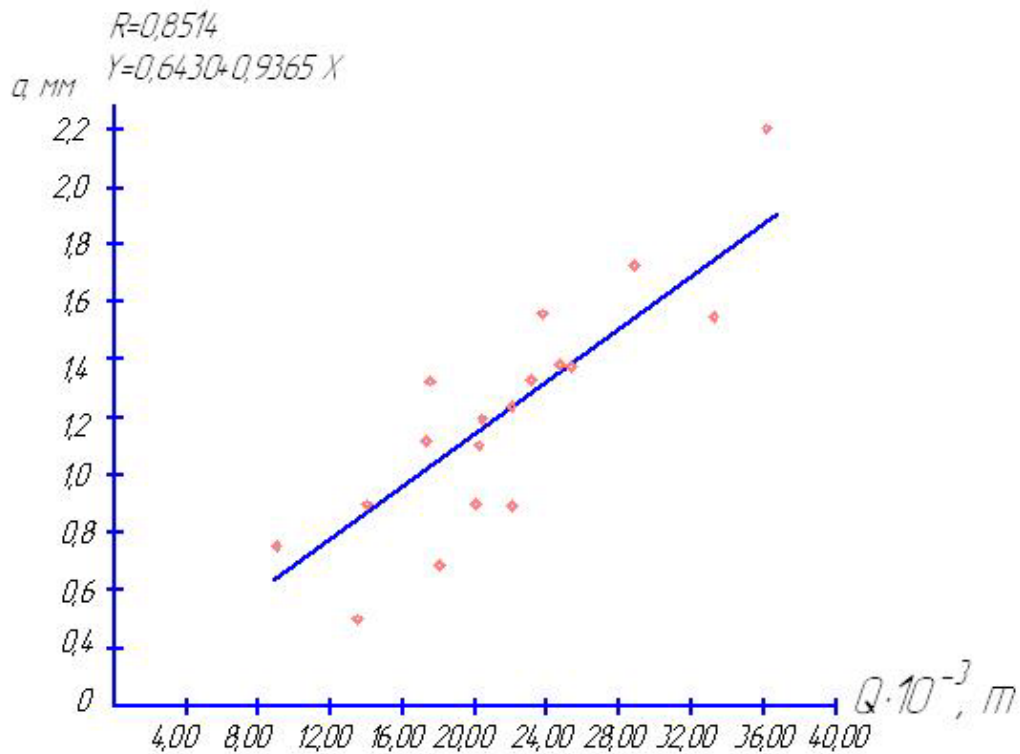


Рис. 3.4. Кореляція між напрацюванням  $Q$  і шириною фаски на крайці останнього витка  $a$  (критичне значення коефіцієнта кореляції при  $q = 0,01, R_{кр} = 0,188$ ).

### 3.2. Характер спрацювання деталей пресів

Як уже було відмічено (розділ 1), відносно характеру і виду зношування деталей пресів, як і відносно допустимої межі спрацювання, немає загальноприйнятої думки. Наведені в роботі [38] величини спрацювання деталей (лінійне спрацювання ножів 6...8 мм, витків шнеків – до 5 мм) аж ніяк не можна вважати за припустимі.

Експлуатаційні спостереження засвідчують, що спрацювання деталей по довжині шнека неоднакове і зростає при наближенні до вихідного вузла. Нами проведені заміри спрацювання крайків витків шнека преса ПМ-450 після перероблення 3000 т насіння соняшника. Результати замірів показали, що спрацювання витків різко інтенсифікується, починаючи з п'ятого витка (рис. 3.5).

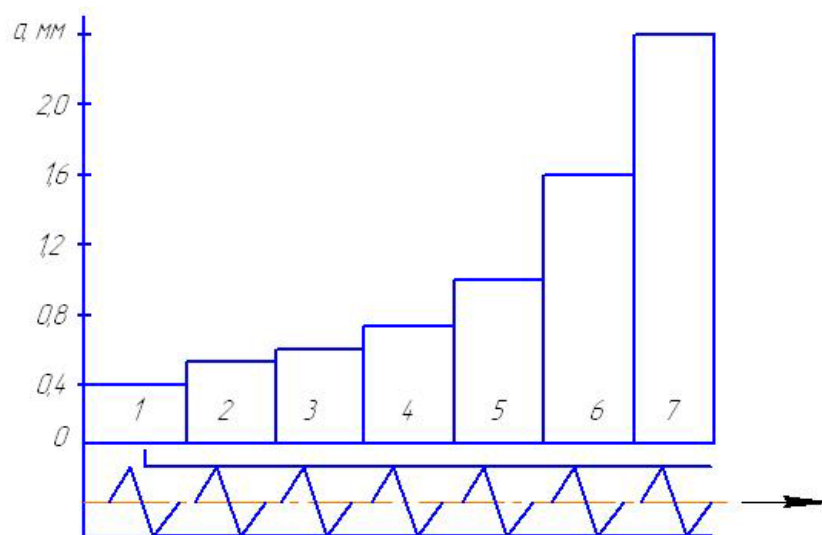


Рис. 3.5. Спрацювання витків шнекпреса (ширина фаски на крайці витків, *a*) після перероблення 3000 т насіння соняшника.



Аналогічні закономірності спрацювання (збільшення інтенсивності в напрямі до виходу макухи із шнека) встановлені і для інших деталей зерного тракту (планок і ножів зеєра, проміжних кілець).

Одержані результати цілком узгоджуються із розподілом тиску по довжині шнека (рис. 1.8). Адже на останньому витку діють найбільші стискаючі зусилля на мезгу, тому саме на ньому слід очікувати найінтенсивніше спрацювання витків. Дійсно, як показали подальші дослідження (розділ 4), із збільшенням питомого навантаження зростає інтенсивність зношування сталей при терті по макусі і лузгі.

Відомо [36, 58, 59], що в залежності від умов тертя, виду зношування на поверхнях тертя утворюється свій, оптимальний для кожного конкретного випадку мікрорельєф. Тому поділяють [60] шорсткість поверхонь деталей на технологічну, яку деталі мають після виготовлення, і експлуатаційну (робочу), яка утворюється в процесі експлуатації. На роль шорсткості при спрацюванні деталей олійних пресів було звернуто увагу ще на початку досліджень довговічності цих деталей [37, 38]. Проте, як відмічалось вище [розділ 1], результати досліджень шорсткості у зазначених авторів дещо відрізняються. До того ж, як показали проведені дослідження (рис. 3.6), експлуатаційна шорсткість деталей зерного тракту залежить від місця розташування деталей по довжині преса. Якщо шорсткість поверхонь витків шнека, зерних планок, ножів, проміжних втулок на початку відтискання після припрацювання і тривалої експлуатації знаходиться в межах  $R_a$  0,3...0,6 мкм, то робочі поверхні останнього витка, вихідного фланця і конуса мають показники шорсткості  $R_a$  1,2...5 мкм. Так само відрізняється і мікротопографія робочих поверхонь.

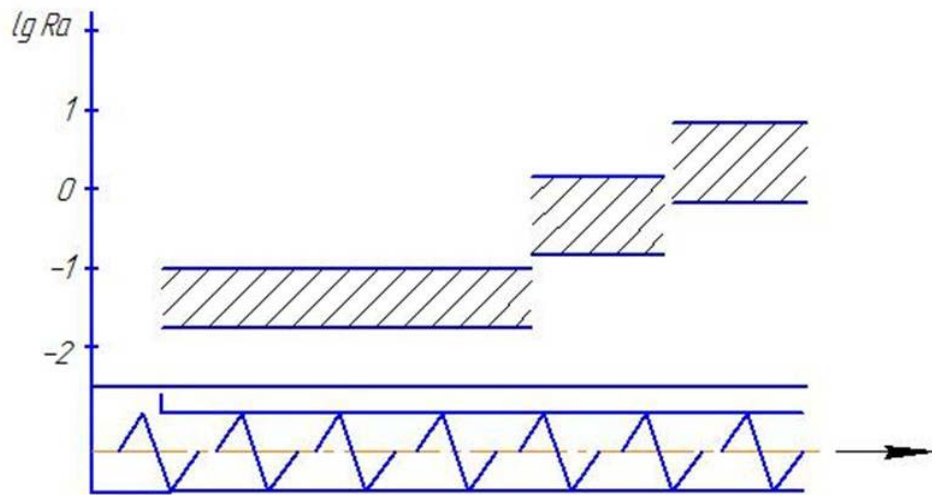


Рис.3.6. Розподіл шорсткості поверхонь деталей зерного тракту по довжині преса.

Спрацьовані поверхні перших витків шнека близькі до полірованих поверхонь, на них майже відсутні подряпини і сліди попередньої обробки. На поверхнях тертя мікроскопічним аналізом встановлена наявність темних плівок вторинних структур, слідів пластичної деформації та окремі місця руйнування вторинних структур і їх видалення з поверхні (рис. 3.7). Крім того, на деяких ділянках поверхонь, особливо на перших витках шнека, видно сліди корозійних уражень (рис. 3.8).

