

УДК 664.951.53.004.4

**Віктор ГУЦЬ,
Олена СИДОРЕНКО,
Раїса ДОНЧЕВСЬКА**

ЗМІНА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАМОРОЖЕНОЇ ЗАЛИВНОЇ РИБИ ПРИ ЗБЕРІГАННІ

Порушення раціону харчування населення України на сьогодні обумовлене недостатнім споживанням і нераціональним співвідношенням повноцінних білків, ненасичених жирних кислот, баластних речовин, вітамінів, макро- та мікроелементів. У зв'язку з цим актуальною є розробка технології риборослинних продуктів, а саме заливної продукції на основі прісноводної рибної та рослинної сировини з додаванням морських водоростей. Це дасть змогу не лише підвищити харчову й біологічну цінність, поліпшити сенсорні характеристики та функціональні властивості продукції, а й покращити її засвоюваність за рахунок цілеспрямованого поєднання рибної та рослинної сировини, що відповідає принципам збалансованого харчування.

На сучасному етапі особлива увага надається прогнозуванню змін харчової та біологічної цінності риборослинної продукції з метою встановлення тривалості зберігання та забезпечення гарантованого рівня якості. Найбільш ефективним є використання засобів математичного моделювання. Наукові та практичні аспекти розробки та застосування математичних моделей з метою прогнозування стійкості харчових продуктів залежно від тривалості зберігання висвітлено у працях Л. Н. Ловачева, Р. П. Синга, Н. В. Михайлова (цит. за О. Сидоренко) [1], В. Гуця [2], *D. G. Quast, M. Karel* [3].

Аналіз відомих методів моделювання змін якості харчових продуктів виявив їхню недосконалість. Основний недолік існуючих моделей прогнозування – відсутність науково обґрунтованих методологічних підходів до оцінки факторів, що впливають на зміну якості продукції. Перспективним, на нашу думку, є застосування кінетичного моделювання з урахуванням критичного параметра оптимізації [4].

Мета роботи – наукове обґрунтування та визначення терміну зберігання замороженої заливної прісноводної риби на основі зазначеної вище теорії.

Об'єкт дослідження – заливна рибна продукція з використанням товстолобика та додаванням рослинних добавок, обраних з урахуванням вітамінного й мінерального складу, вмісту антиоксидантів, пектинових речовин. Окрім зелені кропу та петрушки, а також морських водоростей (ламінарії) до окремих досліджуваних зразків

додано: ягоди та сік журавлини; плоди та сік моркви; коренеплоди та сік буряка; перо зеленої та сік ріпчастої цибулі. За контроль узято зразок без рослинних добавок.

Заливну продукцію заморозували в морозильних апаратах SF-07 за температури не вище -35°C при досягненні її всередині продукту -25°C , а зберігали в морозильних камерах при температурі -25°C протягом 4-х міс. із дня виготовлення.

Об'єктивна оцінка якості харчових продуктів упродовж встановленого терміну зберігання передбачала вивчення комплексу показників, які впливають на формування споживних властивостей продукції: органолептичних, хімічних, мікробіологічних та структурно-механічних. За результатами експериментальних досліджень встановлено максимальну збереженість і стійкість біологічно активних речовин досліджуваної рибної продукції за рахунок стабілізуючої дії органічних кислот, біофлавоноїдів і вітамінів-антиоксидантів рослинної сировини, а також раціональних умов низькотемпературного зберігання [5; 6].

Визначено, що критичними контрольними показниками якості під час зберігання були коефіцієнти граничного навантаження, молекулярного зчеплення та адгезії. Ці показники характеризують структурно-механічні властивості желевної заливки, зокрема пружність, пластичність і в'язкість структури. Після 4-х міс. зберігання відмічено зростання коефіцієнта граничного навантаження для дослідних і контрольних зразків (рис. 1).

