

Научная статья

УДК 664/38+66-96

DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-1-43-52

## Особенности технологии функциональных ингредиентов, обогащенных биологически активными веществами хондропротекторного действия

М.И. Кременевская<sup>1\*</sup>, В.А. Арет<sup>1</sup>, О.А. Соснина<sup>1</sup>, М.Ю. Панченко<sup>1</sup>, А.К. Рубцов<sup>1</sup>, Е.В. Москвичева<sup>2</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия \*Marianna.Kremenevskaya@mail.ru

**Аннотация.** Определяли возможность переработки побочных продуктов кожевенных производств как пищевого сырья. Исследовали процессы теплообмена предварительной обработки коллагенсодержащей системы из краевых участков спилка голявого говяжьего в присутствии ферментов в аппарате со скребковыми перемешивающими устройствами в диапазоне температур от 20 до 33°C. Получено критериальное уравнение теплообмена при неизотермическом движении биологически активных систем и продуктов как ньютоновских, так и неньютоновских жидкостей. Определены значения безразмерных коэффициентов критериев Рейнольдса, Прандтля и эмпирического коэффициента в предложенном критериальном уравнении, что позволяет с достоверной вероятностью определять значение критерия Нуссельта, характеризующего подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой аппарата и потоком жидкости. Физико-химическими методами определяли их реологические характеристики и показатели безопасности. Получены эмпирические зависимости, описывающие реологические изменения пищевых систем. Установлено, что полученные после предварительной обработки белковые полуфабрикаты соответствуют нормам безопасности РФ. Методом инфракрасной спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения провели комплексное исследование высушенных при температуре  $21 \pm 0,5^\circ\text{C}$  белковых полуфабрикатов после предварительной и дальнейшей обработки в присутствии щелочного реагента малой концентрации. Наличие глюкозамина и хондроитина определяли по отношению к препарату фирмы Swanson (США). Установлено, что предварительная обработка оказывает минимальное воздействие на изменение структуры сырья, а максимальное содержание биологически активных веществ и белка наблюдается в коллагенсодержащих образцах, гидролизованных в присутствии 0,085% гидроокиси натрия. Предварительная обработка позволила снизить продолжительность последующего технологического процесса и энергозатраты производства на 25%. Применение пищевой добавки, обладающей биологически активными веществами хондропротекторного действия, в технологиях продуктов питания позволит расширить ассортимент линейки продукции направленного действия.

**Ключевые слова:** пищевые системы; теплообменные процессы; побочные продукты; ферментативная обработка; хондропротекторы; профилактическое питание

**Благодарности:** авторы выражают глубокую признательность доктору химических наук, профессору Алле Павловне Нечипоренко за помощь в проведении исследований ИК спектроскопии.

Original article

## Features of the technology of functional ingredients enriched with biologically active substances of chondroprotective action

Marianna I. Kremenevskaya<sup>1\*</sup>, Valdur A. Aret<sup>1</sup>, Olga A. Sosnina<sup>1</sup>, Maxim Yu. Panchenco<sup>1</sup>,  
Alexandr K. Rubtsov<sup>1</sup>, Elena V. Moskvicheva<sup>2</sup><sup>1</sup>ITMO University<sup>2</sup>Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

St. Petersburg, Russia, \*Marianna.Kremenevskaya@mail.ru

**Abstract.** The possibility of processing by-products of leather production as food raw materials was determined. The heat exchange processes during the pretreatment of the collagen-containing system from the edge sections of the minnow beef split in the presence of enzymes in an apparatus with scraper mixing devices in the temperature range from 20 to 33°C were studied. The criterion equation of heat transfer under non-isothermal motion of biologically active systems and products, both Newtonian and non-Newtonian liquids, is obtained. The values of the dimensionless coefficients of the Reynolds and Prandtl criteria and the empirical coefficient in the proposed criterion equation are determined, which allows to determine the value of the Nusselt criterion with reliable probability, which characterizes the similarity of heat transfer processes at the boundary between the wall of the apparatus and the liquid flow. Physical and chemical methods were used to determine their rheological characteristics and safety indicators. Empirical dependences describing rheological changes in food systems are obtained. It was found that the protein semi-finished products obtained after pretreatment comply with the safety

standards of the Russian Federation. A complex study of protein semi-finished products dried at the temperature of  $21 \pm 0.5^\circ\text{C}$  after preliminary and further processing in the presence of a low-concentration alkaline reagent was carried out by the method of infrared spectroscopy of disturbed total internal reflection. The presence of glucosamine and chondroitin was determined in relation to the Swanson preparation (USA). It was found that pretreatment has a minimal effect on the change in the structure of raw materials, and the maximum content of biologically active substances and protein is observed in collagen-containing samples hydrolyzed in the presence of 0.085% sodium hydroxide. Pretreatment allowed to reduce the duration of the subsequent technological process and energy consumption of production by 25%. The use of a food additive that has biologically active substances of a neuroprotective effect in food technologies will expand the range of targeted products.

