

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИСКОЗИТЕТА И РЕОЛОГИЧНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ЕТЕРИЧНИ МАСЛА ЗА КОЗМЕТИЧНИ И ФАРМАЦЕВТИЧНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

Христо Христов*, Георги Илиев, Пламен Бонев

Технически Университет Габрово, Габрово, България
*кореспондиращ автор: Christo@tugab.bg

INVESTIGATION OF VISCOSITY AND RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF SELECTED ESSENTIAL OILS FOR COSMETIC AND PHARMACEUTICAL APPLICATIONS

Hristo Hristov*, Georgi Iliev, Plamen Bonev

Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria
*Corresponding author: Christo@tugab.bg

Abstract

The processing of liquids in industrial applications is typically accompanied by a wide range of physicochemical, biological, and mechanical phenomena. A detailed examination of these processes enables more effective control and optimization of the technological cycle. In particular, the rheological behavior of cosmetic and pharmaceutical fluids plays a crucial role in operations such as production, filling, packaging, and storage. The efficiency of these operations, the design of processing equipment, and the overall quality of the end products are strongly influenced by the flow properties of the materials being handled. This study investigates methods for determining the viscosity of liquids using a rotational viscometer, with a particular focus on essential oils such as rose, lavender, and peppermint. Measurements were carried out with a Thermo Scientific HAAKE MARS iQ rheometer with air-bearing support to assess the influence of temperature on viscosity.

Keywords: viscosity measurement, temperature, rheological properties, essential oils.

ВЪВЕДЕНИЕ

Флуидите заемат централно място в редица природни и инженерни процеси, тъй като представляват вещества, които нямат собствена форма, а приемат формата на съда, в който се намират. Това обхваща както течностите, така и газовете, които поради своята подвижност и непрекъснатост проявяват съществени различия в поведението си спрямо твърдите тела. Докато молекулите в твърдите вещества са здраво свързани и заемат определени позиции в обема, молекулите във флуидите взаимодействат чрез значи-

телно по-слаби сили на привличане. Това предопределя тяхната склонност към бърза и лесна деформация дори при прилагането на сравнително малки външни сили и да заемат ново равновесно състояние.

Разграничаването на флуидите от твърдите тела е от фундаментално значение за науката и практиката, тъй като техните молекулни структури определят механичните им свойства. При флуидите, под въздействие на външна сила, молекулите променят положението си и заемат ново равновесно състояние, без да

възстановят първоначалната си форма.

Това поведение е особено важно в редица индустриални процеси, където течностите и газовете участват в операции като транспортиране, смесване, охлаждане, нагряване и химическа трансформация.

В съвременните производствени технологии обработката на различни флуиди е неизбежно съпроводена със сложни физикохимични, механични и дори биологични процеси. Затова познаването на техните реологични характеристики е ключово условие за оптимизиране на технологичните цикли, подобряване на енергийната ефективност и повишаване на качеството на крайния продукт. Пример за това са фармацевтичната и козметичната индустрия, където реологичните свойства на кремове, гелове и суспензии влияят върху тяхната стабилност, начин на опаковане, съхранение и удобство при употреба.

Сред фундаменталните свойства на флуидите се откроява вискозитетът, който отразява тяхното съпротивление срещу протичане. Неговото познаване е от съществено значение при моделиране на течения, изчисляване на енергийните разходи и проектиране на машини и съоръжения. Освен това вискозитетът е чувствителен към промени в температурата и налягането, което изисква специално внимание при инженерни приложения, свързани с високи или ниски температурни режими.

В последните десетилетия се наблюдава засилен научен интерес към изследване на ненютоновите флуиди, чийто вискозитет зависи от приложената сила и начина на действие. Това отваря нови перспективи в области като биомедицината (кръв и биологични течности), хранително-вкусовата промишленост (сосове, пасты, шоколад) и енергетиката (суспензии, нанофлуиди).

Настоящата статия е посветена на изследване на реологичните характеристики и вискозитета на етерични масла при различни температури, като резулта-

тите могат да се използват за пресмятате на хидравлични съпротивления и анализ на свойствата им.

Флуидите които по своята същност се различават от твърдите тела чрез слаби междумолекулни взаимодействия и способност да се деформират при прилагане на външни сили. Изследването на техните механични и физични свойства е предмет на дисциплината реология.

