

УДК 685.34.02

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ФОЙГТА НЕПРЯМИМ МЕТОДОМ

ІГНАТИШИН М. І.

Мукачівський державний університет, Україна

Реологічні моделі мають широке застосування в нафтовидобутку, нафтохімії, біохімії, харчовій, косметичній і лакофарбовій промисловості, застосовуються для моделювання механічних властивостей біологічних тканин. На теперішній час існує більше 20 реологічних моделей, що описують взаємозв'язок між сталими значеннями напруг і швидкостей зсуву. Різноманіття реологічних моделей сприяє появі великої кількості робіт, присвячених не тільки гідродинамічним і механічним розрахункам. Актуальним є питання визначення реологічних параметрів моделі.

Апроксимація реограм, як правило, проводиться шляхом перевірки на відповідність моделей і вибору тієї, яка дає найменшу похибку. Враховуючи складність визначення параметрів моделей, користуються найпростішими моделями Шведова-Бингама і Оствальда, що призводять до значної похибки апроксимації.

Автором запропоновано застосувати непрямий метод визначення механічних параметрів реологічної моделі.

Мета дослідження-побудувати математичний апарат для реалізації експериментального визначення механічних параметрів реологічної моделі непрямим методом.

Сформульовано задачу знаходження механічних параметрів реологічної моделі в загальному виді та конкретно для моделі Фойгта.

Розглянуто розв'язок відповідного однорідного диференціального рівняння першого порядку, що відповідає моделі Фойгта при ізотонічному експерименті, тобто при сталому напруженні та нульовій деформації в початковий момент.

У роботі застосовано системи нелінійних рівнянь для визначення параметрів реологічної моделі Фойгта непрямим методом.

Застосовано метод найменших квадратів для обробки результатів ізотонічного експерименту та програмний пакет MATHCAD для розрахунку розв'язків системи нелінійних рівнянь, значень механічних параметрів реологічної моделі Фойгта.

Побудовано програму в пакеті MATHCAD для розрахунку механічних параметрів реологічної моделі Фойгта.

Основним результатом даної роботи є перевірка адекватності реологічної моделі системи, що моделюється. Перевірка здійснена шляхом розрахунку механічних параметрів моделі. Якщо в даному часовому інтервалі система нелінійних рівнянь має розв'язок то модель адекватно описує систему, якщо ні, - модель необхідно міняти.

Ключові слова: реологічна модель, нелінійні рівняння, модель Фойгта.

Є матеріали, тканини, біологічні тканини, фізичні системи, що мають пружнов'язкі властивості, тобто проявляють пружні і в'язкі властивості одночасно. Теоретичне та експериментальне дослідження таких систем здійснюють за допомогою реологічних моделей.

Реологічні моделі мають широке застосування в нафтовидобутку, нафтохімії, біохімії, харчовій, косметичній і лакофарбовій промисловості, застосовуються для моделювання механічних властивостей біологічних тканин. На теперішній час існує більше 20 реологічних моделей, що описують взаємозв'язок між сталими значеннями напруг і швидкостей зсуву. Різноманіття реологічних моделей сприяє появі великої кількості робіт, присвячених не тільки гідродинамічним і механічним розрахункам.

Об'єкт та методи дослідження. Враховують реологічні властивості рідин в каналах ґрунту [1]. Застосовано реологічне моделювання при дослідженні магніострикційного перетворювача [2]. Ступницький В. В. та Долиняк Я. В. [3] розглянули формоутворення поверхонь деталей з конструкційних сталей застосувавши реологічну картину впливу різних чинників на процес. Резніков С.І., Гуць В.С. дослідили реологічні властивості м'яса.

Ряд авторів досліджують вплив різних факторів на поведінку реологічних систем. Сиромятніков В.Г., Масленнікова Л.Д. та Ануфрієв В.А. розглядають вплив молекулярних взаємодій в сумішах полімерів [6] на реологічну поведінку системи. Масленнікова Л.Д. та Фабуляк Ф.Г. досліджували вплив карбонату кальцію на реологічну течію і молекулярні взаємодії з латексом [7]. Реологічні властивості клейової мастики досліджено в праці [8]. Масленнікова Л.Д. розглянула реологічні особливості в'язких водних систем [9] в присутності карбонату кальцію. Смачило О. В. [11] визначала вплив обробки в органічних розчинниках на механічні характеристики одягових шкір.