**Keywords:** food systems; heat exchange processes; by-products; enzymatic treatment; chondroprotectors; preventive nutrition

**Acknowledgments:** the authors are deeply grateful to the Doctor of Chemical Sciences, Professor Alla P. Nechiporenko for help in conducting research on IR spectrometry

## Введение

Профилактическое питание при системных заболеваниях соединительной ткани, дегенеративно-дистрофических заболеваниях суставов и артритов заключается в систематическом употреблении перевариваемой формы коллагенсодержащих ингредиентов, не только в виде добавок, но и при включении их в готовые пищевые продукты. В случае диагностики заболеваний, в том числе с учетом генетических факторов, при организации питания таких больных и группы риска важно придерживаться методики, которая позволяет ежедневно получать необходимое сочетание перевариваемой формы коллагена, эластина, а также глюкозамина и хондроитина. Лечебное питание важно соблюдать в периоды гормональных перестроек организма и, особенно, в период беременности.

Большое значение уделяется сохранению в рационе питания незаменимых аминокислот, однако, неполноценным белкам отводится значительно меньше внимания, несмотря на то, что во избежание дефицита аминокислот, необходимо употреблять как нативные, так и ненативные белки, обладающие значительной пищевой ценностью [1]. При употреблении именно неполноценных белков крайне важно чтобы они имели перевариваемую форму. Общеизвестно, что коллаген практически не переваривается в организме человека, поскольку незначительное количество ферментной системы способствует перевариванию небольшого его количества, а не перевариваемая часть улучшает перистальтику кишечника. Коллагенсодержащая соединительная ткань имеет в своем составе уникальные биологически активные вещества – глюкозамин и хондроитин, дополнительное поступление которых в организм при заболеваниях и нарушениях соединительнотканного аппарата связано с жизненной необходимостью.

Создание технологий, позволяющих повысить биодоступность белков и биологически активных веществ в организме человека из сырьевых источников, не перерабатываемых ранее на пищевые нужды, развитие менеджмента, способного обеспечить систематическое поступление новых видов необходимой потребителю продукции, представляются крайне важными. Фундаментальные исследования по изучению соединительной ткани, как многокомпонентной и полифункциональной системы, переработке побочных продуктов кожевенных производств и их применению проводили А.И. Сапожникова [2], Д.В. Белевцова [3] и др. Однако, методы переработки, предлагаемые авторами, предполагают использование высоких концентраций химических реагентов. Применение различных ферментных препаратов в технологиях кожевенных производств [4] и технологиях переработки соединительной ткани [5] различного коллагенсодержащего сырья [6] широко освещается. Тем не менее, при организации крупнотоннажных производств по выпуску перевариваемой формы пищевого белка, использующих в качестве сырья побочные продукты кожевенных производств, необходимо минимизировать экономические затраты предприятия.

Цель данной работы – изучение процесса предварительной технологической обработки побочных продуктов кожевенных производств в присутствии ферментов для сохранения биологически активных веществ хондропротекторного действия, сокращения продолжительности и энергозатрат последующей обработки.

## Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлся процесс теплообмена предварительной обработки коллагенсодержащей массы из краевых участков спилка гольевого говяжьего в присутствии ферментов.

Для уменьшения продолжительности процесса предварительной обработки краевых участков определяли влияние фермента протосубтилин Г3х в виде раствора с массовой долей препарата 0,5; 1,0 и 1,5% на соединительнотканное сырье. Стадию предварительной ферментативной обработки производили в аппарате со скребковыми перемешивающими устройствами [7] в течение 2 ч при температуре не выше 33°C, при соотношении раствор : сырье = 2 : 1.

Плотность белково-водной смеси определяли по соотношению массы к занимаемому объему, эффективную вязкость – на вискозиметре RW-8M [8].

Для определения возможности дальнейшей переработки предварительно обработанного сырья его исследовали на биологическую безопасность по микробиологическим показателям, наличие антибиотиков, токсичных элементов, радионуклидов и пестицидов. Нормативная документация на белковые полуфабрикаты, полученные от шкур крупного рогатого скота (КРС), спилка гольевого на территории РФ находится в разработке, поэтому использовали нормы для мясных субпродуктов Технического регламента Таможенного союза 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции».

Дальнейшую обработку коллагеновых полуфабрикатов проводили в течение часа в водных растворах гидроксида натрия концентрацией 0,05; 0,075; 0,085; 0,15%.

Наличие биологически активных веществ глюкозамина и хондроитина определяли в высушенных при температуре  $21 \pm 0,5^\circ\text{C}$  образцах полуфабрикатов предварительной и гидролитической обработки методом инфракрасной спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения на Фурье-спектрометре Tensor 37 фирмы Bruker (Германия, программный пакет OPUS) в диапазоне частот  $4000\text{--}600\text{ см}^{-1}$  в формате поглощения. Сравнение экспериментальных образцов проводили по отношению к препарату фирмы Swanson. Содержание в нем *Glucosamine Sulfate*, стабилизированного 2KCl, полученного из хитина моллюсков, составляло 750 мг, *Chondroitin Sulfate USP* – 600 мг.

Обработка экспериментальных данных велась методом нахождения доверительного интервала при доверительной вероятности 0,95 с помощью программного обеспечения Curve Expert.