Реологията е наука, която изучава закономерностите на деформация и течение на материалите под действието на външни сили. Докато при твърдите тела доминират еластични свойства, при флуидите основният процес е течение, свързано с дисипация на енергия под формата на топлина. Реологичните характеристики определят поведението на материала при различни технологични режими – от смесване и формоване до транспортиране и съхранение [7].

Едно от основните свойства на флуидите е вискозитетът, който характеризира тяхното вътрешно съпротивление при протичане. Той се определя в два основни аспекта: динамичен (абсолютен) вискозитет, който характеризира вътрешното триене във флуида и се измерва в паскал-секунди (Pa·s), и кинематичен вискозитет, който е отношението между динамичния вискозитет и плътността на флуида.

Вискозитетът зависи от температурата и налягането, като при повишаване на температурата течностите обикновено намаляват своя вискозитет, докато газовете увеличават своя.

Съществено значение има и разделението на флуидите на Нютонови и ненютонови. При Нютоновите флуиди вискозитетът е постоянен и независим от приложената сила, като примери са вода и въздух. При Ненютоновите флуиди вискозитетът варира в зависимост от скоростта на срязване и условията на протичане. Към тях спадат кръвта, боите, пастите, битумът, полимерните разтвори и др.

Вискозиметрите се използват за измерване на вискозното поведение и са

подходящи за нютонови и ненютонови течности, докато реометрите предоставят по-пълна информация за вискоеластичните свойства на твърди, полутвърди и течни материали [1], [4].

ИЗЛОЖЕНИЕ

При изследване на реологичните свойства на флуидите обикновено се разграничават два основни типа течение – срязващо течение и екстензионно течение.

Срязващото течение възниква, когато съседни слоеве на флуида се плъзгат един спрямо друг под въздействие на сила, приложена паралелно на повърхността. Характерно за този тип движение е, че скоростта на различните слоеве е различна, като обикновено се въвежда градиент на скоростта (dv/dy). Най-често срещаното течение в природата и техниката, лесно се реализира и измерва чрез ротационни реометри и вискозиметри.

Екстензионното течение се наблюдава, когато флуидните елементи се разтягат или свиват – движат се един към друг или се отдалечават по протежение на дадена ос. Характерно е за течения, при които има силно изменение на обема или формата на елементите. По-трудно е за реализиране и измерване експериментално. Примери: разтягане на капка течност, изтегляне на полимерни влакна, пръскане на течности и емулсии.

Разграничаването между срязващо и екстензионно течение е ключово за правилното моделиране и проектиране на технологични процеси. Високата точност при оценка на реологичните свойства води до по-ефективни методи за смесване и транспортиране на течности, оптимизация на производствени процеси и по-добро качество на крайните продукти.

Нютон пръв формулира основния закон на вискозиметрията, описващ поведението на идеална течност при течение:

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

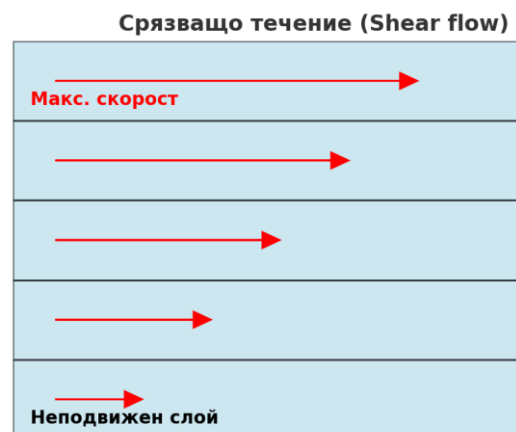
където:

- τ – напрежение на срязване (Pa);

- η – динамичен вискозитет (Pa·s);
- $\frac{dv}{dy}$ – градиент на скоростта (s^{-1}).

Срязващото течение може да бъде представено като слоеве течност, които се плъзгат един върху друг, като всеки следващ слой се движи по-бързо от подлежащия. Най-горният слой има максимална скорост, докато долният слой остава неподвижен. За да възникне срязващо течение, върху флуида трябва да действа срязваща сила.

Тангенциално напрежение в течности може да възникне между две успоредни плоски плочи, когато едната плоча се движи, а другата остава неподвижна. Това води до ламинарно течение на слоеве, наподобяващо приплъзването на отделни карти в тесте карти. Измерването на вискозитета на течности изисква преди всичко дефиниране на параметрите, които участват в процеса на течение. След това е необходимо да се изберат подходящи експериментални условия, които да позволят измерването на свойствата на течението по обективен и възпроизводим начин.



