

МОДЕЛЮВАННЯ ПЛИНУ БІЛКОВО-МІНЕРАЛЬНОЇ КОРМОВОЇ СУМІШІ У ШНЕКОВОМУ КАНАЛІ ЕКСТРУДЕРА

**В.О. Потапов, В.В. Євлаш, Ж.А. Паржанов,
Г.Р. Тастанбекова, М.Є. Толеген**

Виконано чисельне моделювання плин у білково-мінеральної кормової суміші в каналі одношнекового екструдера з урахуванням особливості плин у високов'язкої дисперсної системи, що полягає в наявності ковзання на межі в'язкого прошарку. Отримано профілі швидкостей плин у поперечному перерізі шнекового каналу залежно від його геометрії і фізичних характеристик продукту, що екструдується. Показано, що урахування ковзання на межі в'язкого прошарку приводить до того, що продукт, що екструдується, переважно переміщується поблизу гребеня шнека.

Ключові слова: екструдер, екструзія, чисельне моделювання, екструдований корм.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ БЕЛКОВО-МИНЕРАЛЬНОЙ КОРМОВОЙ СМЕСИ В ШНЕКОВОМ КАНАЛЕ ЭКСТРУДЕРА

**В.А. Потапов, В.В. Евлаш, Ж.А. Паржанов,
Г.Р. Тастанбекова, М.Е. Толеген**

Выполнено численное моделирование течения белково-минеральной кормовой смеси в канале одношнекового экструдера с учетом особенности течения высоковязкой дисперсной системы, заключающейся в наличии скольжения на границе вязкого подслоя. Получены профили скоростей течения в поперечном сечении шнекового канала в зависимости от его геометрии и физических характеристик экструдруемого продукта. Показано, что учет скольжения на границе вязкого подслоя приводит к тому, что экструдруемый продукт преимущественно перемещается вблизи гребня шнека.

Ключевые слова: экструдер, экструзия, численное моделирование, экструдированный корм.

MODELING OF THE FLOW OF PROTEIN-MINERAL FODDER MIXTURE IN THE SCREW CHANNEL OF THE EXTRUDER

V. Potapov, V. Evlash, Zh. Parzhanov, G. Tastanbekova, M. Tolegen

Within the framework of the joint research of the Republic of Kazakhstan and the Kharkov State University of Food Technology and Trade the protein-mineral fodder additive is were developed, which includes animal and vegetable raw

materials. The peculiarity of extrusion technology is that the initial moisture content of raw materials should not exceed 25–30%. As a result, we obtained the highly viscous disperse system, which belongs to the class of non-Newtonian fluids. It is known that the rheological characteristics of non-Newtonian fluids significantly changes the flow pattern in the barrel of an extruder, as a result the calculation of its optimal geometry and productivity is a complex physical and mathematical problem. This paper is devoted the numerical simulation of the flow of protein-mineral fodder additive in a screw channel of extruder with features high-viscosity disperse systems. In this paper we consider a more general case of flow in an auger channel of the extruder that takes into account a two-dimensional flow in the conditions of sliding a high-viscosity dispersed mixture. It is shown that the presence of the slip at the boundary of the viscous sublayer, which are charactering for such disperse systems, leads to the fact that the extruded product is predominantly displaced near the crest of the screw. This fact is illustrated by the obtained profiles of flow velocities in the cross section of the screw channel, depending on its geometry and the physical characteristics of the extruded product. The obtained results will allow further accelerating the design and calculation of the extruder in order to obtain the developed protein-mineral fodder additive, replacing some of the more expensive and technically complex experiments by computer modeling.

Keywords: *extruder, extrusion, numerical modeling, extruded feed.*

Постановка проблемы в общем виде. Большинство стран с высокотехнологичным сельским хозяйством перешли на производство кормов нового поколения с использованием технологий экструдирования. Экструзионная переработка позволяет удвоить питательную ценность корма. При использовании экструдированных кормов усвояемость пищи увеличивается почти на 40%, надои, среднесуточные привесы, яйценоскость и размеры яиц увеличиваются в среднем на 25%. Кроме того, в результате использования экструдированного корма снижается общее потребление пищи и почти в два раза уменьшается число желудочно-кишечных заболеваний у животных [1–3].