## Результаты и их обсуждение

Глубокая переработка побочных продуктов кожевенных производств, в частности краевых участков спилка гольевого крупного рогатого скота, позволяет использовать его как новый источник потенциального пищевого сырья. Это коллагенсодержащее сырье представляет собой многокомпонентную, полифункциональную и биологически активную систему, которую после специальной обработки можно использовать как биодоступную пищевую добавку направленного действия или в составе функциональных пищевых продуктов.

Увеличение производительности аппарата достигается в результате более интенсивного перемешивания счищенных пристенных слоев с основной массой охлаждаемого/нагреваемого продукта благодаря наличию в перемешивающем устройстве лопастей, состоящих из двух металлических пластин с закрепленной между ними эластичной лентой, которая выступает над пластинами на 10–15 мм. При этом каждая последующая лопасть смещена относительно предыдущей лопасти в продольном осевом направлении [7].

При термической обработке любых пищевых систем необходимы исследования теплообменных процессов в аппаратах, где производится их обработка.

Постановка задачи о нестационарном нагревании или охлаждении бесконечного цилиндра основана на следующих случаях:

- ✓ осевые потоки теплоты по сравнению с радиальными пренебрежимо малы;
- ✓ коэффициент конвективной теплоотдачи  $\alpha$  от наружной поверхности и температура окружающей среды  $t_c$  постоянны;
- ✓ существует симметрия начального распределения температуры  $\theta(r)$  по радиусу цилиндра;
- ✓ внутренние источники теплоты полагаются отсутствующими ( $q = 0$ ).

Сделанные предположения соответствуют следующей математической модели процесса

нестационарной теплопроводности тел цилиндрической формы [9]

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} &= \alpha \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \\ \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=0} &= 0; -\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha \cdot \theta \Big|_{r=R}; \theta \Big|_{\tau=0} = \theta_0(r) \end{aligned} \right\}$$

где  $\tau$  – время процесса, с;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$r$  – характерный размер тела, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Эта теоретическая модель не учитывает ряд существенных практических обстоятельств, влияющих на процесс, в том числе неньютоновскую природу вязкости белкового продукта. Решение возникающих инженерных проблем можно реализовать экспериментальными методами.

Важными показателями теоретического описания процессов, осуществляемых в пищевой промышленности, являются изменяемые во времени параметры ряда технологических характеристик.

Таблица. Изменение реологических характеристик исследуемых образцов в процессе предварительной ферментативной обработки

Table. Variation in rheological characteristics of the samples under investigation during preliminary enzymatic treatment

Температура продукта $t_{пр}$ , °С	Температура поверхности теплообмена $t_{ст}$ , °С	Плотность продукта $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Частота вращения скребковой мешалки $n$ , об/с	Мощность $N$ , Вт	Эффективная вязкость $\mu_{эф}$ , Па·с	Критерий Рейнольдса
Нагревание						
18,4	24,8	1016,2	0,783	1,5	0,125	90,7
22,4	27,2	1014,9	1,250	2,9	0,090	192,5
23,2	27,2	1013,4	1,800	4,7	0,071	338,3
24,5	27,8	1012,2	2,617	8,0	0,055	604,0
29,9	33,4	1009,9	3,367	8,8	0,033	1130,0
31,2	34,2	1009,2	4,300	14,0	0,027	1649,0
32,7	35,3	1008,6	5,200	17,1	0,021	2325,0
Охлаждение						
31,9	26,6	1008,9	1,367	2,3	0,056	310,0
30,3	26,1	1009,7	1,933	4,1	0,049	486,7
29,6	25,5	1010,2	2,217	5,1	0,047	576,2
28,0	24,8	1010,9	2,567	6,3	0,045	690,1
26,7	23,9	1011,3	3,367	10,8	0,042	953,2
24,5	22,1	1012,5	4,367	14,9	0,034	1440,0
22,0	20,4	1013,2	8,500	41,7	0,024	3158,0
20,5	19,5	1013,8	11,830	160,8	0,015	6380,0

На экспериментальной установке проведены исследования теплообмена и расходуемой энергии технологического процесса по предварительной обработке краевых участков голяя и гольевого спилка от шкур крупного рогатого скота в растворах ферментного препарата протосубтилин Гзх. Данная обработка проводилась с целью размягчения сырья для сокращения энергетических затрат и продолжительности последующих операций. Трудностью данной операции являлось определение максимальной температуры, при которой минимизированы гидролитические изменения структуры ткани.

Кроме того, необходимо учитывать, что исследуемая коллагенсодержащая масса обладает вязкими и аномально-вязкими свойствами, поэтому при разработке технологии и производства пищевых систем возникают задачи, связанные с учетом реологических свойств перерабатываемого сырья и готовой продукции. Данные о закономерностях изменения реологических характеристик дают возможность

влиять на качество и структуру продуктов как путем внесения добавок, так и регулированием режимов обработки продукта.

Результаты исследований реологических процессов представлены в таблице. Кроме того, построены графики зависимости эффективной вязкости от термической обработки, представленные на рисунках 1 и 2.