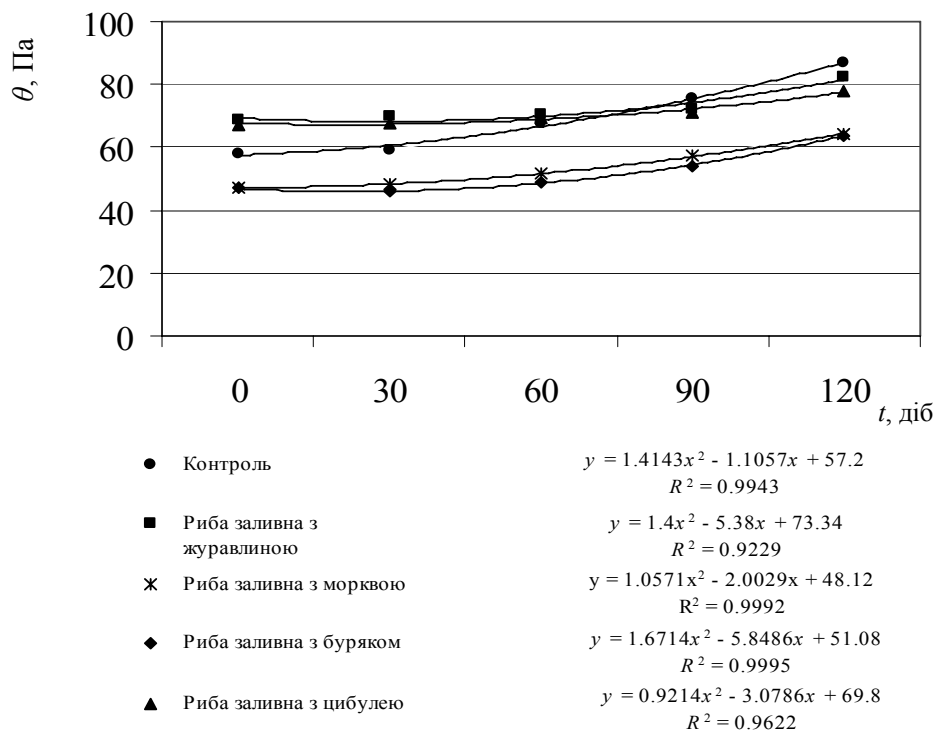


Рис. 1. Динаміка коефіцієнта граничного навантаження заливної риби при зберіганні

Це зумовлено незначним ущільненням структури за рахунок зміни в орієнтації зв'язаних елементів і виникнення додаткових молекулярних зв'язків різної міцності. При цьому в формуванні структурної сітки заливки, на нашу думку, беруть участь не стільки ізольовані молекули, скільки їхні вторинні структурні сполуки – конгломерати. Важливим чинником, який вплинув на підвищення пружності заливки, є також виморожування вільної вологи, що узгоджується із результатами дослідження вологозатримувальної здатності та вмісту вологи в продукті.

Для дисперсних систем типу заливної риби на початковому етапі низькотемпературного зберігання з підвищенням пружності заливки спостерігалось незначне зростання в'язкості, яка потім поступово знижувалася (рис. 2).