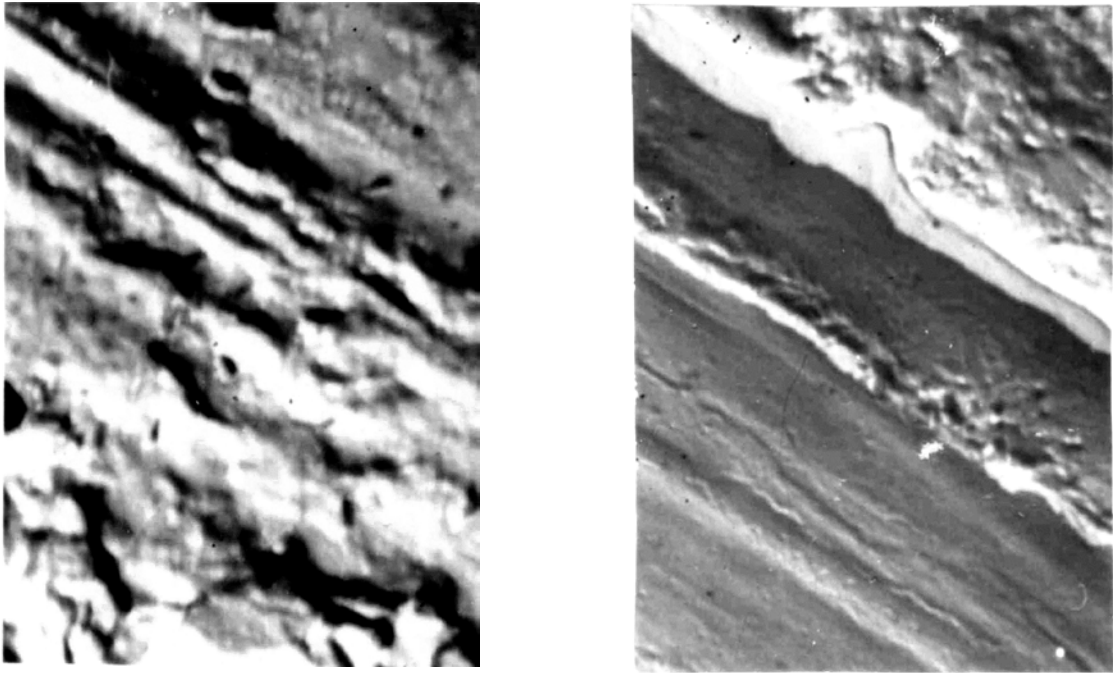


Рис. 3.7. Електронні мікрофотографії ділянок спрацьованої поверхні зерного ножа (x 4600).

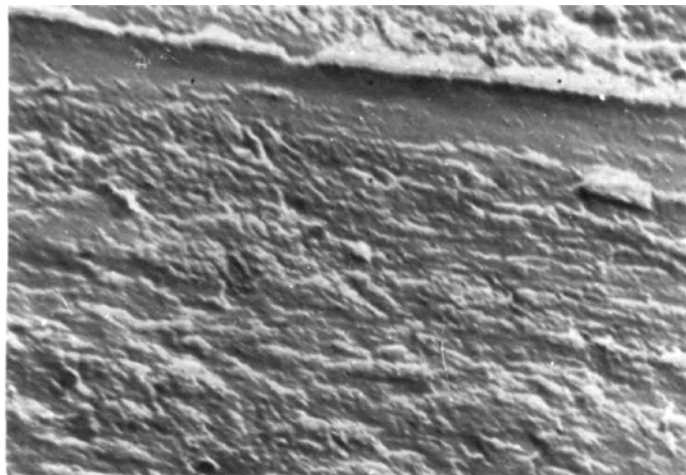


Рис. 3.8. Корозійне ураження поверхні зерного ножа (x 4600).

У той же час на робочих поверхнях деталей вихідної частини преса майже відсутні ділянки з плівками вторинних структур. Зате з'являються подряпини, риси по напрямку просування продукту (рис. 1.10)

Встановлені особливості мікротопографії поверхонь спрацьованих деталей свідчать про різний механізм і вид зношування деталей вхідної і вихідної частини пресів. Одержані результати дали можливість запропонувати різні фізичні моделі спрацювання цих деталей.

### 3.3. Фізична модель спрацювання деталей вхідної частини преса

При розробленні будь-якої фізичної моделі поверхневого руйнування слід виходити, перш за все, з умов роботи пар тертя.

Парою тертя стосовно до деталей зерного тракту є пара, в якій тілом №1 є поверхня металевих деталей, а тілом №2 – дисперсне середовище (мезга). На початковій стадії відтиснення олії (на перших витках шнека) мезга оптимальної вологості, яка має досить значну кількість порожнин між твердими частками (зернами), піддається дії відносно невеликого тиску (не більше 5,0 МПа) [11]. При цьому внаслідок скорочення зовнішньої поверхні твердих часток відбувається інтенсивне відділення олії, яка є третім тілом. Тобто зазначена пара тертя може працювати в умовах граничного і навіть рідинного тертя. Але враховуючи відносно невеликі швидкості ковзання і структуру дисперсного середовища, тертя деталей зерного тракту об продукт, швидше за все, буде граничним.

У цих умовах особливої ваги набувають поверхневі явища на межі твердого тіла і рідини. Відомо [61, 62], що через надлишок енергії поверхневих атомів металу при контакті з рідиною відбувається адсорбція атомів рідини на поверхні твердого тіла. Найбільш схильні до адсорбції поверхнево-активні речовини, до яких відноситься більшість складових рослинної олії. Полярні молекули цих речовин прикріплюються до поверхні металу строго визначеним порядком (своєю карбоксильною групою), утворюючи адсорбовані шари різної структури (рис. 3.9).

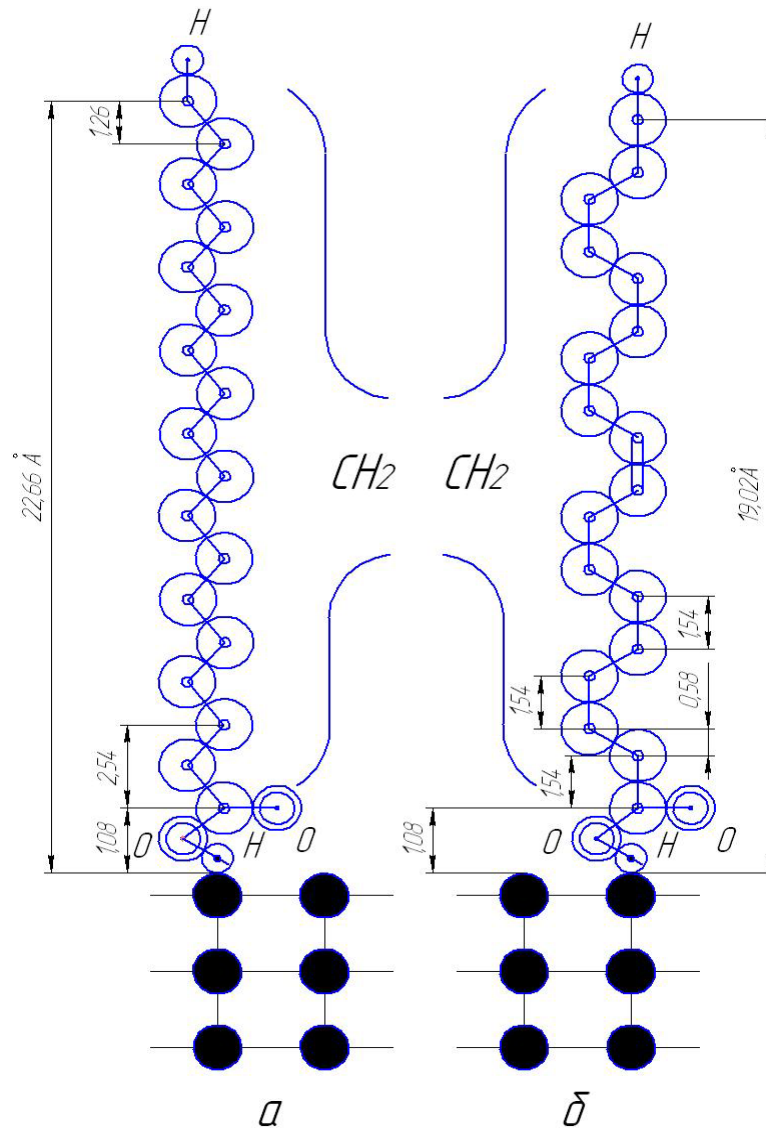


Рис. 3.9. Схема розташування молекул насиченої стеаринової (а) і ненасиченої – олеїнової (б) кислот при адсорбції на поверхні металу [61].

До складу мезги разом із насінням потрапляє незначна частка сторонніх твердих частинок. При відносно невеликій щільності мезги і тискові в зоні пресування перших витків, як зазначає проф. Прейс Г.О. [5], ті частинки відносно легко затоплюються в продукті і не можуть здійснювати мікрорізання і мікродряпання. Тобто зношування поверхневих шарів деталей дійсно може відбуватись лише через руйнування вторинних структур, які утворюються внаслідок механікохімічних процесів на поверхнях тертя [63]. Цілком справедливо в роботах Прейса Г.О. цей процес зношування пояснюється з позицій фізико-хімічної механіки і вчення Ребіндера П.А. про

адсорбційне зниження міцності (ефект Ребіндера). У відповідності із цим вченням [64], поверхнево-активні речовини (ПАР) мають великий вплив на характер і інтенсивність процесів тертя і поверхневого руйнування. Цей вплив обумовлений зменшенням опору твердих тіл деформуванню і руйнуванню при адсорбції ПАР.

У відповідності із сучасними уявленнями пластичне деформування є наслідком зародження і руху дислокацій в площинах ковзання і виходу їх на поверхні кристалів [65]. При дії зовнішніх тангенціальних напружень, які мають місце при терті деталей зерного тракту по мезгі, дислокації, переміщуючись, наближаються до поверхні. Для виходу на поверхню вони повинні подолати поверхневий бар'єр, який суттєво знижується при наявності на поверхні твердого тіла адсорбційних шарів ПАР, про які мова йшла вище. Тобто зменшення поверхневого енергетичного бар'єру обумовлює пластифікування поверхневого шару твердого тіла.

До того ж при терті в присутності ПАР дислокації розташовані в більш тонких поверхневих шарах, ніж при сухому терті чи в інактивному середовищі [66]. Саме в полегшенні виходу дислокацій на поверхню через зниження поверхневої енергії твердого тіла полягає так званий зовнішній адсорбційний ефект Ребіндера. Молекули жирних кислот та інших органічних сполук, які входять до складу олії, мають відносно великі розміри, не можуть проникнути в малі мікротріщини і тому спричиняють лише цей (зовнішній) ефект Ребіндера. Під дією ПАР напружений поверхневий шар деталей зерного тракту пластифікується, досить легко диспергується і частинки його відносяться мезгою.

Крім того жирні кислоти та інші речовини, які входять до складу олії, проявляють також хімічну взаємодію з поверхнею деталей зерного тракту. Відомо [67], що при підвищених температурах, які мають місце при пресуванні, вільні жирні кислоти активно взаємодіють з вуглецевими сталями, утворюючи мило і спричиняючи корозійні ураження. Тобто спрацювання деталей зерного тракту відбувається шляхом утворення і

видалення з поверхні тертя адсорбційних (а також хемоадсорбційних) шарів і плівок продуктів корозії, а також диспергування утворених на металевих поверхнях деталей тонких пластифікованих шарів.