В рамках совместных научных исследований ученых республики Казахстан и Харьковского государственного университета питания и торговли предложена рецептура белково-минеральной добавки, в состав которой входит животное сырье (отходы убоя животных) и растительное сырье (пшеничные отруби и шрот). Инновационной особенностью данной добавки является то, что ее ингредиенты находятся в оптимальном соотношении, что соответствует формуле сбалансированного питания и максимального усвоения белка за счет полученного аминокислотного состава. Это обусловлено тем, что при температурах, характерных для экструзии (110–140 °С), инактивируются ингибиторы трипсиназ, которых много в шротах, в результате чего повышается усвояемость растительного белка. Исследованиями, проведенными на инфузориях-туфельках, у

которых пищеварительная система такая же, как у человека и животных, установлено, что при температуре термической обработки 110 °С усваивается 75% растительного белка, содержащегося в пшеничных отрубях и шроте. Кроме того, происходит гидролиз животного белка коллагена, содержащегося в животном сырье (кости, шкура), что повышает биологическую ценность белково-минеральной добавки за счет аминокислот оксипролина и оксилизина.

Оборудование для производства экструзионных кормов стоит дешевле, чем варочное оборудование для термической обработки такого же количества отходов. При этом стоимость энергозатрат на переработку 1 кг биологических отходов данным способом в 5 раз меньше, чем при переработке традиционными способами [4–5].

Анализ последних исследований и публикаций. Особенность экструзионной технологии состоит в том, что исходная влажность сырья не должна превышать 25–30%, поэтому высоковлажные измельченные отходы животного происхождения смешивают с сухим растительным наполнителем в определенном соотношении. В результате получается высоковязкая дисперсная система, относящаяся к классу неньютоновских жидкостей. Известно, что реологические характеристики неньютоновских жидкостей существенно изменяют картину течения в стволе экструдера, в результате расчет его оптимальной геометрии и производительности является сложной физико-математической проблемой.

Классический подход к моделированию процесса экструзии сводится к решению одномерного уравнения для потенциального течения ньютоновской жидкости в плоском канале. При этом используются следующие допущения [6]:

- 1) винтовой канал, образованный нарезкой шнека и стенкой цилиндра, рассматривается развернутым в плоскость;
- 2) считают, что шнек неподвижен, а цилиндр движется в направлении, перпендикулярном оси шнека;
- 3) массовыми силами можно пренебречь;
- 4) жидкость несжимаема и температура ее одинакова по всему объему;
- 5) рассматривается прямоугольный профиль винтового канала с постоянными размерами по длине;
- 6) ширина винтового канала намного больше его глубины, поэтому учитываются только поперечная и продольная составляющая скорости;
- 7) жидкость заполняет винтовой канал полностью и прилипает к поверхностям шнека и цилиндра.

Изложенные допущения существенно искажают реальную картину течения в шнековом канале, на что указывается в ряде публикаций на эту тему [7–9]. В частности, допущение о малости глубины канала приводит к отсутствию учета вертикальной составляющей скорости, которая отвечает за перемешивание экструдруемой смеси, что не позволяет судить об эффективности перемешивания в экструдере. Допущение о полном прилипании продукта к стенке и шнеку экструдера также не выполняется, особенно при течении высоковязких жидкостей, при котором наблюдается скольжение на границе вязкого подслоя и твердой стенки [9].

Принимая во внимание вышеизложенное, в данной работе рассматривается более общий случай течения в шнековом канале экструдера, который учитывает двумерное течение в условиях скольжения высоковязкой дисперсной смеси.

Цель статьи – численное моделирование течения высоковязких дисперсных систем, к которым относятся белково-минеральные кормовые смеси из отходов животного и растительного происхождения, для изучения влияния геометрии шнекового канала и физических характеристик экструдруемого продукта на профиль скоростей в процессе экструзии.

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим задачу о течении высоковязкой реологической жидкости в шнековом канале прямоугольного сечения, который образован подвижной поверхностью винта шнека и неподвижной стенкой шнековой камеры (рис. 1).

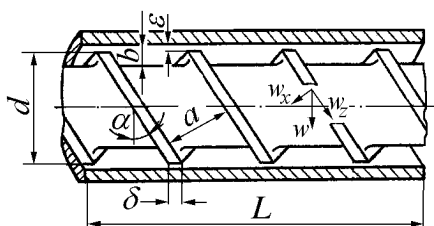


Рис. 1. Схема одношнекового экструдера

Вращение шнека вызывает движение продукта по спиральному каналу. Направим координату z вдоль оси винтового канала, а оси x , y перпендикулярно стенкам, как показано на рис. 2.

