

ISSN 2311-6447

---

**ТЕХНОЛОГИИ ПИЩЕВОЙ  
И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ АПК-  
ПРОДУКТЫ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ**

---

**TECHNOLOGIES FOR THE FOOD  
AND PROCESSING INDUSTRY  
OF AIC - HEALTHY FOOD**

---





УДК 664.6/.7

## **Влияние влажности полизлаковой мучной смеси и частоты вращения шнека на эффективность технологического процесса экструдирования**

### **Influence of humidity of polycereal flour mix and frequency of rotation of the screw on efficiency of technological process of extruding**

Профессор А.А. Оспанов, доцент А.К. Тимурбекова,  
(Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы) кафедра пищевой инженерии, тел. 8-701-823-29-59

E-mail: ospanov\_abdymanap@mail.ru

профессор Н.Ж. Муслимов,

(Агробиологический научно-исследовательского институт Таразского инновационно-гуманитарного университета, Республика Казахстан, г. Тараз), тел. 8-701-716-70-95

E-mail: n.muslimov@inbox.ru

ст. преподаватель Г.Б. Джумабекова

(Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Республика Казахстан, г. Тараз) кафедра технологии продовольственных продуктов, перерабатывающих производств и биотехнологии, тел. 8-778-418-36-96

E-mail: gulnara.nur@mail.ru

Professor A.A. Ospanov, Associate Professor A.K. Timurbekova,

(Kazakh national agrarian university, Almaty) chair of food engineering, tel. 8-701-823-29-59

E-mail: ospanov\_abdymanap@mail.ru

Professor N.Zh. Muslimov,

(Agrobiological research institute of Tarazsky innovative humanities university, Republic of Kazakhstan, Taraz) tel. 8-701-716-70-95

E-mail: n.muslimov@inbox.ru

Senior Teacher G.B. Dzhumabekova

(Tarazsky state university of M.H. Dulati, Republic Kazakhstan, Taraz) chair of technology of food products, processing industries and biotechnology, tel. 8-778-418-36-96

E-mail: gulnara.nur@mail.ru

*Реферат.* Важнейшей задачей пищевой промышленности Республики Казахстан является разработка научных, теоретических и практических основ получения новых форм продуктов питания как качественно нового направления для расширения ассортимента продуктов на зерновой основе. В последние 5-7 лет рынок экструзионных продуктов перешел от экстенсивного к интенсивному развитию, т.е. рост рынка обеспечивается не увеличением объемов производства одного конкретного вида продукта, а разработкой новых видов готовой продукции. В этой связи одно из приоритетных направлений для совершенствования техники и технологии производства качественных продуктов питания на зерновой основе - это повышение их степени готовности и расширение ассортимента путем экструдирования мучной полизлаковой смеси. Экспериментальную выработку опытной партии экструдированных полизлаковых продуктов питания высокой степени готовности проводили на промышленном экструдере. В конструкции экструдера реализованы современные инженерные решения, направленные на совершенствование технологии производства экструдированных продуктов. Отличительной особенностью конструкции устройства является автоматизированная система задания и контроля параметров терморегулирования, которая включает рт-регуляторы, обеспечивающие стабильность теплового режима в зонах экструзии. Специально спроектированные самоочищающиеся шнеки позволяют исключить наличие канцерогенов и твердых частиц в конечном продукте, что позволяет не проводить разборку и чистку экструзионной зоны установки при завершении работы.



