



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-6

УДК 631.56:665.335.5

В. В. Дідур, д.т.н.

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Є. А. Петриченко, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-1037-077X

І. А. Лещенко, д.ф.

ORCID: 0000-0002-0937-6739

Уманський національний університет садівництва

e-mail: didur.vv@gmail.com

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕЗГИ НАСІННЯ САФЛОРА ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПРОЦЕС ВІДЖИМУ ОЛІЇ В ГВИНТОВОМУ ПРЕСІ

Анотація. В статті наведено результати аналізу реологічних властивостей мезги насіння сафлора, описано вплив її реологічних на процес віджиму олії в гвинтовому пресі. Описано як змінюються механічні властивості мезги при зміні вмісту олії, вологості, температури. Розглянуто взаємодію фаз мезги при пресуванні в гвинтових пресах. Представлено моделі реологічних тіл з вказанням їх властивостей, реологічні криві та рівняння стану. Надано схему пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійній напрузі за допомогою механічної моделі тіла: механічну модель, залежність деформації від часу при постійній напрузі та схему роботи моделі.

Ключові слова: реологічні тіла, властивості, реологічні моделі, мезга, пресування.

Постановка проблеми. Для науково обґрунтованого проектування пресового обладнання необхідне знання як самих законів руху харчових мас, так і структурно-механічних властивостей продуктів, що переробляються. Вивченням цих властивостей та закономірностей їх зміни займаються механіка та її розділ реологія – наука про деформації та рух різноманітних середовищ.

Аналіз останніх досліджень. Розгляду реологічних моделей різних матеріалів, що піддаються екструзуванню, присвячені класичні роботи Д. М. Мак-Келві, Д. Х. Чанга, Г. В. Виноградова, В. De Cindio [1] та ін.

Відомості про використання реологічних моделей харчової сировини та напівфабрикатів викладено у роботах Ю. А. Мачихіна, С. А. Мачихіна [2], Б. М. Азарова, Б. А. Ніколаєва, Г. К. Бермана, Г. Г. Зурабішвілі та ін. Ними вивчений процес нагнітання в'язких матеріалів різними робочими органами: шнеками, плунжерами,



вальцями тощо, а також процес нагнітання харчових мас через формуючі отвори матриць.

Мезгу насіння олійних культур слід віднести до багатофазових, а точніше двофазових систем. У механіці ґрунтів розроблена і широко застосовується теорія розрахунку консолідації ґрунтів з одночасним урахуванням фільтраційних властивостей ґрунту і властивостей повзучості [3].

Термін «повзучість», як його зараз розуміють в механіці суцільних середовищ, не охоплює всього процесу деформування багатофазних ґрунтів. У зв'язку з цим більш відповідним є термін «консолідація», під яким розуміють деформування багатофазного середовища в часі при постійному зовнішньому навантаженні. При цьому процес ущільнення відбувається як за рахунок поступового вичавлювання порової рідини, так і за рахунок одночасного протікання реологічних процесів в «скелет» ґрунту [3]. «Скелетом» мезги є гелева фаза [4] – грубодисперсний органічний гелевий порошок, складний за хімічним складом, який має гідрофільні властивості. Рослинна олія з розчиненими в ній речовинами має рідку і гідрофільну фазу. Таким чином, при розробці теорії процесу консолідації мезги насіння олійних культур необхідно враховувати органічний вміст її фаз. З огляду на особливість мезги, доцільно розглянути методіку вивчення реології мезги насіння олійних культур.

У механіці ґрунтів однофазними, або квазіоднофазними називають такі ґрунти, при деформації яких співвідношення фаз в одиниці об'єму не змінюється або ним можна знехтувати. Основним критерієм при віднесенні ґрунту до тієї чи іншої розрахункової схеми є доцільність обліку зміни співвідношення фаз в одиниці об'єму ґрунту. Зміна напружено-деформованого стану в часі в двофазних системах ґрунтів пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета», але і з фільтрацією порової рідини в бік дренажу. Таким чином, процеси, що відбуваються при консолідації ґрунтів подібні до процесів, при віджимі мезги насіння олійних культур в пресах. Теорія консолідації розроблена і широко використовується в механіці ґрунтів [1, 3-5].