Апроксимація реограм, як правило, проводиться шляхом перевірки на відповідність моделей і вибору тієї, яка дає найменшу похибку. Враховуючи складність визначення параметрів моделей, користуються найпростішими моделями Шведова-Бингама і Оствальда, що призводять до значної похибки апроксимації.

Об'єктом дослідження в'язкопружна реологічна модель Фойгта. Премет дослідження – механічні параметри реологічної моделі. Застосування методу найменших квадратів для обробки результатів ізотонічного експерименту та програмного пакету MATHECAD для розрахунку розв'язків системи нелінійних рівнянь, значень механічних параметрів реологічної моделі.

Отже, питання визначення реологічних параметрів моделі є актуальним.

Постановка завдання. Метою дослідження є побудова математичного апарату для реалізації експериментального визначення механічних параметрів реологічної моделі непрямим методом.

Результати та їх обговорення. Реологічні моделі трансформуються в диференціальні рівняння. Розв'язки відповідних диференціальних рівнянь є функціями часу і містять параметри реологічної моделі:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(t, E_i, \eta_j, \sigma) \quad (1)$$

де t - час дослідження процесу, ε - відносна деформація, σ - напруження, E_i - модуль пружності i -го елемента моделі, η_j - текучість j -го елемента моделі.

Сформулюємо задачу знаходження релаксаційних параметрів реологічної моделі в загальному виді. Нехай $1 \leq i \leq n$, де n - кількість релаксаційних параметрів E_i , $1 \leq j \leq m$, де m - кількість релаксаційних параметрів η_j реологічної моделі, c - параметр, що визначається з початкових умов. Отже, всього невідомих параметрів моделі $q = n + m + 1$. Ці невідомі, E_i , η_j та c , можна знайти як розв'язок системи q нелінійних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_1, \eta_j, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_1, \eta_j, c)}{\partial E_1} = 0, \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)}{\partial E_i} = 0, \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_n, \eta_j, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_n, \eta_j, c)}{\partial E_n} = 0, \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_i, \eta_1, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_i, \eta_1, c)}{\partial \eta_1} = 0, \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)}{\partial \eta_j} = 0, \\ \dots \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_i, \eta_m, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_i, \eta_m, c)}{\partial \eta_m} = 0, \\ \sum_{k=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(t_k, E_i, \eta_j, c)}{\partial c} = 0, \end{array} \right. \quad 2)$$

де k - номер експерименту $1 \leq k \leq K$, K - кількість експериментальних даних.
Надалі будемо розглядати систему рівнянь (2).
Розглянемо реологічну модель Фойгта, рис. 1.

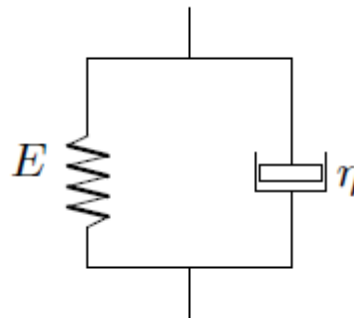


Рис. 1. Реологічна модель Фойгта.

Введемо позначення, що описують реологічну модель, рис. 1:

σ - сумарне напруження,

ε - відносна деформація,

σ_1 - напруження, що виникає в пружному елементі E ,

σ_2 - напруження, що виникає у в'язкому елементі η ,

Трансформуємо модель, рис. 1., в диференціальне рівняння:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon + \eta \cdot \dot{\varepsilon} \quad (3)$$

При ізотонічному експерименті $\sigma = \sigma_0 = const$, враховуючи початкову умову $\varepsilon(0) = 0$ одержимо розв'язок однорідного диференціального рівняння першого порядку (6):

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t} \right), \quad (4)$$

Маємо дві невідомі величини E та η , отже для їх експериментального знаходження потрібно два нелінійні рівняння, що утворюють систему. Застосуємо метод найменших квадратів та складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^K (\varepsilon_i - \varepsilon(\tau_i, \eta, E)) \cdot \frac{d\varepsilon(\tau_i, \eta, E)}{d\eta} = 0, \\ \sum_{i=1}^K (\varepsilon_i - \varepsilon(\tau_i, \eta, E)) \cdot \frac{d\varepsilon(\tau_i, \eta, E)}{dE} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Складемо програму для обробки експериментальних даних і непрямого визначення параметрів реологічної моделі, рис. 1, а саме, E та η , за результатами ізотонічного експерименту. Програма складена в системі MATHCAD.

