



Journal of Chemistry and Technologies

pISSN 2663-2934 (Print), ISSN 2663-2942 (Online)

journal homepage: <http://chemistry.dnu.dp.ua>



UDC 637.5.03:641.526.7

ANALYTICAL MODEL OF HEAT TREATMENT OF MEAT PRODUCTS WITH HIGH CONTENT OF CONNECTIVE TISSUE IN VACUUM TERMOPACKETS

Vyacheslav O. Skrypnyk,¹ Andrii G. Farisieiev²

¹ Higher Educational Institution of Ukoopspilka «Poltava University of Economics and Trade», 3 Kovalya str., Poltava, 36014, Ukraine

² Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, 72 Gagarin ave., Dnipro, 49010, Ukraine

Received 18 March 2019; accepted 24 November 2019; available online 30 December 2019

Abstract

The development of technological processes of heat treatment of meat with high content of connective tissue using elements of Sous Vide technology, which will ensure a sufficient level of collagen transfer into gluten in finished products, sufficient quality according to microbiological parameters and significantly reduce the duration of the process, is an actual task. The solution to this task will allow to significantly expand the raw material base of the production of natural fried meat products, due to the use of raw materials, previously unsuitable for this purpose. The justification and development of an analytical model of the process of heat treatment of meat with high content of connective tissue using elements of Sous Vide technology is the goal of the work.

Differences in heat exchange in the process of bilateral heat supply to meat with high content of connective tissue in vacuum thermopakets from two-way frying in a functionally closed volume under conditions of non-rigid fixation of heating surfaces is defined in the article. The factors of intensification of the process of two-way heat treatment of meat with high content of connective tissue in vacuum thermopakets are substantiated.

The analytical model of bilateral heat supply in the process of heat treatment of meat with high content of connective tissue using elements of Sous Vide technology is proposed. The obtained model allows theoretically calculate the duration of the process of heat treatment of meat in vacuum thermopakets.

Keywords: vacuuming; connective tissue; impulse compression; Sous Vide; heat transfer.

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ВИРОБІВ З М'ЯСА З ВИСОКИМ ВМІСТОМ СПОЛУЧНОЇ ТКАНИНИ У ВАКУУМОВАНИХ ТЕРМОПАКЕТАХ

Вячеслав О. Скрипник,¹ Андрій Г. Фарісеєв²

¹Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі», вул. Ковалю, 3, Полтава, 36014, Україна

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, Дніпро, 49010, Україна,

Анотація

Розробка технологічних процесів термічного оброблення м'яса з високим вмістом сполучної тканини із використанням елементів технології Sous Vide, за яких у готових виробах забезпечуються достатній ступінь переходу колагену в глютен, достатня якість за мікробіологічними показниками, а також значно знизиться тривалість процесу, є актуальною задачею. Вирішення поставленої задачі дозволить значно розширити сировинну базу виробництва натуральних жарених виробів з м'яса за рахунок використання сировини, раніше не придатної для цього.

Визначено відмінності теплообміну в процесі двостороннього підведення теплоти до м'яса з високим вмістом сполучної тканини у вакуумованих термопакетах від двостороннього жарення у функціонально замкненому об'ємі за умови нежорсткої фіксації поверхонь нагрівання. Обґрунтовано фактори інтенсифікації процесу двостороннього термічного оброблення м'яса з високим вмістом сполучної тканини у вакуумованих термопакетах.

Запропоновано аналітичну модель двостороннього підведення теплоти в процесі термічного оброблення м'яса з високим вмістом сполучної тканини з використанням елементів технології Sous Vide. Отримана модель дозволяє теоретично розрахувати тривалість процесу термічної обробки м'яса у вакуумованих термопакетах.

Ключові слова: вакуумування; сполучна тканина; імпульсне стиснення; Sous Vide; теплопередача.

*Corresponding author: e-mail address: fara51289@gmail.com

© 2019 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/081920

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЯСА С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ У ВАКУУМИРОВАННЫХ ТЕРМОПАКЕТАХ

Вячеслав А. Скрыпник,¹ Андрей Г. Фарисеев²

¹ Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли», ул. Ковалюка, 3, Полтава, 36014, Украина

² Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, Днепро, Украина, 49010

Аннотация

Разработана технологическая модель термической обработки мяса с высоким содержанием соединительной ткани с использованием элементов технологии Sous Vide, при которых в готовых изделиях обеспечится достаточная степень перехода коллагена в глютин, достаточное качество по микробиологическим показателям, а также значительно снизится длительность процесса, является актуальной задачей. Решение поставленной задачи позволит значительно расширить сырьевую базу производства натуральных жареных изделий из мяса за счет использования сырья, ранее для этого непригодного.

Определены различия теплообмена в процессе двустороннего подвода теплоты к мясу с высоким содержанием соединительной ткани в вакуумированных термопакетах от двустороннего жарения в функционально замкнутом объеме при условии нежесткой фиксации поверхностей нагрева. Обоснованы факторы интенсификации процесса двусторонней термической обработки мяса с высоким содержанием соединительной ткани в вакуумированных термопакетах.

Предложена аналитическая модель двустороннего подвода теплоты в процессе термической обработки мяса с высоким содержанием соединительной ткани с использованием элементов технологии Sous Vide. Полученная модель позволяет теоретически рассчитать продолжительность процесса термической обработки мяса в вакуумированных термопакетах.

Ключевые слова: вакуумирование; соединительная ткань; импульсное сжатие; Sous Vide; теплопередача.

Вступ

Реалізація якісних і безпечних виробів є основним завданням діяльності закладів ресторанного господарства. В даний час тільки одиничні підприємства ресторанного харчування реалізують страви, що пройшли термічне оброблення в вакуумованих термопакетах. Застосування такої технології дозволяє не тільки отримати продукцію високої якості, а й скоротити втрати сировини під час термічного оброблення.

На термічному обробленні напівфабрикатів у вакуумованих термопакетах при низьких температурах із наступним їх швидким охолодженням і подальшою регенерацією заснована технологія Sous Vide, яка вважається математично точним кулінарним методом, що вимагає підтримання постійної температури протягом всього часу приготування. Описана технологія гарантує ідеальні текстури готових страв, їх смак та аромат [1–3].