Це приводить до поступового зменшення шорсткості поверхні деталей (до  $R_a = 0,05...0,10$ ) і, як показано в роботах Прейса Г.О., навіть наближення їх до полірованих. Тобто вид зношування деталей в зазначених умовах відноситься до корозійно-механічного і описану модель спрацювання можна назвати корозійно-адсорбційною.

### **3.4. Фізична модель спрацювання деталей вихідного вузла преса**

Умови, в яких працюють деталі вихідної частини преса (особливо вихідний фланець і конус), суттєво відрізняються від умов роботи, описаних у попередньому розділі. Ці відмінності полягають в наступному:

- величини радіального тиску зростають на порядок;
- відсутнє щільне витікання олії, тобто неможливе рідинне тертя;
- продукт (вже не мезга, а макуха) має помітну міцність, твердість та інші механічні характеристики;
- підвищена температура на поверхнях тертя з продуктом (до  $110^{\circ}\text{C}$  і вище [68]).

За таких умов змінюється сам характер спрацювання деталей. Безумовно, фізична модель, описана в попередньому розділі, тобто адсорбційно-корозійна, має місце і в даному випадку. Але зазначені особливості обумовлюють суттєві зміни механізму поверхневого руйнування.

По-перше, змінюються властивості граничних адсорбційних шарів. Відомо, що утворені на поверхні твердого тіла граничні адсорбційні шари одночасно мають структуру, наближену до кристалічної. О.С. Ахматовим [61] встановлено, що граничний монокристал, утворений на поверхні металів, як мультимолекулярний адсорбційний шар полярними молекулами (зокрема, жирних кислот), за своєю будовою подібний до кристала, утвореного тими ж

молекулами в об'ємі. Ці шари, подібно твердим тілам, відрізняються пружністю форми, пластичністю та іншими механічними характеристиками. Так, в свій час А.Мюллером було встановлено, що модуль осьової пружності ланцюгів  $\text{CH}_2$  (метиленових) співпадає з модулем Юнга для алмаза. Але механічні властивості зазначених шарів є структурнозалежними і залежать від енергетичного впливу полів обох твердих поверхонь: металевої поверхні деталі і твердої фази дисперсного середовища. На початкових стадіях пресування (на перших витках шнека) при щільному відділенні олії і відносно невеликих питомих навантаженнях вплив поля твердих частинок мезги має бути несуттєвим. Але в умовах значних нормальних і тангенціальних навантажень, які мають місце у вихідному вузлі, нехтувати цим впливом не можна. Адже структурні параметри граничних мультимолекулярних шарів залежать від величини зовнішнього навантаження (нормального і тангенціального) і можливі поліморфні перетворення. За даними [61] сила граничного тертя (опір проковзуванню граничних шарів з полярних молекул) змінюється в дуже широкому інтервалі в залежності від величини зовнішнього навантаження (коефіцієнт тертя варіюється майже від 0 до 1). Тобто змінюються умови граничного тертя. Тверді сторонні частинки, які завжди, хоч і в незначній кількості (до 1%), присутні в складі мезги, не занурюються повністю в макуху, а лише частково, і закріплюються в ній, тобто має місце ефект шаржирування. У такому випадку відбувається абразивне зношування по закріпленому абразиву. Про наявність абразивного зношування свідчить поява рисок на поверхні спрацьованих деталей (рис. 3.10).



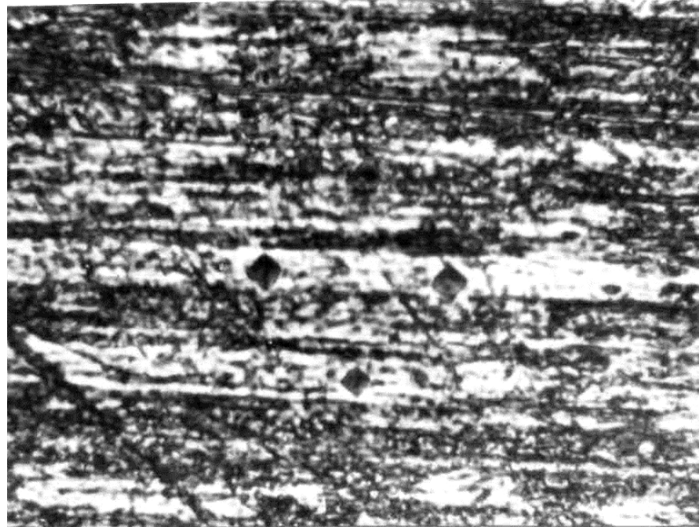


Рис. 3.10. Сліди абразивних рисок на поверхні вихідного витка шнека (x 340). Крім наявних вихідних (початкових) тріщин на поверхні деталей, в процесі роботи з'являються тріщини при взаємодії цієї поверхні з абразивними частинками. У відповідності з [69] у механізмі зовнішньосилової дії абразивної частинки, яку представимо, як і в роботі [70], у вигляді овалоїда Кассіні [71], на поверхню деталі при проковзуванні (рис. 3.11) можна виділити наступні етапи.

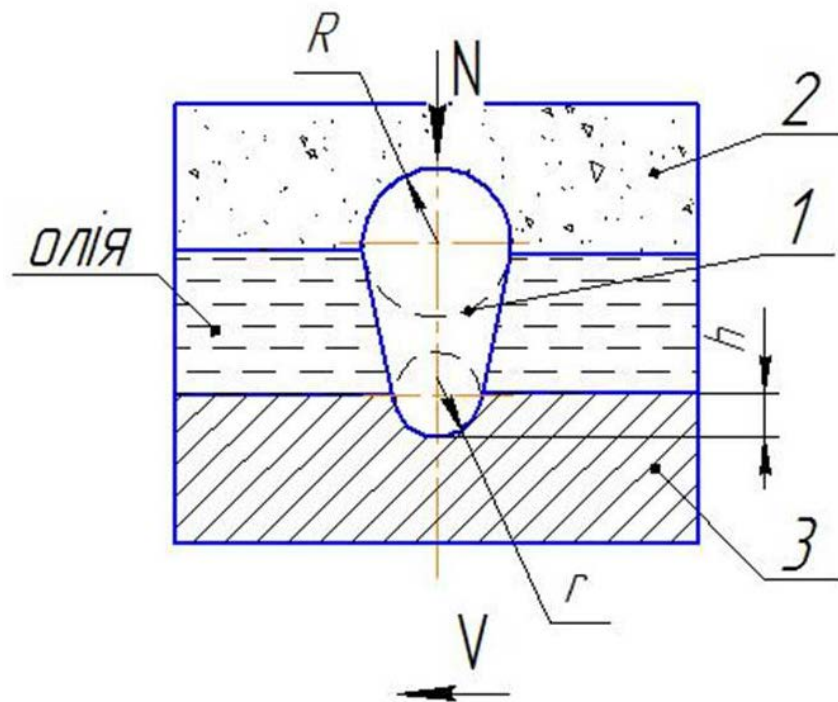


Рис. 3.11. Схема взаємодії абразивної частинки 1, закріпленої в макусі 2 з поверхнею деталі 3 [70].

На першому етапі абразивна частинка під дією нормальних зусиль занурюється на певну глибину в шар продукту (макуху) і закріплюється в ньому. Другий етап завершується проникненням її в поверхневий шар деталі. Головну роль на цих етапах відіграють нормальні зусилля  $N$  (рис. 3.11). На другому етапі занурена в поверхню деталі 3 частинка 1, здійснюючи відносно до цієї поверхні поступальний рух із швидкістю  $v$  (рис. 3.11), спричинює деформування і руйнування матеріалу деталі. Головними на цьому етапі є тангенціальні зусилля, які визначаються із силової взаємодії абразивної частинки і деталі. При розгляді зовнішньосилової взаємодії частинки і поверхні деталі (аналогічно роботам [70, 71]) абразивну частинку можна представити у вигляді консольної балки з жорсткою опорою, навантаженої системою осьових і поперечних зусиль (рис. 3.12). Скориставшись еквівалентною динамічною схемою дії абразивної частинки і апроксимувавши її переріз, перпендикулярний швидкості  $v$ , у вигляді трикутника, на підставі рівнянь рівноваги сил  $\sum \bar{Y} = 0$ ,  $\sum \bar{Z} = 0$  та моментів  $\sum M_0 = 0$ , можна визначити реакцію жорсткого закріплення балки, як суму двох сил  $\bar{N}_3$  і  $\bar{F}_3$  та моменту  $M_3$  (рис. 3.12). Виходячи з цих рівнянь  $\bar{F}_3 = -\bar{F}_0$ , де  $F_0$  - тангенціальне навантаження деталі на абразивну частину, одержимо:

$$F_0 = \tau_0 \cdot A_r,$$

де  $\tau_0$  - тангенціальні напруження на площині контакту;

$A_r$  - поздовжній переріз площини контакту.

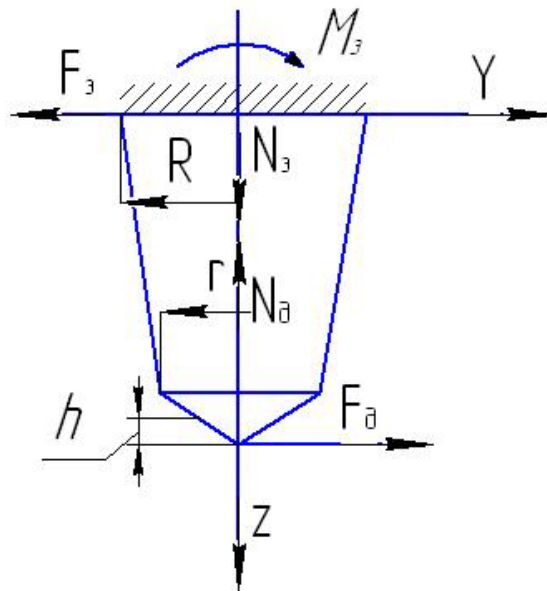


Рис. 3.12. Еквівалентна динамічна схема дії абразивної частинки [70].