*Summary.* The most important task of the food industry of the Republic of Kazakhstan is development of scientific, theoretical and practical bases of receiving new forms of food as qualitatively new direction for expansion of the range of products on a grain basis. In the last 5-7 years the market of extrusive products has passed from extensive to intensive development, i.e. growth of the market is provided not with increase in production of one concrete type of a product, but development of new types of finished goods. In this regard one of the priority directions for improvement of equipment and the production technology of qualitative food on a grain basis is an increase of their degree of readiness and expansion of the range by extruding of flour polycereal mix. Extruded the polyevils-kovykh of food of high degree of readiness carried out experimental development of a pilot batch on an industrial extruder. In a design of an extruder the modern engineering decisions directed to improvement of the production technology of extruded products are realized. Distinctive feature of a design of the device is the automated system of a task and control of parameters of thermal regulation which turns on the pit-regulators providing stability of the thermal mode in extrusion zones. Specially designed self-cleaning screws allow to exclude availability of carcinogens and firm particles in the final product that allows not to carry out dismantling and cleaning of an extrusive zone of installation at completion of work.

*Ключевые слова:* полизлаковые смеси, экструзионная технология, экструдирование, двухшнековый экструдер, влажность, частота вращения шнека.

*Keywords:* polycereal mixes, extrusive technology, extruding, twin-screw extruder, humidity, rotation frequency.

Важнейшей задачей пищевой промышленности Республики Казахстан является разработка научных, теоретических и практических основ получения новых форм продуктов питания как качественно нового направления для расширения ассортимента продуктов на зерновой основе. Реализация такого перспективного для экономики Казахстана направления возможна путем разработки и совершенствования технологии производства экструзионных полизлаковых продуктов питания при помощи высокотемпературной экструзии [1-3].

Основным компонентом сырья, используемого в различных экструзионных технологиях, является высокомолекулярный природный полимер – крахмал, который в больших количествах содержится практически во всех зерновых культурах и продуктах их переработки, в меньших – в зернобобовых культурах с высоким содержанием белка. А экструзионная обработка крахмалосодержащего сырья, как утверждают многие ученые [4-6], экологически безопасный, ресурсосберегающий и универсальный процесс, в результате которого можно получить хорошо усвояемые, термостерилизованные пищевые продукты с улучшенными вкусовыми свойствами.

В последние 5-7 лет рынок экструзионных продуктов перешел от экстенсивного к интенсивному развитию, т.е. рост рынка обеспечивается не увеличением объемов производства одного конкретного вида продукта, а разработкой новых видов готовой продукции [4].

В этой связи одно из приоритетных направлений для совершенствования техники и технологии производства качественных продуктов питания на зерновой основе - это повышение их степени готовности и расширение ассортимента, путем экструдирования мучной полизлаковой смеси, что, в свою очередь, является актуальной и своевременной задачей.

Экспериментальную выработку опытной партии экструдированных полизлаковых продуктов питания высокой степени готовности проводили на промышленном экструдере, оснащенный автоматическим пультом управления, камерой для охлаждения, приемным бункером с дозирующим устройством, двухшнековым прессующим устройством (экструзионная зона) и устройством для выпуска готовой продукции. В конструкции экструдера реализованы современные инженерные решения, направленные на совершенствование технологии производства экструдированных продуктов.



Экструдер оснащен электрическим приводом мощностью 90 кВт и обладает производительностью 450 кг/ч. Отличительной особенностью конструкции устройства является автоматизированная система задания и контроля параметров терморегулирования, которая включает *pid*-регуляторы, обеспечивающие стабильность теплового режима в зонах экструзии. Специально спроектированные самоочищающиеся шнеки позволяют исключить наличие канцерогенов и твердых частиц в конечном продукте, что позволяет не проводить разборку и чистку экструзионной зоны установки при завершении работы.

Преимуществом экспериментального двухшнекового экструдера являются:

- простота конструкции и эксплуатации устройства;
- автоматическая система управления нагревом и охлаждением технологических зон;
- низкий уровень шума;
- регулирование частоты вращения двигателей экструдера, режущего устройства и дозатора с помощью частотных преобразователей;
- конструкция экструдера укомплектована бункером-накопителем сухой смеси, который устанавливается над дозатором сухих компонентов объемом 1 м<sup>3</sup>;
- конструкция экструдера оснащена кондиционером;
- устройство оснащено системой регистрации и запоминания параметров технологического процесса с выводом данных в реальном времени.