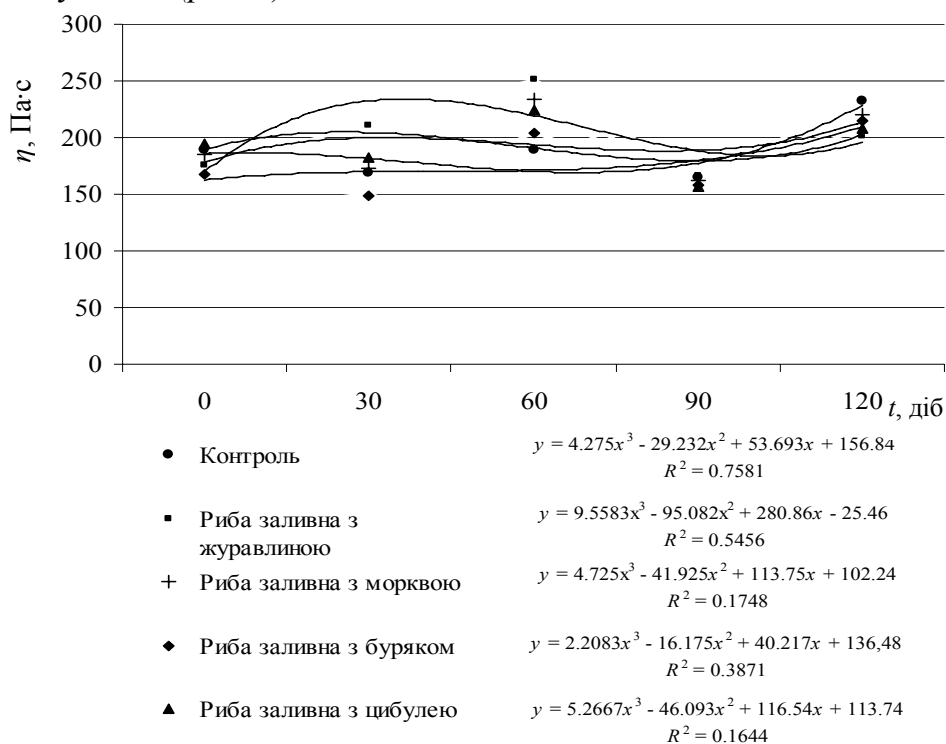


Рис. 2. Динаміка коефіцієнта молекулярного зчеплення заливної риби при зберіганні

Зниження коефіцієнта молекулярного зчеплення заливки можна пояснити перш за все руйнуванням структурної сітки та частини конгломератів. Проте після 60-ти діб зберігання відмічено підвищення в'язкості, однак менш інтенсивне, ніж пружності.

Досліджуючи характер зміни поверхневих властивостей заливної продукції при зберіганні, встановлено закономірність зниження міцності адгезії для всіх варіантів досліду (рис. 3).

Після 4-х міс. зберігання значення коефіцієнта адгезії для контрольного зразка знизилося на 70 %, зразка з журавлиною – на 64.7, з морквою – на 76.9, буряком – на 72.7, цибулею – на 64.3 %. Отримані

результати дають змогу стверджувати, що зі збільшенням тривалості зберігання продукції внутрішня енергія молекулярної взаємодії між компонентами заливки послаблюється.

Отже, для прогнозування гарантійного терміну зберігання заливної рибної продукції на основі кінетичної теорії моделювання критичним параметром оптимізації визначено структурно-механічні властивості, а саме – міцність структури заливки, що характеризується коефіцієнтами граничного навантаження та молекулярного зчеплення. Проте необхідно враховувати, що міцність структури заливки є узагальненою реологічною характеристикою, яка в приведених відносних одиницях характеризує консистенцію досліджуваного продукту й визначає здатність заливки чинити опір пластичній деформації та руйнуванню під дією навантажень. Вона дає можливість чисельно визначити, охарактеризувати та порівняти реологічні коефіцієнти, які характеризують структурно-механічні властивості заливної рибної продукції з рослинними добавками, визначені за допомогою різних приладів при певних умовах зберігання.

