



## Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies

ISSN 2519–268X print  
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.15421/nvlvet8519  
<http://nvlvet.com.ua/>

UDC 621.78:641

### Apparatus for the study of structural-mechanical and thermophysical properties of poultry meat

S.L. Shapoval

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

#### Article info

Received 02.02.2018  
Received in revised form  
07.03.2018  
Accepted 13.03.2018

Kyiv National University of Trade  
and Economics, Kyoto Str., 19,  
Kyiv, 02156, Ukraine  
Tel.: +38-044-513-99-71  
E-mail: Shapovalnkteu@gmail.com

**Shapoval, S.L. (2018). Apparatus for the study of structural-mechanical and thermophysical properties of poultry meat. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 20(85), 100–106. doi: 10.15421/nvlvet8519**

The design and operating principle of measuring module for determination of structural-mechanical properties and heat conductivity of poultry meat before and after culinary treatment are described in the article. The layout of temperature sensors and heating element is given. The relevance of the research not only the limits of strength of product surface by penetrometer, but also the relaxation efforts and heat conductivity of a product is proved. Calibration curves of penetrometers are plotted. The example of the temperature's fixation of the wall of the measuring indenter by semiconductor thermometer with rising temperature of the sample by heating indenter is given. The developed module «Rheology» of the apparatus MIG-1.3 allows determining the main structural-mechanical and thermophysical properties of poultry meat. The errors of certain sensors don't exceed  $\pm 1$  °C that allows determining the rheological and thermophysical properties of poultry meat samples on the intermediate stages of technological process, when the degustation is impossible. Fixation results of temperature differences' dynamics of indenters' surface point at velocity of heat conduction inside the sample that allows determining heat conductivity and getting an idea of the amount of the free moisture that is formed as a consequence of denaturation of poultry meat's protein. Due to the determined rheological and thermophysical properties it was established the optimal modes of heat treatment of three samples of turkey fillet (temperature, time, air velocity and moisture) and modified mode «steaming» of steam convection oven Convothem. The research of structural-mechanical and thermophysical properties of turkey fillet after the heat treatment by different temperature conditions was conducted on the developed equipment with the aim of checking structural-mechanical properties of the ready fillet samples. Dynamic of change of running resistance force (relaxation efforts) and temperature change by mechanical deformation of samples were determined under the temperature  $20 \pm 2$  °C. The accordance of study results of rheological and thermophysical properties on the proposed apparatus MIG-1.3 with the technological properties of fillet samples were proved.

**Key words:** structural-mechanical properties, temperature conductivity, physical methods of meat research, indenter, penetrometer, turkey fillet.

### Прилад для дослідження структурно-механічних та теплофізичних властивостей м'яса птиці

С.Л. Шаповал

Київський національний торговельно-економічний університет, Київ, Україна

У статті описано конструкцію та принцип роботи вимірювального модуля для визначення структурно-механічних властивостей та теплопровідності м'яса птиці до та після кулінарної обробки. Наведено схему розташування температурних датчиків та нагрівального елемента. Доведено актуальність дослідження не лише межі міцності поверхні продукту пенетрометром, а й релаксаційного зусилля та теплопровідності продукту. Побудовано градувальні графіки пенетрометрів та наведено приклад фіксування температури стінки вимірювального індентора напіпровідниковим термометром при підвищенні температури зразка нагрівальним індентором. Створений модуль «Реологія» приладу MIG-1.3 дозволяє визначити основні структурно-механічні та теплофізичні параметри м'яса птиці. Похибки окремих датчиків не перевищують  $\pm 1$  °C, що дозволяє визначити реологічні та теплофізичні властивості зразків м'яса птиці на проміжних стадіях технологічного процесу, коли декустація неможлива. Ре-

зультати фіксації динаміки різниці температур поверхні інденторів вказують на швидкість розповсюдження тепла всередині зразка, що дозволяє визначити теплопровідність та отримати уявлення про кількість вільної вологи, що утворилася внаслідок денатурації білків м'яса птиці. За визначеними реологічними та теплофізичними параметрами були встановлені оптимальні режими термічної обробки трьох зразків філе індика (температура, час, швидкість руху повітря, вологість) та модифікований режим «steaming» пароконвекційної шафи Convothem. З метою перевірки структурно-механічних властивостей готових зразків філе на розробленому обладнанні проведено дослідження структурно-механічних та теплофізичних властивостей філе індика після термічної обробки за різних температурних режимів. За температури  $20 \pm 2$  °C було визначено динаміку зміни сили супротиву (релаксаційне зусилля) та зміну температури при механічній деформації зразків. Доведено відповідність результатів дослідження реологічних та теплофізичних властивостей на пропонуваному приладі MIG-1.3 технологічним властивостям зразків філе.