Методика выработки опытной партии экструдированных продуктов высокой степени готовности заключается в следующем. Установили оптимальные режимы работы экструдера посредством автоматизированной системы задания и контроля параметров терморегулирования с помощью пульта управления. Предварительно подготовленные полизлаковые смеси (составленные по научно обоснованным рецептам) загружали в приемное устройство с дозатором двухшнекового экструдера. Далее полизлаковую мучную смесь подвергали экструдированию при фиксированных значениях частоты вращения рабочего органа и влажности смеси.

В процессе экструдирования полизлаковая смесь проходила через прессующее устройство (зона экструзии), и на выходе из зоны экструзии через устройство для выпуска готовой продукции получали готовую продукцию, в виде экструдатов. Далее готовую продукцию остужали во избежание залипания полученных продуктов на раме с металлотканым ситовым покрытием. После чего полученные продукты перемещали в емкость для готовой продукции.

В ходе выполнения экспериментальных исследований эффективность работы двухшнекового экструдера контролировали путем регистрации показателей следующих варьируемых параметров:

- давление, создаваемое в предматричной зоне ( $P$ , МПа);
- температура готового продукта на выходе из рабочей зоны ( $t$ , °С);
- производительность экструдера ( $Q$ , кг/ч);
- потребляемая мощность электропривода в процессе экструдирования ( $N$ , кВт).

Полученные результаты экспериментальных исследований заносили в таблицы текстового процессора Microsoft Excel, далее на основе полученных данных строили графики зависимости давления, создаваемого в предматричной зоне ( $P$ , МПа), температуры готового продукта на выходе из рабочей зоны ( $t$ , °С), производительности экструдера ( $Q$ , кг/ч), потребляемой мощности электропривода в процессе экструдирования ( $N$ , кВт) от переменных значений частоты вращения шнека экструдера ( $n$ , мин<sup>-1</sup>) и влажности экструдированной полизлаковой смеси,  $W$  (%).

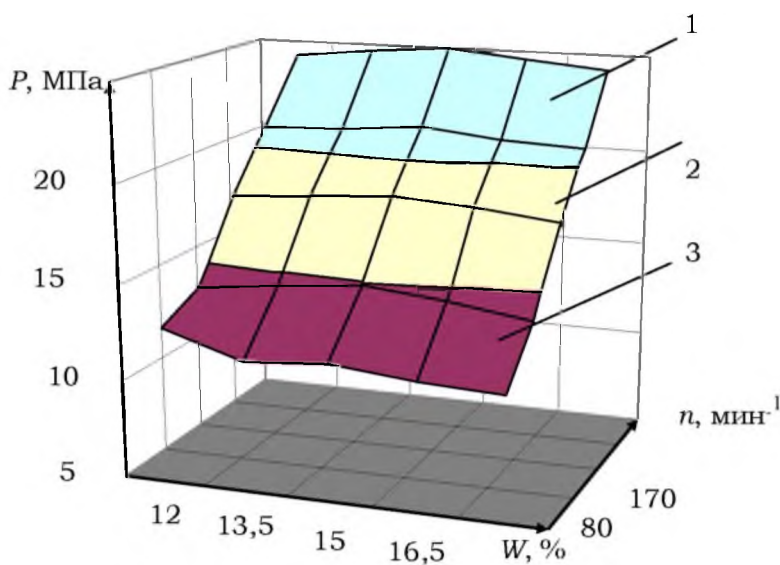
На рис. 1 приведена трехмерная модель, характеризующая зависимость давления в предматричной зоне двухшнекового экструдера от влажности мучной полизлаковой смеси и частоты вращения рабочего органа экспериментальной установки.