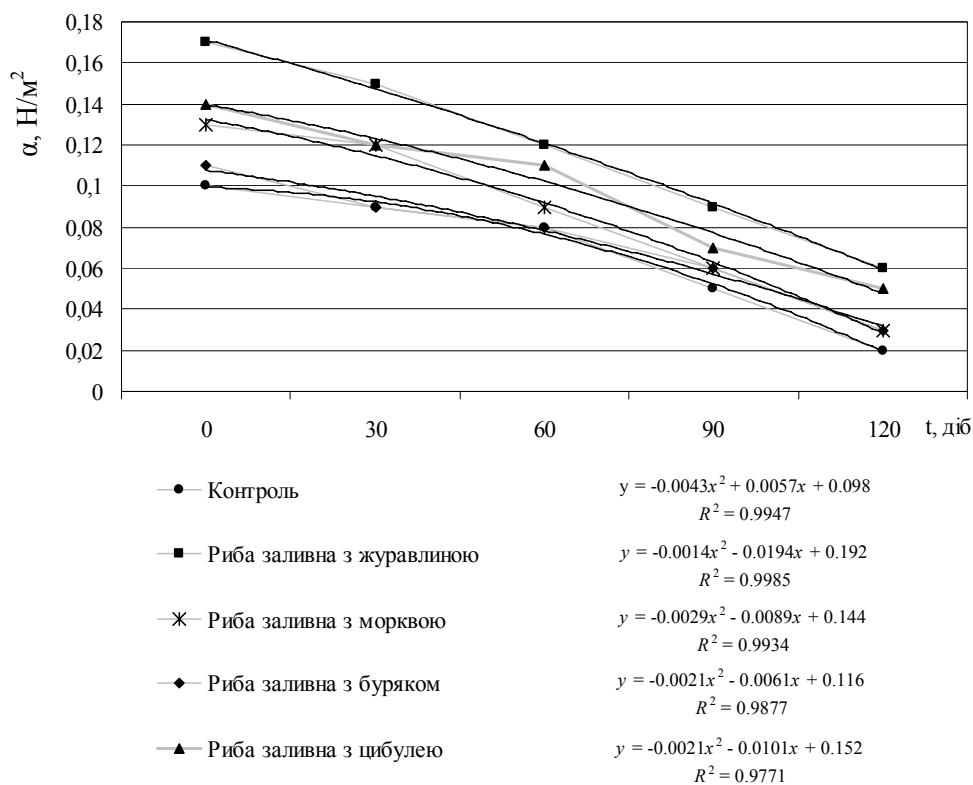


Рис. 3. Динаміка коефіцієнта поверхневого натягу заливки при зберіганні

Якщо змінити умови дослідження (розміри та матеріал індентора, швидкість і глибину його занурення), то визначена різними методами міцність структури матиме відмінні чисельні значення, що відповідає реодинамічній теорії моделювання структурно-механічних властивостей в'язко-пружно-пластичних дисперсних систем. Головними посту-

латами цієї теорії є залежність отриманих чисельних значень результатів від методів і умов проведення досліджень. Залежно від стану та умов навантаження продукт має різні реологічні коефіцієнти, що характеризують його структурно-механічні властивості [7; 8].

Для об'єктивності прогнозування терміну зберігання рибної продукції встановлено, що доцільним є урахування міцності заливки як критичного параметру оптимізації, що визначався різними методами пенетрації: із використанням гравітаційного пенетрометра [9] та універсального комп'ютерного вимірювального приладу (УКВП) [10].

Для дослідження структурно-механічних властивостей заливної прісноводної риби побудовано модель, яка характеризує механізм пенетрації досліджуваної дисперсної системи індентором (рис. 4).

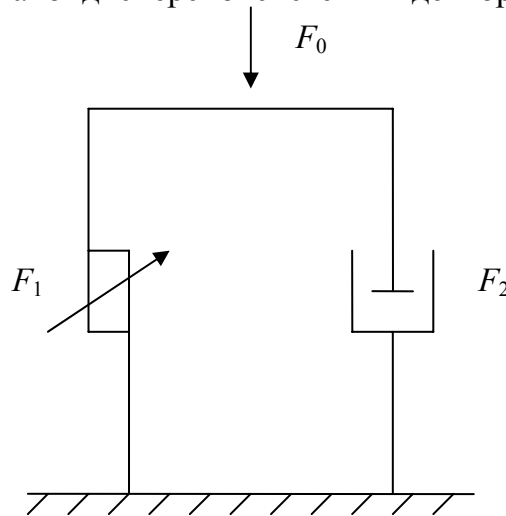


Рис. 4. Механічна модель досліджуваної системи:

F_0 – навантаження, під дією якого відбувається занурення індентора, Па;

F_1 – граничне навантаження, Па; F_2 – в'язкий опір руху індентора, Па·с

В'язкий опір руху індентора залежить від швидкості занурення й характеризує молекулярне зчеплення в дисперсній системі та виражається формулою:

$$F_2 = \eta \frac{ds(t)}{dt}, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;

$s(t)$ – відносна глибина занурення індентора.