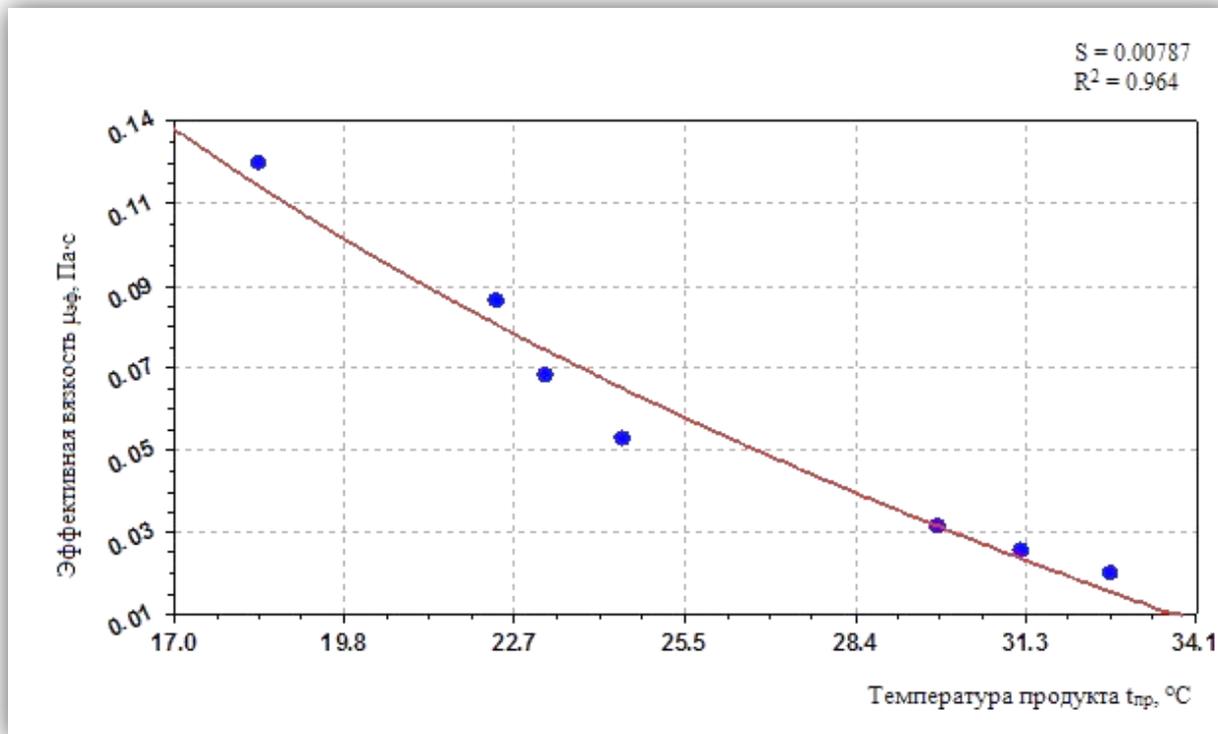


Рисунок 1 — Изменения эффективной вязкости от термической обработки в процессе нагревания  
 Figure 1. Variation of effective viscosity depending on thermal treatment during heating

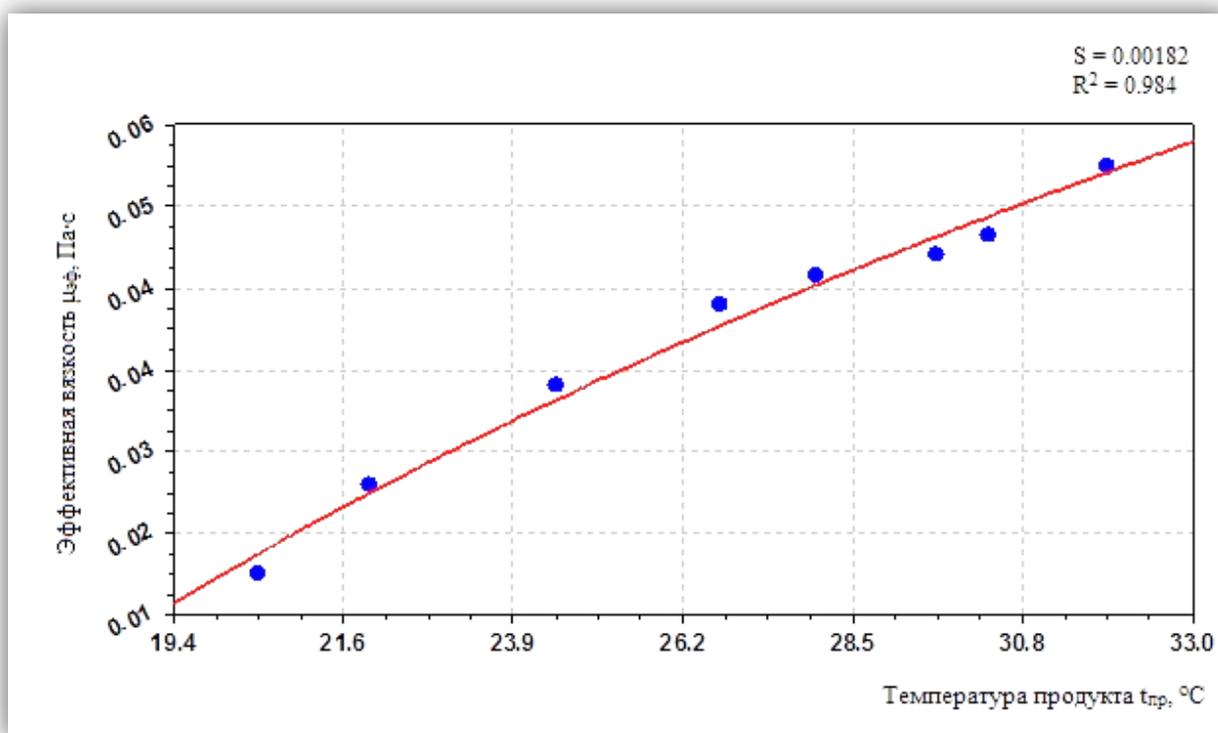


Рисунок 2 — Изменения эффективной вязкости от термической обработки в процессе охлаждения  
 Figure 2. Variation of effective viscosity depending on thermal treatment during cooling

