

Паламарчук І. П.

Полєвода Ю. А.

Янович В. П.

*Вінницький
національний
аграрний
університет*

УДК 621.928:519.233.4

ОБҐРУНТУВАННЯ В'ЯЗКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІДКОГО ДИСПЕРСІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА В УМОВАХ ВІБРОМЕХАНІЧНОЇ ДІЇ

В статтє изложєны результати теоретических исследований изменений реологических свойств технического глицерина под влиянием комплексного виброцентробежного действия.

The results of theoretical researches of rheological characteristics changes of technical glycerin under the affect of complex vibrocentrifugal action is given in the article.

Вступ

В останні роки значно зросла зацікавленість суспензіями і емульсіями, які широко використовуються в промисловому виробництві і відіграють важливу роль в природних процесах. Реологічні властивості таких неоднорідних систем визначають їх технологічні характеристики. Саме через це проблемам реології суспензій і емульсій приділена увага багатьох дослідників [1-5]. До основоположників, які проводили аналіз та розробку теоретичних уявлень про реологію суспензій можна віднести Ейнштейна А., Рейнера М., Блехмана І.І., Гуськова К.П., Мачіхіна Ю.А., Мачіхіна С.А., Овчиннікова П.Ф. та інших.

Обов'язковим елементом реологічних досліджень є вимірювання механічних сил (напряга зсуву), дією яких в'язкі середовища приводяться до руху. По одержаним значенням напруги та швидкості зсуву визначають в'язкість консистентного середовища (суспензія, емульсія). Враховуючи похибки умов вимірювання, значення умовної або ефективної в'язкості однієї і тієї ж суспензії можуть бути різними [5]. Якщо параметри механічних впливів в процесах вимірювання і промислового розділення суспензій не співпадають, то технологічна оптимізація їх реологічних властивостей ускладнена або навіть неможлива.

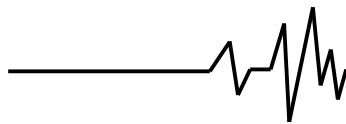
Велика кількість обладнання переробних і харчових виробництв, що базується на відцентровій дії, широко застосовується в багатьох технологіях, де

виникає потреба у розділенні неоднорідних дисперсних систем. В таких процесах якість і навіть можливість розділення в першу чергу залежать від конструкції, режимів роботи апарата та структурно-механічних (реологічних) властивостей досліджуваного харчового продукту. Вплив останніх на технологічне середовище у вібраційному полі не достатньо широко досліджено, що є важливою **проблемою** при проектуванні і виробництві досконалих з точки зору ефективності розділення і продуктивності конструкцій центрифуг.

Тому **актуальним** є пошук інтенсивних, зокрема, вібровідцентрових методів обробки, дослідження впливу вібрації на зміну структурно-механічних властивостей досліджуваної сировини, а саме сирого гліцерину.

Мета даної наукової роботи полягає у дослідженні поведінки дисперсної системи за комбінованого вібромеханічного впливу (відцентрової сили, вібрації), а саме визначення критеріїв зміни структурно-механічних властивостей середовища. Для досягнення означеної мети слід розв'язати наступні **задачі**:

- провести теоретичний аналіз залежності швидкості деформування дисперсного середовища під впливом вібрації;
- визначити функціональну залежність напруги технологічного середовища від динаміки руху виконавчих органів (амплітуда, кутова швидкість);



- провести аналітичний аналіз отриманих реологічних коефіцієнтів при різних режимах роботи машини.

Викладення основного матеріалу

Суспензії і емульсії в реологічних моделях слід розглядати як двофазні (незведені до однофазної) системи, в яких дисперсне середовище фактично і визначає їх в'язкість. При цьому, необхідно отримати залежність для силових та кінематичних параметрів примусового механічного впливу при врахуванні реологічних властивостей об'єкта обробки, в якості якого виступають переважно неньютонівські рідини. Утворення стійких агломератів в таких неоднорідних системах також обґрунтовує необхідність оцінки їх реологічних параметрів. Це означає, що певна статистична сукупність агломератів в суспензії присутня даному об'ємному наповненню, швидкості зсуву та передісторії суспензії до моменту дослідження її реологічних властивостей.