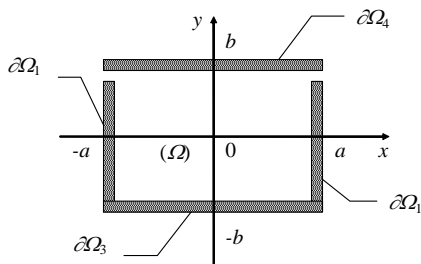


Рис. 2. Геометрия поперечного сечения шнекового канала

Вращение шнека вызывает движение продукта по шнековому каналу, поэтому будем считать верхнюю стенку канала $\partial\Omega_4$ подвижной, а боковые $\partial\Omega_1$, $\partial\Omega_2$ и нижнюю $\partial\Omega_3$ стенки – неподвижными.

Установившееся течение описывается, как известно, стационарным уравнением Навье–Стокса. Учитывая то, что внешние силы полностью определяются напором давления, уравнение Навье–Стокса в рассматриваемой задаче сводится к уравнению Пуассона для продольной скорости w_z :

$$\frac{\partial^2 w_z(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z(x, y)}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta} \frac{dp(z)}{dz} \quad (1)$$

Введем безразмерную скорость

$$\varpi = \frac{w_z(x, y)}{w \cdot \cos(\alpha)} \quad (2)$$

и безразмерные координаты

$$\xi = \frac{x}{D_3}; \quad \psi = \frac{y}{D_3}, \quad (3)$$

где w – линейная скорость шнека; α – угол подъема винта шнека; D_3 – эквивалентный диаметр шнекового канала.

Градиент давления в шнековом канале будем считать известным

$$\frac{dp(z)}{dz} = \frac{p}{l_3}, \quad (4)$$

где p – напор давления в канале; l_3 – эффективная длина винтовой линии шнекового канала.

Перепишем уравнение (1) в безразмерном виде:

$$\frac{\partial^2 \varpi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \varpi}{\partial \psi^2} = F, \quad (5)$$

где

$$F = \text{Eu} \cdot \text{Re} \cdot \frac{D_3}{l_3}, \quad (6)$$

Eu , Re – числа Эйлера и Рейнольдса соответственно.

Краевые условия для уравнения (5) запишем, учитывая особенность течения высоковязкой жидкости, заключающейся в наличии скольжения:

на стенках $\partial\Omega_1, \partial\Omega_2$ вследствие симметрии

$$\varpi(\xi_1, \psi) = \varpi(\xi_2, \psi) = k\tau_1 = f_1(\psi), \quad (8)$$

на стенке $\partial\Omega_3$

$$\varpi(\xi, \psi_1) = k\tau_3 = f_3(\xi), \quad (9)$$

на стенке $\partial\Omega_4$ с учетом движения стенки с относительной скоростью $\varpi=1$

$$\varpi(\xi, \psi_2) = 1 + k\tau_4 = f_4(\xi), \quad (10)$$

где τ – касательные напряжения на границе вязкого подслоя; k – эмпирический коэффициент скольжения.

В общем случае величины τ , k неизвестны. Для их нахождения поступим следующим образом. Воспользуемся общеизвестным фактом линейности касательных напряжений в вязком подслое, тогда вид функций f_1 , f_2 , f_3 можно найти из решения уравнения (5) с краевыми условиями прилипания жидкости на твердой стенке, а именно:

на стенке $\partial\Omega_1, \partial\Omega_2, \partial\Omega_3$

$$\varpi(\xi_1, \psi) = \varpi(\xi_2, \psi) = \varpi(\xi, \psi_1) = 0, \quad (11)$$

на стенке $\partial\Omega_4$

$$\varpi(\xi, \psi_2) = 1. \quad (12)$$

Далее по найденному полю скоростей $\varpi(\xi, \psi)$ рассчитаем градиенты скоростей на стенках, которые пропорциональны касательным напряжениям, т.е.

$$f_i = k_i \text{grad}(\varpi). \quad (13)$$

Неизвестные коэффициенты пропорциональности k_i найдем из условия непрерывности поля скоростей по периметру канала, т.е. потребуем выполнение следующей системы равенств:

$$k_1 f_1(\psi_1) = k_3 f_3 \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$k_1 f_1(\psi_2) = f_4 \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} = 1$$

Таким образом будет решена задача задания граничных условий при наличии скольжения высоковязкой жидкости в шнековом канале экструдера.

