

**М.Т. Мурсалыкова<sup>1</sup>, М.М. Какимов<sup>2</sup>, А.Л. Касенов<sup>1</sup>, Ж.Х. Тохтаров<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

<sup>2</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, г. Нур-Султан

010011, Республика Казахстан г. Нур-Султан, пр. Женис, 62

e-mail: tinkobai@mail.ru

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ САФЛОРОВОГО МАСЛА**

**Аннотация:** Данная статья посвящена разработке конструкций экспериментального шнекового пресса для производства сафлорового масла в малых предприятиях зерноперерабатывающей промышленности. Рассматривается теоретический анализ для разработки процесса отжима масличного материала в шнековом прессе. Применяя методы математического моделирования описана и решена задача для отжима жидкой фазы из дисперсного материала. А также приведена принципиальная схема и даны характеристики прессового оборудования и принцип его работы. Предлагаемая методика теоретического расчета процесса прессования позволяет определить оптимальные параметры и проводить отжим сафлорового масла методом прессования с помощью предложенной конструкции рабочего органа. Получены зависимости (выражения) математической модели которые дают возможность определения оптимальных значений с предварительным учетом необходимых параметров при интенсификации процесса прессования.

**Ключевые слова:** оборудование, пресс, сафлор, отжим, растительное масло.

С целью удовлетворения потребностей внутреннего рынка, в последнее время Правительство Республики Казахстан принимают меры по расширению посевных площадей масличных культур для получения растительного масла [1].

Сафлор является одним из этих масличных культур. История данной сельскохозяйственной культуры очень богатая, ее лепестки использовали для получения красителя, а семена для масла.

Масло из сафлора ценный продукт растительного происхождения, его химический состав позволяет использовать в производстве пищевой продукции, в лечебных и косметических целях, а также в получении биотоплива. При учете, всех достоинств таких как, биологическая ценность, богатый состав витаминами и фосфолипидами, в настоящее время, производство сафлорового масла является актуальной целью [2].

В современном производстве одним из главных методов производства растительного масла является способ прессования. Основная часть современных прессов выполняются для прессования масла отдельных культур, перенастройка данного оборудования на иную культуру очень трудоемка, и есть вероятность неэффективного отжима масла.

Современные методики анализа рассматриваемых процессов, основаны на сложных математических описаниях, выраженных дифференциальными уравнениями. Это влечет за собой сложность в решении и получении информации о технологических параметрах описываемых процессов, эффективным способом получения информации такого рода может служить математическое моделирование [3].

Создание современного высокоэффективного прессового оборудования для отжима растительных масел требует применения более совершенных методик расчета, а также математического моделирования влияния различных конструктивных параметров с учетом изменения свойств прессуемого материала.

Расчетные схемы оборудования предлагаем исходя из расчетов, отраженных в многочисленных трудах. Однако в связи со сложностью конструкций шнековых прессов при математическом описании процесса прессования, которому посвящены множество исследований, не определены пути теоретического исследования. В основном при выборе

конструкций оборудования рассматриваются собственные возможности отжима семян сафлора на оборудовании и механизмах с учетом потребностей в развитии производства. В связи с этим, используя результаты исследования, предлагаем теоретические расчеты нового прессового оборудования (рис. 1-5) [5].

Рассматривая движение вязкой среды, запишем уравнение Навье-Стокса [7-9]

$$\begin{aligned}\frac{\partial v_x}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= F_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial v_y}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} &= F_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial v_z}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= F_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left( \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right),\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$  – кинематическая вязкость материала.

для решения задачи механики сплошной среды можно записать уравнение Пуассона следующим образом

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} = -\frac{\Delta p}{\eta_{эф} l}, \quad (2)$$

где  $\eta_{эф} = \eta_{nl} + \frac{\theta_0}{\gamma}$  – эффективная вязкость, Па·с;

$\Delta p$  – перепад давления, Па;

$l$  – длина каналов, м.