Анализ поведения трехмерной поверхности показал, что увеличение частоты вращения рабочего органа  $n$  с 80 до 250 мин<sup>-1</sup> приводит к увеличению значений давления в предматричной зоне. При этом влажность обрабатываемой мучной полизлаковой смеси снижает значения  $P$  в процессе экструдирования. Так, например, при влажности мучной полизлаковой смеси 12 % и частоте вращения шнека 80 мин<sup>-1</sup> значение  $P$  составило 11,0 МПа. При  $W = 13,5$  % и  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> значение  $P$  составило 11,7 МПа. Увеличение влажности до 15 % привело к увеличению значений  $P$  до 12,0 МПа. Дальнейшее увеличение влажности до 18 % снизило значение давления до 11,45 МПа.

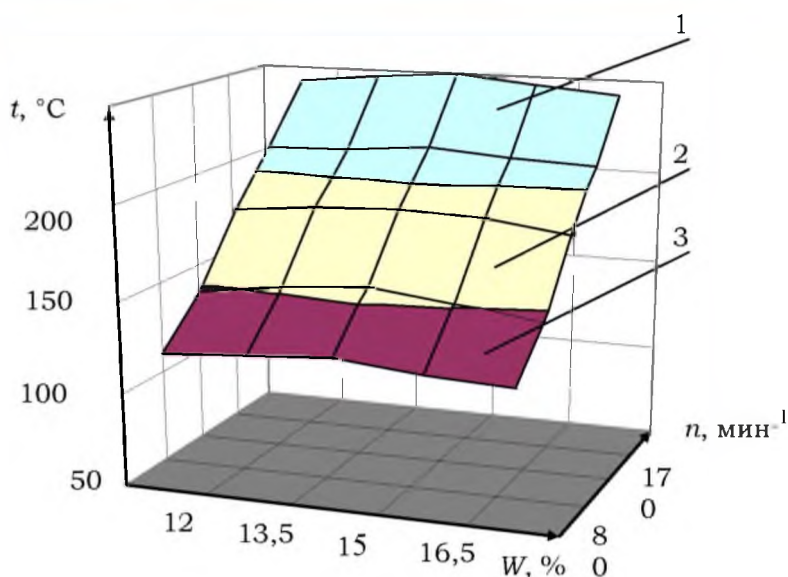
На рис. 2 приведена трехмерная модель, характеризующая зависимость температуры экструдата на выходе из рабочей зоны устройства от переменных значений влажности мучной полизлаковой смеси и частоты вращения рабочего органа экспериментальной установки.

Анализ поведения трехмерной поверхности показал, что увеличение частоты вращения рабочего органа (шнека)  $n$  с 80 до 250 мин<sup>-1</sup> приводит к увеличению значений температуры экструдата на выходе из рабочей зоны устройства ( $t$ , °С). При этом влажность обрабатываемой мучной полизлаковой смеси изменяет значения  $t$  в процессе экструдирования. Так, например, при влажности мучной полизлаковой смеси 12 % и частоте вращения шнека 80 мин<sup>-1</sup> значение  $t$  составило 124,5 °С. При  $W = 13,5$  % и  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> значение  $t$  составило 126,8 °С. Увеличение влажности до 15 % привело к увеличению значений  $P$  до 130 °С. Дальнейшее увеличение влажности до 18 % снизило значения температуры экструдата на выходе из рабочей зоны устройства.



$$P = 220,7012 - 26,6439w - 0,1053n + 0,0018wn + 0,8829w^2 + 0,0004n^2$$

Рис. 1. Зависимость изменения давления в предматричной зоне экструдера ( $P$ , МПа) от влажности ( $W$ , %) и частоты вращения рабочего органа ( $n$ , мин<sup>-1</sup>). Область, характеризующая давление в предматричной зоне, МПа: 1 – 20-25; 2 – 15-20; 3 – 10-15