Використання технології Sous Vide засноване на використанні води у якості проміжного теплоносія. На відміну від процесу варіння, за якого у воду, внаслідок дії градієнту концентрації, з продукту переходить частина цінних поживних речовин і змінюється його структура, за використання технології Sous Vide через відсутність градієнту концентрації та завдяки бар'єру у вигляді термоплівки, поживні речовини залишаються в продукті у повному обсязі.

Крім того, завдяки використанню низькотемпературного режиму термічного оброблення (не вище 343 К), в продукті зберігаються практично в нативному вигляді усі корисні речовини. Можна стверджувати, що продукти, виготовлені за технологією Sous Vide, не наносять шкоди і є корисними для організму людини. Крім того, технологія Sous Vide дозволяє забезпечити високий мікробіологічний рівень безпеки готових виробів, а за рахунок вакуумування запобігає їх вторинному обсіменінню після приготування [4; 5].

Постановка проблеми. В Україні в останні роки спостерігається зниження споживання натуральних виробів із яловичини на душу населення. Цьому сприяє падіння промислового виробництва м'яса яловичини [6; 7] і, як наслідок, висока його вартість і низька купівельна спроможність самого населення. Нестача м'яса і низька купівельна спроможність населення змушує виробників зменшувати собівартість виробництва, а інколи – фальсифікувати великошматкові напівфабрикати шляхом внесення в нього ін'єкціями багатофункціональних речовин (БФР), фактично перетворюючи м'ясо на м'ясомісткий продукт.

Одним із шляхів вирішення проблеми дефіциту натурального м'яса і зменшення його вартості є використання для виготовлення натуральних порційних жарених виробів м'яса із високим вмістом сполучної тканини (ВВСТ).

Через неможливість проведення у достатній мірі гідролізу колагену під час жарення таке м'ясо не призначене для виготовлення натуральних порційних жарених виробів за традиційною технологією.

Для приготування м'ясних виробів із яловичини за технологією *Sous Vide* використовується тільки високоякісна сировина, що призводить до надзвичайно високої вартості реалізації готових виробів [8]. Альтернативою високосортному м'ясу може стати м'ясо з високим вмістом сполучної тканини (ВВСТ).

Розробка комбінованої технології термічного оброблення напівфабрикатів із м'яса з ВВСТ з використанням елементів *Sous Vide*, яка забезпечить достатній ступінь переходу колагену в глютин у готових виробах, достатні мікробіологічні показники якості та дозволить значно знизити тривалість процесу, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розм'якшення сполучної тканини є одним із найважливіших факторів, що обумовлює кулінарну готовність продуктів із м'яса під час термічного оброблення [9]. Водночас важливого значення набувають зміни одного із білків сполучної тканини, а саме колагена, оскільки еластин та ретикулін за умов дії відомих способів термічного оброблення м'ясопродуктів практично не зазнають змін. Під дією теплоти та вологи колаген переходить у водорозчинний глютин, що викликає зниження механічної міцності сполучної тканини та ослаблення зв'язку між м'язовими волокнами та пучками. Це має важливе значення, оскільки глютин добре перетравлюється протеолітичними ферментами та добре розчиняється у воді. Як свідчать дані [10; 11], опір розрізуванню знижується приблизно в десять разів.

Технологію жарення м'яса з ВВСТ запропоновано авторами [12]. За цією технологією для напівфабрикату з м'яса із ВВСТ визначається граничний тиск, напівфабрикат розміщується у функціонально замкненому об'ємі (ємності) та піддається двосторонньому жаренню під граничним тиском за умов нежорсткої фіксації поверхонь жарення і окремого регулювання їх температури на рівні 433 К. Готовий продукт за розробленою технологією цілком придатний до споживання.

Результати дослідження двостороннього жарення виробів з натурального м'яса в умовах імпульсного стискання [14] показали,

що співвідношення тривалості прикладання та скидання зусилля стиснення 1 с/1 с дозволяє на 18 % скоротити тривалість процесу та на 4.82 % підвищити вихід готового продукту порівняно з двостороннім жаренням під граничним для напівфабрикату тиском.

Загальновідомо, що на швидкість розварювання колагену впливає як кількість вологи, що знаходиться в м'ясі на початку процесу термічного оброблення, так і кількість утраченої вологи наприкінці процесу. Цілу м'язову тканину з незруйнованою структурою можна охарактеризувати як дисперсну колоїдну систему коагуляційного типу [15], в якій частина вологи утримується внаслідок високого осмотичного тиску та структури матеріалу. Відомо [16], що у м'язовій тканині міститься 0.35 ... 0.40 кг води на 0.10 кг білка, але тільки близько 0.04 кг води міцно зв'язана. Решта води іммобілізована у внутрішньоклітинному та міжклітинному просторах. Вважається, що невелика кількість води зв'язана з білками, а основна її маса за властивостями подібна вільній воді. Таким чином, особливого значення набуває розробка способів термічної обробки м'яса, які забезпечать найменші втрати продуктом нативної вологи, що, в свою чергу, в більшій мірі сприятиме гідролізу колагену у м'ясі з ВВСТ.

Одним із шляхів [17; 18] збільшення кількості м'яса яловичини з ВВСТ, придатного для виробництва натуральних порційних жарених виробів, є їх попередня обробка, а саме: механічне відбивання, розпушування, маринування, оброблення ферментними препаратами. Однак попередня обробка значно впливає на якість готового продукту, оскільки порушує структури клітин, що, в свою чергу, зумовлює втрати вологи та, як наслідок, знижує харчову цінність готових продуктів.

В роботі [19] провели дослідження впливу термічної і ферментативної обробки на ніжність м'яса. У даній статті розглянуті проблеми жорсткості м'яса і фактори, що визначають даний показник. Був проведений порівняльний аналіз зразків, термічно оброблених і оброблених перед приготуванням розчином протеолітичного ферменту – трипсину. Встановлено позитивний вплив ферментативного оброблення м'ясної сировини перед приготуванням. Зразки, оброблені ферментом, виявилися м'якше контрольних зразків на 20 %. Було підтверджено, що не завжди термічне

оброблення позитивно впливає на ніжність м'яса.