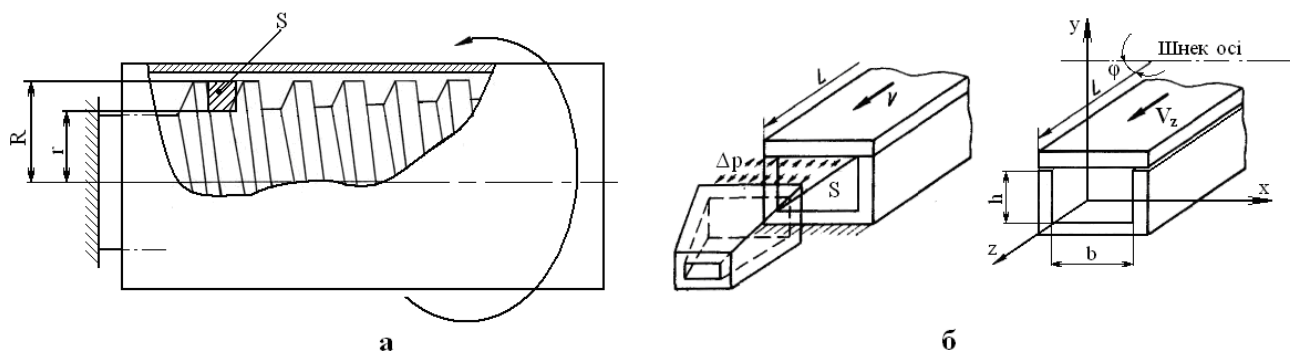


Рисунок 1 – Структурная (а) и расчетная (б) схемы пресса в математическом моделировании

Для определения объемной производительности вычислим двойной интеграл:

$$Q = \int_0^H \int_0^W g_z dx dy$$

Используя уравнение Пуассона, определим производительность прессующего канала

$$Q_{ПК} = \frac{K_{ПК}}{\eta_{эф}} \Delta p, \quad (3)$$

где,  $K_{пк}$  – коэффициент прессующего канала.

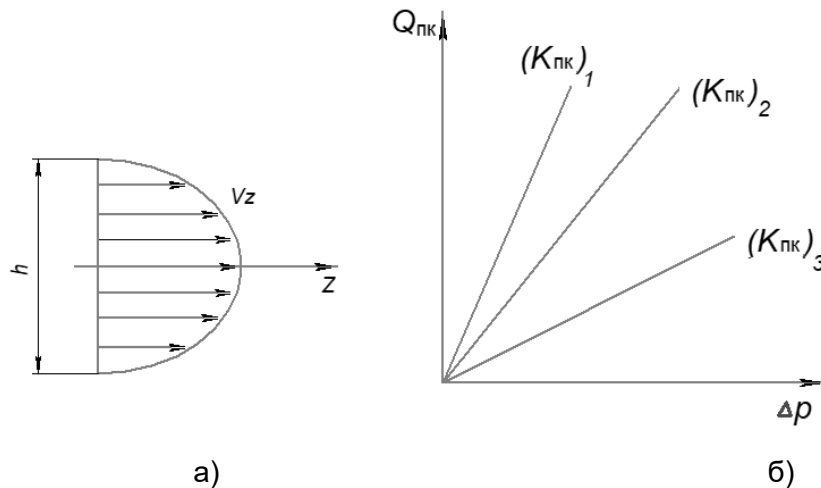


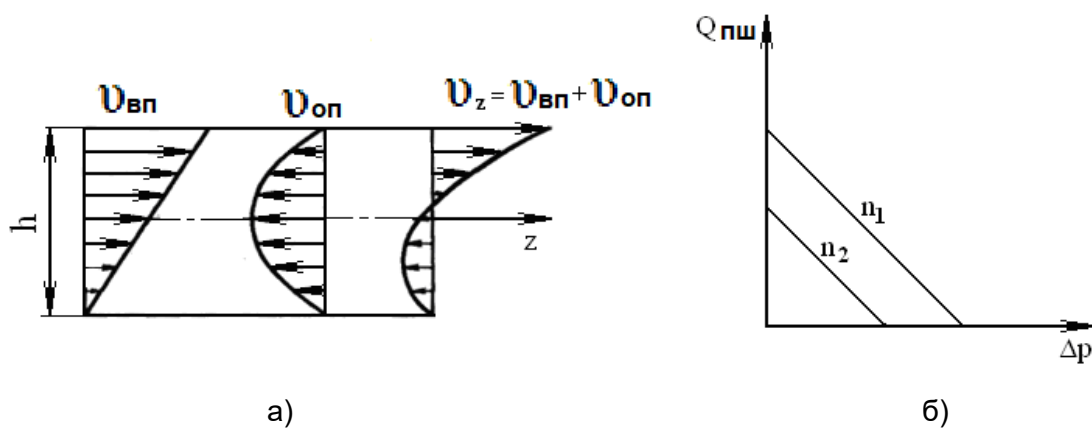
Рисунок 2 – Зависимость коэффициента прессующего канала (а) от производительности и давления при свободной работе прессующего шнека (б)