Формулювання мети статті. Серед розглянутих джерел не знайдені дослідження з теорії процесу консолідації мезги насіння олійних культур в гвинтових пресах. Тому актуальними задачами є виявлення закономірностей процесу консолідації мезги насіння олійних культур і розробка математичного апарату для його вивчення. Це є шляхом до розробки методів проектування апаратів технологічної лінії віджимання олії з насіння сафлору та інших олійних культур.

Основна частина. М'ятка, що пройшла волого-теплову обробку в жаровні, має назву мезги. Саме мезга надходить в гвинтовий прес. Механізм зміни напружено-деформованого стану мезги в гвинтових



пресах відноситься до багатофазних систем. Основним критерієм при виборі є зміна співвідношення фаз в одиниці об'єму мезги при переміщенні робочим каналом гвинтового пресу. У багатофазній меззі зміна в часі напружено-деформованого стану пов'язана не тільки з проявом реологічних властивостей «скелета» мезги, а й з фільтрацією рослинної олії в бік дренажу, зтиснутого повітря та ін.

Як зазначалось раніше, процеси, що відбуваються при консолідації ґрунтів подібні до процесів, при віджимі мезги насіння олійних культур в пресах [6]. При цьому процес ущільнення мезги відбувається як за рахунок поступового вичавлювання олії, так і за рахунок одночасно протікаючих реологічних процесів в «скелеті» мезги.

Загальна характеристика структури м'ятки і мезги полягає в наступному: I – звичайна м'ятка, що отримується в результаті подрібнення ядра насіння з деяким вмістом оболонки, або подрібнене насіння. II – м'ятка, що отримується в результаті подрібнення проміжних продуктів після жаріння і попереднього вилучення олії.

Мезга, отримана як з першого, так і другого виду м'яток являє собою дисперсну систему, що складається з двох фаз. Гелевої гідрофільної фази – грубодисперсного гелевого порошку, складного за хімічним складом, що має гідрофільні властивості та рідкої гідрофільної фази – олії з розчиненими в ній речовинами.

У разі двофазної мезги геометричні розміри ущільнюваної області будуть істотно впливати на тривалість процесу деформування. При цьому очевидно, що процес деформування протікає в залежності від фізико-механічних властивостей кожної фази мезги окремо і від характеру їх взаємодії.

При математичному описі процесів консолідації двофазної мезги має бути відомо наступне:

А. Реологічні рівняння стану кожної фази мезги.

В. Характер взаємодії окремих фаз мезги.

С. Зміна співвідношення фаз мезги до одиниці об'єму в процесі консолідації.

Деформування в часі двофазної мезги, яке включає два процеси, що протікають одночасно. Перший процес – формування об'ємної зміни в часі гелевої фази, що відбувається в результаті деформування в'язких зв'язків між частинками мезги. Другий, що протікає паралельно, – процес переміщення фаз мезги відносно один одного.

Прийнята в даній роботі розрахункова модель двофазної мезги ґрунтується на наступних умовах А, В, С.

А. Рівняння стану двофазної мезги.

Механічні властивості мезги визначаються не тільки гелевою частиною, але і наявністю олії, її кількістю, ступенем відокремленості. Так, при дуже великому вмісті олії матеріал може виповзати при



пресуванні і при повній відсутності повзучості самої гелевої частини. З цим доводиться рахуватися при побудові схем переробки насіння сафлору. Однак при переробці насіння кожної даної олійної культури при даній олійності матеріалу, при наявному залишку оболонки в ньому, і при інших рівних умовах вирішальними для пресування є саме властивості гелевої частини матеріалу.

Єдине рівняння стану для двофазної мезги запропонувати не можна. Необхідно отримати експериментальне рівняння стану окремо для кожної фази.

Пластичні властивості гелів і, отже, гелевої частини пресованого матеріалу, зокрема величини верхньої межі плинності, змінюються в залежності від ряду обставин. Дослідження пластичності показують, що при збільшенні вологості відбувається збільшення плинності спочатку поступово, а потім при певній вологості настає різкий стрибок в бік підвищення плинності. Причому подальше збільшення вологості дає надзвичайно різке збільшення плинності. Часто дуже невелике перевищення вологості мезги над оптимальним призводить до сильного виповзання матеріалу з пресу. При цьому відбувається стрибкоподібний перехід до пластичної течії.