Мета та цілі дослідження. Метою роботи було обґрунтування розробки процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ із використанням елементів технології Sous Vide.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Аналітичним методом встановити і обґрунтувати чинники інтенсифікації процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ із використанням елементів технології Sous Vide.

2. Обґрунтувати аналітичну модель процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ із використанням елементів технології Sous Vide.

Результати та їх обговорення

Аналіз і обґрунтування факторів інтенсифікації термічного оброблення виробів з м'яса з високим вмістом сполучної тканини. Теоретичне обґрунтування можливості проведення процесу жарення м'яса з ВВСТ без присутності зовнішньої вологи запропоновано в роботах [20–22], де авторами зроблено висновок про достатність кількості вологи, що міститься в м'ясі ВВСТ, для проведення гідролізу колагену в необхідній мірі. Крім того, розглянуто масообмін, який виникає в м'ясі у функціонально замкненому об'ємі за двостороннього підведення теплоти в процесі жарення, запропоновано поділ процесу за часом на 3 основні стадії, з яких основною за енергетичними витратами є друга. Механізм теплопередачі в поверхневих шарах виробів із м'яса з ВВСТ у функціонально замкненому об'ємі під час другої стадії двостороннього жарення за умови нежорсткої фіксації поверхонь нагрівання розглянуто в роботах [23; 24]. Згідно з цими даними коефіцієнт теплопередачі від поверхні жарення до рідини поверхні меніска капілярів м'яса з ВВСТ за один термодинамічний процес випарування і конденсації пари складає:

$$k = \frac{0,11553 \cdot r \cdot d_k}{\Delta \bar{T}^c \cdot \Delta v \cdot \tau_{\text{ц}}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}, \quad (1)$$

де r – повна теплота конденсації пари за атмосферного тиску, Дж/кг;

d_k – діаметр капіляра, м;

$\Delta \bar{T}^c$ – середньоінтегральна різниця температур (середньоінтегральний температурний напір) між поверхнею нагрівання і поверхнею виробу, К;

Δv – зміна (зменшення) питомого об'єму пари під час повної конденсації за атмосферного тиску, м³/кг;

$\tau_{\text{ц}}$ – тривалість термодинамічного процесу випарування води і конденсації пари, с.

Теплообмін в процесі двостороннього підведення теплоти до м'яса з ВВСТ у вакуумованих термопакетах хоча і відбувається за схожих умов, але матиме певні відмінності.

По-перше, на відміну від процесу двостороннього жарення у функціонально замкнених ємностях, процес термічного оброблення м'яса з ВВСТ в умовах імпульсного стиснення здійснюється у вакуумованих термопакетах, які можна розглядати як герметично замкнені ємності. За таких умов сталого тиску водяної пари в термопакеті не буде. Початковий тиск у вакуумованому термопакеті складе, за паспортними характеристиками вакууматора, 10 кПа. Фазові перетворення рідини викликать збільшення тиску водяної пари в термопакеті з подальшим його зменшенням до 10 кПа під час конденсації.

По-друге, вакуумування забезпечує видалення повітря і газів не лише з об'єму термопакету, а й із м'яса, що дозволяє збільшити коефіцієнт теплопровідності м'яса без його зсідання або ущільнення. Тобто впливати фізичними методами під час термічного оброблення на м'ясо для збільшення його коефіцієнту теплопровідності недоцільно.

По-третє, поверхня вакуумованого напівфабрикату з м'яса з ВВСТ деформована в результаті самого вакуумування. Тому стиснення потрібне для того, щоб зменшити термічний опір теплопередачі між поверхнею нагрівання та поверхнею термопакету.

По-четверте, матеріал, з якого виготовлений термопакет, має низький коефіцієнт теплопровідності, а тому вже сам по собі є достатньо великим опором теплопередачі. Фактично він є теплоізоляційним елементом на шляху теплопередачі від поверхонь нагрівання до поверхні напівфабрикату. Подолати цей опір можливо або шляхом збільшення температури поверхонь нагрівання, або збільшенням тривалості процесу термічного оброблення відповідно з формулою теплопровідності

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} F (T_{\text{пов.}} - T_{\text{під.пов.}}) \tau, \text{ Дж}; \quad (2)$$

де λ – теплопровідність матеріалу термопакету, Вт/(м·К);

δ – товщина матеріалу термопакету, м;

$T_{\text{пов.}}$, $T_{\text{під пов.}}$ – відповідно температури на поверхні і під поверхнею термопакету, К;

τ – тривалість процесу передачі теплоти, с.

Із рівняння (2) – падіння температури в шарі термопакету за умови щільного контакту з поверхнею нагрівання складе

$$T_{\text{пов.}} - T_{\text{під пов.}} = \frac{Q}{F \cdot \tau} \cdot \frac{\delta}{\lambda} = \frac{P}{F} \cdot R = W \cdot R, \text{ К}; \quad (3)$$

де W – питома поверхнева потужність поверхні нагрівання, Вт/м²;

R – термічний опір шару термопакету, м²·К/Вт.

За питомої поверхневої потужності поверхонь нагрівання 47500 Вт/м², товщині $100 \cdot 10^{-6}$ м і коефіцієнті теплопровідності для поліетилену 0.4 Вт/(м·К) падіння температури в шарі термопакету складе 11.8 град. (12 град.). Наведене падіння температури необхідно враховувати під час апаратного оснащення процесу термічного оброблення.

По-п'яте, використання імпульсного стиснення дасть змогу додатково ущільнити напівфабрикат, що призведе до максимального заповнення його пор і капілярів рідиною, яка в умовах різкого зняття стиснення і, відповідно, різкого зменшення тиску водяної пари у поверхневому шарі напівфабрикату розпочне перетворюватися на пару і конденсуватися.