Этот случай при наличии  $\Delta p$  уже рассматривался при расчете прессующего канала. Решая вместе выражения (1) и (2), получим следующее решение

$$v_z = \frac{4 \cdot v}{\pi} \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{m} \cdot \frac{\text{Sh}\left(\frac{\pi m y}{w}\right)}{\text{Sh}\left(\frac{\pi m H}{w}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi m x}{w}\right) - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{dp}{dz} \times$$

$$\times \left\{ \frac{y^2}{2} - \frac{yH}{2} + \frac{4 \cdot H^2}{\pi^3} \cdot \sum_{m=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{m^3} \cdot \frac{\text{ch}\left[\frac{\pi m(2x-w)}{2H}\right]}{\text{ch}\left(\frac{\pi m w}{x}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi m y}{H}\right) \right\} \quad (4)$$

В этом уравнении первый член характеризует вынужденный поток, образующийся под влиянием движущихся стенок, а второй - распределение скоростей в потоке [10].



$U_{вп}$  – скорость прямого потока;  $U_{оп}$  – скорость обратного потока;  
 $U_z$  – сумма скоростей.

Рисунок 3 – К построению суммарной эпюры скоростей по высоте шнекового канала (а) и производительность прессующего шнека для двух значений скоростей (б)

Если ввести коэффициенты геометрии прессующего шнека  $K_{ВП}$  вынужденного потока и  $K_{ОП}$  обратного потока, то производительность прессующего шнека определяем следующим образом

$$Q_{ПШ} = K_{ВП} n - \frac{K_{ОП}}{\eta_{эф.}} \Delta p, \quad (5)$$

где,  $K_{ВП}$  – коэффициент вынужденного потока;

$K_{ОП}$  – коэффициент вынужденного потока.

Объемный расход общего масла, проходящего через отверстия зерного цилиндра при плавном движении шнека, м<sup>3</sup>/с

$$Q_{ЗЦ} = K_{ЗЦ} \frac{\Delta p_{\max}}{\eta_M}, \quad (6)$$

где,  $K_3$  – геометрический коэффициент зерного цилиндра.

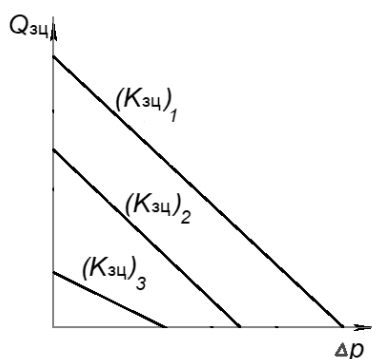


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента зерного цилиндра от производительности и давления

Величина перепада давления в формовочном устройстве или на продольной оси шнека для отделения масла при прессовании определяется выражением

$$\Delta p_{\max} = q_p \frac{Q_{П}}{K_3} \eta_{эф.}, \quad (7)$$

здесь  $q_p$  – Качественный показатель извлечения определенного количества масла

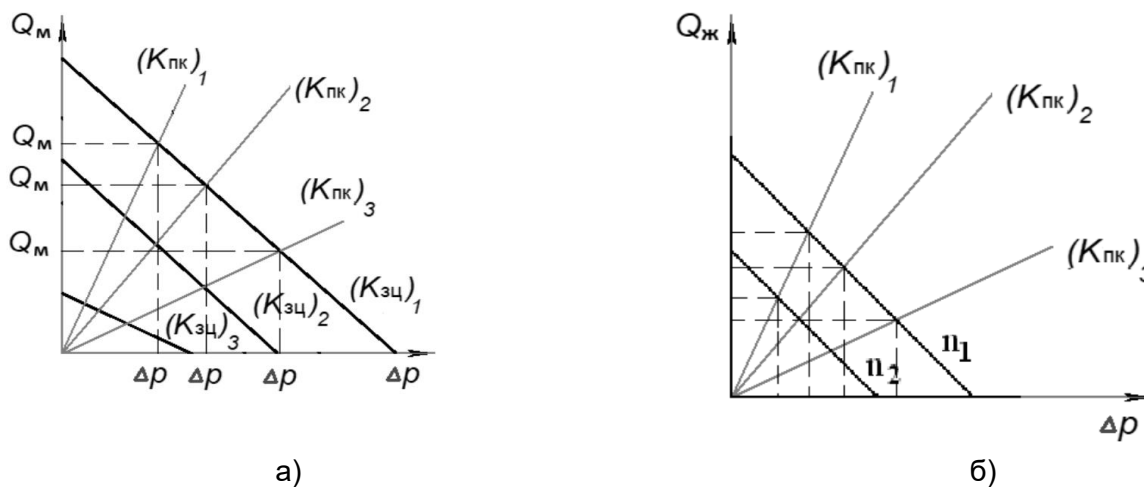


Рисунок 5 – Зависимости прессующего канала и зерного цилиндра (а), прессующего канала от производительности и давления при свободной работе прессующего шнека (б)