**Ключові слова:** структурно-механічні властивості, температуропровідність, фізичні методи дослідження м'яса, індентор, пенетрометр, філе індика.

## Вступ

На сучасному рівні розвитку харчової промисловості з'являється велика кількість нових харчових продуктів з індивідуальними фізичними характеристиками, значення яких необхідно при розрахунку параметрів технологічного процесу, особливо для режимів термічної обробки.

У реальних процесах механізм передачі теплоти залежить від структури досліджуваного матеріалу, теплообмін часто неможливо відділити від масообміну і вологопровідності (Nikiforov et al., 2015).

Вплив біологічно-активних добавок як під час виготовлення так і у процесі первинної обробки також суттєво впливає на фізичні властивості напівфабрикатів з м'яса птиці (Bou et al., 2009).

Для дослідження структурно-механічних властивостей м'ясних напівфабрикатів використовують переважно пенетрометри. Це швидкий спосіб визначення консистенції сировини, яку з певної причини не можна дегустувати (Prytulska, 2006). Проте окрім визначення межі міцності, penetрація не дозволяє визначити інші структурно-механічні властивості м'ясної сировини, такі як релаксація. Також за допомогою penetрації складно встановити факт зміни структурно-механічних властивостей хімічними речовинами.

У розробку модуля «Реологія» покладені теоретичні основи деформації тіла. Оскільки працівники закладів торгівлі та ресторанного господарства у своїй діяльності мають справу із тілами різної твердості, то деформація є важливою споживчою характеристикою досліджуваного об'єкту.

Перед дослідженням об'єктів експериментатор повинен чітко уявляти які процеси будуть відбуватися і якого алгоритму дій необхідно дотримуватись під час експерименту. Для цього передусім необхідно створити фізичну модель досліджуваного процесу. Фізична модель дає опис явищ на молекулярному рівні, що дуже важливо, адже сучасні цифрові вимірювальні блоки фіксувати протікання процесу в інтервалі тисячної секунди (Shapoval et al., 2017).

У процесі термічної обробки, внаслідок денатурації білків та інших безповоротних процесів, суттєво змінюються структурно-механічні та теплофізичні властивості натуральних м'ясних напівфабрикатів (Wattanachant et al., 2005). Інтенсивність цих змін

залежать від частини тушки, віку, статі, раціону, вгодованості, часу та температури зберігання та інших параметрів. В більшості випадків температурна залежність фізичних параметрів різниться не тільки у партіях м'ясної сировини, а й у окремих зразків.

Водночас, параметри режимів теплової обробки є важливим фактором, що впливає на втрати маси і на кінцеву якість готового продукту за рахунок випаровування води (Hurskyi et al., 2014).

Відома динаміка змін фізико-хімічних властивостей напівфабрикатів з птиці дозволяє суттєво оптимізувати режими їх термічної обробки та отримати продукцію з максимальним збереженням біологічно-цінних речовин і мінімальними втратами вологи, раціональніше використовувати енергоресурси та виробниче обладнання (Tischenko et al., 2017).

**Мета дослідження:** розробка приладу для визначення динаміки змін консистенції натуральних напівфабрикатів з філе індика в процесі термічної обробки.

## Матеріал і методи досліджень

Прилад MIG 1.3 було розроблено науковцями кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету у співпраці з ТОВ «ІТМ» (м. Харків, Україна). Прилад складається з реєструючого блоку та набору датчиків, які разом з допоміжним обладнанням поєднуються в модулі.

Для отримання даних про зміни реологічних властивостей м'яса за різних температур та режимів кулінарної обробки було розроблено модуль «Реологія» до універсального вимірювального приладу MIG-1.3.

Вимірювальний блок приладу MIG-1.3. дозволяє виміряти фізичні параметри: структурно-механічні властивості вздовж і в поперек волокон, теплопровідність, електропровідність і теплоємність.

За співвідношенням вищезгаданих фізичних властивостей зразка м'яса можна наближено визначити жирність, вологість, структуру (походження, вік тварини або птиці), і дати рекомендації щодо оптимальної технологічної обробки.

Принципова схема модуля «Реологія» приладу MIG-1.3 для визначення температурної залежності м'ясної сировини наведена на рис. 1.