Тангенціальне напруження  $\tau_\delta$  визначається:

$$\tau_\delta = f \cdot \sigma_\delta, \quad (3.5)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя:

$\sigma_\delta$  - нормальне напруження на площині контакту.

Для тіл з тріщинами гранична несуча здатність поверхні деталі, при якій завершується процес занурення абразивної частинки, визначається коефіцієнтом інтенсивності напружень  $K_{1c\delta}$  [72, 73, 74]. Виходячи з цього, нормальне напруження на площині контакту буде визначатися так:

$$\sigma_\delta = \frac{K_{1c\delta}}{\sqrt{2\pi h_\delta}},$$

де  $K_{1c\delta}$  - критичний коефіцієнт інтенсивності напружень матеріалу деталі;

$h_\delta$  - товщина деформованого шару поверхні деталі.

Площа поздовжнього перерізу площини контакту дорівнює:

$$A_r = a \cdot h \approx h^2,$$

де  $a$  - напівширина площини контакту;

$h$  - глибина занурення частинки в поверхню деталі рис. (3.12).

Виходячи з умов руйнування частинки в кореновому перерізі її, можна одержати вираз для глибини занурення її  $h$  в поверхню деталі у вигляді [70]:

$$h = \sqrt{\frac{0,625\sigma_{cm} D^3 h_o^{3/2}}{K_{1Co} [D + 2,5f(R + r)]}},$$

де  $\sigma_{cm}$  - межа міцності на стиск, матеріалу частинки;

$D$  - діаметр частинки в кореновому перетині ( $D = 212$  та  $r$  з рис. 3.11)

Товщина деформованого шару металу  $h_o$  може бути визначена методом замірів мікротвердості по глибині поверхневих шарів при зношуванні [75].

Водночас величина  $h$  безпосередньо пов'язана з величиною об'ємного спрацювання  $\Delta V$  [76, 77]:

$$\Delta V = \frac{L}{3} h^2 L,$$

де  $L$  - довжина сліду переміщення абразивної частинки по поверхні деталі.

Сам же процес поверхневого руйнування і утворення частинок спрацювання при роботі вихідного вузла потребує більш глибокого вивчення механізму абразивного зношування.

На основі сучасних теоретичних уявлень та експериментальних і експлуатаційних даних з області абразивного зношування [69, 70, 77, 78, 79, 80, 81] фізична модель поверхневого руйнування під дією абразивних частинок може бути представлена наступним чином. На поверхні твердого тіла завжди присутні, або виникають при зношуванні клиноподібні дефекти у

вигляді мікротріщин [82], які є вирішальним фактором при абразивному зношуванні. Внаслідок силового навантаження абразивної частинки біля вершини кожної мікротріщини з'являється зона, яка знаходиться в складному напружено-деформованому стані. На рис. 3.13 показано розподіл основних напружень  $\sigma_y$ , які діють перед вершиною тріщини [81]. Безпосередньо біля вершини тріщини напруження дорівнюють границі плинності  $\sigma_m$ , після чого в межах пластично-деформованої зони вони підвищуються до рівня ефективної границі плинності  $3\sigma_m$  [72]. Крім того, біля пластичної зони виникають залишкові напруження, обумовлені збільшенням об'єму матеріалу. Внаслідок суперпозиції основних і залишкових напружень на границі пластично-деформованої зони виникають розташовані перпендикулярно до вихідної тріщини первинні бокові тріщини (рис. 3.13) з власними пластично-деформованими зонами з відповідними полями залишкових напружень. Під дією цих напружень відбувається розвиток первинних бокових тріщин, що спричиняє появу на границі цих тріщин пластично-деформованих зон вторинних бокових тріщин [80, 81]. Причому, вторинні бокові тріщини розвиваються перпендикулярно до первинних бокових тріщин. Завдяки зазначеному розташуванню бокових тріщин забезпечуються умови відділення частинок зношування з робочої поверхні деталі та поява тріщин в нижче розташованих шарах матеріалу деталей.

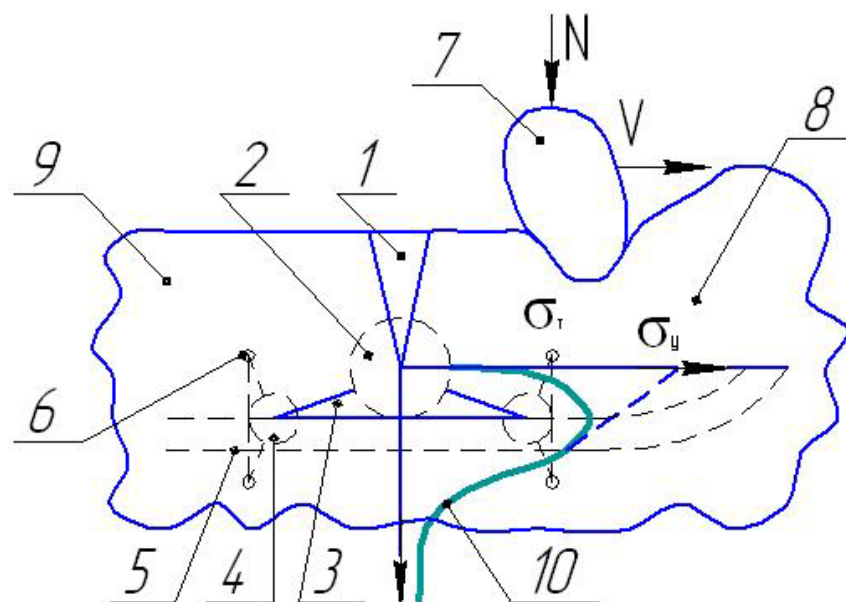


Рис. 3.13. Схема поверхневого руйнування під дією нормального навантаження  $N$  при переміщенні абразивної частинки із швидкістю  $V$  [81]:

1 – вихідна клиноподібна тріщина; 2 – пластично-деформована зона вихідної тріщини; 3 – первинна бокова тріщина; 4 – пластично-деформована зона первинної бокової тріщини; 5 – вторинна бокова тріщина; 6 – пластично-деформована зона вторинної бокової тріщини; 7 – абразивна частинка; 8 – зона стиснення; 9 – зона розтягу; 10 – крива розподілу напружень в пластичній зоні вихідної тріщини.

Таким чином, відповідно до запропонованої фізичної моделі поверхневе руйнування деталей вихідного вузла пресів являє собою послідовне відділення частинок зношування, які утворюються при стисканні бокових тріщин з робочою поверхнею та між собою.

При наявності в зоні зношування ПАР, що завжди має місце при роботі олійних пресів, розвиток первинних і вторинних бокових тріщин завдяки прояву адсорбційного ефекту Ребіндера [82] значно полегшується і інтенсифікується.

Причому, руйнування і відділення продуктів зношування при появі тріщин від дії абразивних частин полегшується проявом дії внутрішнього адсорбційного ефекту зниження міцності. Внутрішній адсорбційний ефект обумовлений адсорбцією ПАР на внутрішніх поверхнях розділення – на поверхні мікротріщин, спричинених дією абразивних частинок, і полегшенням їх розвитку внаслідок зменшення роботи – утворення нової поверхні. Адже якраз в умовах утворення нових поверхонь і при наявності дефектів структури ефект Ребіндера проявляється найсильніше [83]. Атоми ПАР, мігруючи по стінках мікротріщин, біля вершин мікротріщин своїм тиском намагаються розклинити їх (рис. 3.14) [84]. Розклинюючий тиск біля вершини мікротріщин може доходити до 10 ГПа. Крім адсорбційно-розклинюючого ефекту, який проявляється лише в мікрооб'ємі біля вершин

мікротріщин, має місце і капілярно-розклинюючий ефект, який проявляється при капілярному проникненні рідини в макротріщини. Цей тиск може досягати 10...100 МПа [85].

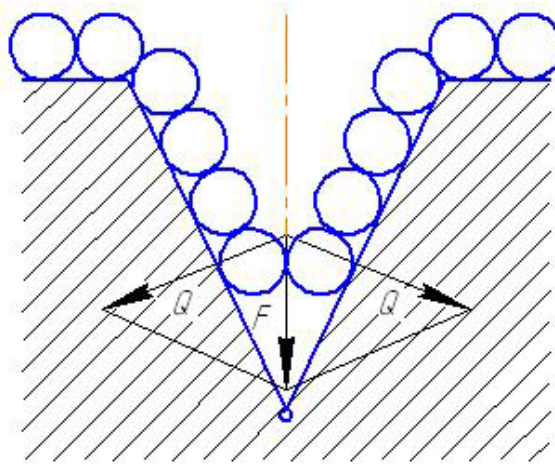


Рис. 3.14. Схема адсорбційно-розклинюючої дії полярних молекул:  
F – тиск адсорбованого шару; Q – розклинюючі сили [84].

Інтенсивний розвиток тріщин за наведеною схемою (рис. 3.13) обумовлює і збільшення шорсткості поверхні деталей вихідного вузла.

Крім зазначених вище елементів фізичної моделі поверхневого руйнування, суттєвий внесок у спрацювання згаданих деталей слід очікувати також і від водневого окрихчення металів (так зване водневе зношування).

#### **3.4.1. Доповнення фізичної моделі спрацювання деталей вихідного вузла елементами водневого зношування**

Згідно з сучасною концепцією тертя та зношування основу цих явищ становлять дисипативні процеси [86, 87, 88, 89]. Причому, чим більше енергії дисипується і менше її накопичується (яка йде на руйнування), тим вища зносостійкість деталей. Взагалі енергетичний баланс процесу тертя виглядає наступним чином [90]:

$$W = W_{xim} + W_{reol} + W_{nak},$$

де  $W$  - механічна енергія, яка підведена до вузла тертя;

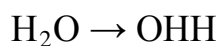
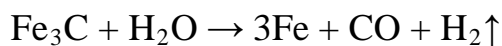
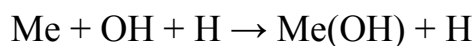
$W_{xim}$  - дисипована енергія трибохімічних реакцій;

$W_{reol}$  - дисипована енергія реологічних явищ;

$W_{nak}$  - енергія, накопичена поверхневими шарами деталей.