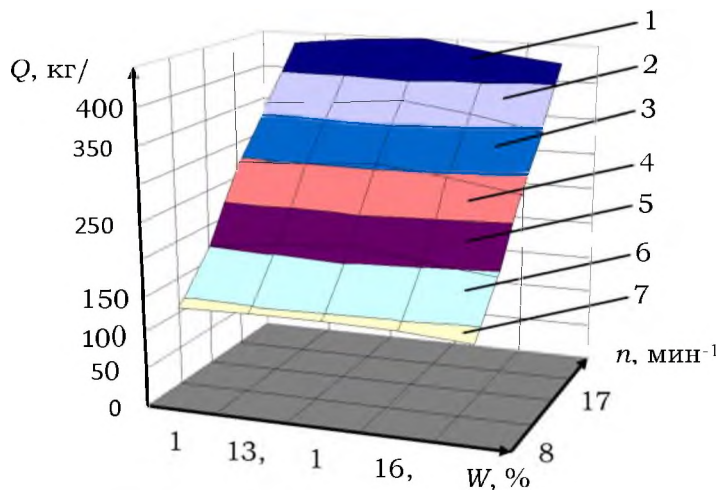


$$t = 153,8504 + 27,9326 w + 0,9686 n - 0,0007 wn - 0,9712 w^2 - 0,0005 n^2$$

Рис. 2. Зависимость изменения температуры экструдата на выходе из рабочей зоны устройства ( $t$ , °C) от влажности ( $W$ , %) и частоты вращения рабочего органа ( $n$ , мин<sup>-1</sup>). Область, характеризующаяся температурой экструдата, °C: 1 – 200-250; 2 – 150-200; 3 – 100-150

Аналогичные зависимости были получены при изменении значений частоты вращения рабочего органа с 120 до 250 мин<sup>-1</sup>. Максимальные значения  $t = 250$  °C составили при вращении рабочего органа  $n = 250$  мин<sup>-1</sup>.

На рис. 3 приведена трехмерная модель, характеризующая зависимость производительности двухшнекового экструдера от переменных значений влажности мучной полизлаковой смеси и частоты вращения рабочего органа экспериментальной установки.



$$Q = 95,8189 - 36,1631w + 4,7981n + 0wn + 0,9027w^2 - 0,0088n^2$$

Рис. 3. Зависимость изменения производительности экструдера ( $Q$ , кг/ч) от влажности ( $W$ , %) и частоты вращения рабочего органа ( $n$ , мин<sup>-1</sup>). Область, характеризующая производительность экструдера, кг/ч: 1 – 400-450; 2 – 350-400; 3 – 300-350; 4 – 250-300; 5 – 200-250; 6 – 150-200; 7 – 100-150