Далее найдем общее решение уравнения (5) с краевыми условиями (11)–(12) и (8)–(10). Будем искать его методом R -функций [10], согласно которому запишем решение в виде ряда:

$$\varpi = \varpi_0 + \sum_{i=1}^n C_i v_i, \quad (15)$$

где функция ϖ_0 удовлетворяет краевым условиям (11)–(12)

$$\varpi_0 = \frac{\left(\xi_1^2 - \xi^2\right) \left(\psi_1 + \psi\right)}{\left(\xi_1^2 - \xi^2\right) \left(\psi_1 + \psi\right) + \psi_1 - \psi}. \quad (16)$$

$$v_i = \left(\xi_1^2 - \xi^2\right) \left(\psi_1^2 - \psi^2\right) \left(\frac{\xi}{\xi_1}\right)^{2i} \left(\frac{\psi}{\psi_1}\right)^j, \quad (17)$$

где индексы i, j соответствует набору степеней для полной системы функций по Вейерштрассу.

Константы разложения C_i будем искать вариационным методом, исходя из минимума квадратичного функционала:

$$I(\varpi) = \iint_{\Omega} \left[\left(\frac{\partial \varpi}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varpi}{\partial \psi}\right)^2 - 2\varpi F \right] d\Omega \rightarrow \min. \quad (18)$$

Условие экстремума функционала (18) имеет следующий вид:

$$\frac{\partial I(\varpi)}{\partial C_i} = 0. \quad (19)$$

Откуда, с учетом (18) получаем

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n C_i \iint_{\Omega} \left(\frac{\partial v_i}{\partial \xi} \frac{\partial v_j}{\partial \xi} + \frac{\partial v_i}{\partial \psi} \frac{\partial v_j}{\partial \psi} \right) d\Omega = \dots \\ = \iint_{\Omega} \left(v_j F - \frac{\partial \varpi_0}{\partial \xi} \frac{\partial v_j}{\partial \xi} - \frac{\partial \varpi_0}{\partial \psi} \frac{\partial v_j}{\partial \psi} \right) d\Omega, \end{aligned} \quad (20)$$

где $i, j=1 \dots n$, n – число членов ряда в решении (15).

Уравнение (20) представляет систему линейных алгебраических уравнений порядка n .

$$\sum_{i=1}^n C_i a_{ji} = b_j, \quad (21)$$

где

$$a_{ji} = \iint_{\Omega} \left(\frac{\partial v_i}{\partial \xi} \frac{\partial v_j}{\partial \xi} + \frac{\partial v_i}{\partial \psi} \frac{\partial v_j}{\partial \psi} \right) d\Omega, \quad (22)$$

$$b_j = \iint_{\Omega} \left(v_j F - \frac{\partial \varpi_0}{\partial \xi} \frac{\partial v_j}{\partial \xi} - \frac{\partial \varpi_0}{\partial \psi} \frac{\partial v_j}{\partial \psi} \right) d\Omega. \quad (23)$$

Решение системы уравнений (21) для искомых коэффициентов матричной форме имеет следующий вид:

$$C_i = \left(a^T a \right)^{-1} a^T b. \quad (24)$$

Подставляя найденные коэффициенты ряда C_i в формулу (15), получаем искомое решение уравнения (5).

Описанная процедура решения была реализована в среде пакета MathCad. Для численного моделирования влияния режимных параметров на течение в шнековом канале была сформирована таблица параметров, которая охватывает широкий диапазон изменения симплекса F .

Результаты расчета профиля скоростей (15) представлены на рис. 2, 3 в виде карты линий равной скорости. За единицу принята скорость подвижной стенки. По осям отложены безразмерные координаты.

