

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТОВАРІВ

УДК 641.1

Світлана ШАПОВАЛ

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО- МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРУЖНО-В'ЯЗКИХ ТІЛ МЕТОДОМ ОСЬОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Проведено аналіз ефективності використання методу осьової деформації, адаптованого до багатофункціонального модульного вимірювального комплексу "МИГ-1.3", а саме – модуля з вивчення структурно-механічних (реологічних) властивостей харчових продуктів. Установлено повну відповідність отриманих результатів між інструментальним та оновленим методами досліджень.

Ключові слова: структурно-механічні властивості, пружно-в'язкі тіла, осьова деформація, коефіцієнт пружності, коефіцієнт міцності, діаграма розтягу.

Шаповал С. Исследования структурно-механических свойств упруго-вязких тел методом осевой деформации. Проанализирована эффективность использования метода осевой деформации, адаптированного к многофункциональному модульному измерительному комплексу "МИГ-1.3", а именно – модулю по изучению структурно-механических (реологических) свойств пищевых продуктов. Установлено полное соответствие полученных результатов между инструментальным и обновленным методами исследований.

Ключевые слова: структурно-механические свойства, упруго-вязкие тела, осевая деформация, коэффициент упругости, коэффициент прочности, диаграмма растяжения.

Постановка проблеми. Із метою покращення якості наукових досліджень реологічних властивостей сировини та матеріалів, підвищення точності вимірювання та фіксування процесів і явищ на клітинному рівні, перед кафедрою інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету поставлено завдання: адаптувати інструментальні методи дослідження структурно-механічних властивостей до цифрових технологій. Адже фундаментальне вивчення структурно-механічних властивостей будь-якої сировини уможливує не лише виявити та обґрунтувати раціональні

режими її механічної та теплової обробки, а й оптимізувати терміни та умови зберігання [1].

Реологія, як наука, вивчає в першу чергу властивості сировини та матеріалів під час деформації досліджуваних об'єктів. Класичними вважаються методи деформації розтягу та стиснення. До таких належить метод осьової деформації. Він є простим у виконанні, тому дуже популярний серед науковців. За отриманими діаграмами розтягу чи стиснення визначають пружні властивості сировини, встановлюють залежність коефіцієнта пружності від часу й умов зберігання досліджуваного об'єкта. При класичному виконанні таких досліджень дослідник вручну або за допомогою самописця знімає покази деформуючої сили через фіксовані проміжки часу, потім обробляє дані. Ці дослідження беззаперечно мають велику точність, але разом з тим вимагають багато часу на обробку даних.

Ось чому актуальним є розробка комп'ютеризованих методів дослідження структурно-механічних властивостей в'язко-пружних тіл. Це можливо за умови модернізації та адаптації інструментальних методів дослідження до багатофункціонального модульного вимірювального комплексу "МИГ-1.3".

Мета роботи – визначити ефективність комп'ютеризованого методу дослідження структурно-механічних властивостей в'язко-пружних тіл методом осьової деформації розтягу, для чого проаналізувати отримані на багатофункціональному модульному вимірювальному комплексі "МИГ-1.3" експериментальні діаграми залежності деформуючої сили від часу.

Матеріали та методи. Об'єкти досліджень – зразки м'яса-філе індика, які мали три напрями зрізу – вздовж, впоперек і по діагоналі м'яза. Контролем слугували зразки, досліджені методом осьової деформації та описані в роботі Г. В. Маслова [2]. Експериментальним методом є комп'ютеризований метод осьової деформації, адаптований до багатофункціонального модульного вимірювального комплексу "МИГ-1.3" [3].