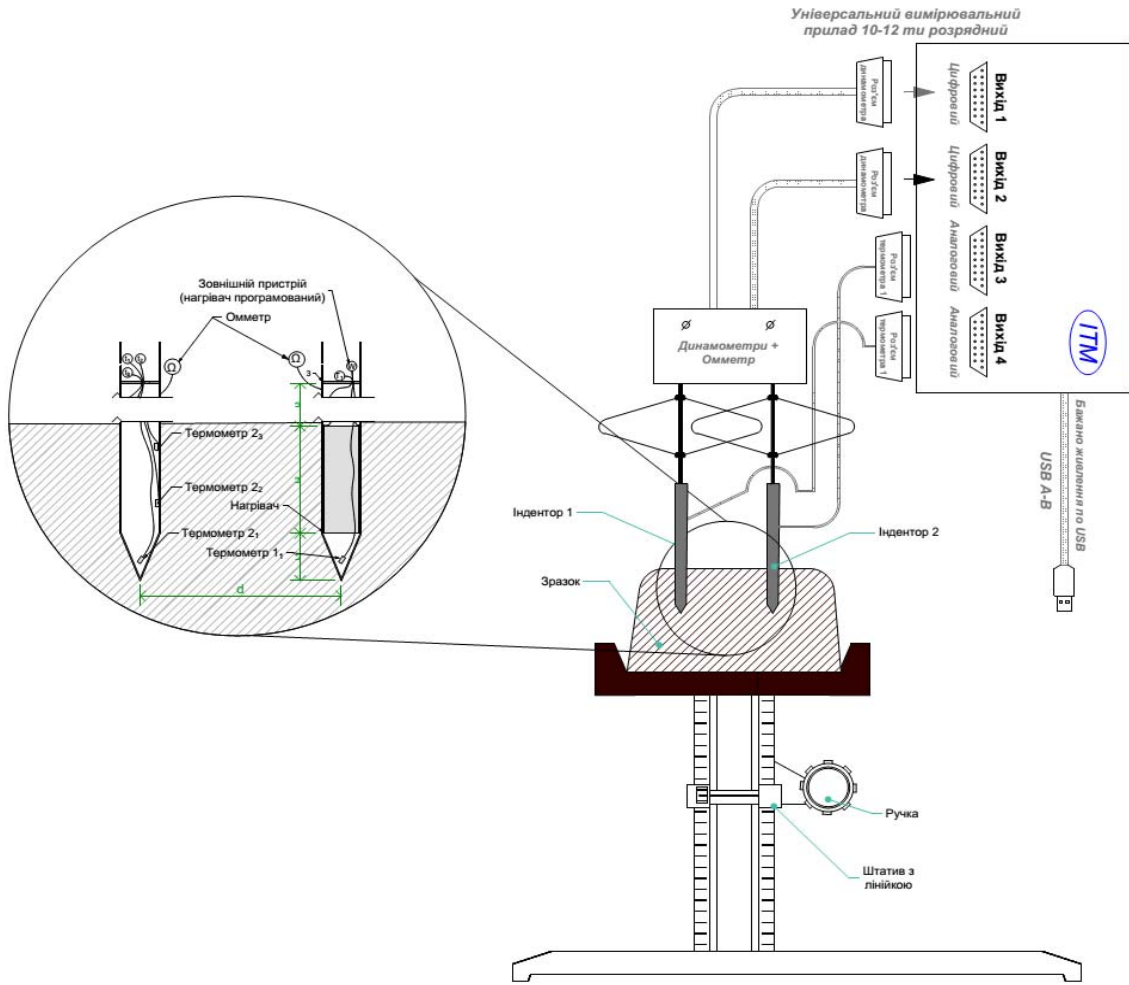


Рис. 1. Установка для комплексного визначення фізичних параметрів м'ясної сировини

Датчик складається із двох сталевих циліндрів (інденторів) із загостреним нижнім кінцем. Циліндри закріплені на динамометрах і можуть рухатися незалежно в межах  $\pm 3$  мм. В циліндрі 1 міститься плівковий нагрівальний елемент і напівпровідниковий термометр невеликих розмірів (Shapoval, 2015). Такі ж температурні датчики оригінальної конструкції розміщено на внутрішній поверхні циліндра 2.

Алгоритм вимірювання такий: циліндри одночасно занурюють в шматок м'яса до певної глибини ( $22 \pm 1$  мм). Під час занурення визначається сила супротиву тканини. Швидкість занурення визначається за відношенням глибини занурення до часу супротиву тканин і рахується автоматично. Таким чином визначається консистенція м'яса.

Після занурення на циліндр 1 подається напруга в  $5 \pm 0,5$  В. Двома амперметрами (рис. 2.  $A_1$  та  $A_2$ ) фіксується сила вхідного і вихідного струму (на випадок витоків струмі із контуру). За відношенням сили струму до напруги визначається електропровідність м'яса.