Полученные результаты показывают, что картина течения высоковязкой жидкости существенно отличается от течения ньютоновской жидкости. Наличие скольжения приводит к тому, что экструдированный продукт преимущественно перемещается вдоль углов подвижной стенки канала, а скорость течения существенно уменьшается (рис. 4). С уменьшением симплекса F , который прямо пропорционален давлению и обратно пропорционален линейной скорости шнека, скорость экструдирования растет. Изменение геометрии канала (соотношение высоты и ширины шнекового канала) не оказывает существенного влияния на профиль скоростей – он

просто симметрично растягивается или сжимается относительно центра канала.

Отмеченная особенность течения высоковязкой жидкости позволяет сделать вывод о том, что высота шнекового канала практически не влияет на расход жидкости, поскольку основное течение сосредоточено вдоль подвижной стенки. Это позволяет рекомендовать для экструдирования таких продуктов шнеки с малой высотой гребня.

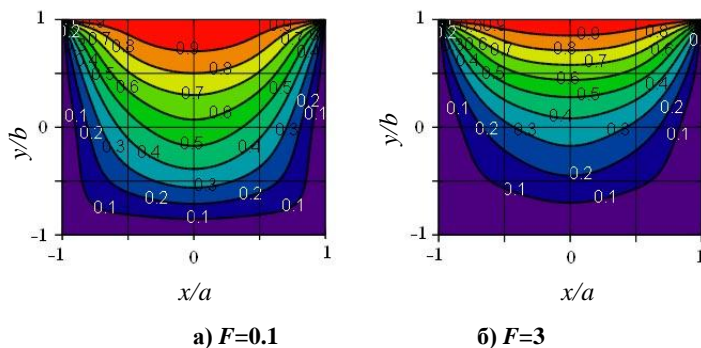


Рис. 3. Профиль скорости в поперечном сечении шнекового канала экструдера для ньютоновской жидкости

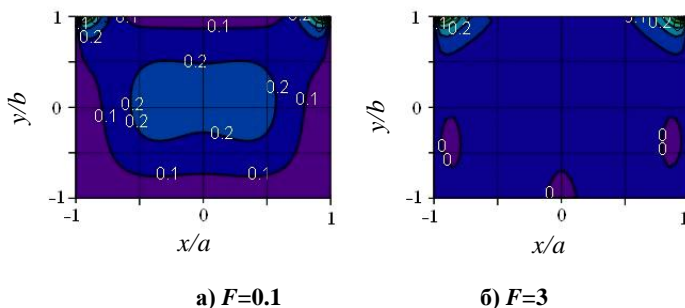


Рис. 4. Профиль скорости в поперечном сечении шнекового канала экструдера для высоковязкой жидкости при наличии скольжения

Выводы. Предложена методика численного моделирования течения в шнековом канале экструдера высоковязких дисперсных систем, к которым относится разработанная белково-минеральная кормовая добавка. Показано, что наличие скольжения на границе вязкого подслоя,

характерного для таких дисперсных систем, приводит к тому, что экструдруемый продукт преимущественно перемещается вблизи гребня шнека. Этот факт иллюстрируется полученными профилями скоростей течения в поперечном сечении шнекового канала в зависимости от его геометрии и физических характеристик экструдруемого продукта. Результаты исследования позволят в дальнейшем существенно ускорить проектирование и расчет экструдера для получения разработанной белково-минеральной кормовой добавки, заменив часть дорогостоящих и технически сложных экспериментов компьютерным моделированием.

Список источников информации / References

1. Носкова М. А. Утилизация отходов забоя сухой экструзией / М. А. Носкова // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 6. – С. 18–19.

Noskova, M.A (2009), “Utilization of waste by dry extrusion” [Utilizatsija othodov zaboja suhoj ekstruziej’], *Machinery and equipment for the village*, No. 6, pp. 18-19.

2. Егоров Б. Экструдирование комбикормов с измельченной люцерной / Б. Егоров, В. Гончаренко, П. Хоренжий // Комбикорма. – 2004. – № 28. – С. 37–38.

Egorov, B., Goncharenko, V., Khorenji, P. (2004), “Extrusion of mixed fodders with chopped Lucerne” [“Ekstrudirovanie kombikormov s izmelchennoj lutsernoj”], *Mixed feed*, No. 28, pp. 37-38.

3. Об особенностях экструзионной обработки кормов / Л. П. Карташов, В. Ю. Полищук, Т. М. Зубкова, О. А. Бахитова // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 24. – С. 21–22.