Результати дослідження. Метод осьової деформації, який використовується ще з 60-х років минулого століття, є простим у виконанні та надійним щодо достовірності результатів. Його досить добре описано в літературі, зокрема, А. В. Горбатовим у книгах "Прилади для визначення властивостей м'ясопродуктів" та "Структурно-механічні характеристики харчових продуктів" [4], Ю. А. Мачихініним і С. А. Мачихініним у праці "Інженерна реологія харчових матеріалів" [5], Б. А. Миколаєвим у роботі "Вимірювання структурно-механічних властивостей харчових продуктів" [6], Г. В. Масловим у книзі "Реологія риби і рибних продуктів", І. А. Снігер'євим у "Сучасних методах дослідження якості харчових продуктів" [7].

Після численних експериментальних досліджень, проведених в лабораторії фізики Київського національного торговельно-економіч-

ного університету з використанням комплексу "МИГ-1.3", науковці переконалися в його ефективності. Було розроблено необхідні модулі з датчиками для досліджень деформаційних властивостей харчових продуктів методом осьової деформації. Застосування "МИГ-1.3" дає змогу виконати дослідження з великою точністю, провести в реальному часі зняття багатьох параметрів, незалежних один від одного й досить в короткий час обробити результати з наданням рекомендацій щодо умов зберігання чи переробки досліджуваної сировини.

Суть методу осьової деформації полягає в тому, що зразок необхідно деформувати вздовж вісі розтягом або стисненням. На *рис. 1* зображено зразок, зріз якого виконано вздовж м'яза. Під час деформації показано виникнення сил деформації й пружності та напрямок деформаційного прискорення.

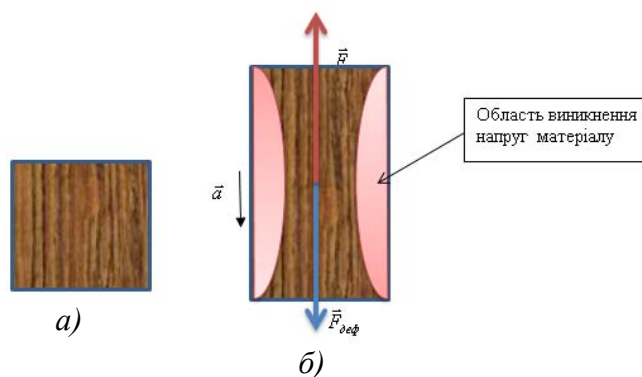


Рис. 1. Зріз уздовж м'яза:

a) недеформований зразок; *б)* деформований зразок методом розтягу

При деформації розтягу (див. *рис. 1*) спостерігається не лише видовження зразка, а й зміна його форми, що характеризує коефіцієнт Пуасона, який пов'язує відносне видовження об'єкта з відносним зменшенням його товщини. Цей коефіцієнт особливо важливий при дослідженні пружних властивостей харчових об'єктів, бо він зв'язаний із їхніми якісними характеристиками. Для зняття точних вимірів відносної деформації досліджуваного об'єкта та розрахунку коефіцієнта Пуасона до модуля з вивчення деформації приєднується лінійка з лазерним променем, завдяки якому й виконуються точні виміри видовження зразка $\Delta \ell$.

Розглядаючи деформацію розтягу зразка з позицій класичної механіки, необхідно зазначити, що згідно з другим законом Ньютона рівнодійна всіх сил $\vec{F}_{\text{рів}}$ має математичний запис:

$$\vec{F}_{\text{рів}} = \vec{F}_{\text{пруж}} + \vec{F}_{\text{деф}}, \quad (1)$$

де $\vec{F}_{\text{пруж}}$ – сила пружності, що виникає в деформованому тілі, Н;

$\vec{F}_{\text{деф}}$ – деформаційна сила, Н.