На наступному етапі вмикається плівковий нагрівальний елемент (2), ватметр (5) вимірює кількість енергії, яка пішла на нагрівання зразка. Температура всередині першого динамометра фіксується термодатчиком (1).

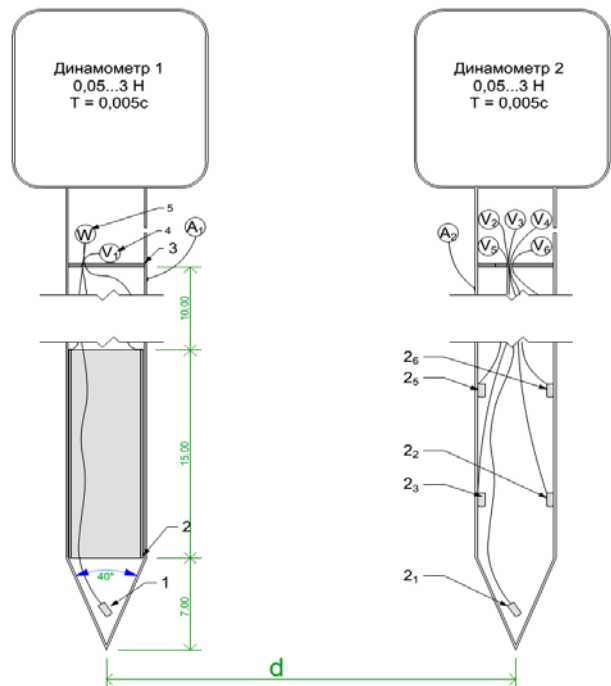


Рис. 2. Будова модуля «реологія» для комплексного визначення фізичних параметрів м'ясної сировини 1 – температурний датчик; 2 – нагрівальний елемент (плівка); 2.1–2.6 – температурні датчики; 3 – поділка, що вказує на межу занурення інденторів; 4 – вольтметри; 5 – ватметр

Зміни температури зразка фіксуються термодатчиками (2.1–2.6), причому датчики (2.2) та (2.6) містяться з протилежного боку і різниця їх показників та значень термометрів (2.3) і (2.5) вказує на швидкість розповсюдження тепла.

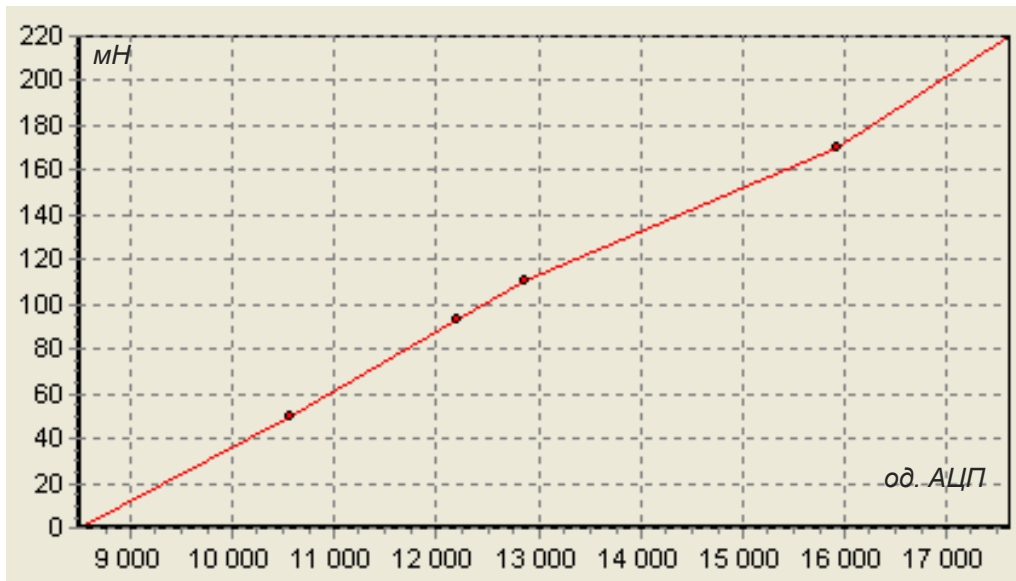
Оскільки розміри зразка м'яса значно перевищують розміри датчика, то вважатимемо, що тепло розповсюджується нерівномірно лише за рахунок нерівномірної структури м'яса (Rudavska et al., 2002). Отже, зафіксувавши швидкість зміни температури поверхні циліндра 2 відносно температури всередині циліндра 1, можна визначити теплопровідність зразка.