Фиг. 1. Профил на скоростта при срязващо течение

Ако върху горната плоча се приложи тангенциална сила F , действаща върху площ A , представляваща границата между плочата и течността под нея, в течния слой се създава течение. Тази външна сила се проявява като срязващо напрежение (τ), което се дефинира като сила F ,

приложена върху единица площ A , както е показано на Фигура 1.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2)$$

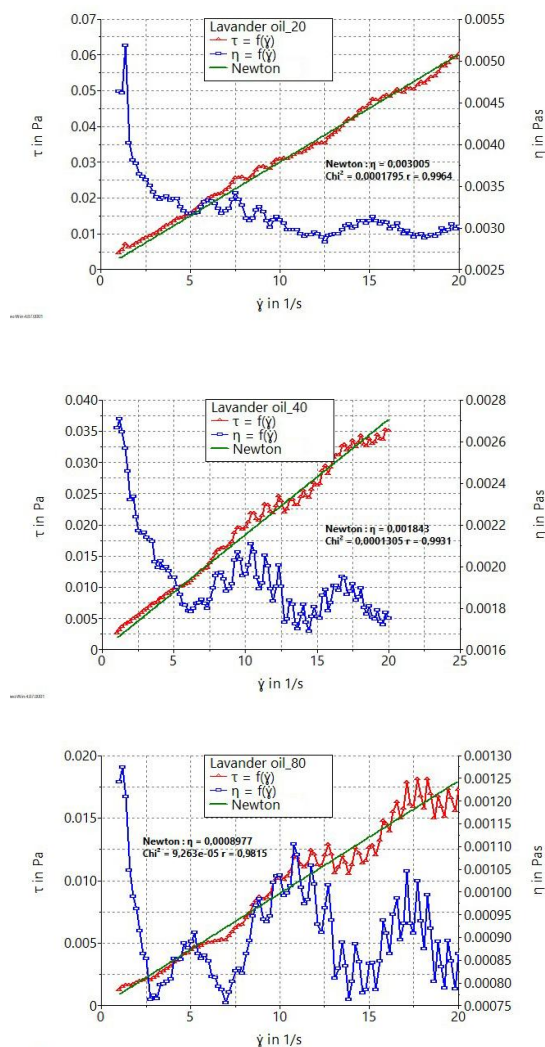
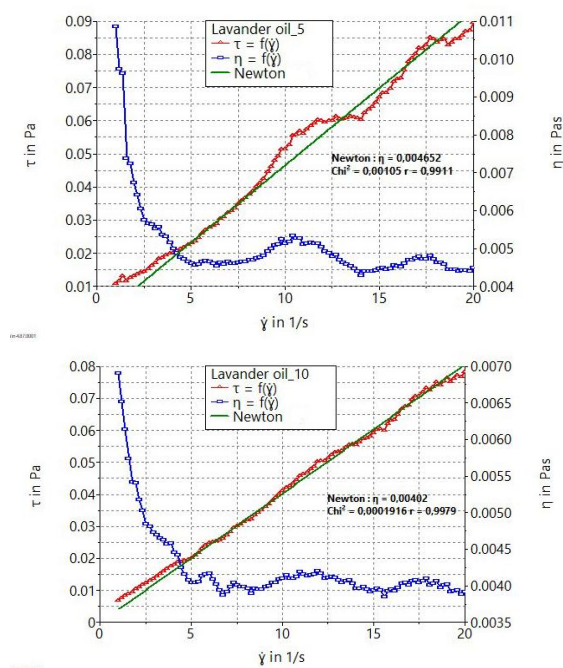
Динамичният вискозитет на етерични масла (роза, мента и лавандула) е определен с помощта на реометър HAAKE MARS iQ Air [3]. с коаксиална цилиндрична геометрия [2].

По време на измерванията температурата на пробите от етерични масла се поддържа постоянна чрез течна термостатна баня с точност $\pm 0.1^\circ\text{C}$ [7].

За ментово и лавандулово масло температурният диапазон на изследване е $5\text{--}80^\circ\text{C}$, докато при розовото масло е $25\text{--}80^\circ\text{C}$, тъй като при температура около 25°C розовото масло започва да се втвърдява и структурата му се изменя [5], [6].