Якщо зразок деформувати із сталою швидкістю, то рівнодійна сила дорівнюватиме нулю. Отже, формула (1) матиме вигляд:

$$0 = -F_{пруж} + F_{деф}, \quad (2)$$

тобто $F_{пруж} = F_{деф}.$ (3)

Отже, $k\Delta x = F_{деф},$ (4)

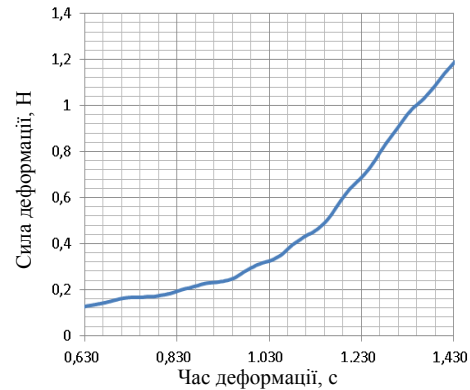
де k – коефіцієнт пружності матеріалу, Н/м;

$\Delta x = \Delta \ell$ – видовження зразка під дією деформаційної сили, м.

Деформаційна сила фіксується модулем комплексу "МИГ-1.3" [8] в реальному часі (рис. 2). Зовнішній вигляд програмного вікна зображено на рис. 2 а).



а)



б)

Рис. 2. Деформаційно-релаксаційна діаграма:
а) робоча панель БМВК "МИГ-1.3";
б) графічна залежність деформаційної сили від часу,
опрацьована в програмі EXCEL

Вікно програми зображено з графіком залежності деформуючої сили від часу при розтязі філе індика. Розтяг зразка відповідає процесу навантаження на зразок деякої маси (сили). Величина маси, або деформуючої сили, зчитується за піком діаграми, як і час деформування (стискання) самого об'єкта. Релаксація останнього, тобто його відновлення, графічно має вигляд кривої. За рівнянням кривої отримуємо зміну релаксаційної сили в часі; рівняння швидкості відновлення досліджуваного об'єкта; прискорення, з яким цей об'єкт повертається у своє початкове положення. Отримані експериментальні рівняння є математичними моделями деформаційного процесу. На рис. 2 б) представлено одне із отриманих рівнянь у графічній формі, за яким визначається швидкість і прискорення деформаційного процесу. При

порівнянні діаграм в області деформаційного навантаження отримуємо відповідність графічних залежностей.

Під час проведення експерименту навантаження тривало в середньому до 1.5 с, і отримані рівняння зміни сили, швидкості та прискорення занесено до *таблиці*.

**Зведена таблиця деформаційних рівнянь
залежно від умов і терміну зберігання філе індика**

Умови і термін зберігання зразка	Рівняння деформуючої сили, Н	Рівняння швидкості деформації, м/с	Прискорення деформації, м/с ²
Охолодження, 3 год	$F = 3.0709t^2 - 40.038t + 134.8$	$v(t) = 6.1418t - 40.038$	$a = 6.1418$
Охолодження, 17 год	$F = -0.2328t^2 + 5.0683t - 14.93$	$v(t) = -0.4656t + 5.0683$	$a = -0.4656$
Після заморожування, 214 год	$F = 13.382t^2 - 81.965t + 129.33$	$v(t) = 26.764t - 81.965$	$a = -81.965$
Після заморожування з попереднім охолодженням, 240 год	$F = 4.828t^2 - 21.899t + 27.955$	$v(t) = 9.656t - 21.899$	$a = 9.656$

За отриманими рівняннями розраховується енергія деформації, яка дорівнює механічній роботі стискання досліджуваного зразка:

$$A = F\Delta\ell, \quad (5)$$

де F – деформуюча сила, Н;
 $\Delta\ell$ – величина деформації, м.

Оскільки сила деформації є змінною величиною, то робота може визначатися геометричним методом:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (6)$$

де A_i – елементарна робота на проміжку часу, коли $F = const$.

Графічно геометричний метод визначення роботи має вид, зображений на *рис. 3*. Для використання методу потрібно побудувати графічну залежність сили від видовження. Для використання формули (6) необхідно абсолютне видовження розділити на елементарні часові проміжки й визначити на кожному з них елементарну роботу. Підсумовавши елементарні роботи, отримуємо повну роботу деформації.