Після визначення теплопровідності, автоматично визначається електропровідність, що пов'язано зі

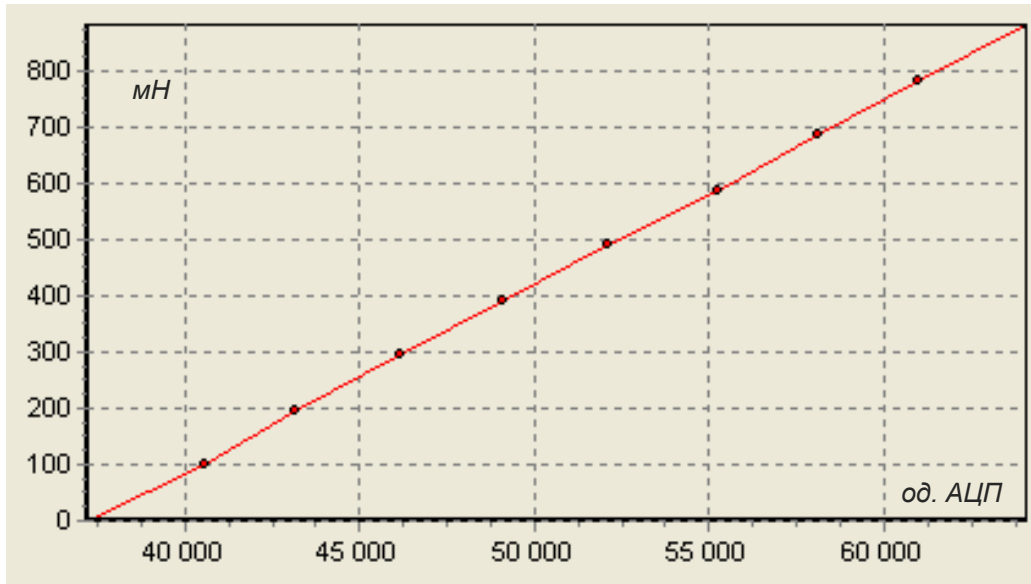
зміною електрофізичних властивостей після часткової денатурації білків.

Під час витягування інденторів, знаючи площу їх зануреної поверхні та силу супротиву, визначається коефіцієнт тертя м'яса до нержавіючої сталі.

Градуювання датчиків приладу МІГ 1.3 здійснювалося шляхом встановлення залежності показників аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) вимірювального блоку від значень деформуючої сили або температури (Shapoval et al., 2017). Залежність показників АЦП від значень сили для динамометрів відображена на градуювальних графіках (рис. 3).



а)



б)

**Рис. 3.** Вікно програми «Лабораторія МІГ 1.3». Градувальний графік модуля «Структуро-механічні властивості» а) динамометра з нагрівачем, б) динамометра без нагрівача

Градувальний графік динамометра без нагрівача (рис. 36) є прямою з рівнем достовірності апроксимації  $R^2 = 0,999$ . Оскільки дані динамометра передаються до вимірювального блоку через аналоговий сигнал, який легше спотворюється, то градувальний графік динамометра 1 з вбудованим плівковим нагрівачем мав суттєві відхилення від прямої. Це пов'язано із впливом нагрівального елемента на показники АЦП.

З метою зменшення впливу плівкового нагрівача на градувальний графік було обрано співвідношення значень одиниць АЦП та мН, на які мали найменше відхилення від прямої. Внаслідок такого корегування рівень достовірності апроксимації градувального графіка динамометра 1 склав  $R^2 = 0,992$ .

## Результати та їх обговорення

Для апробації модуля «реологія» було проведено серію експериментів з визначення межі міцності та теплопровідності філе індика різного часу зберігання.

У процесі роботи приладу дані реєструються у десяти незалежних вікнах програми «Лабораторія МІГ 1.3» з можливістю подальшого експорту їх до табличного процесора (наприклад MS Excel). Синхронізовано лише період вимірювання (0,05 с) та час експерименту (75 с).

Приклад реєстрації змін температури термометром 2.3 під час нагрівання філе індика наведено на рис 4.