Трибохімічні реакції, які відбуваються в зоні тертя між матеріалами пар тертя, характеризуються значною дисипацією енергії. Ці реакції суттєво відрізняються від звичайних термохімічних реакцій тим, що тверді тіла в умовах тертя більш реакційноздатні, ніж при нагріванні [91, 92, 93]. Дослідження В.П.Олександренка [93] показали, що при деформації і терті відбуваються механохімічні реакції, які супроводжуються виділенням і поглинанням різних газів ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  та ін.). Особливо інтенсивно ці реакції протікають при наявності в зоні тертя вологи та вуглеводнів.

Утворення водню може відбуватися в результаті як безпосередньої взаємодії води і кисню з активованим при терті металом, так і внаслідок взаємодії води з цементитом у сталях [93].



При цьому співвідношення молізованого і атомарного водню становить приблизно 2:1.

Враховуючи, що при вичавлюванні олії на пресах мезга зволожується (див. розділ 1), подібні реакції відбуватимуться при спрацюванні деталей зерного тракту.

Встановлено [90], що аналогічні трибохімічні реакції з виділенням водню мають місце також при наявності в зоні тертя вуглеводневого середовища. Як показано в роботі [94], при високих питомих навантаженнях значно зростає інтенсивність трибохімічних реакцій з виділенням водню. Тобто, ймовірність



протікання цих реакцій для деталей вихідного вузла олійних пресів значно зростає. Дійсно, на деяких деталях вихідного вузла (рис. 1.10) відмічені ділянки крихкого руйнування поверхонь тертя, характерних для водневого зношування.

Водневе зношування відбувається в умовах наявності в зоні тертя водню [84].

Джерелом водню можуть бути матеріали пар тертя і зовнішнє середовище.

Водневе зношування обумовлене наступними процесами, які відбуваються в зоні тертя:

- виділенням водню при трибохімічних реакціях;
- утворенням водню внаслідок трибодеструкції водневмісних речовин, якими є олія і її складові;
- адсорбцією водню на поверхні тертя;
- дифузією водню і накопиченням його в дефектах структури поверхневих деформованих шарів.

Водневе зношування обумовлене лише тертям і дещо відрізняється від відомого явища водневого окрихчення. Для нього характерна значна локальна концентрація водню в поверхневих шарах, яка виникає через високі градієнти температур і напружень при терті. Внаслідок тертя водень дифундує і накопичується на певній глибині від поверхні тертя, яка залежить від режимів тертя і матеріалів, що обумовлює особливий характер зростання тріщин, які приводять до суцільного руйнування поверхневих шарів [95].

У роботі [96] показано, що накопичення водню в сталі при терті в середовищах харчових виробництв перевищує інтенсивність наводнювання при катодній поляризації і витримці в розчині сірководню.

При терті деталей вихідного вузла олійних пресів об продукт (мезгу, макуху) в умовах високих нормальних і тангенціальних навантажень та підвищених температур також можливе протікання різноманітних трибохімічних реакцій із виділенням водню і наводнювання.

Наявність в олії тригліцеридів карбонових кислот (складних ефірів цих кислот) обумовлює протікання на поверхнях тертя трибореакцій з

утворенням різноманітних сполук: мурашиного і гліцеринового альдегідів, акролінів, гліцеринової кислоти та ін., появою трибополімерів і адсорбційних та хемосорбційних шарів різного складу.

Деякі з цих трибохімічних перетворень можуть бути представлені так:

1 Гідроліз (омилення) тригліцеридів:

2 Трибохімічні перетворення гліцерину з утворенням сполук з меншою молекулярною масою:

3 Утворення високомолекулярних сполук та трибополімерів:

4 Взаємодія утворених карбонільних і карбоксильних сполук з оксидами та гідроксидами металів, що спричинює їх відновлення, утворення і розпад комплексних металоорганічних сполук.

### **3.5. Висновки до розділу 3**

1 За результатами тривалих експлуатаційних спостережень і аналізу одержаної статистичної інформації визначені кількісні параметри надійності і довговічності деталей олійних пресів, що дає можливість оцінювати технічний рівень нових конструкцій пресів і розрахувати потребу в запасних деталях.

2 Досліджено характер спрацювання деталей олійних пресів – мікроскопічним аналізом і дослідженнями шорсткості поверхні спрацьованих деталей встановлено різний характер зношування деталей вхідної і вихідної ділянок олійних пресів.

3 Обґрунтовано вибір величини затуплення крайків витків шнека як параметра працездатності і спрацювання пресів.

4 Запропоновано фізичні моделі спрацювання деталей олійних пресів для вхідної і вихідної ділянок преса:

- корозійно-адсорбційну для деталей вхідної ділянки, яка ґрунтується в основному на концепції зовнішнього ефекту адсорбційного зниження міцності твердих тіл П.А.Ребіндера;
- фізична модель спрацювання деталей вихідної частини преса ґрунтується на механізмі поверхневого руйнування деталей під дією абразивних часток, ускладненого дією внутрішнього ефекту П.А.Ребіндера та елементами водневого зношування.

**РОЗДІЛ 4**  
**АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОЗРОБКА**  
**ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ**

**4.1 Обробка результатів досліджень**

Користуючись даними матриці експерименту табл. 3.5 результати проведених експериментів зведено у таблиці та проведено побудову відповідних просторових діаграм.

Таблиця 4.1

Результати проведених експериментальних досліджень при тривалості циклу відтискання 120с

Показник		Кінцева температура смаження м'ятки, °С				
		80	90	100	110	120
Вміст лузги у суміші ядра, %	3	26,78	27,10	27,51	27,91	28,36
	8	26,33	26,75	27,13	27,55	27,97
	13	25,52	25,74	26,03	26,47	26,81
	18	22,97	23,47	23,82	24,03	24,25
	23	21,87	22,11	22,64	22,81	23,02

Таблиця 4.2

Результати проведених експериментальних досліджень при тривалості циклу відтискання 180с

Показник		Кінцева температура смаження м'ятки, °С				
		80	90	100	110	120
Вміст лузги у суміші ядра, %	3	30,97	31,53	31,86	32,02	32,49
	8	30,51	30,86	31,27	31,76	31,98
	13	28,89	29,13	29,62	30,03	30,57
	18	27,03	27,44	27,85	28,11	28,53

	23	25,88	26,08	26,52	26,86	27,13
--	----	-------	-------	-------	-------	-------

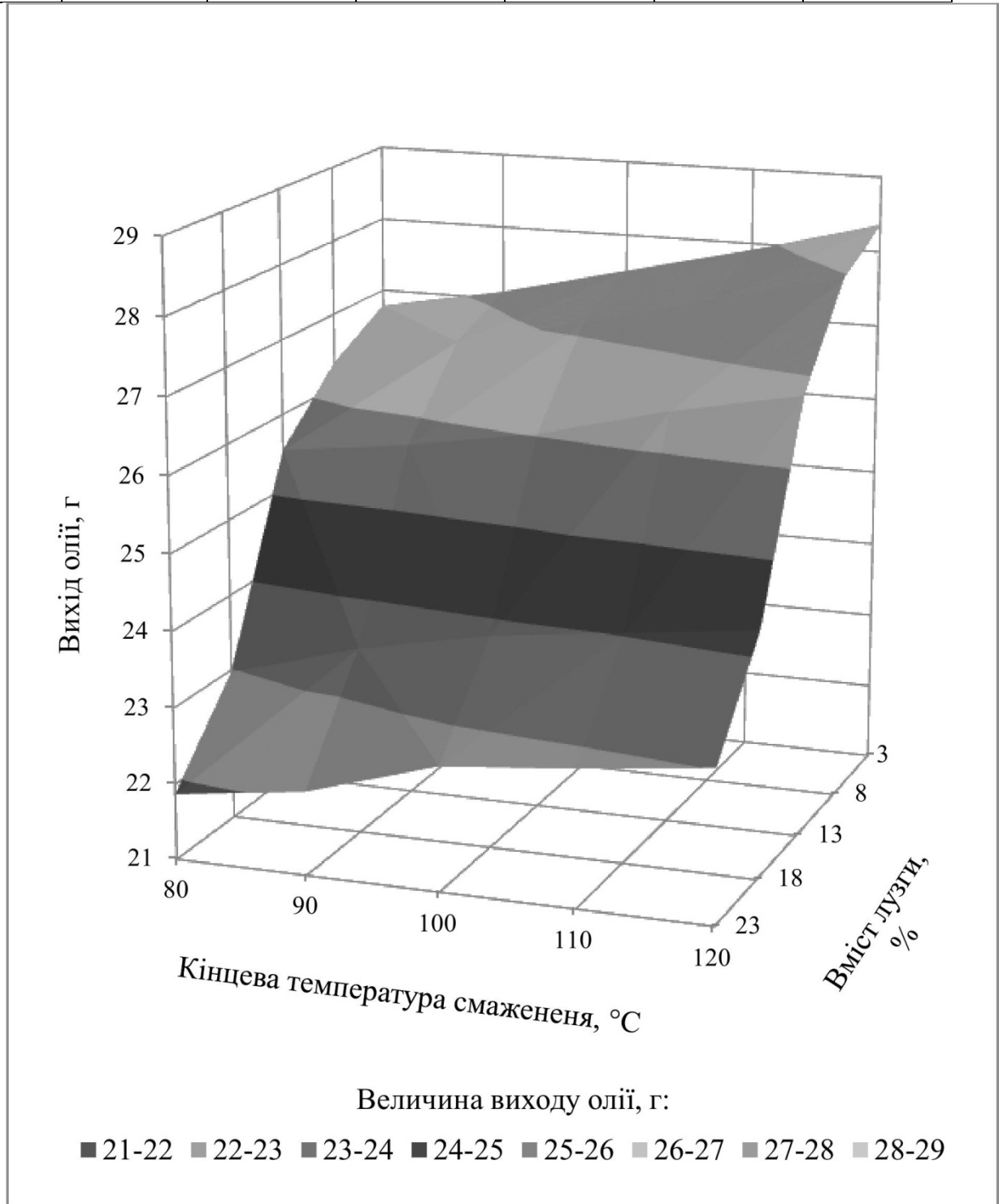


Рис. 4.1. Залежність виходу олії від вмісту луски і кінцевої температури смаження мезги при тривалості циклу відтискування 120с