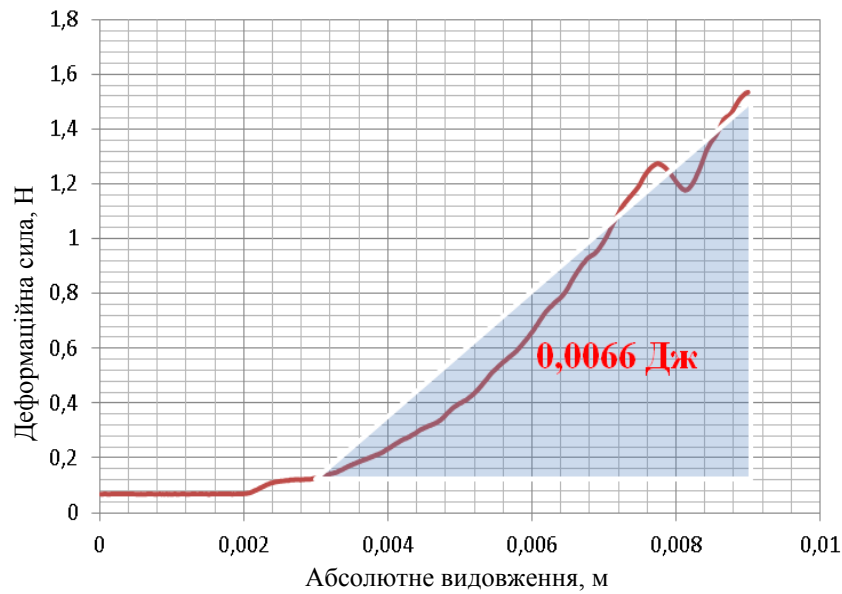


Рис. 3. Геометричне визначення роботи деформуючої сили

Геометричне визначення роботи ґрунтується на використанні графічної залежності деформуючої сили від видовження, тому що робота – це площа під графіком деформуючої сили, яку розраховують за формулою:

$$A = \frac{1}{2} F \Delta \ell . \quad (7)$$

Результати розрахунку роботи, витраченої на деформацію зразків, наведено на рис. 4.

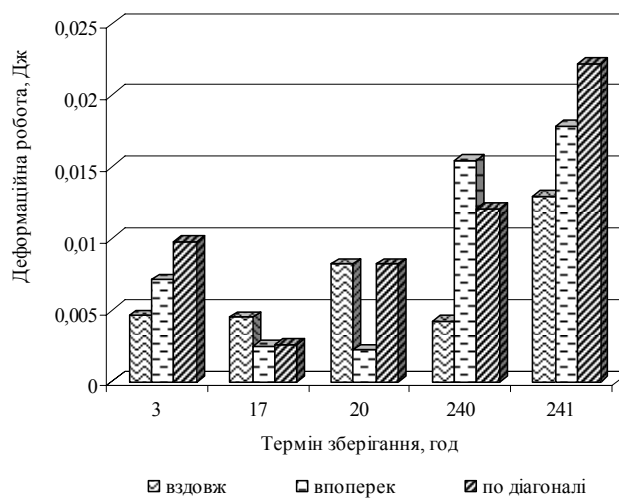


Рис. 4. Гістограма деформаційної роботи, виконаної над зразками філе індики в різних напрямках зрізу

Аналізуючи отримані дані, чітко простежується залежність витраченої енергії на деформацію від умов і терміну зберігання досліджуваного об'єкта. Через три години після фасування філе м'яса індика найбільшу енергію на деформацію вимагає зразок зрізом уздовж. Цю закономірність можна пояснити, використовуючи реологічну модель Максвелла. Саме наявність сполучної тканини у міжм'язових структурах м'яса уможливорює тривалий час зберігати пружні властивості на всіх етапах зберігання, на відміну від зрізів уздовж і впоперек м'язового волокна. Через 17 та 20 год. зберігання зразок "зрізом впоперек" потребує найменше енергії для деформації, тому найефективніше деформувати його розплексуванням. Таку ж дію доцільно виконувати після заморозки із зразком "зрізом уздовж".