Початок програми.

Таблиця1.

Вхідні дані (умовні значення)

τ_i, c	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2
ε_i	-0,008	0,038	0,051	0,072	0,078	0,088	0,09	0,094	0,096	0,097

Час, τ_i , в секундах, ε_i - відносна деформація в частках, $\sigma_0 = 1$.

Орієнтовні значення шуканих параметрів:

$\eta := 1.1$; $E := 0.9$;

$$\varepsilon(t, \eta, E) = \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t} \right)$$

Given

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(\tau_k, \eta, E)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(\tau_k, \eta, E)}{\partial \eta} = 0 \\ \sum_{i=1}^K [\varepsilon_k - \varepsilon(\tau_k, \eta, E)] \cdot \frac{\partial \varepsilon(\tau_k, \eta, E)}{\partial E} = 0 \end{cases} \begin{pmatrix} \eta \\ E \end{pmatrix} := \text{Find}(\eta, E) \begin{pmatrix} \eta \\ E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10.027 \\ 5.091 \end{pmatrix}$$

$$\varepsilon(t) := \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t} \right)$$

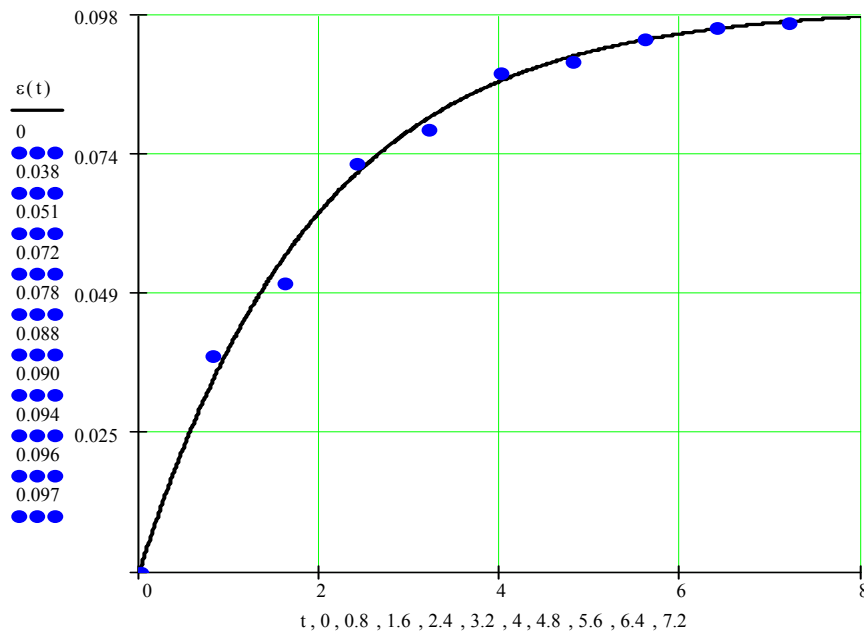


Рис. 2. Зміна відносної деформації реологічної моделі Фойгета (рис.1) та «експериментальні» значення для інтервалу 0 – 8 сек.

Фактичні значення шуканих параметрів:

$$\eta = 10.027 \text{ Па} \cdot \text{с}; \quad E = 5.091 \text{ Па}.$$

Кінець програми.

Висновки. Основним результатом даної роботи є перевірка адекватності реологічної моделі системи, що моделюється. Перевірка здійснюється шляхом розрахунку механічних параметрів моделі, E та η за умовними даними. Якщо в даному часовому інтервалі система нелінійних рівнянь (5) має розв'язок, то модель адекватно описує систему, якщо ні - модель необхідно міняти.

Розглянута нами реологічна модель, рис.1., адекватно описує систему на ділянках від 0 до 8 сек.