Определяем материальный расход производительности масла

$$Q_M = \frac{K_{ПК} K_{ЗЦ}}{K_{ПК} + K_{ЗЦ}} n, \quad (8)$$

Отсюда, определяем материальный расход производительности жмыха

$$Q_Ж = \frac{K_{ВП} K_{ПК}}{K_{ОП} + K_{ПК}} n, \quad (9)$$

Таким образом, уравнением Пуассона (2) доказано, что прессующий материал находится в сплошном непрерывном движении, опираясь на механику сплошной среды, получена зависимость прессующего канала и зернового цилиндра, зависимость прессующего канала от производительности и давления при свободной работе прессующего шнека. Учитывая то, что отделение масла в шнеке и жирность получаемого продукта находятся в определенном соотношении, определена необходимая зависимость между давлением, действующим на материал, и качеством получаемого продукта. Полученные зависимости (выражения) математической модели дают возможность определения оптимальных значений с предварительным учетом необходимых параметров при интенсификации процесса прессования.

#### Список литературы

1. Послание президента РК К. К-Ж. Токаева народу Казахстана 1.09.2021 г.
2. ГОСТ 12096-76. Сафлор для переработки. Технические условия.
3. В.Г. Щербаков. Технология получения растительных масел. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1992. – 207 с. ил. – (Учебники и учеб. пособия для подгот. кадров массовых профессий).
4. В.В. Белобородов. Основные процессы производства растительных масел. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 453 с.
5. Касенов А.Л. Математическое описание процесса сушки мясокостной муки. // Научный журнал «Пищевая технология и сервис». Алматы, 2006. № 2, – С. 38-41.
6. Какимов М.М., Касенов А.Л., Туменов С.Н., Токаев С.Д. Құрғақ мал жемін дайындаудың технологиялық желісін, престоу процесін жетілдіру нәтижесінде ықшамдау //Материалы международной научно-практической конференции. «Стратегия развития пищевой и легкой промышленности» – Алматы, 2004. – Б. 325-326.
7. Еркебаев М.Ж., Кулажанов Т.К., Мачихин Ю.А., Медведков Е.Б., Реология пищевых продуктов. – Алматы, 2003. – 115 с.
8. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика: основы механики жидкости. – М.: Стройиздат, 1975. – 328 с.
9. Юфин А.П. Гидравлика гидравлической машины и гидропривод. – М.: Издательство высшая школа, 1965. – 428 с.
10. Азаров М.Б., Аурих Х., Дичев С. И др. Технологическое оборудование пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1988. – 463 с.

**М.Т. Мурсалыкова<sup>1</sup>, М.М. Какимов<sup>2</sup>, А.Л. Касенов<sup>1</sup>, Ж.Х. Тохтаров<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
010011, Қазақстан Республикасы Нұр-сұлтан Қ., Жеңіс даңғылы, 62  
e-mail: tinkobai@mail.ru

#### МАҚСАРЫ МАЙЫН ПРЕСТЕУ ПРОЦЕСІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа:** Бұл мақала астық өңдеу өнеркәсібінің шағын кәсіпорындарында мақсары майын өндіруге арналған тәжірибелік шнекті престоу конструкцияларын әзірлеуге

арналған. Майлы дақылдарды шнекті прессте пресстеу процесін өзірлеу үшін теориялық талдау қарастырылады. Математикалық модельдеу әдістерін қолдана отырып, дисперсті материалдан сұйық фазаны сығуға арналған есеп сипатталған және шешілген. Және де принциптік схемасы келтіріліп, пресс жабдығының сипаттамасы және оның жұмыс істеу принципі келтірілген. Пресстеу процесін теориялық есептеу үшін ұсынылған әдіс жұмыс органының ұсынылған конструкциясын пайдалана отырып, пресстеу арқылы мақсары майын алуды және оптималды параметрлерді анықтауға мүмкіндік береді. Пресстеу процесін күшейту кезінде қажетті параметрлерді алдын ала ескере отырып, оңтайлы мәндерді анықтауға мүмкіндік беретін математикалық модельдің тәуелділіктері (өрнектері) алынды.