Таки чином, можна сформулювати фактори інтенсифікації процесу двостороннього термообробки м'яса з ВВСТ у вакуумованих термопакетах, які полягають у наступному:

- зміна теплофізичних властивостей сировини, яка виражається у збільшенні коефіцієнта теплопровідності м'яса, забезпеченого процесом вакуумування;

- збільшення поверхні контакту між поверхнями нагрівання та поверхнею термопакета з напівфабрикатом;

- збільшення значення загального коефіцієнта теплопередачі від поверхонь нагрівання до поверхні напівфабрикату у вакуумованому термопакеті за рахунок зменшення термічного опору теплопередачі між поверхнями нагрівання і поверхнею термопакета, що досягається внаслідок стиснення;

- підвищення температурного рівня процесу термічного оброблення до 353 ... 373 К.

Аналітична модель термічного оброблення виробів з м'яса із високим вмістом сполучної тканини у вакуумованих термопакетах. Під час двостороннього термічного оброблення м'яса з ВВСТ у вакуумних термопакетах підведення теплоти відбувається лише до тієї поверхні продукту, що безпосередньо контактує з поверхнями нагрівання через плівку. До бокової поверхні продукту підведення теплоти в даному випадку не забезпечується, а її нагрівання здійснюється лише шляхом поширення теплоти всередині продукту за рахунок теплопровідності. Крім того, через бокові поверхні продукт втрачає теплоту.

Вирішення проблеми більш повного використання підведеної поверхнями нагрівання теплової енергії та забезпечення підведення теплоти до бокових поверхонь продукту можливе при організації процесу термічного оброблення, за якого пара, що раніше переходила разом із теплотою пароутворення в навколишнє середовище, у максимальній кількості залишалася б у зоні контакту з боковими поверхнями продукту. В такому випадку, при контакті пари з боковою поверхнею продукту, температура якої менша, ніж температура пари протягом усього процесу нагрівання, відбуватиметься її конденсація. Це можливо, якщо створити герметичний вакуумований об'єм і процес термічного оброблення здійснювати за умови розміщення в ньому м'ясних виробів.

Під час двостороннього нагрівання під надлишковим тиском пари, на рівні граничного, в м'ясі з ВВСТ фактично відсутнє утворення потоку речовини, що призведе до збереження нативної вологості і, як наслідок, створить умови для достатнього гідролізу колагену.

За нежорсткої фіксації поверхонь нагрівання видалення вологості з продукту буде компенсуватися стисненням м'яса за висотою (товщиною). Тому можна стверджувати, що тиск пари в зоні контакту підтримуватиметься постійним, а температура дорівнюватиме температурі насиченої пари для створеного тиску.

Здійснення процесу жарення необхідно проводити шляхом розміщення м'ясних напівфабрикатів, виготовлених із м'яса з ВВСТ, у вакуумованих термопакетах (ВТ) та стисненням із певним зусиллям P через певний інтервал часу поміж двома поверхнями нагрівання за схемою, наведеною на рис. 1. Нагрівання верхньої та нижньої поверхонь

продукту, що контактують із поверхнями нагрівання через плівку ВТ, забезпечується тепловими потоками q_1 та q_2 . Крім того, до бокової поверхні також забезпечується

підведення теплоти за рахунок конденсації на ній вологої пари. Таким чином, підведення теплоти запропонованим способом здійснюватиметься до всієї поверхні продукту.

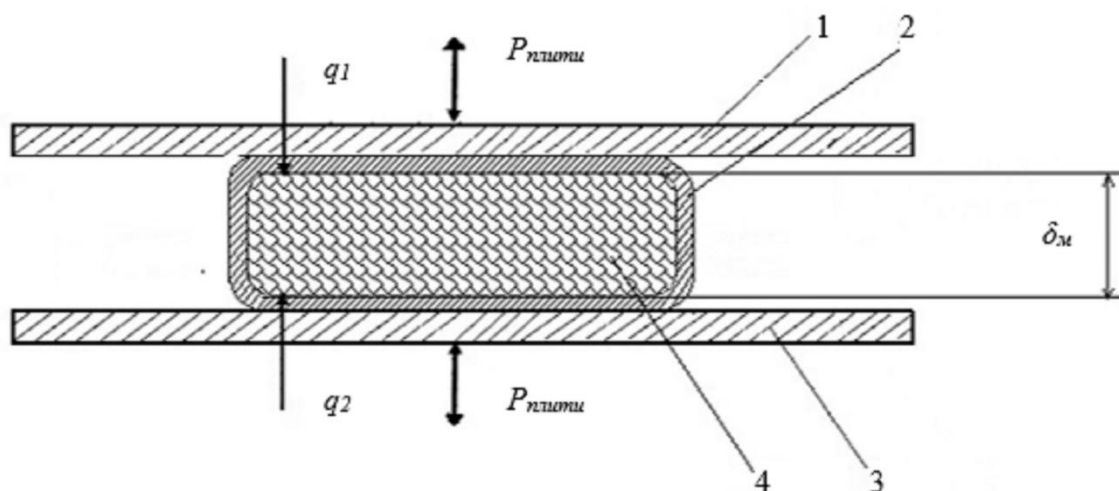


Fig. 1 Scheme of the process of bilateral frying of meat with HCCT under pulsed compression in VT:

1, 3 – upper and lower heating surfaces of the apparatus; 2 – VT; 4 – product

Рис. 1 Схема проведення процесу двостороннього жарення м'яса з ВВСТ під імпульсним стисненням у ВТ:

1, 3 – верхня та нижня поверхня нагрівання апарата; 2 – ВТ; 4 – продукт

Оскільки в зоні контакту поверхні продукту з поверхнею нагрівання, яка має температуру 353 ... 373 К, відбуватимуться фазові перетворення «рідина–пара», це забезпечить інтенсивне підведення теплоти до поверхні продукту. З огляду на те, що продукт періодично стискатиметься поміж двома поверхнями нагрівання, в зоні контакту фазові перетворення відбуватимуться за тиску, вищому за тиск вакуумування, і тому за температури, вищої температури кипіння при 10 кПа. Причому на боковій поверхні продукту конденсація пари здійснюватиметься за тиску 10 кПа, а випарування рідини на поверхні продукту, що контактує з поверхнею нагрівання, стає опором фільтраційному перенесенню маси. Пара під час нагрівання через герметичність ВТ не втрачатиметься у навколишнє середовище.