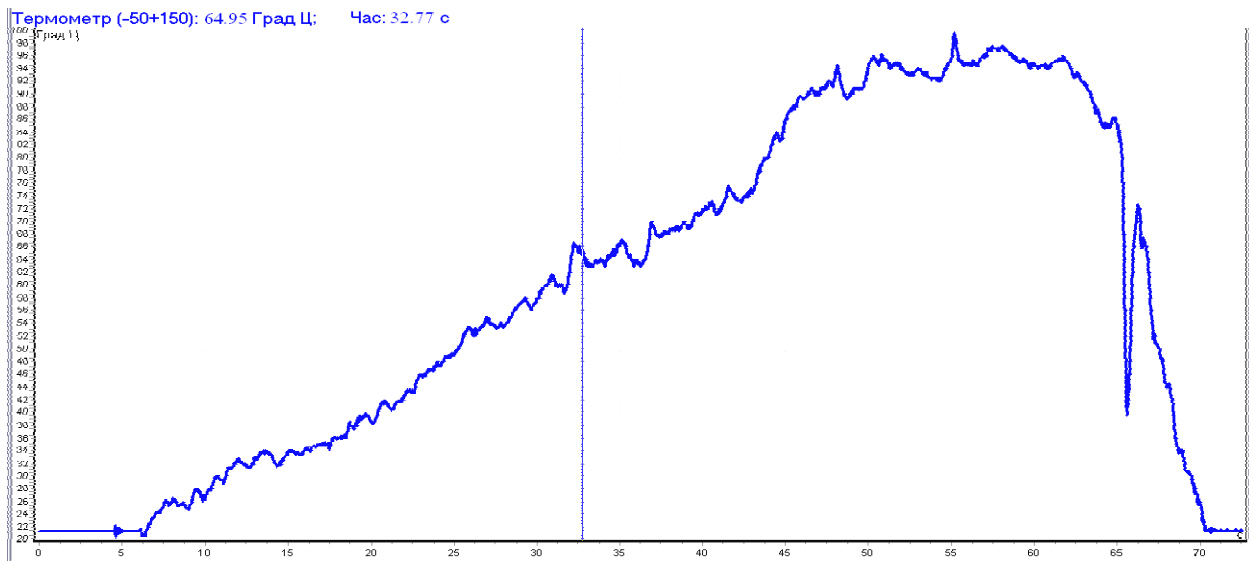


Рис. 4. Вікно програми «Лабораторія МІГ-1.3». Динаміка температури стінки індентора 1

Дрібні нерівності графіка (до  $1^{\circ}\text{C}$ ) пояснюються електромагнітними перешкодами, стрибки значень температури понад  $1^{\circ}\text{C}$  вказують на зміни інтенсивності процесів тепло і масопереносу в продукті. Так нерівномірності нагріву в діапазоні  $60...70^{\circ}\text{C}$ , пояснюються денатурацією білків та супутніми процесами. Стрибок температури до  $100^{\circ}\text{C}$  викликаний, ймовірно, закипанням незв'язаної вологи на поверхні індентора 1 і проходженням перегрітої рідини через неоднорідності структури філе індика, що викликало короткочасний нагрів локальної ділянки поверхні індентора 2.

Загалом, результати фіксації динаміки різниці температур поверхні інденторів вказують на швидкість розповсюдження тепла всередині зразка, що дозволяє визначити теплопровідність та прогнозувати кількість виділеної внаслідок денатурації білків вологи.

На наступному етапі було проведено дослідження трьох зразків філе індика різного терміну зберігання та, за результатами, оптимізовано параметри їхньої термічної обробки.

Багато харчових продуктів містять вологу в кількості  $70-90\%$  від загальної маси, тому для правильного розуміння процесу релаксації енергії в них треба враховувати характер сил, що діють між мікрочастин-

ками (Fedyshyn et al., 2013) (під релаксацією енергії розуміють перехід системи в рівноважний стан).

$$W_n = f(x) \quad (1)$$

де:  $W_n$  – вологість зразка, %;  $x$  – швидкість релаксації,  $F$  – сила,  $H$ .

Силу, що діє між вузлами структурної решітки, визначають першою похідною від потенційної енергії по координаті.

$$F = -\frac{dW_n}{dx} \quad (2)$$

тобто сила, що діє між вузлами структурної решітки, визначається тангенсом кута нахилу дотичної до потенційної кривої. При цьому найбільше притягання між атомами відповідає потенційній ямі на ділянці  $x_2x_3$ . Аналогічні потенціальні криві можна отримати для молекулярних решіток.

Потенціальні криві дозволяють довести, що нескінченне зближення молекул рідини неможливе (ділянка  $x_2x_3$ ), так як виникають нескінченно великі сили відштовхування. Потенціальні криві дозволяють отримати МІГ-1.3 з досить великою точністю.