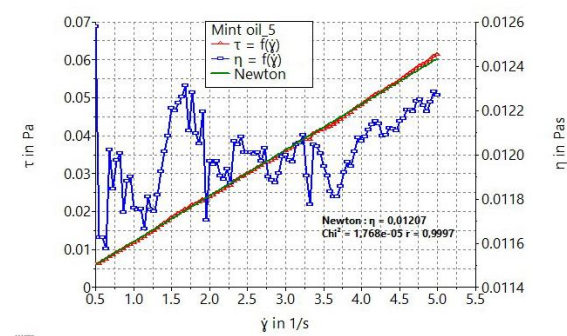
Фигура 2 показва експерименталните резултати за вискозитета на лавандулово масло при температури 5 до 80°C .

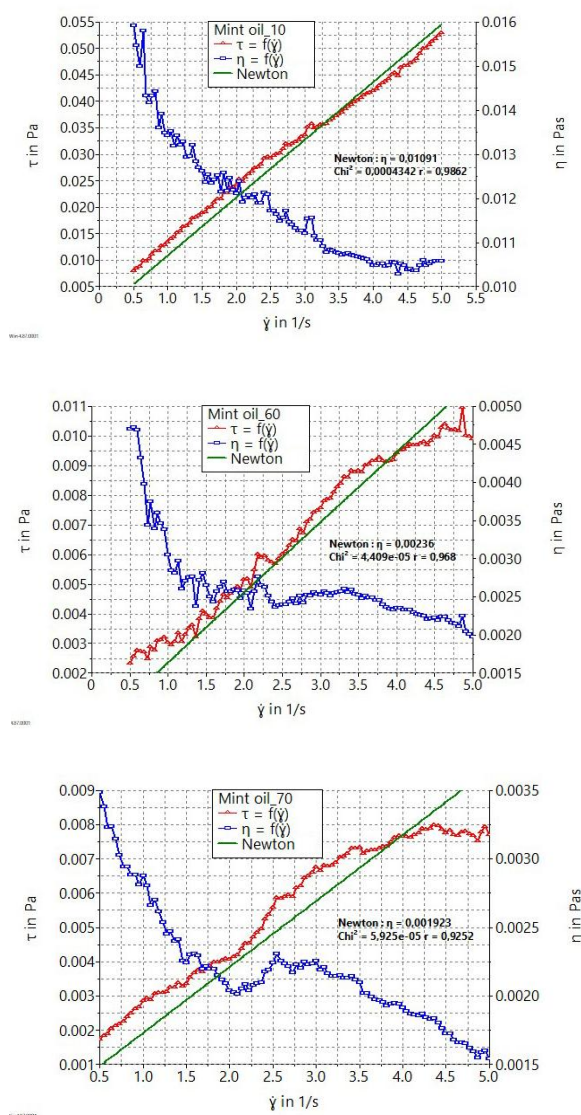
От получените данни се вижда, че тангенциалното напрежение (τ) и динамичният вискозитет (η) се изменят при промяна на скоростта на напречна деформация ($\dot{\gamma}$). Получените резултати са представени в Таблица 1.



Фиг. 2. Експериментални зависимости на динамичния вискозитет на лавандулово масло