З іншого боку, деяке зниження вологості нижче оптимальної призводить до різкого зниження пластичності мезги, неправильного поєднання частинок, погіршення віджиму олії. Можна припускати, що зниження вологості збільшує нижню межу плинності матеріалу, який стає вище напружень, що створюються, так, що проміжна зона пластичних деформацій не використовується.

Спостереження за поведінкою мезги при переробці вказують на підвищення пластичності при нагріванні, і навпаки. Для того щоб почалося з'єднання частинок в гвинтовому пресі та утворення макухи, повинна бути досягнута певна пластичність матеріалу. Тому необхідна достатня температура матеріалу і преса. Але це лише нижня межа технічно можливої зони температур. Верхня межа якої визначається зовсім неприпустимими температурами, при яких починається утворення газів в результаті розпаду речовин насіння. Усередині цієї зони лежить вузька оптимальна зона температур, в якій досягається необхідна пластичність. Розташування цієї зони пов'язано з вологістю та іншими характеристиками матеріалу.

Висловлено припущення про зниження пластичності при денатурації білків.

Взаємодія фаз мезги при пресуванні в гвинтових пресах. Маса мезги просувається передніми поверхнями витків в просторі кільцеподібного перетину. Цей перетин обмежений з одного боку поверхнею маточини витків і проміжних кілець і з іншого боку – внутрішньою поверхнею зеєрного барабану.



У робочому просторі зеєрного барабану відбувається поряд з проштовхуванням мезги вперед, так само її ущільнення, що зростає в міру просування до вихідної щілини. Спочатку ущільнення матеріалу йде за рахунок зменшення проміжків між частинками, проникнення одних частинок в проміжки між іншими, причому збільшується число і поверхня контактів між частинками. Відбувається пластична деформація самих частинок, що приводить до зближення внутрішньої поверхні (всередині частинок). В результаті ущільнення пресованого матеріалу відбувається віджимання олії. Олія під дією напору градієнтів, що виникли в ній віджимається в бік внутрішньої поверхні зеєрного барабану. При цьому тиск, що існує в олії, впливає на гелеву фазу, прагнучи зсередини збільшити об'єм пор. Інтенсивність витікання олії через поздовжні щілини між колосниками зеєрного барабану не однакова по довжині зеєра. Це залежить від властивостей мезги і конструкції пресу.

Фізичні властивості мезги як системи, що складається з двох частин - гелевої і олійної, є складним поєднанням властивостей цих частин. Залежно від загального вмісту олії і що особливо важливо, від вмісту олії, що виділяється на поверхні, поєднуються властивості в більшій чи меншій мірі гелевої або олійної частин.

С. Закономірності зміни співвідношення фаз мезги в одиниці об'єму.

Дослідження [7] показують, що переважна більшість олії (до 98% від витягнутої) віджимається в першій половині преса, що підтверджується і характером зміни олійності макухи по довжині валу: повільна зміна в самому початку і в кінці вала і значна до середини вала. Максимальна кількість віджимається в зоні першого і другого ступенів тиску.

Олійність різних шарів пресованого матеріалу по глибині каналу неоднакова. Так олійність бавовняної макухи, отриманої в пресах ФП у внутрішньому шарі, що примикає до валу виявилася на 1,83 – 4,1% вище ніж в зовнішньому шарі, що примикає до зеєрного циліндру. Різниця між олійністю пресованого матеріалу за шарами зменшується до виходу.

Методи реології отримали досить широке поширення. Дослідниками, починаючи з робіт Шведова (1890) і Бінгама (1919), були запропоновані різні схеми поведінки матеріалу, в основу яких покладені експериментальні факти.

Найпростішим експериментом, що виявляє реологічні властивості однофазних ґрунтів, є стискання зразка породи циліндричної форми з торців постійним навантаженням з можливістю вільного бічного розширення. Виявляється, що деформація не зупиняється миттєво, а продовжує розвиватися з плином часу. У цьому випадку її називають



деформацією повзучості. При цьому деформація зразка буде тим більше, чим довше він перебував під постійним навантаженням.