Таким чином, можна обґрунтувати наступні загальні вимоги до досліджуваних апаратів і установок. Апарати повинні забезпечувати просторово-часову однорідність руйнування первинної структури. При цьому, питома потужність, що підводиться до системи в цілому і до її елементарного об'єму, повинна бути достатня для досягнення граничного руйнування структури в самому початку її формування одночасно у всьому об'ємі системи. Діапазон механічних вібраційних впливів на дисперсну систему в робочій зоні апарату повинен відповідати діапазону зміни структурно-механічних властивостей системи в ході процесу. Якщо в ході процесу обробки реологічні властивості системи змінюються дуже різко, то відповідний їм діапазон механічних впливів не може бути реалізований в одному апараті. Доцільно застосовувати установку із декількох послідовно з'єднаних апаратів, в кожному із яких реалізується формування структури переважно одного типу, характерного для однієї із двох окремих стадій структуроутворення [6,7].

При виборі оптимальних технологічних параметрів обробки харчових мас за допомогою вібрації широко застосовують методи реології. Зокрема взаємодію робочого органу машини з середовищем, що обробляється, з метою пошуку оптимальних параметрів технологічного режиму слід розглядати комплексно з позиції механіки і реології. Методами механіки описується взаємодія робочого органу з середовищем, що

обробляється, як механічним об'єктом; реологія, в свою чергу, дозволяє розкрити внутрішні процеси в середовищі.

Досліджувану систему можна віднести до пружно-в'язкого середовища (неньютонівської рідини), що описується феноменологічною моделлю, яка складається із з'єднаних між собою пружного і в'язкого елементів [1-3].

У Національному університеті харчових технологій було розроблено компресійний прилад для знаходження реологічних коефіцієнтів c і μ [8], використовуючи який було знайдено для досліджуваної системи шукані реологічні параметри c і μ , які відповідно характеризують в'язкі та пружні властивості продукту.

Так як дослідження проводять при відомій величині τ , то простим розрахунком з

відношення $\frac{\tau}{c}$ знаходять величини c та μ

відповідно.

Для знаходження реологічних коефіцієнтів c і μ використаємо експериментально отримані залежності $x(t)$ для в'язко-пружного продукту – гліцерину [8], що проводились з наданням коливального руху технологічній масі та без вібраційного впливу на останню.

Аналіз отриманих даних свідчить, що вібрація прискорює процес формування дози і ущільнення продукту, змінює його структурно-механічні властивості, відповідно змінюючи реологічні коефіцієнти, які впливають на швидкість деформування.

Для проектування досліджуваних машин необхідно вміти розраховувати величину деформації залежно від тривалості стискання продукту [9]. Зокрема, при використанні математичної моделі деформування продукту під дією вібрації.

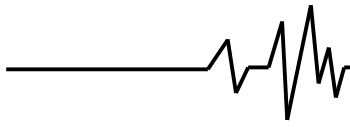
У випадку дії вібрації на продукт реологічне рівняння запишемо

$$\tau + \tau_1 A \cos(\omega t) = cx + \mu \frac{dx}{dt}, \quad (1)$$

де τ_1 - коефіцієнт який характеризує зміну

напруги під дією вібрації, $\frac{Pa}{M}$. Розв'язок

рівняння при початкових умовах $t = 0 \Rightarrow x(t) = 0$ складає:



$$x(t) = \frac{\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2 \cos(\omega \cdot t) + \tau_1 A \omega \mu \sin(\omega \cdot t) c}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} - \frac{e^{\left(\frac{c \cdot t}{\mu}\right)} (\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2)}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \quad (2)$$

При $t = 0 \Rightarrow x(t) = x_0$, тобто, за умови початкової деформації, маємо

$$x(t) = e^{\left(\frac{-c \cdot t}{\mu}\right)} \left(x_0 - \frac{\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \right) - \frac{\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2 \cos(\omega \cdot t) + \tau_1 A c^2 \sin(\omega \cdot t) c}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \quad (3)$$

В результаті диференціювання рівнянь (2) та (3) для початкових умов $t = 0 \Rightarrow x(t) = 0$

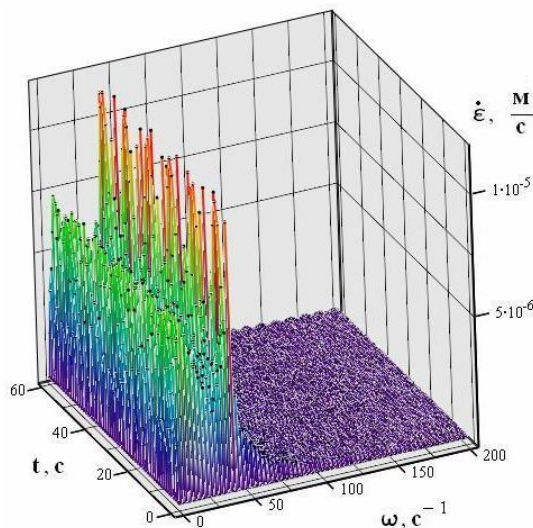
$$\frac{dx}{dt} = e^{\left(\frac{-c \cdot t}{\mu}\right)} \left(\frac{\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2}{\mu(c^2 + \omega^2 \mu^2)} + \frac{\tau_1 A c^2 \cos(\omega \cdot t) c - \tau_1 A c^2 \sin(\omega \cdot t)}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \right) \quad (4)$$