Передача теплоти від поверхонь нагрівання до продукту через плівку ВТ відбуватиметься за рахунок безперервного випаровування і конденсації вологи на поверхнях, що контактують із ВТ, та її конденсації на його бічних поверхнях.

Увесь процес двостороннього термічного оброблення під імпульсним стисненням за наведених умов можна поділити на дві стадії (рис. 2):

– перша (I) стадія – стадія прогрівання незначної частини поверхневих шарів напівфабрикату до температури випарування води – є нетривалою у часі, що визначається теплопровідністю плівки ВТ;

– друга (II) стадія є основною в процесі нагрівання з точки зору необхідних енергетичних витрат. Під час цієї стадії передача теплоти у поверхневих шарах виробу здійснюється через парові прошарки і закінчується за температури у центрі напівфабрикату близько 353 ... 355 К, коли через закінчення теплових перетворень білків, що входять до складу м'яса, його властивості змінюються від в'язкопластичних до притаманних твердому тілу.

За своєю будовою м'ясо з ВВСТ є надзвичайно складною структурою, яка складається з м'язових волокон, об'єднаних у первинні пучки, первинні – об'єднані в більші пучки тощо, причому проміжки між ними мають у своєму складі істотні прошарки сполучної тканини та заповнені рідиною. Тому діаметри різних капілярів повинні коливатися в широких межах. Так, діаметр м'язового волокна може складати $45 \dots 60 \cdot 10^{-6}$ м [25], що залежить від виду м'ясу, віку, статі худоби, умов її харчування і напування, умов зберігання тощо.

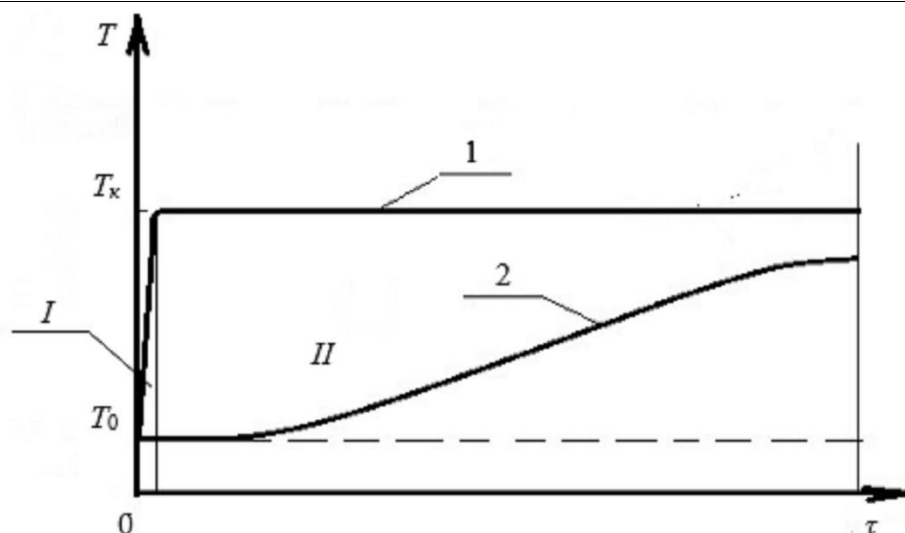


Fig. 2 Theoretically calculated temperature dependence of the surface (1) and the central layer (2) of the product from time during the bilateral heat treatment under pulse compression

Рис. 2 Теоретично розрахована залежність температури поверхневих (1) і центральних шарів (2) продукту від часу в процесі двостороннього термічного оброблення під імпульсним стисненням

Крім того, існують капіляри поміж волокнами, первинними пучками і т. д., діаметри яких також залежать від способу укладання капілярів та вищезазначених факторів. У капілярів і пор м'яса, в т. ч. із ВВСТ, є порожнини, заповнені газами (водяною парою, повітрям тощо), які видаляються під час вакуумування у ВТ.

Описання процесів термічного оброблення зводяться до загального вигляду [26; 27]:

$$\Theta = f(\xi; Bi; Fo), \quad (4)$$

де Θ – безрозмірна температура продукту

$$\Theta = \frac{T - T_0}{T_{cp} - T}; \quad (4.1)$$

ξ – безрозмірна координата

$$\xi = \frac{x}{\delta_m}; \quad (4.2)$$

Bi – критерій Біо

$$Bi = \alpha \cdot \delta_m / \lambda; \quad (4.3)$$

Fo – критерій Фур'є

$$Fo = a \cdot \tau / \delta_m^2. \quad (4.4)$$

Кількість теплоти Q_1 , що підводиться до поверхні продукту, та кількість теплоти Q_2 , що відводиться від поверхні продукту до центру, визначається за формулами [26]:

$$Q_1 = \alpha [T_1(Fo) - T_n], \quad (5)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta_m} [T_n - T_u(Fo)], \quad (6)$$

де T_1 – температура поверхні нагріву (середовища), К;

T_n – температура поверхні продукту;

$$T_n = T_{нов.} - W \cdot R, \text{ К}; \quad (6.1)$$

T_u – температура в центрі продукту, К.

Для підтримання температури поверхні на завданому рівні повинні забезпечуватись умови $Q_1 = Q_2$, тоді

$$T_1(Fo) = T_n + \frac{1}{Bi} [T_n - T_u(Fo)]. \quad (7)$$

Тривалість 1-ї стадії Fo' визначається часом, за якого температура поверхні продукту досягає допустимого значення T^* на поверхні продукту, визначається за формулою:

$$Fo' = \frac{Bi+3}{3Bi} \ln \left(\frac{2 \cdot (T_n - T_0)}{(Bi+2) \cdot (T_n - T^*)} \right) + Fo^v. \quad (8)$$

Під час другої стадії у менісках капілярів та пор на поверхні напівфабрикату відбувається передача теплоти через парові прошарки за термодинамічним процесом 1-2-3, наведеним на рис. 3.