Під час зберігання охолоджене м'ясо втрачає майже 15 % вологи, але не так інтенсивно, як при заморожуванні, де після першого етапу ще 22 %, а після другого – додатково 17 %. Загалом зразки філе індика втрачають майже 54 % вологи. Це негативно впливає на їхню якість – вони різко змінюють свої структурно-механічні властивості, що й відображається на гістограмі (див. *рис. 4*). Отримані дані добре узгоджуються з науковими дослідженнями Н. Кулманової [9], О. Ф. Баранова [10], А. І. Клименка [11] та іншими авторами про те, що цілісний, не деформований кусок м'яса після першої глибокої заморозки зберігає свої початкові властивості з мінімальними втратами вологи, а деформовані зразки (рублені, мелені) інтенсивно втрачають вологу, робляться жорсткими, водянистими та менш еластичними.

Висновки. Уніфіковано метод осьової деформації до виконання на багатofункціональному модульному вимірювальному комплексі "МИГ-1.3" з дослідження структурно-механічних і реологічних властивостей сировини та матеріалів.

Використання комплексу уможливило підвищити ефективність експериментального методу осьової деформації, точність вимірювань і виявляти процеси та явища, які виникають під час деформації на мікро-рівні, провести в реальному часі зняття багатьох параметрів, незалежних один від одного й швидко опрацювати результати з наданням рекомендацій щодо умов зберігання та переробки досліджуваної сировини. Результати, отримані класичним методом, узгоджуються з результатами запропонованим методом.

Комплекс "МИГ-1.3" дає можливість зафіксувати явища, які виникають під час деформації на молекулярному рівні, що не можна побачити на класичному обладнанні. Так, отримано пружні коливання м'язової структури м'яса під час деформації, що залежать від якості досліджуваного об'єкта та умов його зберігання. Їх опис буде представлено в подальших публікаціях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология. Концепции, методы, приложения : монография. М. : Профессия, 2007. 560 с.
2. Маслова Г., Маслов А. Реология рыбы и рыбных продуктов. М. : Легкая пром-сть, 1981. 216 с.
3. Шаповал С. Л., Форостяна Н. П., Романенко Р. П., Литвинов Ю. В. Лабораторний практикум з виконання науково-дослідних робіт з використанням Універсального вимірювального комп'ютерного приладу. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2013. 85 с.
4. Горбатов А. В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. М. : Легкая пром-сть, 198. 286 с.
5. Мачихин Ю. А., Мачихин С. А. Инженерная реология пищевых материалов. М. : Лёгкая и пищевая пром-сть, 1981. 216 с.
6. Николаев Б. А. Структурно-механические свойства мучного теста : монография. М. : Легкая пром-сть, 1976. 247 с.
7. Снигерева И. А. Современные методы исследования качества пищевых продуктов. М. : Экономика, 1976. 222 с.
8. Кучерук І. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики: навч. посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти; за ред. І. М. Кучерука. Київ : Техніка, 1999. Т. 1. Механіка. молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с. : с.120.
9. Кулманова Н. Механические свойства говяжьего мяса при замораживании. Мясная индустрия. 1969. № 1. С. 14—21.
10. Баранов А. Ф. Исследование структурно-механических свойств мяса говядины : дис. канд. техн. наук : 05.18.12. М. : МТИММП, 1975. 180 с.
11. Клименко М. Н., Пелеев А. И. Исследование структурно-механических свойств мяса. Изв. Вузов СССР. Пищевая технология. 1966. № 2. 310 с.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2016.

Shapoval S. Research of structural and mechanical properties of viscoelastic objects by axial deformation method.

Background. Rheology as a science studies primarily properties of raw materials during deformation of the objects. Classical methods are considered strain deformation and compression. These include the method of axial deformation. It is simple to do, research is characterized with great accuracy, but it requires a lot of time for processing. That is why urgent is the development of computerized methods for the study of structural and mechanical properties of viscoelastic objects. This is possible by modernizing and adapting instrumental methods to the multifunction module measuring complex MIG-1.3.