Kartashov, L.P, Polishchuk, V.Yu., Zubkova, T.M, Bakhitova, O.A. (2001), “About features of extrusion processing of forages” [“Ob osobennostjah ekstruzionnoj obrabotki kormov”], *Technology in agriculture*, No. 24, pp. 21-22.

4. Материалы информационного сайта veciv.ru / Ответы на вопросы журнала «Продукты и прибыль» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://veciy.ru/76035/>

Answers to the questions of the magazine "Products and profits" [Otvety na voprosy zhurnala “Produkty i pribyl’], available at: <http://veciy.ru/76035>

5. Полищук В. Ю. Проектирование экструдеров для отраслей АПК / В. Ю. Полищук, В. Г. Коротков, Т. М. Зубкова. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 201 с.

Polishchuk, V.Yu., Korotkov, V.G., Zubkova, T.M. (2003), *Designing extruders for the agricultural sector [Proektirovanie ekstruderov lkz jraslej APK]*, UrO RAN. Ekaterinburg, 201 p.

6. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров / В. С. Ким–Москва : Химик: КолосС, 2005. – 568 с.

Kim, V.S (2005), *Theory and practice of extrusion of polymers [Teorija i oraktika ekstruzii polimerov]*, Moscow, Chemist, KoloS, 568 p.

7. Абрамов О. В. Научное обеспечение процесса экструзии молельных сред на основе крахмалосодержащего сырья и разработка высокоэффективного

оборудования для его реализации : дис ... д-ра техн. наук / О. В. Абрамов. – Воронеж, 2009. – 600 с.

Abramov, O.V. (2009), “Scientific support of process of extrusion of modeling environments on the basis of starch-containing raw materials and development of highly effective equipment for its realization: dissertation, [Научное обоснование протеса екструзії моделних сред на основі крахмалосодержащего сырья і розробка високоєфективного обладнання для його реалізації: дис.... доктор технічних наук], Voronezh, 600 p.

8. Куватов Д. М. Оптимизация процесса экструдирования масличного сырья в пищевой и перерабатывающей промышленности / Д. М. Куватов, Р.Ф. Сагитов. – Уфа : Гилем, 2002. – 116 с.

Kuvatov, D.M., Sagitov, R.F (2002), Optimization of the process of extruding oilseeds in the food and processing industries [Optimizatsiya protsesa ekstrudirovaniya masljanichnogo syrija v pischevoj i pererabatyvaushej promyshlennosti], Gilem, Ufa, 116 p.

9. Зубкова Т. М. Определение скорости проскальзывания экструдированного материала по дну шнекового канала / Т. М. Зубкова, Р. Н. Абдрафиков, Д. А. Мусиенко // Вестник ОГУ. – 2002. – № 5. – С. 195–197.

Zubkova, T.M., Abdrafikov, R.N., Musienko, D.A. (2002), “Determination of the slippage speed of the extruded material along the bottom of the auger channel” [“Определение скорости проскальзывания экструдированного материала по дну шнекового канала”], *Bulletin of the OGU*, No. 5, pp. 195-197.

10. Рвачев В. Л. Метод R-функций в задачах теории упругости и пластичности / В. Л. Рвачев, Н. С. Синекор. – Киев : Наукова думка, 1990. – 216 с.

Rvachev, V.L., Synekop, N.S. (1990), *The method of R-functions in problems of the theory of elasticity and plasticity* [Metod R-funktsij v zadachah teorii uprugosti i plastichnosti], Naukova Dumka, Kiev, 216 p.

Потапов Володимир Олексійович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри холодної та торговельної техніки і прикладної механіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адрес: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Потапов Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой холодної и торговой техники и прикладной механики, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Potapov Vladimir, Doctor of Science, Professor, Head of the Department of Refrigeration, Commercial Equipment and Applied Mechanics, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

Свляш Вікторія Владленівна, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування, Харківський державний університет

харчування та торгівлі. Адрес: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: vvevlash@mail.ru.

Евлаш Викторія Владленовна, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрою хімії, мікробіології та гігієни харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: vvevlash@mail.ru.

Evlash Viktoria, Doctor of Science, Professor, Head of the Department of Chemistry, Microbiology and Food Hygiene. Address: Kharkiv State University of Food Technology and Trade: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: vvevlash@mail.ru.