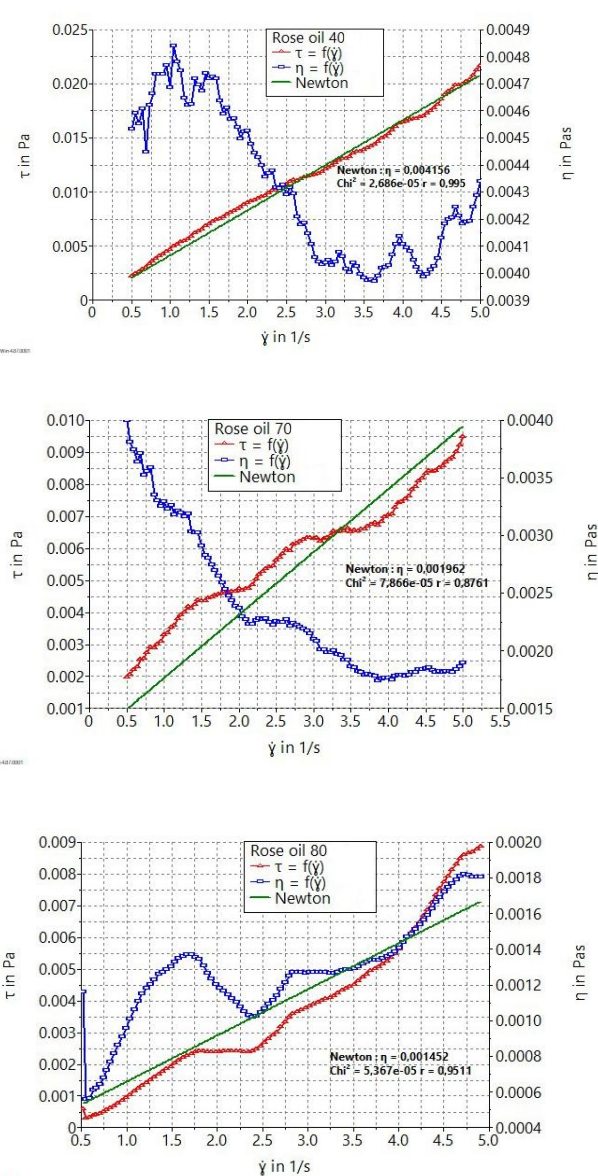
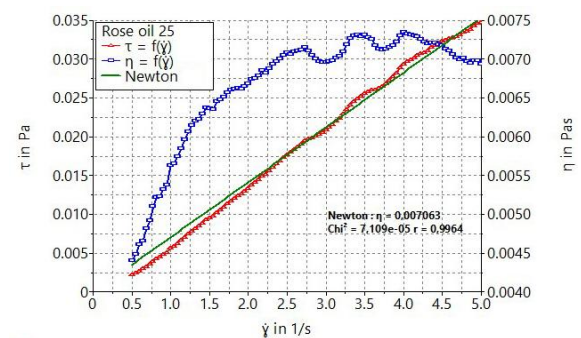
Фигура 3 показва експерименталните резултати за вискозитета на ментово масло при температури 5 до 80°C .





Фиг. 3. Експериментални зависимости на динамичния вискозитет на ментово масло

Фигура 4 представя експерименталните резултати за вискозитета на розово масло при температури 25 до 80 °С.



Фиг. 4. Експериментални зависимости на динамичния вискозитет на розово масло

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реологичните характеристики на етеричните масла са от съществено значение за процесите на производство, опаковане, пълнене и съхранение. Протичането на тези процеси, конструктивните параметри на работните органи на съответните машини и апарати, както и качеството на получените продукти в значителна степен зависят от реологичните свойства на обработваните материали.

Табл. 1. Стойности на динамичния вискозитет на етерични масла при различни температури.

Температура, (°C)	Лаван. масло (Pa·s)	Ментово масло (Pa·s)	Розово масло (Pa·s)
5	0.004483	0.0123	
10	0.003916	0.01058	
15	0.003418	0.008596	
20	0.003018	0.006903	
30	0.002372	0.004739	0.005811
40	0.001755	0.003537	0.00434
50	0.001492	0.002758	0.003201
60	0.001211	0.001979	0.002457
70	0.001054	0.001543	0.001878
80	0.000864	0.00112	0.001452

Резултатите от проведените изследвания, показват, че етеричните масла проявяват поведение, характерно за типични Нютонови флуиди. Динамичният вискозитет намалява с повишаване на температурата, което като конкретни стойности е показано в изложени в табл. 1.

Получените данни могат да бъдат използвани за определяне на хидравличните загуби и за проектиране на хидротранспортно оборудване за етерични масла в различни технологични инсталации.

Докладът се публикува във връзка с резултатите от изпълнение на дейностите по проект № НИИ2025-13.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ivanov P., Hristov H., Fluid mechanics, Technical University of Gabrovo, 2009.
- [2] Hristov H., Bonev P., Iliev G. Study of the rheological characteristics of vegetable oils. Journal of the Technical University of Gabrovo 66 (2023) 34-37. DOI: <https://doi.org/10.62853/BVXL3090>
- [3] HAAKE MARS Rheometer Instruction Manual, thermos scientific, 006-2766, version 1.1 (2015)
- [4] Paroline G., Paar A., *Basics of Applied Rheology*, Oregon State University Corvallis, OR August 10, 2016.
- [5] Pachua L., Devi Ch., Goswami Ab., Sahu S., *Seed Oils as a Source of Natural Bio-active Compounds*, September, 2019, 209-235, DOI: 10.1007/978-981-13-7154-7_8
- [6] M. Anandha Rao, *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods, Principles and Applications*, Springer, 2014.
- [7] Howard A. Barnes, *A Handbook of Elementary Rheology*, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics University of Wales, 2000.