На основе анализа представленных данных были получены эмпирические зависимости, описывающие процессы нагревания и охлаждения (интервал температур 20–32°C), которые имеют следующий вид:

при нагревании  $\mu = 0,63 - 0,18 \ln t$ ;

при охлаждении  $\mu = 0,095 \ln t - 0,24$ .

Полученные данные при изменении температуры продукта и различных значениях градиента скорости сдвига показывают, что эффективная вязкость исследованного продукта значительно зависит от величины градиента скорости и температуры продукта. При обработке сырья для производства белкового полуфабриката в теплообменном аппарате с очищающими устройствами при значениях критерия Рейнольдса ниже 2400 наблюдается ламинарное движение среды в аппарате. При дальнейшем увеличении критерия Рейнольдса наблюдается переходная область течения.

Исследования в области интенсификации теплообмена в аппаратах с различными конструкционными особенностями отражены в работах В.И. Бегачева, Л.Н. Брагинского, В.П. Глухова, М.Г. Павлова, И.А. Конвисера, В.В. Консетова, Ф.М. Кудрявицкого, А.Н. Новичкова, И.С. Павлушенко, М.Д. Глуза, Н. Abichandani, R. de Goede, E.J. de Jong, E. Dumont, F. Fayolle, J. Legrand и других. Широко распространен способ интенсификации теплообмена при обработке вязких продуктов путем перемешивания обрабатываемой среды в аппаратах специальными лопастными механизмами. Однако, представляется необходимой более глубокая проработка этого способа, особенно при осуществлении тепловой обработки таких вязких сред с неньютоновскими свойствами, как системы из побочных продуктов кожевенных или мясоперерабатывающих производств. Кроме того, во многих случаях в подобных аппаратах бывает целесообразно применять перемешивающие устройства, соприкасающиеся с поверхностью теплообмена с целью очищения слоя продукта (Л.К. Николаев, Б.Л. Николаев и др.), но это требует больших затрат энергии. В связи с этим для уменьшения мощности, расходуемой на перемешивание, необходимо минимизировать частоту вращения с учетом реологических характеристик обрабатываемой среды и обеспечения требуемого режима обработки.

Используя ранние исследования Л.К. Николаева [10], Б.Л. Николаева [11], И.С. Павлушенко [12], М.П. Воларовича [13] и опираясь на полученные результаты, к более широкому спектру обрабатываемых систем с учетом теории подобия предложено критериальное уравнение теплообмена для ньютоновских и неньютоновских жидкостей

$$Nu = B \cdot Re^a \cdot Pr^b \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0,14},$$

где  $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$  – критерий Нуссельта;

$Re = \frac{\omega \cdot l \cdot \rho}{\mu}$  – критерий Рейнольдса;

$\omega = \pi \cdot D \cdot n$  – скорость рабочей кромки скребкового устройства, м/с;

$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda}$  – критерий Прандтля;

$l = \pi \cdot \frac{D}{z}$  – характерный размер, представляющий собой расстояние между внешними кромками

очищающих устройств, м;

$D$  – внутренний диаметр аппарата, м;

$z$  – число лопастей перемешивающего устройства, шт;

$\mu$  и  $\mu_{ст}$  – эффективная вязкость продукта при средней температуре продукта и при температуре стенки соответственно, Па·с;

$B$  – эмпирический коэффициент;

$a, b$  – безразмерные коэффициенты, определяемые в ходе экспериментов.

Применение в расчетах величины  $l$ , представляющей собой расстояние между кромками лопастей

перемешивающего устройства, позволяет учитывать влияние количества скребков и внутреннего диаметра рабочего цилиндра.

Обработка экспериментальных данных позволила получить безразмерные коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $B$  для критериального уравнения. Исследование проводилось для групп опытов, критерий Прандтля в которых составлял  $Pr_1 = 388$ ;  $Pr_2 = 2462$ .

В результате проведенных экспериментальных исследований математической и графоаналитической обработки, методика которых представлена в [7], критериальное уравнение принимает вид

$$Nu = 0,923 \cdot Re^{0.59} \cdot Pr^{0.37} \left( \frac{\mu}{\mu_{CT}} \right)^{0.14}.$$

Таким образом, определены критерии, безразмерные и эмпирический коэффициенты, отображающие состояние процесса теплообмена.