Для перевірки запропонованого методу було обрано три зразки філе індика, що зберігалися за умови  $+5^{\circ}\text{C}$  протягом 24, 48 та 72 годин. Після досліджень

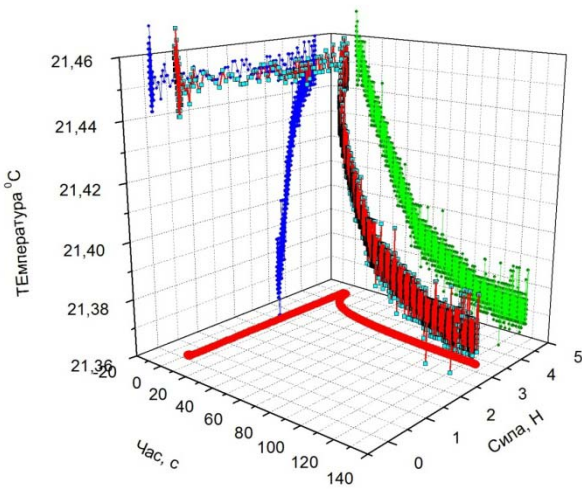
їх реологічних та теплофізичних властивостей на приладі MIG-1.3, було обрано режими термічної обробки у пароконвекційній шафі «Convotherm».

Зразок 1 проходив термічну обробку при температурі теплоносія 85 °С, відносній вологості повітря 100% та швидкості руху теплоносія 1,8 м/с (модифікований режим «steaming») протягом 20 хв. Зразки 2 та 3 проходили термічну обробку за такої ж во-

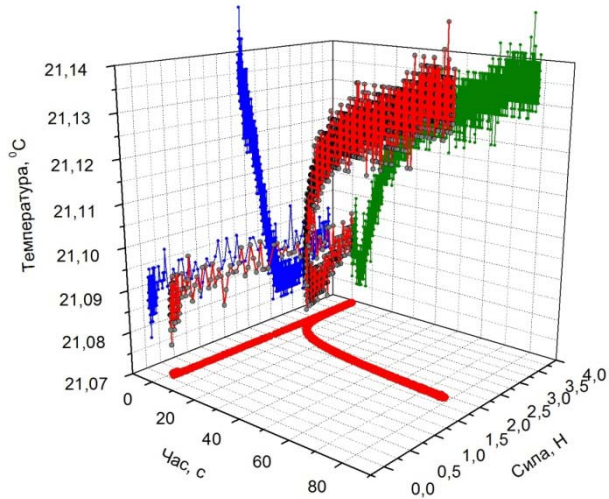
логості та швидкості руху теплоносія, проте за температури 90 °С; 95 °С, протягом 15; 7 хв відповідно.

З метою перевірки структурно-механічних властивостей готових зразків філе за температури  $20 \pm 2$  °С було визначено динаміку зміни сили супротиву (швидкість релаксації ( $x$ ) та зміну температури при механічній деформації зразків.

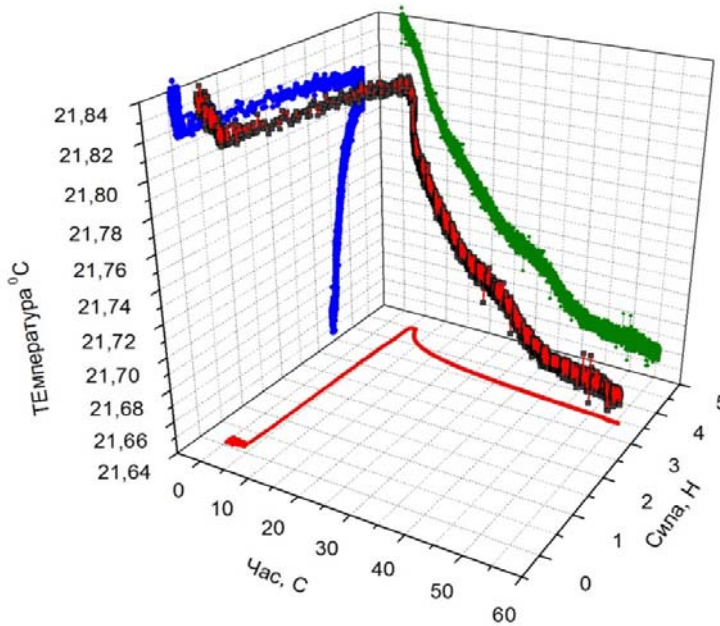
Залежність температури в зразках філе індика від сили та часу навантаження наведена на рис. 5



а) філе індика, оброблене за  $t$  85 °С 20 хв



б) філе індика, оброблене за  $t$  90 °С 15 хв



в) філе індика, оброблене за  $t$  90 °С 7 хв

**Рис. 5.** Залежність температури в обраних зразках філе індика після термічної обробки від сили та часу навантаження

Релаксаційні криві, які зображено як проекцію графіків на площину час/сила, вказують на швидкість руйнування структури готових зразків філе і визначають показник «консистенція» при дегустації.