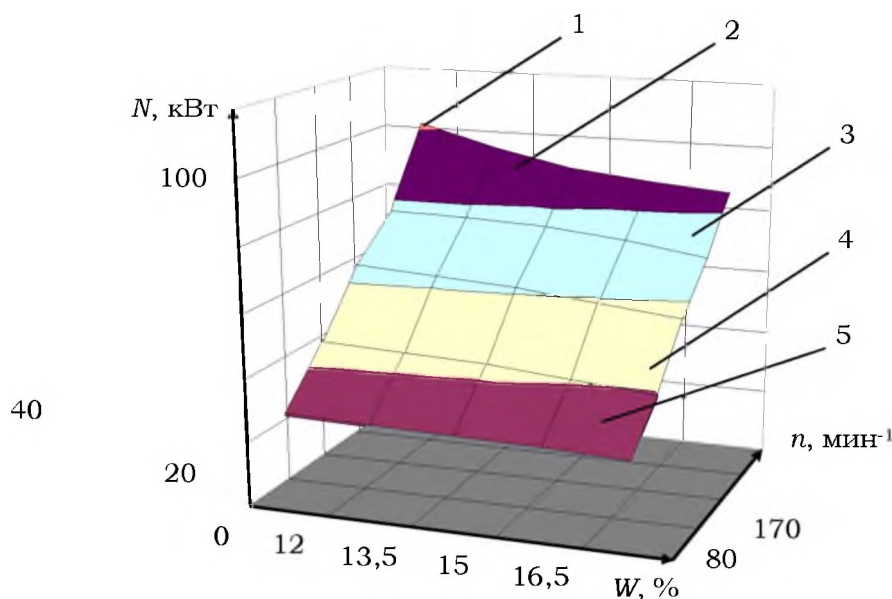


Анализ поведения трехмерной поверхности показал, что увеличение частоты вращения рабочего органа (шнека)  $n$  с 80 до 250 мин<sup>-1</sup> приводит к увеличению производительности двухшнекового экструдера ( $Q$ , кг/ч). При этом влажность обрабатываемой мучной полизлаковой смеси изменяет значения  $Q$  в процессе экструдирования. Так, например, при влажности мучной полизлаковой смеси 12 % и частоте вращения шнека 80 мин<sup>-1</sup> значение  $Q$  составило 140 кг/ч. При  $W = 13,5$  % и  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> значение  $Q$  увеличилось и составило 142 кг/ч. Увеличение влажности до 15 % привело к увеличению значений  $Q$  до 144 кг/ч. Дальнейшее увеличение влажности до 18 % при  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> снизило значения производительности устройства до 135 кг/ч. Аналогичные зависимости были получены при изменении значений частоты вращения рабочего органа с 120 до 250 мин<sup>-1</sup>.

При этом максимальное значение  $Q$  составило 450 кг/ч при вращении рабочего органа  $n = 250$  мин<sup>-1</sup> и влажности мучной полизлаковой смеси 15 %.

На рис. 4 приведена трехмерная модель, характеризующая зависимость потребляемой мощности электропривода экструдера ( $N$ , кВт) от переменных значений влажности мучной полизлаковой смеси и частоты вращения рабочего органа экспериментальной установки.

Анализ поведения трехмерной поверхности показал, что увеличение частоты вращения рабочего органа (шнека)  $n$  с 80 до 250 мин<sup>-1</sup> приводит к увеличению потребляемой мощности электропривода экструдера ( $N$ , кВт). При этом влажность обрабатываемой мучной полизлаковой смеси снижает значения  $N$  в процессе экструдирования.



$$N = 246,0047 + 32,4651w + 0,5029n - 0,0018wn - 1,1293w^2 - 0,0001n^2$$

Рис. 4. Зависимость потребляемой мощности электропривода экструдера ( $N$ , кВт) от влажности ( $W$ , %) и частоты вращения рабочего органа ( $n$ , мин<sup>-1</sup>). Область, характеризующая расход электроэнергии, кВт: 1 – 100-120; 2 – 80-100; 3 – 60-80; 4 – 40-60; 5 – 20-40

Так, например, при влажности мучной полизлаковой смеси 12 % и частоте вращения шнека 80 мин<sup>-1</sup> значение  $N$  составило 29,5 кВт. При  $W = 13,5$  % и  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> значение  $N$  составило 29 кВт. Увеличение влажности до 15 % привело к снижению значений  $N$  до 28,8 кВт. Дальнейшее увеличение влажности до 18 % при  $n = 80$  мин<sup>-1</sup> снижало потребляемую мощность электропривода устройства до 27 кВт.



Аналогичные зависимости были получены при изменении значений частоты вращения рабочего органа с 120 до 250 мин<sup>-1</sup>. При  $n = 120$  мин<sup>-1</sup> и  $W = 12$  % потребляемая мощность электропривода устройства составила 45,5 кВт. Увеличение  $n$  до 170 мин<sup>-1</sup> привело к увеличению значений  $N$  до 64,5 кВт. Дальнейшее увеличение значений  $n$  до 250 мин<sup>-1</sup> привело к увеличению  $N$  до 102 кВт. Максимальное потребление мощности электропривода составило 102 кВт при частоте вращения рабочего органа  $n = 250$  мин<sup>-1</sup> и влажности обрабатываемого материала 12 %.