При определении физико-химических показателей белковых полуфабрикатов, обработанных 0,5; 1,0 и 1,5% растворами препарата микробной протеазы из *Bacillus subtilis* протосубтилин ГЗх получили, что наилучшей являлась обработка 1% раствором фермента. Имеются данные о достаточности обработки 0,7% раствора протосубтилина ГЗх [14], но при переработке хитинсодержащего сырья. Изучен гидролиз коллагенсодержащего сырья и другими протеолитическими ферментами [15].

Исследования показателей безопасности выявили следующее. В белковых полуфабрикатах не обнаружены патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы в 25 г; *L. Monocytogenes* в 25 г; антибиотики – левомицитин, мг/кг; тетрациклиновая группа, мг/кг; бацитрацин, мг/кг; токсичные элементы – кадмий, мг/кг; ртуть, мг/кг; пестициды – ГХЦГ ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -изомеры), мг/кг; ДДТ и его метаболиты, мкг/кг. Содержание свинца составило 0,01 мг/кг (нормируемое значение – 2 мг/кг), мышьяка – 0,02 мг/кг (нормируемое значение – 1 мг/кг); цезия 137–100 Бк/кг (нормируемое значение – 200 Бк/кг).

Результаты исследования ИК спектроскопии представлены на рисунке 3.

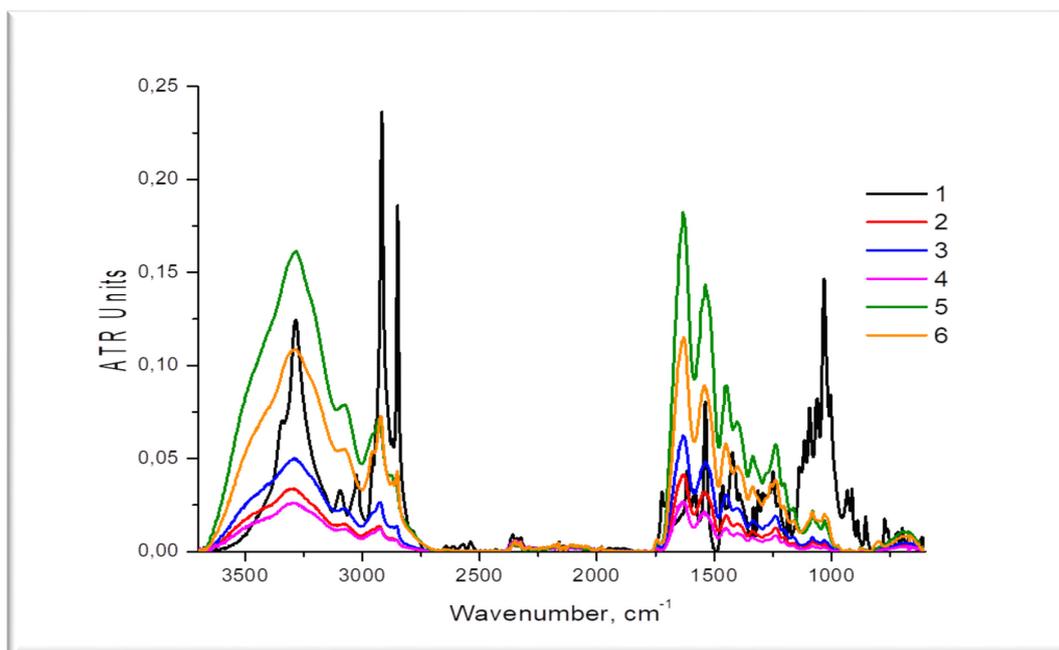


Рисунок 3 – ИК спектры: 1 – препарат фирмы Swanson; 2 – образец, обработанный ферментным препаратом протосубтилин ГЗх; 3– 6 – образцы, обработанные концентрацией реагента 0,05; 0,075, 0,085 и 0,15% соответственно

Figure 3. IR spectra: 1 – preparation by Swanson company; 2 – sample treated by Protosubtilin G3x enzymatic preparation; 3– 6 – samples treated by reagent concentration of 0.05, 0.075, 0.085, and 0.15%

Предварительный анализ указывает, что в коллагенсодержащих образцах по сравнению с препаратом фирмы Swanson присутствует значительное количество связанной воды, содержание которой возрастает с концентрацией реагента. Полосы разной интенсивности с максимумом при  $3250 \text{ cm}^{-1}$

и небольшие максимумы на правой ветви высокочастотной полосы ( $3700\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ ) в области  $3020\text{ см}^{-1}$ , характеризующие NH-группировки пептидной связи, говорят о присутствии в составе всех исследуемых образцов протеиновых структур. Однако, наличие в спектре препарата Swanson полос при  $3008\text{ см}^{-1}$  (SH-группы при двойной связи,  $\text{C}=\text{N}$ ) и  $1748\text{ см}^{-1}$  (COOH-группы) указывает на присутствие в его составе липидных компонентов, а интенсивная, уширенная и структурированная полоса  $1200\text{--}950\text{ см}^{-1}$ , перекрывающая область C-O-групп липидов с максимумом  $1160\text{ см}^{-1}$ , говорит не только о существенно большем количестве в нем полисахаридных компонентов, но и по-видимому, достаточно прочно связанных с ними липидами. Можно отметить, что предварительная ферментативная обработка оказывает минимальное воздействие на сырье, а максимальное содержание белка, полисахаридов (дифференцированные полосы –  $1030$  и  $1080\text{ см}^{-1}$  с «перешейком» между ними) и моносахаридов ( $1200\text{--}700\text{ см}^{-1}$ ) в экспериментальных коллагенсодержащих образцах наблюдается при обработке полуфабриката в присутствии  $0,085\%$  раствора гидроксида натрия.