Суттєвої відмінності між кривими релаксації трьох досліджених зразків не спостерігається, отже різниця консистенції готових виробів, приготованих за опти-

мізованими параметрами термічної обробки, буде органолептично невідчутною.

### Висновки

Створений модуль «Реологія» приладу MIG-1.3, дозволяє визначати основні структурно-механічні та

теплофізичні параметри м'яса птиці, похибки окремих датчиків не перевищують  $\pm 1$  °C і дозволяють визначати реологічні та теплофізичні властивості зразків м'яса птиці на проміжних стадіях технологічного процесу, коли дегустація неможлива.

Після дослідження приладом M1G-1.3 трьох зразків філе індики різного терміну зберігання були оптимізовані технологічних параметрів їхнього приготування. Дослідження консистенції готових зразків методом встановлення швидкості релаксації вказало на незначні розбіжності їх структурно-механічних властивостей.

*Перспективи подальших досліджень.* За визначеними реологічними та теплофізичними параметрами можна встановлювати оптимальні способи обробки (запікання, тушкування, маринування тощо) а також режими термічної обробки (температура, час, швидкість руху повітря, вологість) для напівфабрикатів з яловичини та свинини, що буде метою подальших досліджень.

### References

- Nikiforov, Ju.B., Svetlov, Ju.V., & Kaloshin Ju.A. (2015). *Jeffektivnaja teploprovodnost' pishhevych materialov i produktov razlichnoj struktury. Tehnologii XXI veka v pishhevoj, pererabatyvajushhej i legkoj promyshlennosti.* 19. *Rezhim dostupu:* [http://www.mgutn.ru/jurnal/tehnologii\\_21veka/eni9\\_chat1/section1/10.pdf](http://www.mgutn.ru/jurnal/tehnologii_21veka/eni9_chat1/section1/10.pdf) (in Russian).
- Bou, R., Codony, R., Tres, A., Decker, E.A., & Guardiola, F. (2009). *Dietary strategies to improve nutritional value, oxidative stability, and sensory properties of poultry products. Critical reviews in food science and nutrition.* 49(9), 800–822. doi: 10.1080/10408390902911108
- Prytulska, N.V. (2006). *Suchasni problemy prodovolchoi bezpeky Ukrainy v umovakh hlobalizatsii. Tovary i rynky.* 1, 119–127 (in Ukrainian).
- Shapoval, S.L., Romanenko, R.P., & Forostiana, N.P. (2017). *Diahnostyka fizychnykh vlastyvostei kharchovykh produktiv: monohrafiia.* Kyiv. (in Ukrainian).
- Wattanachant, S., Benjakul, S., & Ledward, D.A. (2005). *Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle. Food chemistry.* 93(2), 337–348. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.09.032
- Hurskyi, P.V., Pertsevyi, F.V., Bidiuk, D.O., & Obozna, M.V. (2014). *Doslidzhennia vplyvu retsepturnykh komponentiv na temperaturu teplovoi obrobky pasty zakusochnoi. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka.* 152, 256–260. *Rezhym dostupu:* <http://repo.sau.sumy.ua/handle/123456789/2661> (in Ukrainian).
- Tischenko, V.I., Bozhko, N.V., & Pasichnyi, V.M. (2017). *Optimization of the recipes of meat loaves using hydrobionts. Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies.* 80, 38–42. doi: 10.15421/nvlvet8008
- Shapoval, S.L. (2015). *Datchyk dlia doslidzhennia teplofizychnykh vlastyvostei kharchovykh produktiv. Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva.* 4(21), 45–49. doi: 10.15587/2312-8372.2015.38141 (in Ukrainian).
- Rudavska, H.B., Tyshchenko, Ye.V., & Prytulska, N.V. (2002). *Naukovi pidkhody ta praktychni aspekty optymizatsii asortymentu produktiv spetsialnoho pryznachennia: Monohr. K.: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t* (in Ukrainian).
- Fedyshyn, Ya.I., Hembara, T.V., & Fedyshyn, T.Ia. (2013). *Optymalne upravlinnia teplofizychnym protsesom sterylizatsii za minimizatsiieiu priamykh pytomykh teplovykh vytrat iz zabezpechenniam kharchovoi tsinnosti. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho.* 15, 1(3), 191–197. *Rezhym dostupu:* [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu\\_2013\\_15\\_1%283%29\\_\\_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2013_15_1%283%29__34) (in Ukrainian).