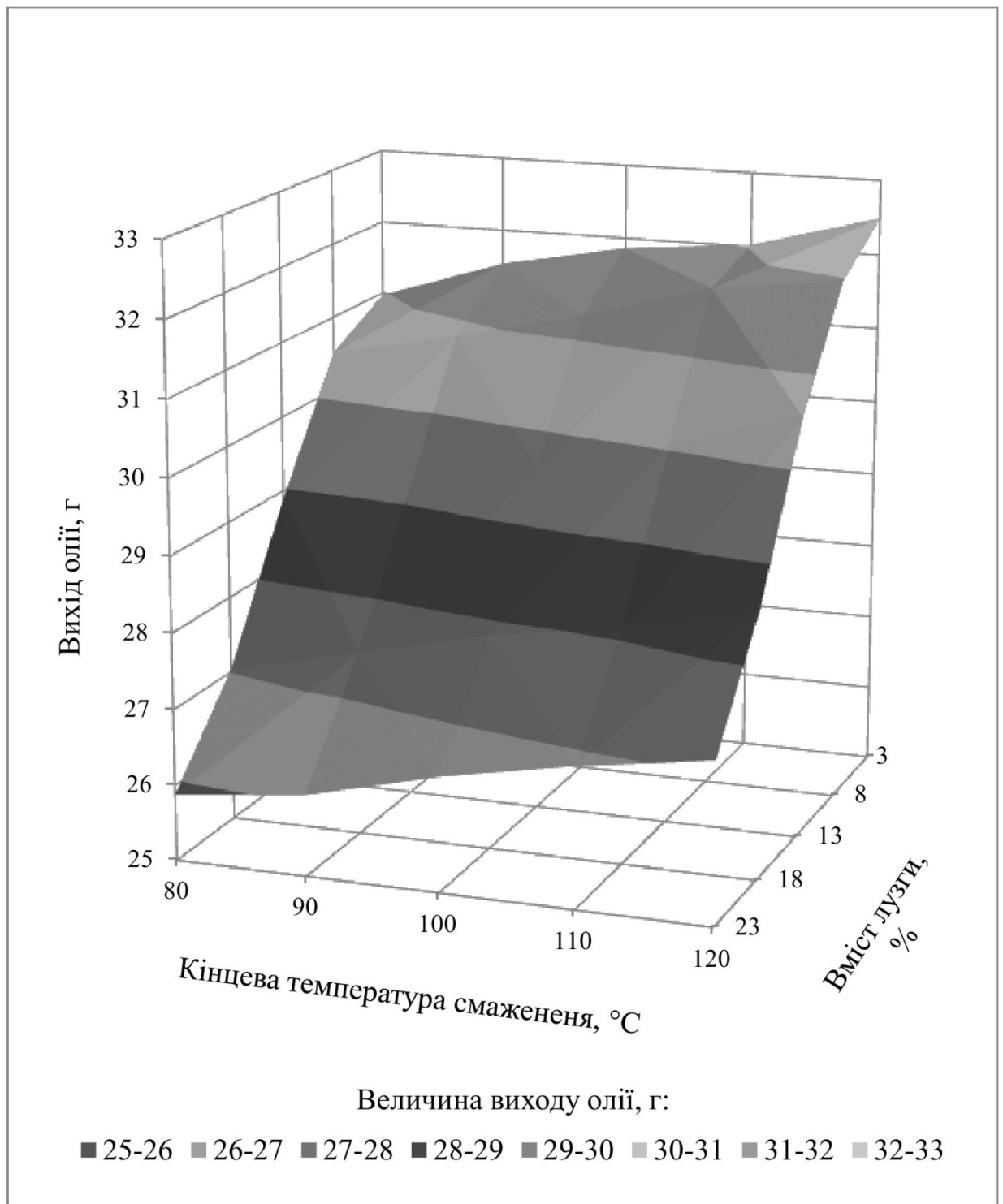


Рис. 4.2. Залежність виходу олії від вмісту лузги і кінцевої температури смаження мезги при тривалості циклу відтискання 180с

З отриманих даних необхідно вирахувати математичну модель, яка описуватиме залежність вихідного критерію оптимізації експериментів від керованих факторів [17]. Ця математична модель зазвичай має вигляд рівнянь першого або другого порядку. Для опису досліджуваного процесу

використовуємо рівняння першого порядку, яке при  $i$  керованих факторів ( $i = 0, 1, 2, \dots, k$ ) у лінійній формі запису має вигляд:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad (4.1)$$

де  $y$  – розрахункова величина критерію оптимізації;

$b_0, b_i$  – коефіцієнти регресії;

$x_i$  – величина  $i$ -го керованого фактору експерименту.

Для розрахунку коефіцієнтів регресії рівняння застосовується метод найменших квадратів, тобто мінімізується сума квадратів відхилень  $\Delta_u^2$  між фактичними значеннями  $y$  й розрахованими за моделлю (3.6)  $y$ :

$$\sum_{u=1}^N \Delta_u^2 = \sum_{u=1}^N (y_u - \hat{y}_u)^2 = \sum_{u=1}^N (y_u - b_0 - b_1 x_{1u} - \dots - b_k x_{ku})^2 \rightarrow \min$$

Невідомі коефіцієнти регресії у рівнянні (4.1) визначаються за правилом Крамера:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum_{u=1}^N y_u \sum_{u=1}^N x_{1u}^2 - \sum_{u=1}^N y_u x_{1u} \sum_{u=1}^N x_{1u}}{N \sum_{u=1}^N x_{1u}^2 - \left(\sum_{u=1}^N x_{1u}\right)^2}, \\ b_i &= \frac{N \sum_{u=1}^N \bar{y}_u x_{iu} - \sum_{u=1}^N y_u \sum_{u=1}^N x_{iu}}{N \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 - \left(\sum_{u=1}^N x_{iu}\right)^2}. \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Обчислені коефіцієнти регресії математичної моделі мають значення:

$$b_0 = 18,5382; b_1 = 0,1987; b_2 = 0,03883; b_3 = 0,0527.$$

Остаточна математична модель, що описує залежність вихідного критерію оптимізації експериментів від досліджуваних керованих факторів має вигляд:

$$y = 18,5382 - 0,1987x_1 + 0,03883x_2 + 0,0527x_3$$

За приведеним рівнянням регресії можна підставивши значення керованих факторів експерименту  $x_1, x_2, x_3$  одержати розрахункове значення критерію оптимізації з середнім відхиленням від фактичних значень 1,32%.

Виконуючи аналіз одержаних експериментальних даних можна зробити ряд висновків про вплив зміни досліджуваних технологічних аспектів на вихід соняшникової олії в процесі пресування:

- зі збільшенням вмісту лузги у суміші ядра від 3 до 8% у всіх дослідах спостерігається поступове зменшення виходу олії не більше ніж на 0,67%, подальше збільшення вмісту лузги призводить до різкого зниження виходу олії в середньому на 3,13%;

- з підвищенням кінцевої температури смаження мезги у досліджуваних межах спостерігається більш-менш стабільне зростання виходу олії в середньому на 0,38% за кожні 10°C підвищення;

- зміна тривалості циклу відтикання зі 120 до 180с дає не однакові результати, тут спостерігається значне зростання виходу олії у середньому на 4,58% при вмісті лузги у суміші ядра від 3 до 8% й поступове зниження цієї різниці з його підвищенням: у середньому на 3,59% - при 13%; на 2,15% - при 18% й на 1,61% - при 23%.

#### **4.2 Рекомендації щодо корегування базової технології та обладнання**

Технологічна схема виробництва соняшникової олії, що використовується на базовому підприємстві, як вже було зазначено раніше, відрегульована на максимально можливу продуктивність технологічного обладнання. Тому в результаті спостереження за роботою лінії, відбору і аналізу проб з її ключових точок визначені наступні зауваження:

1) відсутність у складі лінії обладнання для сушіння насіння під час приймання призводить по-перше до погіршення умов зберігання його у сховищах, по-друге завищена вологість насіння значного погіршує роботу насіннерушки, яка також має незадовільний технічний стан;

2) аспіраційна війка не відрегульована належним чином й, як наслідок, на виході маємо суміш ядра з вмістом лузги 12,8%;

3) через те, що у суміші ядра міститься значна кількість цілого чи не доочищеного від лузги насіння маємо незадовільну якість подрібнення на вальцевому верстаті;



4) обсмажування м'ятки у жаровні відбувається у режимі, при якому кінцева температура мезги близько 90°C;

5) використовується максимальна продуктивність пресу, через що тривалість проходження мезги крізь нього в процесі відтискання олії зведена до мінімуму 120с (частота обертання шнекового валу пресу 35,6 об/хв).

Як наслідок цілого ряду недоліків технології та обладнання, маємо залишкову олійність макухи на виході з пресу на рівні 17,8% (початкова олійність насіння 46,9%), тобто вихід олії складає  $46,9 - 17,8 = 29,1\%$ .

Для покращення показнику залишкової олійності макухи на базовому підприємстві на основі проведених теоретичного та експериментальних досліджень пропонується:

- придбати й включити у роботу лінії сушарку для насіння;
- покращити технічний стан обладнання;
- більш ретельно та якісно проводити налагодження обладнання лінії для підвищення якісних показників;
- встановити режим роботи жаровні для одержання кінцевої температури мезги на рівні 120°C;
- встановити режим роботи пресу, що відповідає найбільшій тривалості проходження мезги крізь прес, для чого знизити частоту обертання шнекового валу до 23 об/хв.

Щоб визначити прогнозований приріст виходу олії при впровадженні пропонованих змін у технології й обладнанні базової лінії проводимо порівняння результатів експериментальних даних з використанням режимів базової й модернізованої технологій таблиця 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняння результатів експериментальних даних з використанням режимів базової й модернізованої технологій

Показник	Вміст лузги у суміші ядра, %	Кінцева температура смаження мезги, °C	Тривалість циклу відтискання, с	Вихід олії, %	Відхилення по виходу олії, %
----------	------------------------------	--	---------------------------------	---------------	------------------------------

Базова технологія	12,8	90	120	25,61	0
Модернізована технологія	3	120	180	32,49	+26,9

### 4.3 Застосування вібрації

Незважаючи на те, що практика використання пресової технології одержання рослинної олії нараховує не одне сторіччя і все більш широкого застосування знаходить екстрагування, можливості пресової технології ще далеко не вичерпані.