**Түйін сөздер:** жабдық, пресс, мақсары, сығу, өсімдік майы.

**M. Mursalykova<sup>1</sup>, M. Kakimov<sup>2</sup>, A. Kassenov<sup>1</sup>, Zh. Tokhtarov<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Kazakh Agrotechnical University named after Saken Seifullin,

62 Zhenis Ave., Nur-Sultan, 010011, Republic of Kazakhstan

e-mail: tinkobai@mail.ru

## MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF PRESSING SAFFLOW OIL

**Abstract:** This article is devoted to the development of designs for an experimental screw press for the production of safflower oil in small enterprises of the grain processing industry. A theoretical analysis is considered to develop the process of pressing oilseed material in a screw press. Using the methods of mathematical modeling, the problem for squeezing the liquid phase from a dispersed material is described and solved. And also a schematic diagram is given and the characteristics of the press equipment and the principle of its operation are given. The proposed method for the theoretical calculation of the pressing process makes it possible to determine the optimal parameters and carry out the extraction of safflower oil by pressing using the proposed design of the working body. Dependences (expressions) of the mathematical model are obtained, which make it possible to determine the optimal values with preliminary consideration of the necessary parameters when intensifying the pressing process.

**Key words:** equipment, press, safflower, extraction, vegetable oil.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Майгүл Тауржанқызы Мурсалықова** – «Технологиялық жабдық және машина жасау» кафедрасының докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: 0000-0001-5431-9306.

**Мухтарбек Муханович Какимов** – «Тамақ және өңдеу өнеркәсібінің технологиясы» кафедра меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1190-2195.

**Әміржан Леонидұлы Қасенов** – техника ғылымдарының докторы, "технологиялық жабдық және машина жасау" кафедрасының профессоры, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы.; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: 0000-0002-7715-1128.

**Жайық Хамитұлы Тоқтаров\*** – PhD, "технологиялық жабдық және машина жасау" кафедрасының аға оқытушысы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tinkobai@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7715-1128.

### Сведения об авторах

**Майгуль Тауржановна Мурсалыкова** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: 0000-0001-5431-9306.

**Мухтарбек Муханович Какимов** – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический

исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1190-2195.

**Амиржан Леонидович Касенов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан.; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: 0000-0002-7715-1128.

**Жаик Хамитович Тохтаров\*** – PhD, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: tinkobai@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7715-1128.

#### Information about the authors

**Maygul Taurzhanovna Mursalykova** – Doctoral student of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: 0000-0001-5431-9306.

**Mukhtarbek Mukhanovich Kakimov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Technology of Food and Processing industries", Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: 0000-0002-1190-2195.

**Amirzhan Leonidovich Kasenov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan.; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz . ORCID: 0000-0002-7715-1128 .

**Zhaik Khamitovich Tokhtarov\*** – PhD, Senior Lecturer of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: tinkobai@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7715-1128.

*Материал 01.06.2021 ж. баспаға түсті.*

FTAXP: 65.63.33

**Г.Н. Раимханова, Ж.Х. Какимова, М.Е. Успенская, Г.О. Миращева\***

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А  
e-mail: gulmira\_mir@mail.ru

#### СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМДЕРДІ ӨНДІРУДІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫ БАҒЫТТАРЫ

**Аңдатпа:** Бұл мақала қазіргі таңда өзекті мәселеге айналған сүт және сүтқышқылды өнімдер жайында болмақ. Біздің елімізде және шетелде сүтқышқылды өнімдер өндірісінің технологиясы мен техникасында айтарлықтай өзгерістер болып, өнім ассортименті кеңеюде. Бұл мақалада шетелдік ғалымдардың ғылыми жұмыстары мен зерттеулері қарастырылып, сондай-ақ соңғы жылдардағы зерттелген өнімдердің қасиеттері зерттеліп жаңа технологиялары әзірленді. Әдеби дереккөздерді талдау және жалпылау технологияны дамытудың, сүтқышқылды өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын арттырудың көптеген мәселелері жеткілікті зерттелмегені көрсетілді.

Сонымен қатар соңғы кездері оң үрдістер орын алуда – өсімдік шикізаты қосылған (көкөністік, жеміс – жидектік) сүт қышқылды өнімдердің рецептурасында балғын түрде, сонымен қатар консервіленген (пюре, джем, құрғақ концентраттар) қолданылуы сүтқышқылды өнімдерге әр түрлі дәмдік түстер және көмірсулар, дәрумендер және минералды заттардың құрамының жоғарылауын қамтамасыз етеді. Сүтқышқылды өнімдер өндірісінде көкністік, жеміс – жидектік толықтырғыштарды қолдану шығарылатын өнімнің ассортиментін кеңейтуді және органолептикалық көрсеткіштерін жақсартуды қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** сүтқышқылды паста, кефир, сүтқышқылды өнімдер, сүт, сүт сарысуы, ашытқы.