Проникнення голчатого індентора в структуру досліджуваного зразка відбувається тоді, коли навантаження, прикладене до нього, буде виражене рівнянням:

$$F_0 = F_1 + F_2 = F_1 + \frac{ds(t)}{dt} \cdot \eta. \quad (2)$$

Рівняння (2) характеризує силову рівновагу при повільному зануренні індентора в зразок, тобто міцність структури заливки.

Граничне навантаження (F_1) характеризує зусилля, при якому починається незворотне деформування (занурення індентора в товщу заливки). Оскільки заливка є в'язко-пружно-пластичною дисперсною системою, можна вважати $F_1 = const$.

При дослідженні структурно-механічних властивостей заливки продукції гравітаційним індентором швидкість його занурення значна, тому рівняння руху індентора матиме вигляд:

$$m \cdot \frac{d^2 s(t)}{dt^2} + F_1 + F_2 = 0, \quad (3)$$

де m – маса індентора, кг.

Рівняння (2) та (3) використано для знаходження зусилля penetрації.

При визначенні міцності заливки УКВП, тобто силовим введенням індентора в досліджуваний зразок, необхідно враховувати конструктивні особливості універсальної вимірювальної системи та повільне занурення індентора. У цьому випадку розв'язок рівняння (2) при початкових умовах $t = 0 \Rightarrow s = 0$ набуло вигляду:

$$s(t) = \frac{(F_0 - F_1) \cdot t}{\eta}, \quad (4)$$

Виконавши диференціювання рівняння (4), знайдено відносну швидкість занурення індентора:

$$\frac{ds(t)}{dt} = \frac{F_0 - F_1}{\eta}. \quad (5)$$

За умови використання приладу в режимі постійної швидкості руху індентора напругу F_0 визначено з рівняння (5):

$$F_0 = \frac{ds(t)}{dt} \eta + F_1. \quad (6)$$

Підставивши у рівняння (6) експериментальні значення η і F_1 , швидкість $\frac{ds}{dt}(t)$, що характеризує вимірювальну систему, отримано залежність F_0 від t для досліджуваних зразків заливної риби з рослинними добавками (рис. 5).

Отже, залежно від часу зберігання міцність консистенції заливної продукції зростає у зразках: контрольному – в 1.48 раза, з журавлиною – 1.37, морквою – 1.38, буряком – 1.44, цибулею – в 1.27 раза. Отримано поліноміальну залежність міцності заливки, визначеної УКВП, від тривалості зберігання та побудовано трендові рівняння.