The aim of study is to check the efficiency of computerized method of structural and mechanical properties of viscoelastic bodies research with the help of axial deformation of extension; to analyze experimental diagrams of deformation force time-dependence obtained with MIG-1.3 multifunctional measuring device.

Material and methods. The objects of research were samples of meat – turkey fillet. The samples had three directions of cut – long, cross and diagonal cuts. As control we took samples studied by the method of axial deformation, described in the work of

H. Maslov [2]. The experimental method applied is a computerized method of axial deformation adjusted to multifunctional measuring device MIG-1.3 [3].

Results. Having conducted numerous research tests in physics laboratory of the Kyiv National University of Trade and Economics with the help of MIG-1.3 device our scientists have proved its efficiency. Necessary modules with sensing elements for studying deformation properties of food by axial deformation method have been developed. Use of MIG-1.3 enables to carry out a study with great accuracy, register independent parameters in a real-time environment and process results in a short time with further recommendations concerning storage conditions or processing of the raw materials under research.

Conclusion. Thus, we have adjusted the axial deformation method to carrying out with the help of multifunctional measuring device MIG-1.3 used for studying structural and mechanical and rheological properties of raw materials.

Using the device enhanced the accuracy and allowed to identify the processes and phenomena that occur during deformation at the micro level, to register many independent parameters in real-time environment and to process in quite a short time the results for recommendations regarding the storage conditions and processing of materials. The results obtained by the classical method comply with the results obtained by the updated method.

Keywords: structural and mechanical properties, viscoelastic objects, axial deformation, coefficient of elasticity, strength ratio, strain chart.

REFERENCES

1. Malkin A. Ja., Isaev A. I. Reologija. Konceptii, metody, prilozhenija : monografija. M. : Professija, 2007. 560 s.
2. Maslova G., Maslov A. Reologija ryby i rybnyh produktov. M. : Legkaja prom-st', 1981. 216 s.
3. Shapoval S. L., Forostjana N. P., Romanenko R. P., Lytvynov Ju. V. Laboratornyj praktykum z vykonannja naukovo-doslidnyh robot z vyko-rystannjam Universal'nogo vymirjuval'nogo komp'juternogo prykladu. Kyi'v : Kyi'v. nac. torg.-ekon. un-t, 2013. 85 s.
4. Gorbatov A. V. Strukturno-mehaničeskie harakteristiki pišhevyh produktov. M. : Legkaja prom-st', 198. 286 s.
5. Machihin Ju. A., Machihin S. A. Inženernaja reologija pišhevyh materialov. M. : Ljogkaja i pišhevaja prom-st', 1981. 216 s.
6. Nikolaev B. A. Strukturno-mehaničeskie svojstva mučnogo testa : monografija. M. : Legkaja prom-st', 1976. 247 s.
7. Snigereva I. A. Sovremennye metody issledovanija kachestva pišhevyh produktov. M. : Jekonomika, 1976. 222 s.
8. Kucheruk I. M., Gorbachuk I. T., Lucyk P. P. Zagal'nyj kurs fizyky: navch. posibnyk dlja studentiv vyshhyh tehn. i ped. zakladiv osvity; za red. I. M. Kucheruka. Kyi'v : Tehnika, 1999. T. 1. Mehanika. molekularna fizyka i termodynamika. 536 s. : s.120.
9. Kulmanova N. Mehanicheskie svojstva govjazh'ego mjasa pri zamorazhi-vanii. Mjasnaja industrija. 1969. № 1. S. 14—21.
10. Baranov A. F. Issledovanie strukturno-mehaničeskih svojstv mjasa govjadiny : dis. kand. tehn. nauk : 05.18.12. M. : MTIMMP, 1975. 180 s.
11. Klimenko M. N., Peleev A. I. Issledovanie strukturno-mehaničeskih svojstv mjasa. Izv. Vuzov SSSR. Pišhevaja tehnologija. M. : 1966. № 2. 310 s.