## Заключение

По результатам исследований теплообменных процессов с учетом теории подобия и диссипации энергии предложено в явном виде расчетное критериальное уравнение теплообмена при неизотермическом движении биологически активных систем и продуктов. Данные могут быть применимы к более широкому спектру обрабатываемых ньютоновских и неньютоновских жидкостей при ламинарном и переходном режимах. Определены значения безразмерных коэффициентов критериев Рейнольдса, Прандтля и эмпирического коэффициента в предложенном критериальном уравнении, что позволяет с достоверной вероятностью определять значение критерия Нуссельта, характеризующего подобие процессов теплопереноса на границе между стенкой аппарата и потоком жидкости.

Получены эмпирические зависимости, описывающие реологические изменения пищевых систем при нагревании и охлаждении в интервале температур  $20\text{--}33^\circ\text{C}$ .

Установлено, что после предварительной ферментативной обработки краевых участков, полученных от шкур крупного рогатого скота, спилка гольевого  $1\%$  раствором препарата микробной протеазы из *Bacillus subtilis* протосубтилин Гзх, полученные белковые полуфабрикаты по микробиологическим показателям, содержанию антибиотиков, токсичных элементов, радионуклеидов и пестицидов соответствуют нормам, предъявляемым к безопасности мясной продукции.

Анализируя результаты исследования методом ИК спектроскопии, можно с полной достоверностью утверждать, что в полученных белковых полуфабрикатах содержатся глюкозамин и хондроитин, находящиеся в составе соединительной ткани побочных коллагенсодержащих продуктов. Применение готовой пищевой добавки, обладающей биологически активными веществами ходропротекторного действия, предоставляет широкие возможности их использования в технологиях продуктов питания функционального и профилактического назначения.

Условия процесса предварительной обработки позволили снизить энергозатраты на получение пищевой добавки на  $25\%$  в сравнении с аналогичными технологиями.

## Литература

1. Khiari Z., Ndagijimana M., Betti M. Low molecular weight bioactive peptides derived from the enzymatic hydrolysis of collagen after isoelectric solubilization/precipitation process of turkey by-products. *Poultry Sci.*, 2014, V. 93, Is. 9, pp. 2347–2362.
2. Сапожникова А.И. Разработка и оценка качества продукции на основе фибриллярных белков из отходов сырья животного происхождения: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1999.
3. Белевцова Д.В. Оценка качества коллагенсодержащих отходов и получаемых на их основе зольей коллагена: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 23 с.
4. Потушинская Е.В., Суходолов А.Ю., Ядута Д.С. Изучение возможности обезвоживания кожевенного сырья с использованием различных ферментных препаратов // Новые технологии и материалы легкой промышленности: сб. ст. Казань: КГТУ, 2006. С. 150–152.
5. Прокопенко Д.В., Глотова И.А. Биотехнологические аспекты получения коллагенсодержащих основ для функционального питания в составе различных пищевых форм [Электронный ресурс] // Материалы первого студенческого форума «Биотехнология XXI века» (Астана, 12–14 апреля 2010 г.) URL: <http://repository.enu.kz/bitstream/handle/123456789/4810/kollagen.pdf> (дата обращения 15.01.2021)

6. Антипова Л.В., Пащенко Л.П., Шамханов Ч.Ю., Курилова Е.С. Получение и характеристика пищевого кератинового гидролизата // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 7. С. 63–66.
7. Aret V.A., Kremenevskaya M.I., Krupoderov A.Y., Sosnina O.A., Chibiryak V.P., Sazonov V.A. Intensification of thermal and rheological processes in a scraped-surface apparatus. *Foods and Raw Materials*. 2018, V. 6, no. 2, pp. 342–349.
8. Косой В.Д., Виноградов Я.И., Мальшев А.Д. Инженерная реология биологических сред. СПб.: ГИОРД, 2005. 648 с.
9. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Новосибирск: Наука, 1970. 658 с.
10. Николаев Л.К. Закономерности процессов тепловой обработки пищевых продуктов с аномально-вязкими свойствами в аппаратах с очищаемой поверхностью: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Ленинград, 1985. 32 с.
11. Николаев Б.Л. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в емкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2009. 397 с.
12. Павлушенко И.С., Глуз М.Д. Критериальные уравнения процессов переноса при перемешивании неньютоновских жидкостей // Прикладная химия. 1966. Т. 34. № 10. С. 2288–2295.
13. Воларович М.П., Лазовская Н.В. Ротационные вискозиметры для исследования реологических свойств дисперсных систем и высокомолекулярных соединений (Обзор) // Коллоидный журнал. 1966. Т. 28. № 2. С. 198–213.
14. Самсонов М.В. Использование протосубтилина G3x для предотвращения образований микроэмульсий при гидролизе панцирных отходов северной креветки // Известия КГТУ. 2017. № 47. С. 123–132.
15. Юнусов Э.Ш., Пономарев В.Я., Морозова С.А., Ежкова Г.О. Изучение гидролиза коллагенсодержащего сырья протеолитическими ферментами // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 24. С. 168–170.