Під час зняття навантаження, що викликає стискання м'яса з ВВСТ, в процесі двостороннього термічного оброблення відбувається різке розширення рідини у капілярах і порах, що і викликає термодинамічний процес 1-2-1. Конденсація пари (на рис. 4 – процес 2-1) відбувається на бічних поверхнях м'ясних і колагенових волокон, що призводить до інтенсифікації нагріву і пришвидшенню гідролізу колагену.

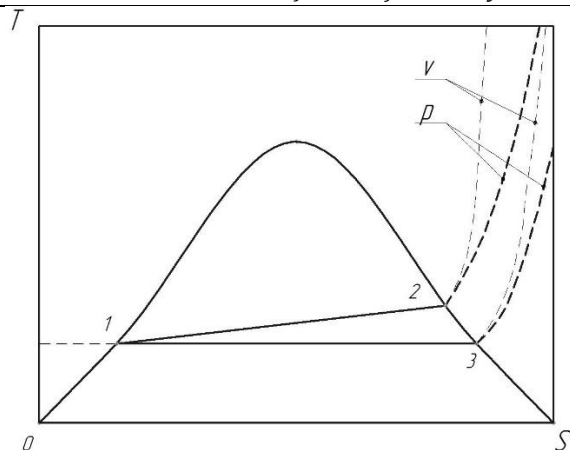


Fig. 3 Scheme of thermodynamic process of phase transitions of water vapor in the capillary meniscus in the surface layer of the product during the thermal processing of meat with HCST

Рис. 3 Схема термодинамічного процесу фазових переходів водяної пари в меніску капіляра у поверхневому шарі виробу під час термічного оброблення м'яса з ВВСТ

У центральних шарах м'яса під дією потоків теплоти q_1 і q_2 та імпульсного стиснення відбуватиметься термодинамічний процес 1-2-1 (рис. 4).

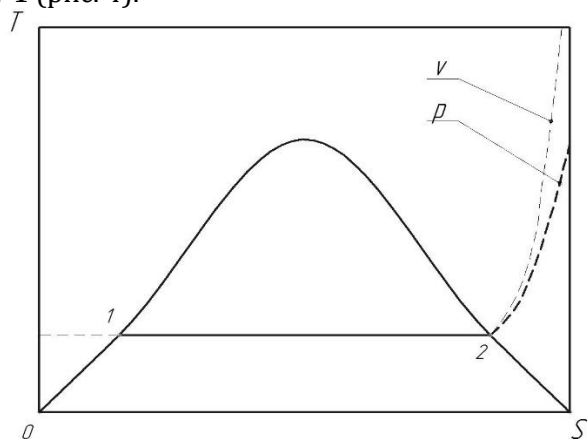


Fig. 4 Scheme of thermodynamic process of phase transitions of water vapor inside the product during the thermal processing of meat with HCST

Рис. 4 Схема термодинамічного процесу фазових переходів водяної пари всередині виробу під час термічного оброблення м'яса з ВВСТ

Під час 2-ї стадії температура поверхні продукту залишається на тому ж рівні T^* , а тривалість стадії визначається часом досягнення температури в центрі виробу заданого значення T_u

$$Fo'' = \frac{1}{b} \ln \left(\frac{Bi \cdot (T_n - T^*)}{2 \cdot (T^* - T_u)} \right) + Fo^v, \quad (9)$$

де b – коефіцієнт, для пластини $b=3$ [27].

Аналітичною моделлю процесу двостороннього підведення теплоти в процесі термічного оброблення м'яса з ВВСТ у

вакуумованих термопакетах є відоме рівняння [26]:

$$\tau_0 = \frac{Fo \cdot \delta_m^2}{a}, \text{ с}; \quad (10)$$

де a – температуропровідність продукту, $\text{м}^2/\text{с}$;

δ_m – товщина м'яса в термопакеті, м ;

Fo – критерій Фур'є.

Висновки. Обґрунтовано чинники інтенсифікації процесу термічного оброблення м'яса з високим вмістом сполучної тканини у вакуумованих термопакетах, які полягають у збільшенні коефіцієнту теплопровідності м'яса, збільшенні поверхні контакту між поверхнями нагрівання і поверхнею термопакета з напівфабрикатом, збільшенні загального коефіцієнта теплопередачі від поверхонь нагрівання до поверхні напівфабрикату у вакуумованому термопакеті та підвищення температурного рівня процесу термічного оброблення до 353 ... 373 К.

Запропоновано аналітичну модель двостороннього підведення теплоти в процесі термічного оброблення м'яса з високим вмістом сполучної тканини із використанням елементів технології Sous Vide, яка дозволяє теоретично розрахувати тривалість процесу термічної обробки м'яса у вакуумованих термопакетах.

Бібліографічні посилання

- [1] Мацук Ю. А. Перспективи технології Sous Vide для м'ясних продуктів із використанням Super Food / Ю. А. Мацук // Нові технології і обладнання харчових виробництв. – 2018. – С. 30-31.
- [2] Современные технологии при изготовлении продукции из мяса птицы / Е. В. Москвичева, Н. В. Барсукова, И. В. Угрюмов и др. // Мясная индустрия. – 2017. – №. 7. – С. 34-37.
- [3] Evaluation of Sous-Vide Technology in Gastronomy / S. Yikmiş, H. Aksu, B. G. Çöl, İ. L. Demirçakmak // International Journal of Agricultural and Life Sciences. – 2018. – 4(1). – Pp. 226-231.
- [4] An assessment of the microbiological quality of lightly cooked food (including sous-vide) at the point of consumption in England. / F. Jorgensen, L. Sadler-Reeves, J. Shore [et al.] // Epidemiology & Infection. – 2017. – Vol. 145. – №. 7. – Pp. 1500-1509.
- [5] Арпуль О. В. Перспективи впровадження «Sous Vide» технології у закладах ресторанного господарства / О. В. Арпуль, О. М. Усатюк, В. В. Удовиський // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2013. – Вип. 44, Т. 2. – С. 341-345.