Подальше дослідження передбачає побудову дослідної установки для реалізації описаної вище математичної моделі експерименту.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бадьора Н.П., Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень ін'єкційного закріплення ґрунтових масивів / Н.П. Бадьора, І.В. Коц // Вісник Хмельницького національного університету, № 2, 2014 (211), стор. 46- 49.
2. Шаповалов О.І. Математична модель магнітодинамічного потоку в зоні реологічного переходу магніострикційного перетворювача / О.І. Шаповалов // Вісник Хмельницького національного університету, №2, 2014 (211), С. 240-249.
3. Ступницький В. В. Імітаційне реологічне моделювання процесів формоутворення поверхонь деталей з конструкційних сталей / В.В. Ступницький, Я.В. Долиняк // Національний університет "Львівська політехніка", Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні 98 та приладобудуванні. Вип. 49. 2015, С. 9-15.
4. Резніков С.І. Застосування диференціальних рівнянь другого порядку для знаходження реологічних коефіцієнтів м'язової тканини м'яса / С.І. Резніков С.І., В.С. Гуць // Програма і матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції «Технічні науки: стан, досягнення і перспективи розвитку м'ясної, олієжирової та молочної галузей», 25 – 26 березня 2014 р. – К.: НУХТ, 2014р.– 165 с.
5. Сиромятніков В.Г. Вплив молекулярних взаємодій в сумішах полімерів каучук в латексі-полівінілацетат у водному середовищі на реологічну поведінку досліджуваних систем В.Г. Сиромятніков, Л.Д. Масленнікова, В.А. Ануфрієв // Хім. промисловість України. – 2002. - № 1. – С. 24-26.

6. Осієвська В.В. Реологічні особливості водних дисперсій з використанням карбонату кальцію і водного розчину силікату натрію / В.В. Осієвська, Ф.Г. Фабуляк, Л.Д. Масленнікова // Науковий вісник Миколаївського державного педагогічного унів-ту. – 2000. – Випуск № 1. – С. 215 - 219.

7. Масленнікова Л.Д. Вплив карбонату кальцію на реологічну течію і молекулярні взаємодії з латексом /Л.Д. Масленнікова, Ф.Г. Фабуляк // Наук. вісник Ужгородського держ. унів-ту. – 2001. - № 6. – С. 204-206.

8. В.В.Осієвська. Реологічні та ІЧ-спектроскопічні дослідження нової клейової мастики / В.В.Осієвська, А.Є. Мірошніков, Л.Д.Масленнікова, Ф.Г.Фабуляк // Фізика конденсованих високомолекулярних систем: Наукові записки Рівненського держ. гуманіст. унів-ту.– 2000. - №8. – С. 9-16.

9. Масленнікова Л.Д. Реологічні особливості в'язких водних систем в присутності карбонату кальцію. // V Всеукраїнська конференція “Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики”: Тези доповіді. – К.: НПУ ім. М.П.Драгоманова, 2000. – С.169.

10. Смачило О. В. Матеріалознавчі характеристики одягових шкір після обробки в органічних розчинниках. Технології та дизайн, №4(9), 2013 р., С. 7-12.

АННОТАЦІЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФОЙГТ КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ

Реологические модели имеют широкое применение в нефтедобыче, нефтехимии, биохимии, пищевой, косметической и лакокрасочной промышленности, применяются для моделирования механических свойств биологических тканей. В настоящее время существует более 20 реологических моделей, описывающих взаимосвязь между постоянными значениями напряжений и скоростей сдвига. Многообразие реологических моделей способствует появлению большого количества работ, посвященных не только гидродинамическим и механическим расчетам. Актуальным является вопрос определения реологических параметров модели.

Аппроксимация реограммы, как правило, проводится путем проверки соответствия моделей и выбора той, которая дает наименьшую погрешность. учитывая сложность определения параметров моделей, пользуются простейшими моделями Шведова-Бингама и Оствальда, приводящих к значительной погрешности аппроксимации.

Автором предложено применить косвенный метод определения механических параметров реологической модели.

Цель исследования,- построить математический аппарат для реализации экспериментального определения механических параметров реологической модели косвенным методом.

Сформулирована задача нахождения механических параметров реологической модели в общем виде и конкретно для модели Фойгта.

Рассмотрено решение соответствующего однородного дифференциального уравнения первого порядка, которое соответствует модели Фойгта при изотоническом эксперименте, то есть при постоянном напряжении и нулевой деформации в начальный момент.

В работе применены системы нелинейных уравнений для определения параметров реологической модели Фойгта косвенным методом.

Применен метод наименьших квадратов для обработки результатов изотонического эксперимента и программный пакет MATHCAD для расчета решений системы нелинейных уравнений, значений механических параметров реологической модели Фойгта.