Як уже відмічалось (розділ 1), одним з методів підвищення ефективності різноманітних процесів в харчовій, хімічній та інших галузях промисловості є введення в робочу зону апаратів енергії механічних коливань [134-139]. Крім зазначених раніше (розділ 1) позитивних ефектів вібраційної дії на дисперсні середовища, коефіцієнт тертя між контактними поверхнями при вібрації зменшується більше, ніж у 2 рази [34]. Це обумовлює перспективність застосування вібраційних ефектів для підвищення зносостійкості деталей вихідного вузла за рахунок зменшення сил тертя між робочими поверхнями цих деталей (конуса, вихідного фланця) і середовищем (макухою). Відомі деякі пропозиції використання вібрації при відтисненні олії. Зокрема в пресі за патентом RU2209733C1 [18] завантажувальна горловина преса обмежена нерухомою і з'єднаною з нею шарнірним з'єднанням рухомою боковинами, які розміщені перпендикулярно осі шнека. Рухома боковина може здійснювати коливальний рух від вібратора, що повинно забезпечувати підвищення продуктивності преса. Проте, запропоноване за цим патентом рішення не забезпечує належного ефекту через те, що введення в робоче середовище енергії механічних коливань в зоні завантаження малоефективне. Це обумовлено тим, що, як показано вище (розділ 3), найбільших питомих навантажень елементи преса і продукт зазнають у вихідній частині.

За патентом 27403 UA [141] пропонується прес для відтискання олії, в якому між приводом і шнеком встановлено обертово-ударний механізм. Проте заявники не наводять конструкторського оформлення такого механізму і його характеристик, а з наведених в описі даних зрозуміло, що запропонована конструкція вимагає додаткових значних енергетичних витрат на стискання в момент ударного осьового переміщення шнека всієї маси продукту, який знаходиться в пресі.

Крім того, розглянуті вище конструкційні рішення не забезпечують введення енергії механічних коливань безпосередньо в зону найбільшого силового навантаження вихідного вузла.

Нами запропонована конструкція преса, в якій енергія коливань вводиться в продукт саме у вихідній частині преса, де діють найбільші навантаження.

У запропонованій конструкції преса, який складається з корпусу 1 (рис. 4.3) та закріпленої в ньому робочої камери 2 з отворами для виходу олії, змонтованої на торці робочої камери 2 насадки 4 з центральним отвором 5 для виходу макухи, встановленого у робочій камері шнекового вала 3, хвостовик 6 якого змонтований в опорах обертання завантажувального бункера, місткості для відтисненої олії, лотка відведення макухи, привода та обертово-ударного механізму, змонтованого на хвостовику шнекового вала, відповідно до корисної моделі, вихідний хвостовик 6 шнекового вала 3 виконано порожнистим з пружною оболонкою 7, порожнина якого заповнена гідропластом 8, а обертово-ударний механізм виконано у вигляді сполучених з порожниною вихідного хвостовика радіально встановлених плунжерів 9-12, які при обертанні шнекового вала 3 здійснюють зворотно-поступальний рух у радіальному напрямі при взаємодії з виступами 13-19 на внутрішній поверхні насадки 4.

Прес для відтискання олії працює таким чином.

Олієвмісна сировина через бункер подається для оброблення в робочу камеру 2 корпусу 1 преса для відтискання олії. Попадаючи в міжгвинтовий

простір шнекового вала 3, розміщеного в робочій камері 2, сировина підтискується і у міру наближення до торця робочої камери 2 звільняється від олії. Обертання шнекового вала 3, закріпленого на опорах здійснюється приводом. Для інтенсифікації вилучення олії конструкцією запропонованої корисної моделі передбачено використання обертово-ударного механізму, змонтованого на вихідному хвостовику шнекового вала 3.

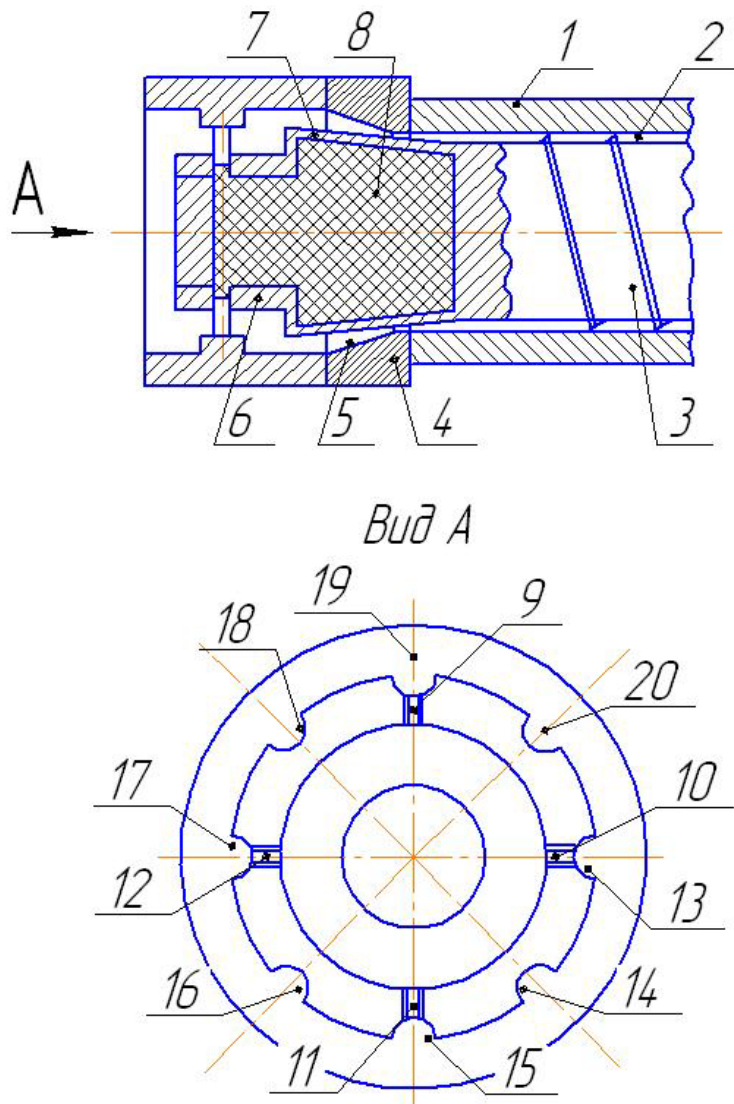


Рис. 4.3. Конструкція запропонованого вузла преса:

1 - корпус; 2 - робоча камера; 3 - шнековий вал; 4 - насадка; 5 - центральний отвір; 6 - вихідний хвостовик; 7 - пружна оболонка; 8 - гідропласт; 9-12 - плунжери; 13-20 - виступи.

З метою підвищення ефективності процесу відтискання олії і, отже, підвищення виходу кінцевого продукту, вихідний хвостовик 6 шнекового вала 3 виконано порожнистим з пружною оболонкою 7 і порожнина хвостовика 6 заповнена гідропластом 8. Обертково-ударний механізм виконано у вигляді сполучених з порожниною, заповненою гідропластом 8 та встановлених плунжерів, наприклад 9-12, які при обертанні шнекового вала 3 здійснюють зворотно-поступальний рух при взаємодії з виступами 13-20 на внутрішній поверхні насадки 4.

Використання гідропласта, який має стабільні пружно-пластичні властивості, дозволяє передати коливальні зусилля від плунжерів 9-12 пружній оболонці 7 хвостовика 6 та допомагає рівномірно розподілити чергування навантажень «стиску-розтягу» на вихідний хвостовик 6 шнекового вала 3, що примушує здійснювати пульсації його оболонки 7 в радіальному напрямі. Пульсації тиску передаються оброблюваній сировині, а їх дія спільно з монотонно зростаючою до вихідного хвостовика 6 шнекового вала 3 силою пресування сприяє додатковому відтисненню олії з макухи. Крім того, внаслідок запропонованого розташування плунжерів 9-12 і радіальних їх коливань, зношування пружної оболонки 7 хвостовика 6 суттєво зменшує тертя сировини по поверхні хвостовика 6, що підвищує довговічність робочих органів та визначає експлуатаційну надійність преса для відтискання олії.

При роботі преса макуха відводиться з робочої камери 2 крізь центральний отвір насадки 4 та в подальшому по лотку, а відтиснена олія через отвори та накопичується в місткості.

Використання запропонованої моделі в обладнанні олієжирової промисловості дозволить збільшити вихід кінцевого продукту та підвищити експлуатаційну надійність преса для відтискання олії з рослинних олієвмісних культур.

## **Висновки**

У четвертому розділі дипломної роботи здійснено аналіз одержаних в результаті проведення експериментальних досліджень. Проведено розрахунок математичної моделі залежності впливу досліджуваних факторів на вихідні параметри. На основі проведених досліджень і їх результатів розроблено проектні рішення щодо покращення роботи виробничої лінії базового підприємства.

На особливу увагу заслуговує використання для підвищення ефективності процесу пресування фізико-механічних ефектів, які мають місце при внесенні в робочу зону вихідного вузла преса механічних коливань.

## ВИСНОВКИ

Розглянувши особливості технології одержання олії з рослинної сировини (зокрема, з соняшника), можна зазначити, що процеси пресування протягом тривалого часу залишаються визначальними у виробництві рослинної олії.

Аналіз науково-технічної інформації та виробничих даних про експлуатацію олійних пресів, серед яких основними є шнекові преси, засвідчує актуальність і важливість підвищення технічного рівня ефективності роботи. Розроблені на основі проведених досліджень рекомендації перевірені у виробничих умовах.

За підсумками виконаної магістерської роботи одержані такі основні результати:

1 На підставі всебічного аналізу науково-технічної інформації і вивчення умов роботи технологічної лінії виготовлення олії пресовим способом визначені основні, обумовлюючі фактори і їх параметри. Показано, що одним з основних чільників, визначаючих ефективність роботи лінії є робота вихідного вузла преса.