Для кількісної оцінки явищ необхідний аналітичний зв'язок між змінними деформаціями, напруженнями, швидкостями деформації і часом. Такий зв'язок встановлюється на основі тієї чи іншої гіпотези, в залежності від якої і розрізняються теорії повзучості. У роботах [3, 5] розглядається теорія ґрунту, в основі «скелету» якого лежать природні мінерально-дисперсні утворення. Тому використовуючи напрацьовану теорію ґрунту, ми повинні враховувати реологію органічних речовин, до яких відносяться харчові маси [1, 2, 7, 8].

Властивості твердих тіл складні і різноманітні. Тому слід в кожному конкретному випадку вибирати математичну модель, яка відображає найбільш істотні властивості матеріалу в розглянутій задачі.

Реологічні моделі представлені на рисунках 1 і 2.[8].

Ідеальні тіла. Всі ідеалізовані тіла є умовними, неіснуючими в природі, але вони є якби відправним пунктом, що розглядається при описанні поведінки реальних матеріалів. Відомі три моделі ідеалізованих матеріалів: ідеально-пружне тіло, або Гукове тіло, ідеально-пластичне тіло Сен-Венана і ідеально в'язка рідина, або ньютонівська рідина.

Пружне тіло є консервативною системою, тобто енергія, витрачена на деформацію, накопичується в тілі і може бути повернута при розвантаженні.

В'язка рідина і пластичне тіло є диссипативними системами: механічна енергія, витрачена на подолання внутрішнього тертя і на пластичну деформацію, перетворюється в теплоту.

У пружному тілі напружений стан пов'язаний з миттєвою деформацією, в'язкої рідини і в пластичних тілах – з миттєвим станом течії. У разі в'язкої течії механічна енергія залежить від швидкості деформації, в разі пластичної не залежить.

Ідеально-пружне тіло.

Пружне тіло, що підкоряється закону Гука, може бути описано рівнянням

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

де σ – нормальна напруга;

E – модуль пружності;

ε – лінійна деформація.

При цьому приймається, що деформації виникають безпосередньо після прикладання навантаження і швидкість поширення деформації практично миттєва, внаслідок чого в даному випадку модуль

Модель	Загальні властивості	Реологічні криві	Рівняння стану
I Ідеальні тіла			
а 	Модель твердого тіла Гука, Пружне тіло		$\tau = G\gamma$ або $\delta = E\varepsilon$
б 	Модель ідеально пластичного тіла Сен-Венана		$\tau = \tau_y$
в 	Модель ідеально в'язкої рідини Ньютона		$\tau = \eta\dot{\gamma}$
II Складні (складені) моделі			
г 	Пружно-пластичне тіло		1. При $\tau < \tau_y$ пружний стан $\tau = G\gamma$ 2. При $\tau = \tau_y$ пластична течія

Рисунок 1. Реологічні тіла [9]

можна назвати модулем миттєвої деформації. Якщо розглядати деформацію призми, яка перебуває під дією (дотичної) напруги, прикладеної до верхньої межі, то закон Гука має вигляд



$$\tau = G\gamma, \quad (2)$$

де τ – дотична напруга;

G – модуль зсуву;

γ – кут здвигу або градієнт зміщення зсуву або градієнт зсуву.

Модуль зсуву G пов'язаний з модулем розтягування E залежністю

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт Пуансона.

Якщо реальне тверде тіло в будь-якому діапазоні напруги після зняття напружень миттєво повертається до своєї первісної форми, то воно виявляє властивості ідеально-пружного тіла.

Моделлю ідеально-пружного тіла є спіральна пружина (рис. 1а).

Ідеально-пластичне тіло. До тих пір поки величина прикладеної до тіла напруги лежить нижче деякого критичного значення σ_T (τ_T) (границі текучості), матеріал залишається жорстким: в той момент, коли напруга досягає межі текучості, починається пластична, течія матеріалу при постійній нарузі.

Модель ідеально-пластичного тіла Сен-Венана може бути представлена у вигляді елемента, що лежить на площині з постійним по величині тертям, що не залежить від нормальної сили (рис. 1б). Статичний і кінематичний коефіцієнти тертя приймаються рівними. Тіло починає рухатися до тих пір, поки напруга не перевищить граничне напруження зсуву. Після цього елемент може рухатися з будь-якою швидкістю.