При наявності початкової деформації за умов $t = 0 \Rightarrow x(t) = x_0$

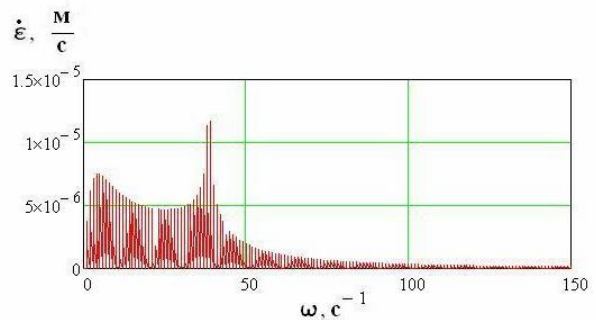
$$\frac{dx}{dt} = \frac{c e^{\left(\frac{-c \cdot t}{\mu}\right)} \left(\frac{\tau \cdot c^2 + \tau \omega^2 \mu^2 + \tau_1 A c^2}{\mu(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \right)}{\mu} + \frac{\tau_1 A \omega^2 \mu \cos(\omega \cdot t) c - \tau_1 A c^2 \sin(\omega \cdot t)}{c(c^2 + \omega^2 \mu^2)} \quad (5)$$

Підставивши знайдені коефіцієнти в рівняння (5), використовуючи отримані в результаті відзначених вище досліджень [8],

був проведений аналіз швидкості деформації неоднорідного середовища в умовах технологічної дії вібраційного поля (рис. 1).



а)



б)

**Рис. 1. Теоретичні залежності швидкості деформування від кутової швидкості приводного вала:
а – графік функції $\dot{\epsilon} = f(\omega, t)$; б – графік функції $\dot{\epsilon} = f(\omega)$**



За результатами експериментальних досліджень знаходимо значення t , коли $\frac{dx}{dt} = 0$, тобто на завершальній стадії ущільнення осаду. Знаючи величини

реологічних коефіцієнтів c і μ та основні характеристики коливань (A, ω), з рівнянь (4) і (5) можна знайти також функціональний зв'язок $\tau_1 = f(\omega, t)$ [10].

$$\tau_{1\omega,t} = \left[\frac{\mu \cdot \left[c \cdot e^{\left(\frac{-c \cdot 15}{\mu} \right)} \right] \cdot (A_{\omega,t} \cdot c^2)}{\mu \cdot (c^2 + \omega^2 \cdot \mu^2)} + \frac{[(A_{\omega,t}) \cdot \omega^2 \cdot \mu \cdot \cos(\omega \cdot t) - (A_{\omega,t}) \cdot c^2 \cdot \sin(\omega t)]}{c \cdot (c^2 + \omega^2 \cdot \mu^2)} \right] + \frac{\mu \cdot \left[c \cdot e^{\left(\frac{-c \cdot 15}{\mu} \right)} \right] \cdot (\tau \cdot c^2 + \tau \cdot \omega^2 \cdot \mu^2)}{\mu \cdot (c^2 + \omega^2 \cdot \mu^2)}$$

Дослідивши функціональний зв'язок напруги технологічного середовища в залежності від кутової швидкості та часу, будемо відповідну графічну залежність (рис. 2), яка відображає діапазон максимальних напружень в шарі технологічного середовища, що лежить в інтервалі 0 – 50 рад/с.

Для перевірки достовірності отриманих функціональних залежностей реологічних коефіцієнтів підставимо їх у рівняння (2) і будемо в математичному середовищі «MathCad» графік $x(\omega)$ для умов деформування технологічного продукту (рис. 3).