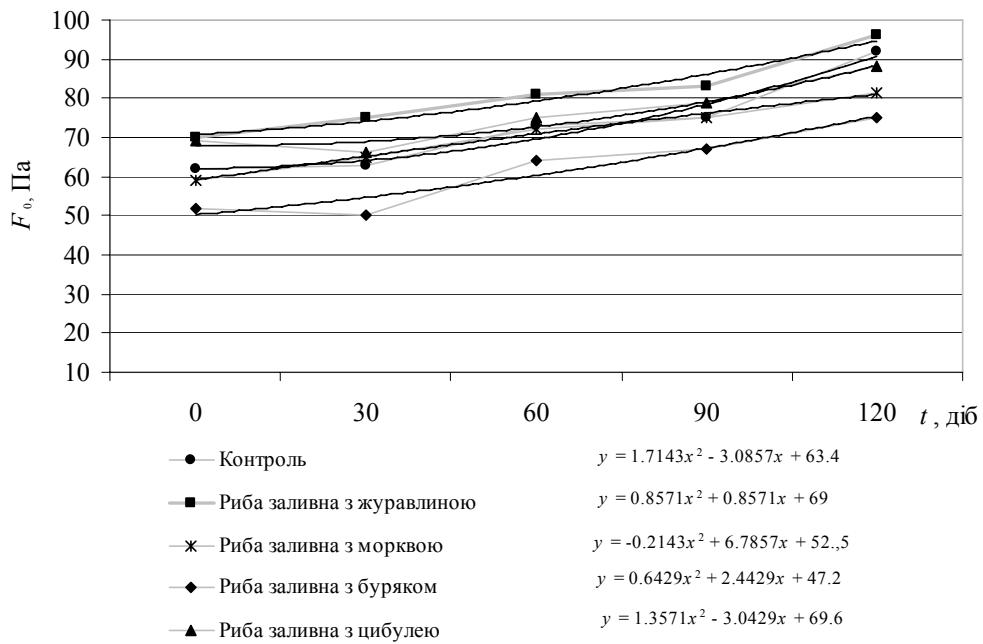


Рис. 5. Залежність міцності структури заливної риби (F_0), визначеної УКВП, від тривалості зберігання (t)

При дослідженні структурно-механічних властивостей заливної риби гравітаційним пенетрометром, підставивши F_2 у рівняння (3), отримано:

$$m \frac{d^2}{dt^2} s(t) + F_1 + \eta \frac{d}{dt} s(t) = 0. \quad (7)$$

Скориставшись методами символної комп'ютерної математики *Maple* та враховуючи початкові умови $t = 0 \Rightarrow s(0) = 0 \Rightarrow \frac{ds}{dt} = V_0$, отримано розв'язок рівняння:

$$s(t) = \frac{m(V_0\eta + F_1)}{\eta^2} \cdot \frac{-me^{\left(\frac{-\eta}{m}\right)}(V_0\eta + F_1) - F_1 t}{\eta^2} - \frac{F_1 t}{\eta}. \quad (8)$$

Виконавши диференціювання, знайдено швидкість занурення індентора:

$$\frac{d}{dt} s(t) = \frac{1}{\eta} \left[e^{\frac{-\eta}{m}} (V_0\eta + F_1) - F_1 \right]. \quad (9)$$

Після диференціювання рівняння (6) отримано другу похідну – прискорення:

$$\frac{d^2}{dt^2} s(t) = \frac{e^{\frac{-\eta}{m}} \cdot (V_0 \cdot \eta + F_1)}{m}. \quad (10)$$

Помноживши прискорення на масу індентора, визначено зусилля опору, що характеризує міцність структури (F_{01}):

$$F_{01} = e^{-\frac{m}{m}}(V_0\eta + F_1). \quad (11)$$

Таким чином, досліджуючи консистенцію желевної заливки із використанням гравітаційного пенетрометра, міцність структури (F_{01}) як критичного параметра оптимізації знайдено з рівняння (11). Слід мати на увазі те, що $F_{01} \neq F_0$ (рис. 6).