- [6] Тваринництво України : статистичний збірник / Відпов. за вип. О. М. Прокопенко. – Київ: Державна служба статистики України, 2017. – 165 с.
- [7] Сільське господарство України : статистичний збірник / Відпов. за вип. О. М. Прокопенко. – Київ: Державна служба статистики України, 2017. – 245 с.
- [8] Baldwin D. E. Sous Vide Cooking : A review // International Journal of Gastronomy and Food Science. – 2012. – Vol. 1. – P. 15–30.
- [9] Скрипник В. О. Наукове обґрунтування енергоефективних процесів і обладнання кондуктивного жарення натуральних м'ясних виробів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-р техн. наук : спец. 05.18.12 «Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв» / В. О. Скрипник. – Харків, 2016. – 40 с.
- [10] Гатько Н. Н. Изменение белковых веществ и углеводов при кулинарной обработке продуктов / Н. Н. Гатько. – М. : Московский кооперативный институт, Центросоюз СССР, 1980. – 71 с.
- [11] Горбатов А. В. Структурно-механические свойства мясных продуктов / А. В. Горбатов, И. А. Рогов. – М. : ЦИНТИПП МПП СССР, 1966. – 40 с.
- [12] Пат. 44894 У Україна, МПК А 23 L 1/01. Спосіб жаріння м'яса із високим вмістом сполучної тканини / Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю. (Україна); заявник та патентовласник Полтавський ун-т споживчої кооперації України. – № u200900356; заявл. 19.01.09; опубл. 26.10.09, Бюл. № 20. – 4 с.
- [13] Скрипник В. О. Вплив імпульсного стиснення на процес двостороннього жарення м'яса / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності. – 2015. – С. 189–191.
- [14] Скрипник В. О. Результати попередніх досліджень впливу імпульсного стиснення м'яса під час двостороннього жарення / В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Нові технології і обладнання харчових виробництв. – 2017. – С. 23–25.
- [15] Туменов С. Н. Обработка мясных продуктов давлением / С. Н. Туменов, А. В. Горбатов, В. Д. Косой. – М. : Агропромиздат, 1991. – 207 с.
- [16] Вода в пищевых продуктах / под ред. Р. Б. Дакуорта; пер. с англ. – М. : Пищевая промышленность, 1980. – 376 с.
- [17] Шукуров И. Х. Технология натуральных полуфабрикатов для жарки из мяса повышенной жесткости : автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.18.16 «Технология продуктов общественного питания» / И. Х. Шукуров. – Харьков, 1992. – 17 с.
- [18] Павленкова П. П. Влияние разных способов и режимов тепловой обработки на качество обычного и ферментированного говяжьего мяса : автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.18.16 «Технология продуктов общественного питания» / П. П. Павленкова. – Киев, 1974. – 25 с.
- [19] Еремцова А. А. Изучение влияния термической и ферментативной обработок на нежность мяса / А. А. Еремцова // Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов отделения сельскохозяйственных наук российской академии наук. – 2016. – № 1. – С. 89–93.
- [20] Скрипник В. О. Передумови розробки процесу жарення натуральних порційних смажених виробів, виготовлених із м'яса з високим вмістом сполучної тканини / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Сучасні проблеми техніки та технології харчових виробництв, ресторанного бізнесу та торгівлі. – 2010. – С. 141–143.
- [21] Скрипник В. О. Теоретичні передумови інтенсифікації тепло- та масоперенесення при жарінні м'яса з високим вмістом сполучної тканини / В. О. Скрипник, Н. Ю. Молчанова // Актуальні проблеми харчування: технологія та обладнання, організація і економіка. – 2009. – С. 58–60.
- [22] Скрыпник В. А. Аналитическое исследование тепломассообменных процессов при двустороннем жареньи в функционально замкнутых емкостях / В. А. Скрыпник, Н. В. Герман, Н. Ю. Молчанова // Scientific Annals of Moldova Cooperative-commercial University. – 2013. – Vol. XII. – P. 198–202.
- [23] Черевко О. І. Теплопередача в поверхневому шарі м'ясних виробів при двосторонньому жарінні в умовах стиснення // О. І. Черевко, В. О. Скрипник, А. Г. Фарісеєв // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв, ресторанного господарства і торгівлі – 2015. – Вип. 1 (21). – С. 107–120.
- [24] Improving heat transfer coefficient during double-sided meat frying / V. Skrypnyk, Y. Bychkov, N. Molchanova, A. Farisieiev // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №. 4, 11 (88). – P. 23–28.
- [25] Антипова Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, М. А. Рогов. – М. : Колос, 2001. – 376 с.
- [26] Бражников А. М. Теория термической обработки мясopодуктов / А. М. Бражников. – М. : Агропромиздат, 1987. – 270 с.
- [27] Бражников А. М. Аналитические методы исследования процессов термической обработки мясopодуктов / А. М. Бражников, В. А. Карпычев, А. И. Пелеев. – М. : Пищевая промышленность, 1974. – 232 с.

References

- [1] Macuk, Ju. A. (2018). [Prospects Sous Vide technology for meat products using Super Food]. *Novi tekhnologiji i obladnannja kharchovykh vyrobnyctv – New technologies and equipment of food production*. 30–31 (in Ukrainian).
- [2] Moskvicheva E. V., Barsukova N. V., Ugryumov I. V., Okunevich S. A., Deniskin R. D. (2017). [Modern technologies in manufacturing products from poultry]. *Myasnaya industriya – Meat industry*, 7, 34–37 (in Russian).