Паржанов Жанибек Ануарбекович, д-р с.-г. наук, проф., головний вчений секретар, ТОО «Південно-Західний Науково-дослідний інститут тваринництва та рослинництва» Міністерства сільського господарства Республіки Казахстан. Адрес: пл. Аль-Фараби, 3, м. Шымкент, Республіка Казахстан, 160000. E-mail: zhanibek_58@mail.ru.

Паржанов Жанибек Ануарбекович, д-р с.-х. наук, проф., главный ученый секретарь, ТОО «Юго-Западный Научно-исследовательский институт животноводства и растениеводства» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. Адрес: пл. Аль-Фараби, 3, г. Шымкент, Республика Казахстан, 160000. E-mail: zhanibek_58@mail.ru.

Parzhanov Zhanibek, Doctor of Agricultural Science, Professor, chief scientific secretary of the LLP South-Western Research Institute of Livestock and Crop Production of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Address: Al-Farabi Square, 3, Shymkent, Republic of Kazakhstan, 160000. E-mail: zhanibek_58@mail.ru.

Тастанбекова Гульнара Рахимбердиевна, канд. с.-г. наук, доц., керуючий директор по науці, ТОО «Південно-Західний Науково-дослідний інститут тваринництва та рослинництва» Міністерства сільського господарства Республіки Казахстан. Адрес: пл. Аль-Фараби, 3, м. Шымкент, Республіка Казахстан, 160000. E-mail: gulnara.tastanbekova@mail.ru.

Тастанбекова Гульнара Рахимбердыевна, канд. с.-х. наук, доц., управляющий директор по науке, ТОО «Юго-Западный Научно-исследовательский институт животноводства и растениеводства» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан. Адрес: пл. Аль-Фараби, 3, г. Шымкент, Республика Казахстан, 160000. E-mail: gulnara.tastanbekova@mail.ru.

Tastanbekova Gulnara, Candidate of agricultural Science, Associate Professor, Managing Director for Science. LLP «South-Western Research Institute of Animal Breeding and Plant Growing» of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Address: Al-Farabi square, 3, Shymkent city, Republic of Kazakhstan, 160000. E-mail: gulnara.tastanbekova@mail.ru

Толеген Маржанкул Срхожакизи, магістр техніки і технології, ст. викл., кафедра «Безпечність життєдіяльності та захист навколишнього середовища», Південно-Казахстанський державний університет ім. М. Ауєзова. Адреса:

пр. Тауке хана, 5, г. Шимкент, Республіка Казахстан, 160012. E-mail: m.tolegen@bk.ru.

Толеген Маржанкул Ерхожақызы, магистр техники и технологии, ст. преп., кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Південно-Казахстанський державний університет ім. М. Ауезова. Адреса: пр. Тауке хана, 5, м. Шимкент, Республіка Казахстан, 160012. E-mail: m.tolegen@bk.ru.

Tolegen Marzhankul, Master of Engineering and Technology, Senior Lecturer of the Department of Life Safety and Environmental Protection, South Kazakhstan State University. M. Auezov. Address: Tauke Khan Ave., 5, Shymkent, Republic of Kazakhstan, 160012. E-mail: m.tolegen@bk.ru.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.04.2017. ХДУХТ, Харків.*

УДК 001.8:637.13

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БАРБОТУВАННЯ НЕЖИРНОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВИНИ

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.О. Удовенко,
О.В. Омельченко, В.В. Перекрест**

Розглянуто питання використання мембранних процесів у харчовій промисловості під час обробки нежирної молочної сировини. Подано результати дослідження з визначення показників якості нежирної молочної сировини під час її ультрафільтраційного концентрування із застосуванням режиму барботування. Приведений хімічний склад досліджуваних видів нежирної молочної сировини до обробки ультрафільтрацією та після неї.

Ключові слова: нежирна молочна сировина, процес ультрафільтрації, мембранна обробка, барботування.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАРБОТИРОВАНИЯ НЕЖИРНОГО МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ

**Г.В. Дейниченко, В.В. Гузенко, О.А. Удовенко,
А.В. Омельченко, В.В. Перекрест**

Рассмотрен вопрос использования мембранных процессов в пищевой промышленности при обработке нежирного молочного сырья. Представлены

© Дейниченко Г.В., Гузенко В.В., Удовенко О.О., Омельченко О.В., Перекрест В.В., 2017