Модель в'язкої рідини представлена на рис. 1в у вигляді перфорованого поршня, що переміщається в циліндрі з рідиною. Модель характеризується тим, що в ній напруга пропорційна швидкості деформації, тому рівняння стану для такої рідини буде записуватися у вигляді

$$\tau = \eta\dot{\gamma}, \quad (4)$$

де η – коефіцієнт в'язкості;

$\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву.

$$\tau = \tau_T. \quad (5)$$

Для моделювання реальних тіл, що мають всі реологічні властивості, але їх не однаковою мірою, можна комбінувати в різних поєднаннях моделей ідеальних тіл. Іноді спроба відбити всі властивості реальних тіл в їх сукупності призводить до вельми складних і тому неприйнятних реологічних моделей. У деяких випадках реологічна модель може



задовільно відображати властивості реальних тіл тільки в певних інтервалах зміни температури, вологості, тиску та інших параметрів. За межами цих інтервалів поведінка реологічного тіла внаслідок зміни його властивостей може сильно розходитися з складеною моделлю.

Моделі ідеальних тіл можуть з'єднуватися між собою паралельно, або послідовно. При паралельному з'єднанні повне навантаження на тіло складається з навантажень, що передаються окремими елементами, а швидкість подовження елементів однакова. При послідовному з'єднанні повна швидкість подовження дорівнює сумі швидкостей складових елементів, а кожен з елементів передає повне навантаження. Всі моделі, що показані працюють на простому розтягненні, але вони можуть описувати не тільки подовження, але і зрушення і всебічне розтягнення-стиснення. Пружнопластичне тіло виходить при послідовному з'єднанні пружного і пластичного елементів (рис. 1г). при $\tau < \tau_r$ має місце пружний стан, при якому $\tau = G\gamma$; при $\tau = \tau_r$ настає стан пластичної течії.

Модель Максвеллівського тіла являє собою послідовне з'єднання моделей Гуковського і Ньютоновського тіл (рис.2д).

За умови, що сумарна деформація γ дорівнює сумі деформацій пружного і в'язкого елементів, маємо:

$$\gamma = \gamma_y + \gamma_v \quad (6)$$

де пружна складова за законом Гука

$$\gamma_y = \frac{\tau}{G}. \quad (7)$$

а для в'язкого елемента

$$\gamma_v = \frac{\tau}{\eta}. \quad (8)$$

диференціюючи по t вирази (1) та (2), отримуємо

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_y + \dot{\gamma}_v, \quad (9)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{G}. \quad (10)$$

Підставляючи вирази (3) і (5) в рівняння (4), знаходимо

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta}. \quad (11)$$


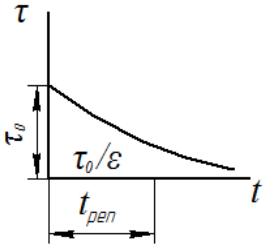
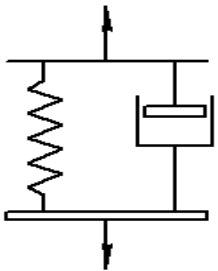
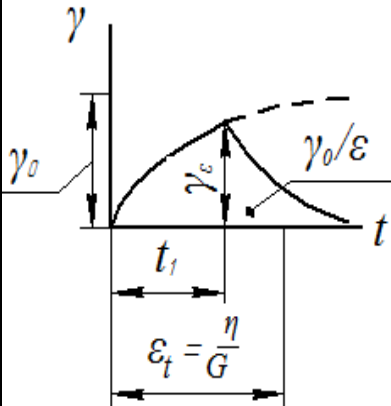
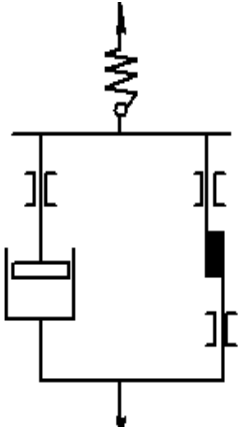
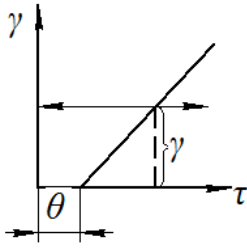
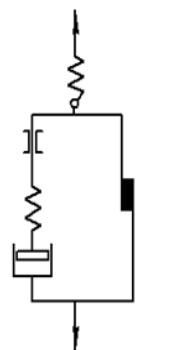
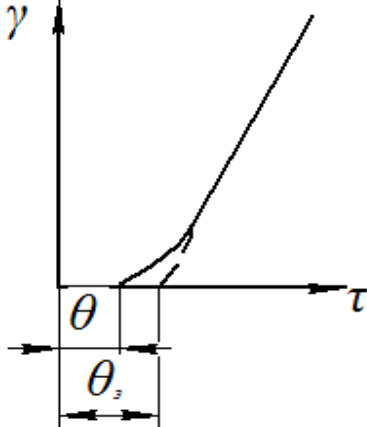
Модель	Загальні властивості	Реологічні криві	Рівняння стану
д 	Пружне в'язке релансуюче тіло Максвелла		$\gamma = \frac{\tau}{G} + \frac{\tau}{\eta}$
е 	Тіло Кельвіна або Фойгта, пружний наслідок		$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$
ж 	Тіла Бінгама		$\tau = \tau_y - \eta_{пл}\dot{\gamma}$
з 	Тіла Шведова		$\gamma = \frac{\tau - \tau_y}{\eta_{пл}} + \frac{\tau}{G}$