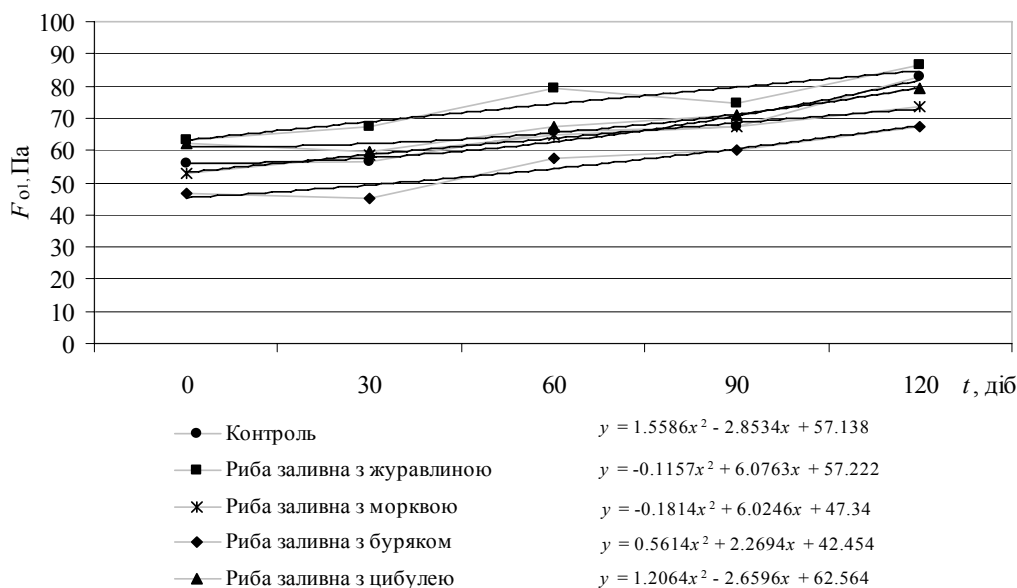


Рис. 6. Залежність міцності структури заливної риби (F_{01}), визначеної гравітаційним пенетрометром, від тривалості зберігання (t)

У результаті математичної обробки отриманих даних за моделями (2) та (3) встановлено, що максимально допустимий термін низькотемпературного зберігання заливної рибної продукції становитиме 90 діб при температурі -25°C . Протягом визначеного терміну заливна прісноводна риба характеризується високою харчовою та біологічною цінністю, гармонійними смаком і ароматом, пружно-еластичною консистенцією заливки та відсутністю синерезису.

Отже, в результаті виконаних досліджень отримано математичні моделі (6) і (11), що описують кінетику зміни критичного параметра оптимізації – міцності структури заливної рибної продукції під час товароруху, – та дають змогу прогнозувати термін її зберігання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сидоренко О. В. Формування асортименту та якості риборослинних продуктів : монографія / Олена Володимирівна Сидоренко. — К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2006. — 313 с.
2. Гуць В. С. Моделирование показателей качества пищевых продуктов и прогнозирование срока их годности / В. С. Гуць // Упаковка. — 2009. — № 3. — С. 30—34.

3. *Quast D. G., Karel M.* Computer seinukation of storage life of foods undergroing spoilage by two interacting mechanisens / D. G. Quast, M. Karel // *J. Food Science.* — 1972. — N 5. — P. 679—683.
4. *Коваль О. А.* Кінетична теорія моделювання якості й прогнозування терміну придатності харчових продуктів / О. А. Коваль, В. С. Гуць // *Товари і ринки.* — 2008. — № 2. — С. 67—74.
5. *Харчова та біологічна цінність нових видів заливної риби : матеріали Всеукр. конф. з питань безпеки харчування (Київ, 27–29 берез. 2010 р.) / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т України "КПІ".* — К. : НТУУ "КПІ", 2010. — Ч. 2. — С. 88.
6. *Влияние низкотемпературного хранения на качество заливной пресноводной рыбы : сб. тезисов докладов за материалами VII-й междунар. науч. конф. студентов и аспирантов ["Техника и технология пищевых производств"], (Могилёв, 22–23 апр. 2010 г.) / отв. ред. А. В. Акулич / М-во образования Республики Беларусь, Могилёвский госуд. ун-т продовольствия.* — Могилёв : УО "МГУП", 2010. — Ч. 1. — С. 54.
7. *Гуць В. С.* Прикладна реологія та інтенсифікація процесів харчових виробництв: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : 05.18.12 / Віктор Степанович Гуць. — К., 1999. — 36 с.
8. *Арет В. Д.* Физико-механические свойства сырья и пищевой продукции / В. Д. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. — СПб. : ГИОРД, 2009. — 448 с.
9. Пат. 14496 А Україна, МПК G01N 33/02. Спосіб визначення консистенції харчових продуктів / В. С. Гуць, О. А. Коваль, О. В. Сидоренко, О. В. Тимофєєва. — № 200511305 ; заявл. 29.11.05 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.
10. ТУ У 32.3-30591280-001–2004. "Універсальний комп'ютерний вимірювальний прилад". Технічний паспорт. — Х. : ТОВ "ІТМ", 2005. — 18 с.