- [3] Yıkımsı S., Aksu H., Çöl B.G., Demirçakmak İ.L. (2018). Evaluation of Sous-Vide Technology in Gastronomy. *International Journal of Agricultural and Life Sciences*, 4(1), 226-231.
https://gavsispanel.gelisim.edu.tr/Document/bgcol/20181129110559064_89b31868-7be4-4519-9b1c-e8d413e3f710.pdf
- [4] Jørgensen F., Sadler-Reeves L., Shore J., Aird H., Elviss N., Fox A., Kaye M., Willis C., Amar C., DE Pinna E., McLauchlin J. (2017). An assessment of the microbiological quality of lightly cooked food (including sous-vide) at the point of consumption in England. *Epidemiology & Infection*, 145, 7, 1500–1509.
- [5] Arpulj, O. V., Usatjuk, O. M., Udovycjkyj, V. V. (2013). Prospects for implementation Sous Vide technology in restaurants. *Naukovi praci ONAHT – ONAHT Scientific Works*. 44, 2, 341–345 (in Ukrainian).
- [6] Prokopenko O. M. (Ed.). (2017) [*Livestock of Ukraine: a statistical compilation*]. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy., Kyjiv, 165 (in Ukrainian).
- [7] Prokopenko O. M. (Ed.). (2017) [*Agriculture of Ukraine: statistical compilation*]. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, Kyjiv, 245 (in Ukrainian).
- [8] Baldwin, D. E. (2012). Sous Vide Cooking : A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 1, 15–30.
- [9] Skrypnyk, V. O. (2016). Naukove obgruntuvannja energhoefektyvnykh procesiv i obladnannja konduktivnogho zharennja naturalnykh m'jasnykh vyrobiv [Scientific substantiation of energy efficient processes and equipment of natural meat products conductive frying]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kharkiv.
- [10] Gatko, N. N. (1980). [*Change in protein substances and carbohydrates in food processing*]. Moscow, USSR: Moskovskiy kooperativnyy institut, Tsentrosyuz SSSR, 71 (in Russian).
- [11] Gorbatov, A.V., Rogov, I.A. (1966). [*Structural and mechanical properties of meat products*], Moscow, USSR: TsINTIPP MPP SSSR, 40 (in Russian).
- [12] Skrypnyk, V. O., Molchanova, N. Ju. (2009). *Ukraine Patent № 44894 U*. Kyiv, Ukraine. Ukrainian Institute of Industrial Property.
- [13] Skrypnyk, V. O., Farisieiev, A. G. (2015). [Impact of impulse compression on the process of bilateral meat frying]. *Innovacijni aspekty rozvytku obladnannja kharchovoji i ghoteljnoji industriji v umovakh – Innovative aspects of development of equipment of food and hotel industry in the present conditions*, 189–191 (in Ukrainian).
- [14] Skrypnyk, V.O., Farisieiev, A.G. (2017). [Results of previous studies on the effects of pulse compression of meat during bilateral frying]. *Novi tekhnologiji i obladnannja kharchovykh vyrobnyctv – New technologies and equipment of food production*, 23–25 (in Ukrainian).
- [15] Tumenov, S.N., Gorbatov, A.V., Kosoy, V. D. (1991). [Pressure meat processing]. Moscow, Russian Federation: Agropromizdat, (in Russian).
- [16] Dakuort, R. B. (Ed.). (1980). [*Water in food* (Trans.)]. Moscow, USSR: Pishchevaya promyshlennost (in Russian).
- [17] Shukurov, I. Kh. (1992). Tekhnologiya naturalnykh polufabrikatov dlya zharki iz myasa povyshennoy zhestkosti [The technology of natural semi-finished products for frying from meat increased rigidity]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv.
- [18] Pavlenkova, P. P. (1974). Vliyanie raznykh sposobov i rezhimov teplovoy obrabotki na kachestvo obychnogo i fermentirovannogo govyazhego myasa [The influence of different methods and modes of heat treatment on the quality of conventional and fermented beef meat]. *Extended abstract of candidate's thesis* Kiev.
- [19] Yeremtsova, A. A. (2016). [Studying the effect of thermal and enzymatic treatments on meat tenderness]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov otdeleniya selskokhozyaystvennykh nauk rossiyskoy akademii nauk – International scientific-practical conference of young scientists and specialists of agricultural branch of the Russian Academy of Sciences*, 1, 89–93 (in Russian).
- [20] Skrypnyk, V. O., Molchanova, N. Yu. (2010). [Prerequisites for the development of the roasting process of natural baked meat products made with high connective tissue meat]. *Suchasni problemy tekhniky ta tekhnologiji kharchovykh vyrobnyctv, restorannogho biznesu ta torghivli – Modern problems of technology and food production, restaurant business and trade*, 141–143 (in Ukrainian).
- [21] Skrypnyk, V. O., Molchanova, N. Yu. (2009). [Theoretical prerequisites for the intensification of heat and mass transfer in the frying of meat with a high content of connective tissue]. *Aktualjni problemy kharchuvannja: tekhnologija ta obladnannja, orghanizacija i ekonomika – Actual problems of nutrition: technology and equipment, organization and economy*, 58–60 (in Ukrainian).
- [22] Skrypnyk, V. A., Herman, N. V., Molchanova, N. Yu. (2013). [Analytical study of heat and mass transfer processes during double-sided frying in functionally closed containers]. *Scientific Annals of Moldova Cooperative-commercial University. XII*, 198–202 (in Russian).
- [23] Cherevko, O. I., Skrypnyk, V. A., Farisieiev, A. G. (2015). Heat transfer in the surface layer of the meat products at bilateral frying under conditions of compression. *Proghresyvni tekhnika ta tekhnologiji kharchovykh vyrobnyctv, restorannogho ghospodarstva i torghivli – Progressive techniq ue and technologies of food production enterprises, catering business and trade*, 1 (21), 107–120 (in Ukrainian).
- [24] Skrypnyk, V., Bychkov, Y., Molchanova, N., Farisieiev A. (2017). Improving heat transfer coefficient during double-sided meat frying. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 11 (88), 23–28.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108855>

-
- [25] Antipova, L. V., Glotova, I. A., Rogov, M. A. (2001). [*Methods of research of meat and meat products*]. Moscow, Russian Federation: Kolos (in Russian).
- [26] Brazhnikov, A. M. (1987). [*Theory of thermal processing of meat products*]. Moscow, USSR: Agropromizdat (in Russian).
- [27] Brazhnikov A. M., Karpychev, V. A., Peleev, A. I. (1974). [Analytical methods for studying the processes of heat treatment of meat products]. Moscow, USSR: Pishchevaya promyshlennost (in Russian).