Рисунок 2. Реологічні тіла [9]



Рівняння (6) вперше було запропоновано Максвеллом. Це рівняння є лінійним диференціальним рівнянням відносно τ . Його рішення буде:

$$\tau = \left(e^{-\frac{G}{\eta}t} \right) \left[\tau_0 + G \int \dot{\gamma} e^{\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (12)$$

де τ_0 – напруга в початковий момент часу ($t = 0$).

Якщо миттєво завантажити розглянуте тіло і вважати, що в момент $t = 0$ докладена напруга τ_0 , то безпосередньо після завантаження тіла в'язка деформація дорівнює нулю і деформація тіла дорівнює тільки пружній деформації:

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}. \quad (13)$$

Якщо після цього забезпечити незмінність у часі цієї деформації, тобто $\dot{\gamma} = 0$, то і рівняння (6) набуде вигляду

$$\frac{\dot{\tau}}{G} + \frac{\tau}{\eta} = 0. \quad (14)$$

звідки, інтегруючи, знаходимо

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{G}{\eta}t}. \quad (15)$$

Величина $\frac{\eta}{G} = T_{\text{рел}}$ була названа Максвеллом періодом релаксації,

при $t = 0$ $\tau = \tau_0$, а при $t = T_{\text{рел}} = \frac{\eta}{G}$; $\tau = \frac{\tau_0}{e}$, тобто період релаксації - це той час, протягом якого напруга падає в e раз. при збільшенні t напруга τ зменшується і при $t \rightarrow \infty$ тіло приходить в ненапружений стан. Графік релаксації при постійній деформації показаний на рис. 2д.

Тіло Кельвіна або Фойгта (рис. 2е). Модель Кельвіна виходить при паралельному з'єднанні пружного і в'язкого елементів. В цьому випадку сума напруг дорівнює сумі напруг τ_y та τ_v пружного і в'язкого елементів:

$$\tau = \tau_y + \tau_v \quad (16)$$

Враховуючи, що

$$\tau_y = \gamma G, \quad \tau_v = \eta \dot{\gamma}, \quad (17)$$

Отримаємо:

$$\tau = \gamma G + \eta \dot{\gamma}. \quad (18)$$

Рівняння (10) являє собою лінійне диференціальне рівняння щодо γ . Інтегруючи його, знайдемо спільне рішення