2 Для покращення показнику залишкової олійності макухи на базовому підприємстві на основі проведених теоретичного та експериментальних досліджень пропонується:

- придбати й включити у роботу лінії сушарку для насіння;
- встановити режим роботи жаровні для одержання кінцевої температури мезги на рівні 120°C;
- встановити режим роботи пресу, що відповідає найбільшій тривалості проходження мезги крізь прес 180 с, для чого знизити частоту обертання шнекового валу до 23 об/хв.

3. Запропоновано нову конструкцію вихідного (регулювального) вузла шнекпреса, в якій завдяки використанню вібрації забезпечується поліпшення ефективності відтиснення олії і зменшення енерговитрат.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Льченко Л.Б., Вечірко О.Г. Сучасний розвиток олійно-жирової промисловості Вінницької області // Науково-виробничий журнал. Інноваційна економіка.– 2014, №6 [55]–С.159-163.
2. Бурдо О.Г. Буйвол С.М. Бандура В.М. Энергетическая стратегия развития агропромышленного комплекса в условиях кризиса. Academia de stiinte a Moldovei institutul de energetica. Problemele energeticii regionale. Revista stiintifica, informational-analitica si inginereasca. № 1 (9)2009, Chisinau, 2009. 7-12с.
3. Бандура В.М. Перспективи комбінованих методів переробки олійних культур. Зб.наук. пр. Вінницького національного аграрного університету. Вип. 8. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2011. С.32-36.
4. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Вібраційні та віброударні технології в процесах сепарування вологих дисперсних матеріалів / Р. Д. Іскович-Лотоцький, І. В. Севост'янов // Вібрації в техніці і технологіях. – 2007. – № 4 (49). – С. 18-21.
5. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2006. – 338 с.
6. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Обґрунтування ефективності застосування віброударних та вібраційних процесів в харчовій переробній промисловості / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. В. Поліщук, І. В. Севастьянов // Вібрації в техніці і технологіях. – 2008. – № 3 (52). – С. 78-82.
7. Заика, В. П. Производительность шнековых прессов для производства растительных масел / В. П. Заика // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 2. – С. 23-27.
8. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник /За ред. проф. І. Ф.



- Малежика. К.: НУХТ, 2003. - 400 с.
9. Утилизация отходов пищевых производств: Сб. науч. ст. / П. И. Осадчук, В. В. Шведов, П. И. Светличный, А. К. Войтенко / ОЦНТИ. Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики - О., 1999. -С. 140-146.
  - 10.Бандура В.М., Марчак Т.В., Романов М.О., Жегалюк О.В. Аналіз методів екстрагування для збільшення кількості та підвищення якості олії, вилученої з олійного насіння.//Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях».–2011, №1 (61).–С.106-109.
  - 11.Робертсон Д. Структура и функции клетки. - М.: Мир, 1980. - 159 с.
  - 12.Барбарич А. І. Дубровик О. М., Стрелко Д. В. Жироолійні рослини України. - К.: Наук. думка, 1973. - С. 68.
  - 13.Стабников В.Н. Процессы и аппараты пищевых производств / В.Н. Стабников, В.М. Лысянский, В.Д. Попов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.
  14. Бандура В.М. Энергоефективні технологічні процеси переробки олійних культур. Наукові праці ОНАХТ. Випуск 39, Том 2, Одеса 2011. С.234-240.
  - 15.Рогов И.А. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов / Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 199 с.
  16. Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Ружицька Н.В., Яровой И.И. Энергетика пищевых нанотехнологий//Щоквартальний науково-практичний журнал. «Інтегровані технології та енергозбереження».–2012, №3. – С.11-15.
  - 17.Калинин Л.Г. Научно-технические аспекты широкого применения микроволновых технологий. Состояние вопроса, проблемы, решения // Мікрохвильові технології в народному господарстві: Впровадження.Проблеми. – Одеса: ОНАХТ. – 2006. – С. 62-68.
  - 18.Бурдо О.Г. Энергетична ефективність харчових нанотехнологій / О.Г.

- Бурдо, Г.М. Ряшко // Сб. науч. трудов Международной науч.-техн. конф. «Энергоэффективность 2004», 13-16 октября, 2004. – Одесса. – С. 191-195.
19. Бандура В.М., Коляновська Л.М. Інтенсифікація масоперенесення в екстрагуванні рослинних олій// Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал – Харків: НТУ «ХТІ», 2013.–№2.– С.144-147.
20. Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Ружицкая Н.В. Принципы адресного подвода энергии при переработке пищевого сырья// Інтегровані технології та енергозбереження. Щоквартальний науково-практичний журнал – Харків: НТУ «ХТІ», 2014.–№4.– С.79-85.
21. Азаров Б. М, Аурих Х. и др. Технологическое оборудование пищевых производств / Под ред. Б. М. Азарова. – М: Агропромиздат, 1988. – 462с.
22. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. – М.: Машиностроение, 1983. – 447 с.: ил.
23. Харламов С. В. Практикум по курсу “Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств”. [Учебное пособие для вузов]. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отд., 1971. – 200 с.
24. Гаврилюк В.М. Сучасний стан та шляхи оптимізації сировинної бази оліє-жирового комплексу.// Економіка АПК. – 2007, № 3 – С. 7-9.
25. Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. – Вінниця: Нова книга, 2001, - 576 с.
26. Колесник А.Л., Шаманский В.Г. Курсовое и дипломное проектирование предприятий по переработке масляных семян. – М.: Колос, 1983. – 320 с.
27. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф. та ін. Зберігання і переробка продукції рослинництва / Навчальний посібник. – К.: Мета, 2002. – 495с.
28. Федоров Н.Е. Методы расчетов процессов и аппаратов пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность, 1996. – 292с.

29. Чубинидзе Б.Н., Паронян В.Х., Луговой А.В. и др. Оборудование предприятий масло-жировой промышленности. – Л.: Агропромиздат, 1993. – 361с.
30. Гавриленко И.В. Оборудование для производства растительных масел. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 312 с.
31. Мальцев, П. М. Основы научных исследований / П. М. Мальцев, Н. А. Емельянова. – К. : Высш. шк., 1982. – 192 с. Лонцин М., Мерсон Р. Основные процессы пищевых производств: Пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 384 с.
32. Богомолов, О. В. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств / О. В. Богомолов, П. В. Гурський, В. П. Богомолова. – Х. : Еспада, 2005. – 432 с.
33. Технологическое оборудование производства растительных масел. В.А. Масликов. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 295с.
34. Масликов В.А. Примеры расчётов оборудования производства растительных масел. М., Пищепромиздат, 1969. – 224с.
35. Заика, В. П. Определение невытесненного объема материала, перемещаемого в шнековом прессе / В. П. Заика // Масложировая промышленность. – 2004. – № 2. – С. 36-39.
- 37 Дудников, И. А. Влияние трения на прочностные характеристики обрабатываемой детали / И. А. Дудников, А. И. Беловод, А. А. Дудников // Вібрації в техніці і технологіях. – 2009, № 1 (53). – С. 49-50.
36. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Бандура В.Н. Принципы направленного энергетического действия в пищевых нанотехнологиях. // Проблемы региональной энергетики. Вып.1(27). Институт энергетики Академии наук Молдовы. – 2015. – С.79-85.
37. Руб Д.М. О величине зерных щелей и уплотнение материала в шнековых прессах. М.: Пищевое машиностроение, 1959, №14 и 15.
38. Масликов В.А. Упругие свойства мезги и работа затрачиваемая на её сжатие. – “Известия вузов. Пищевая технология.”, 1972, №2, С.128.

- 39.Каталог. Машины и оборудование, приборы и средства автоматизации для перерабатывающих отраслей АПК, т.1.2, Часть 1.- М.:Машиностроение, 1990.
- 40.Жемела Г. П., Шемавньов В. І., Олексик О. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. Підручник. – Полтава: 2003. – 420 с.
41. Технология производства растительных масел./В. М. Копейковский и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 416 с.
42. Ковалишин, С. Й. Вплив факторів пресування на вихід олії / С. Й. Ковалишин, В. В. Толіюк // Вісник Сумського НАУ. – 2008. – вип. 2 (18). – С. 23-26.
43. Щербаков В.Г. Технология получения растительных масел. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984.–144с.
- 44.Руководство по технологии получения и переработке растительных масел и жиров / Под ред.А.Г.Сергеева и др. – Л.:ВНИИЖ.– т.II,1973,350с.,т.III, кн.1,1983,288с., т.III, кн.2,1977, 351 с.,т.IV, 1975,544с., т.V,1981,296с., т.VI, 1989,360с.
- 45.Виноградов, В. Н. Абразивное изнашивание / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин, М. Г. Колокольников. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.
- 46.Троценко, В. Т. Сопротивление материалов деформированию и разрушению : справ. пособие : в 2 ч. / В. Т. Троценко, А. Я. Красовский, В. В. Покровский. – К. : Наукова думка, 1994. – 256 с.
- 47.Шевеля, В. В. Трибохимия и реология износостойкости / В. В. Шевеля, В. П. Олександренко. – Хмельницький : ХНУ, 2006. – 278 с.
- 48.Ястреба, С. П. Використання систем зменшення тертя та зношування в обладнанні харчових виробництв / С. П. Ястреба, О. І. Некоз, С. О. Некоз // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – К. : НУХТ. – 2008. – № 24. – С. 54-56.
- 49.Штефан, Є. В. Теоретичні методи визначення технологічних

- параметрів обробки дисперсних матеріалів у шнекових пристроях / Є. В. Штефан // Вестник НТТУ "КПІ". – К., 2009. – № 55. – С. 58-64.
50. Бодров, В. С. Математико-статистичні методи досліджень / В. С. Бодров, В. Л. Зав'ялов, Т. Г. Місюра. – К. : НУХТ. – 106 с.
51. Jonusas, R. Research of vibrations and complicated dynamical situations in complex rotary systems / E. Juzenas, K. Juzenas // Ukrainian National Scientific Journal. – 2011.- № 2(62). – S.54-58.