## References

1. Khiari Z., Ndagijimana M., Betti M. Low molecular weight bioactive peptides derived from the enzymatic hydrolysis of collagen after isoelectric solubilization/precipitation process of turkey by-products. *Poultry Sci.*, 2014, V. 93, Is. 9, pp. 2347–2362.
2. Sapozhnikova A.I. Development and evaluation of the quality of products based on fibrillar proteins from waste raw materials of animal origin. *Doctor's thesis*. Moscow, 1999. (In Russian)
3. Belevtsova D.V. Assessment of the quality of collagen-containing waste and collagen sols obtained on their basis. *Extended abstract of candidate's thesis*. Moscow, 2006. 23 p. (In Russian)
4. Potushinskaya E.V., Sukhodolov A.Yu., Yaduta D.S., et al. The study of the possibility of dewatering leather raw materials with the use of various enzyme preparations. *New technologies and materials for light industry. Collection of work*. Kazan'. 2006, pp. 150–152. (In Russian)
5. Prokopenko D.V., Glotova I.A. Biotechnological aspects of obtaining collagen-containing bases for functional nutrition as part of various food forms. *Proceeding of the first student forum "Biotechnology of the XXI century"* (Astana, April 12-14, 2010). URL: <http://repository.enu.kz/bitstream/handle/123456789/4810/kollagen.pdf> (accessed 15.01.2021). (In Russian)
6. Antipova L.V., Pashenko L.P., Shamkhanov Ch.Yu., Kurilova E.S. Obtaining and characterization of food keratin hydrolysate. *Storage and Processing of Farm Products*. 2003, no. 7, pp. 63–66. (In Russian)
7. Aret V.A., Kremenevskaya M.I., Krupoderov A.Y., Sosnina O.A., Chibiryak V.P., Sazonov V.A. Intensification of thermal and rheological processes in a scraped-surface apparatus. *Foods and Raw Materials*. 2018, V. 6, no. 2, pp. 342–349.
8. Kosoy V.D., Vinogradov Ya.I., Malyshev A.D. *Engineering rheology of biological media*. St. Petersburg, GIORД Publ., 2005. 648 p. (In Russian)
9. Kutateladze S.S. *Fundamentals of the theory of heat transfer*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1970. 658 p. (In Russian)
10. Nikolaev L.K. Regularities of the processes of heat treatment of food products with anomalously viscous properties in apparatuses with a cleaned surface. *Extended abstract of doctor's thesis*. Leningrad, 1985. 32 p. (In Russian)
11. Nikolaev B.L. Development of scientific bases of intensification of hydrodynamic and thermal processes in the processing of fat-containing food products in the tank equipment with mixing devices. *Doctor's thesis*. St. Petersburg, 2009. 397 p. (In Russian)
12. Pavlushenko I.S., Gluz M.D. Criterion equations of transport processes during mixing of non-Newtonian liquids. *Applied Chemistry*. 1966. V. 34, no. 10, pp. 2288–2295. (In Russian)
13. Volarovich M.P., Lazovskiy N.In. Rotational viscometers for the study of the rheological properties of disperse systems and high-molecular compounds (Review). *Colloid Journal*. 1966. V. 28, no. 2, pp. 198–213. (In Russian)
14. Samsonov M.V. Using protosubtilin G3x to prevent the formation of microemulsions under hydrolysis of crustacean waste of northern shrimp. *Izvestia KSTU*. 2017, no. 47, pp. 123–132. (In Russian)
15. Yunusov E.S., Ponomarev V.Ya., Morozova S.A., Yezhkova G.O. Study of hydrolysis of collagen-containing raw materials by proteolytic enzymes. *Herald of Technological University*. 2016, V. 19, no. 24, pp. 168–170. (In Russian)

**Информация об авторах**

Марианна Игоревна Кременевская – д-р техн. наук, доцент Факультета биотехнологий

Вальдур Аулисович Арет – д-р техн. наук, профессор

Ольга Андреевна Соснина – аспирант, преподаватель Факультета биотехнологий

Максим Юрьевич Панченко – магистрант Факультета биотехнологий

Александр Константинович Рубцов – канд. техн. наук, преподаватель Факультета энергетики и экотехнологий

Елена Владимировна Москвичева – канд. техн. наук, доцент Высшей школы биотехнологий и пищевых производств

**Information about the authors**

Marianna I. Kremenevskaya, D. Sc., Associate Professor of the Faculty of Biotechnologies

Valdur A. Aret, D. Sc., Professor

Olga A. Sosnina, Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnologies

Maxim Yu. Panchenco, Undergraduate of the Faculty of Biotechnologies

Alexandr K. Rubtsov, Ph. D., lecturer of the Faculty of Energy and Ecotechnology

Elena V. Moskvicheva Ph. D., Associate Professor of the Higher School of Biotechnology and Food Production

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests**

*Статья поступила в редакцию 12.02.2021*

*Одобрена после рецензирования 10.03.2021*

*Принята к публикации 12.03.2021*

*The article was submitted 12.02.2021*

*Approved after reviewing 10.03.2021*

*Accepted for publication 12.03.2021*