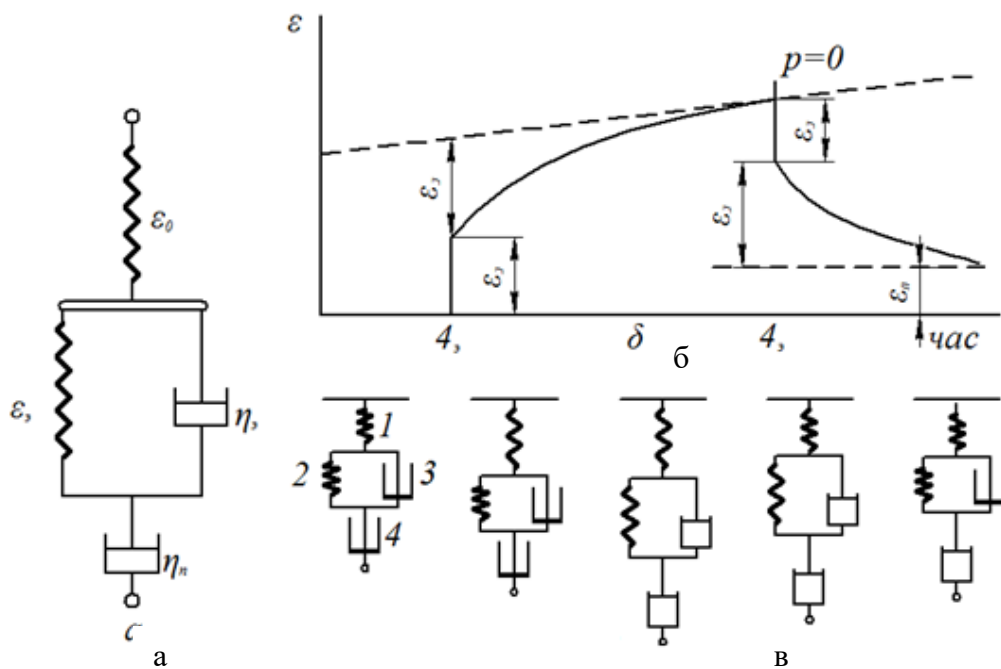
$$\gamma = e^{-\frac{G}{\eta}t} \left[\gamma_0 + \frac{1}{\eta} \int \tau e^{\frac{G}{\eta}t} dt \right], \quad (19)$$

де γ_0 – деформація в початковий момент часу ($t=0$);

$$\gamma_0 = \frac{\tau_0}{G}. \quad (20)$$

Пружно-пластичні властивості твердо-рідких тіл, аналогічних тісту, для більшої наочності іноді характеризують механічними моделями, що складаються з декількох пружних елементів - пружин і поршнів, що рухаються у в'язкій рідині [2].

На рис. 3 приведена схема механічної моделі, що складається з чотирьох елементів: двох елементів тіла Максвелла (E_0, η_{II}) і двох елементів тіла Кельвіна (E_s, η_s).



а – механічна модель; б – залежність деформації від часу при постійній нарузі; в – схема роботи моделі

Рисунок 3. Схема пружно-еластичних і пластичних деформацій зсуву тіста при постійній нарузі за допомогою механічної моделі тіла [10]

Дія моделі відбувається в умовах постійної нарузі. Загальна



сумарна пружно-еластично-пластична деформація зрушення такої моделі розвивається послідовно. Залежно від тривалості дії розвиток сумарної деформації цієї моделі може бути наближено вираженими рівнянням, що складається з трьох частин, які характеризують миттєво-пружну, еластичну і пластичну деформації:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_0} + \frac{P}{E_s} (1 - e^{-\tau/\theta}) + \frac{P}{\eta} \tau. \quad (21)$$

Для реальних дисперсних систем вони є недостатньо точними, оскільки ці системи характеризуються статистичним рядом частинок, що мають «спектр» деформацій зсуву, що розрізняються в умовах однакових напружень.

Реальні величини пружно-еластичних і залишкових, пластичних деформацій, необхідних для обчислень модулів зсуву і в'язкості тіста, отримують за допомогою різних приладів – еластовіскозиметрів. Найбільш цінні відомості про механічні властивості незруйнованої структури мучного тіста отримують шляхом деформацій його зсуву при постійній нарузі, концентрації сухих речовин і температурі в умовах вельми малих градієнтів швидкості деформації. Це дає можливість визначити технологічні властивості зерна і борошна з нього, оцінити процеси деформацій в умовах малих швидкостей збільшити обсяг тіста при бродінні і випічці [11].