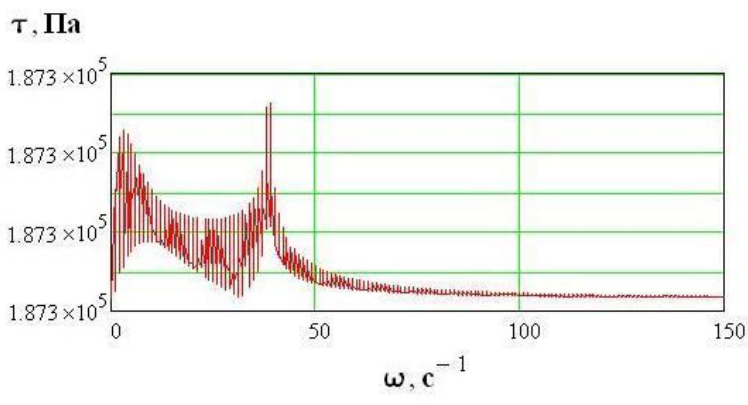
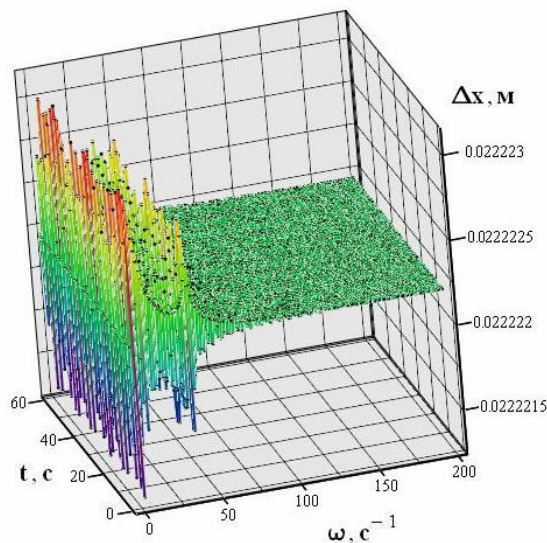
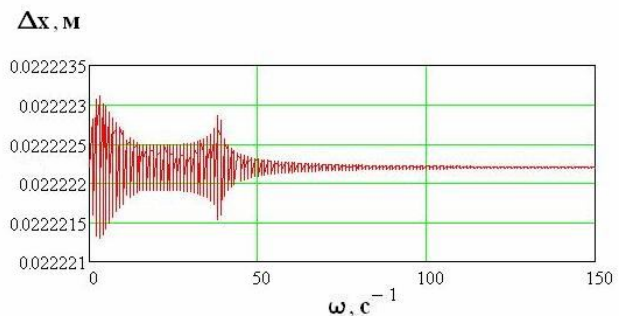


Рис. 2. Функціональний зв'язок напруги середовища від кутової швидкості приводного вала



а)



б)

Рис. 3. Функціональна залежність деформування продукту від кутової швидкості приводного вала машини:

а – графік функції $\Delta X = f(\omega, t)$; б – графік функції $\Delta X = f(\omega)$

Висновки

1. На основі проведеного практичного та теоретичного аналізу величини деформації технологічного середовища в залежності від внутрішньої напруги за умови вібровідцентрового впливу виконавчих органів машини виявлено, що інтервал оптимальних режимів роботи обладнання лежить в межах 90 – 100 рад/с.

2. Представлені розрахунки основних параметрів процесів розділення для неоднорідного рідкого середовища (сирий гліцерин) при його вібровідцентровій обробці, знайдені величини реологічних коефіцієнтів, що необхідні при розробці нових конструкцій сепараторів.

Література

1. Реология пищевых масс / К. П. Гуськов, Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин, Л. Н. Лунин. – М. : Пищевая промышленность, 1970. – 208 с.
2. Мачихин Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
3. Овчинников П. Ф. Виброреология / П. Ф. Овчинников. – К. : Наук. думка, 1983. – 272 с.
4. Урьев Н. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и

материалов / Н. Б. Урьев. – М. : Химия, 1988. – 255 с.

5. Ходаков Г. С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование / Г. С. Ходаков // Ж. Рос. Хим. об-ва им. Д. И. Менделеева. – 2003. – №2. – С. 33–44.

6. Урьев Н. Б. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / Н. Б. Урьев, М. А. Талейник. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 239 с.

7. Урьев Н. Б. Образование и разрушение дисперсных структур в условиях совместного действия вибрации и поверхностно-активной среды : автореф. докт. дис. / Н. Б. Урьев. – Москва, 1974. – 40 с.

8. Гуць В. С. Визначення структурно-механічних характеристик в'язкопружних дисперсних систем / В. С. Гуць, Ю. А. Полевода, О. А. Коваль // Упаковка. – 2011. – №1. – С. 46–47.

9. Гуць В. С. Применение реологических уравнений в расчетах механических процес сов пищевых производств / В. С. Гуць, С. И. Резников // Пищевая технология. – 1997. – №2. – С. 60–61.

10. Паламарчук І. П. Аналіз математичної моделі вібровідцентрової машини для очищення рідкої сировини / І. П. Паламарчук, Ю. А. Полевода, В. П. Янович // Вібрація в техніці та технологіях. – 2009. – №4(56). – С. 129–136. – ISBN 5-7763-9123.