Построено программу в пакете MATHCAD для расчета механических параметров реологической модели Фойгта.

Основным результатом данной работы является проверка адекватности реологической модели системы моделируемой системе. Проверка осуществлена путем расчета механических параметров модели. Если в данном временном интервале система нелинейных уравнений имеет решение то модель адекватно описывает систему, если нет - модель необходимо менять.

Ключевые слова: реологическая модель, нелинейные уравнения, модель Фойгта.

SUMMARY

DETERMINATION OF MECHANICAL PARAMETERS MODEL VOIGT RHEOLOGICAL INDIRECT METHOD

Rheological models have been widely used in petroleum, petrochemicals, biochemistry, food, cosmetics and paint industry, used to model the mechanical properties of biological tissues. At present there are more than 20 rheological models describing the relationship between voltage and constant shear rate. The variety of

rheological models contributes to the emergence of a large number of works devoted not only hydrodynamic and mechanical calculations. An urgent question is the definition of rheological model parameters.

Approximation rheogram usually done by checking for compliance models and choosing the one that gives the smallest error. Given the complexity of determining the parameters of the models are the simplest models Shvedova-Bynhama and Ostwald, leading to significant error of approximation.

The author proposed to use an indirect method of determining the mechanical parameters of rheological models.

The purpose of the study, build mathematical tools for the implementation of experimental determination of mechanical parameters of rheological model indirect method.

The problem of mechanical parameters of rheological models in general form and model specific Voigt.

We consider the solution of the corresponding homogeneous differential equation of the first order, corresponding with isotonic Voigt model experiment, ie at constant stress and strain to zero at the initial time.

The paper used a system of nonlinear equations to determine the parameters of rheological models Voigt indirect method.

The method of least squares processing results of experiment and isotonic MATHCAD software package to calculate the solutions of nonlinear equations, values of mechanical parameters of rheological models Voigt.

Built MATHCAD program package for calculating mechanical parameters of rheological models Voigt.

The main result of this work is to verify the adequacy of rheological model system that simulated. Testing done by calculating the mechanical parameters of the model. If this time interval system of nonlinear equations has a solution model that adequately describes the system if not - the model should be changed.

Keywords: rheological model, nonlinear equations, model Voigt.

УДК 620.22: 669.017

ТЕХНОЛОГІЯ СИНТЕЗУ ТЕРМІТНИХ ЛАТУНЕЙ І БРОНЗ

ЖИГУЦЬ Ю. Ю.¹, ЛАЗАР В. Ф.²,
ХОМ'ЯК Б. Я.²

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»¹
Мукачівський державний університет²

У статті розглядаються можливості синтезу матеріалів «нетрадиційними» технологіями, що засновані на металотермічних процесах. Особлива увага звернута на термітні суміші для отримання мідних сплавів – латуней та бронз і їх практичного використання у промисловості. Хімічний склад термітних сплавів вибраний тотожним до існуючих марок промислових сплавів. Автори детально виклали методику проведення теоретичних та експериментальних досліджень. Насамперед це розрахунок стехіометричного складу шихт та встановлення співвідношення між компонентами металотермічної суміші. На основі цього проведена корекція складу шихт коефіцієнтами засвоєння легуючих компонентів, що дозволило розробити технологію синтезу термітних латуней і бронз. Крім цього, встановлений вплив технології виготовлення сплаву на особливості хімічного складу, структури та фізико-механічні властивості мідних сплавів, синтезованих металотермічними процесами. Проведена робота дозволила розробити склад шихти для синтезу термітних латуней і бронз та методику приготування металотермічної суміші для їх синтезу.

Встановлено, що використання синтезованого сплаву у технологіях термітних ливарних додатків високого температурного градієнту покращує економічні показники процесу лиття і призводить до ідентичності хімічного складу піддодаткової зони виливка і основи виливка. Розроблена технологія дає можливість виготовляти у важкодоступних районах, неспеціалізованих і навіть польових умовах виливки з мідних сплавів при відсутності «звичайного» плавильного обладнання та джерел електроенергії. Авторами не тільки проведено дослідно-промислову апробацію синтезованих матеріалів на промислових виробках, але і запропоновані основні галузі використання складів шихт і синтезованих сплавів.

Ключові слова: металотермія, синтез, терміт, латунь, бронза, властивості, мікроструктура.