Висновки. Знання фізико-механічних і реологічних властивостей продуктів виробництва і закономірностей їх зміни може вказати нові шляхи управління технологічними процесами, полегшити розробку методів контролю і автоматизації цих процесів, а також відшукати правильне рішення при проектуванні нового обладнання та вимірювальної апаратури.

Список використаних джерел

1. В. De Cindio, N. Baldino, D. Gabriele, F.R. Lupi Rheological Properties of Food Materials. *Encyclopedia of Food and Health*, University of Calabria, Arcavacata di Rende (CS), Italy. 2016. Pp. 610–617. DOI:10.1016/B978-0-12-384947-2.00592-4
2. Мачихин Ю. А. Формование пищевых масс / Ю.А. Мачихин, Г. К. Берман, Ю.В. Клаповский. М.: Колос, 1992. 272 с.
3. Guangli Z. Rheological properties of soil: a review 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 64 012011. DOI 10.1088/1755-1315/64/1/012011
4. Mckeon T. A., Hayes D. G., Hildebrand D. F., Weselake R. J. Introduction to industrial crops. *Industrial Oil Crops*. Amsterdam, Netherlands, Academic press and Champaign-Urbana, IL, USA, AOCS, 2016. P. 1–13
5. Yin Jian-Hua, Weiqiang Feng A New Simplified Method and Its



Verification for Calculation of Consolidation Settlement of a Clayey Soil with Creep. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 54, 2016. Pp. 333–347. DOI:10.1139/cgj-2015-0290

6. Bhandary P. Radhika A. Krishnamoorthy, A. U. Rao A review on consolidation theories and its application *International Journal of Geotechnical Engineering*. London. Vol. 14, 2020. Pp. 102–111.

7. Dijkstra A., Duijn G. Vegetable Oils: Oil Production and Processing. *Encyclopedia of Food and Health*. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00707-8

8. Didur V., Tkachenko V., Tkachenko A., Didur V., Vereshchaga A. Vereshchaga Rheology of the pulp of castor-oil seeds and its effect on the process of pressing. *Advances Of Science: Proceedings of articles the international scientific conference*. Karlovy Vary, Kyiv: MCNIP, 2018. P.609-618.

9 Дидур В. А., Ткаченко В. А. Технология переработки семян клещевины на малотоннажных предприятиях. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Мелітополь: Копіцент «Документ-сервіс», 2014. Вип. 4. С. 21–35.

10. Дидур В. А., Ткаченко А. В. Термодинамічні характеристики елементів насіння підсопнячника. *Науковий вісник НУБіП України*. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 251. С.19–30.

11. Михайлик В. Визначення структурно-механічних властивостей тіста зі шроту олійних культур. *Праці ТДАТУ*. ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 1.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2023 р.

V. Didur, I. Petrychenko, I. Leshchenko
Uman National University of Horticulture

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SAFFLOWER SEED MUSCLE AND THEIR INFLUENCE ON THE OIL PRESSING PROCESS IN A SCREW PRESS

Summary

Scientifically based design of press equipment requires knowledge of both the laws of the flow of food masses and the structural and mechanical properties of processed products. The pith of oilseeds should be classified as a two-phase system. When developing a theory of the process of its consolidation, it is necessary to take into account the organic content of its phases. In the case of a two-phase pulp, the geometric dimensions of the densified area will significantly affect the duration of the deformation process. At the same time, it is obvious that the process of deformation proceeds depending on the physical and mechanical properties of each pulp phase separately and on the nature of their interaction. In the mathematical description of the consolidation processes of two-phase pulp, the following should be known: rheological equations of



state of each phase of the pulp, the nature of the interaction of individual phases of the pulp, the change in the ratio of the phases of the pulp per unit volume during the consolidation process. The article presents the results of the analysis of the rheological properties of the pulp of safflower seeds. the influence of the rheological properties of pulp on the process of oil extraction in a screw press is described. It is described how the mechanical properties of the pulp change when the oil content, humidity, and temperature change. The interaction of pulp phases during pressing in screw presses is considered. Models of rheological bodies with their properties, rheological curves and equations of state are presented. A scheme of elastic-elastic and plastic shear deformations of the dough under constant stress using a mechanical model of the body is provided: a mechanical model, the dependence of deformation on time under constant stress and a scheme of the model.

Key words: rheological bodies, properties, rheological models, pulp, pressing.