Анализ полученных трехмерных поверхностей показал, что рабочие характеристики экструдера для всех значений частоты вращения шнека имеют одинаковый вид, т.е. с увеличением производительности давление в предматричной зоне экструдера сначала растет, а затем с некоторого значения  $Q$  уменьшается. Очевидно, что в режиме полностью закрытого выхода при  $Q = 0$  давление в предматричной зоне непрерывно нарастает, а в режиме открытого выхода  $Q = Q_{\max}$  – непрерывно падает. В реальном же процессе экструзии с ростом производительности давление продукта достигает некоторой величины, максимально возможной для данных условий работы экструдера, а потом неуклонно снижается. Максимум на кривых смещается в сторону увеличения производительности.

Зависимости давления и температуры продукта в предматричной зоне экструдера от переменных параметров экструзионного процесса позволяют с достаточной точностью прогнозировать их изменение в исследованном диапазоне значений факторов. Их анализ позволяет сделать заключение о преобладающем влиянии учитываемых факторов на температуру и давление пищевой среды: наибольшее влияние на давление расплава продукта оказывают конструктивные параметры экструдера (диаметр проходного сечения матрицы), а также начальная влажность смеси. Геометрические характеристики рабочего органа, частота (скорость) вращения шнека и давление продукта максимально воздействуют на температуру в предматричной зоне экструдера. Они позволяют выяснить влияние каждого исследуемого фактора ( $W$ ,  $n$ ) на кинетические параметры и с достаточным приближением описать кинетику протекания процесса экструзии мучной полизлаковой смеси при производстве продуктов высокой степени готовности. При этом возможность комбинирования состава мучной полизлаковой смеси способствует расширению ассортимента производимых качественных полизлаковых продуктов питания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оспанов, А.А. Технология производства полизлаковых продуктов [Текст]: учебник МОН РК / А.А. Оспанов, Н.Ж. Муслимов, А.К. Тимурбекова, Г.Б. Джумабекова. – Алматы: НурПринт, 2013. – 298 с.
2. Инновационный патент РК № 28102. Способ производства экструдированного полизлакового продукта питания «Фитнес» / Оспанов А.А., Муслимов Н.Ж., Джумабекова Г.Б. – Бюл. № 2, 17.02.2014.
3. Инновационный патент РК № 28101. Способ производства экструдированного полизлакового продукта питания «Здоровье» / Оспанов А.А., Муслимов Н.Ж., Джумабекова Г.Б. – Бюл. № 2, 17.02.2014.
4. Остриков, А.Н. Коэкструзионные продукты: новые подходы и перспективы [Текст] / А.Н. Остриков, В.Н. Василенко, И.Ю. Соколов. – М.: ДеЛи принт, 2009. – 232 с.
5. Бурцев, А.В. Современная техника и технология термопластической экструзии в производстве «сухих завтраков» [Текст] / А.В. Бурцев, В.А. Грицких, Г.И. Касьянов. – Краснодар: Экоинвест, 2004. – 112 с.





6. Магомедов, Г.О. Техника и технология получения пищевых продуктов термопластической экструзией [Текст] / Г.О. Магомедов, А.Ф. Брехов. – Воронеж, 2003. – 168 с.

#### REFERENCE

1. Ospanov A.A. Tekhnologiya proizvodstva polizlakovykh produktov [Production technology of polycereal products], Almaty: NurPrint, 2013, 298 pp. (Kazakhstan).
2. Ospanov A.A., Muslimov N.Zh., Dzhumabekova G.B. Sposob proizvodstva ekstrudirovannogo polizlakovogo produkta pitaniya «Fitnes» [Way of production of an extruded polycereal food product "Fitness"], Innovative patent RK No. 28102, 2014 (Kazakhstan).
3. Ospanov A.A., Muslimov N.Zh., Dzhumabekova G.B. Sposob proizvodstva ekstrudirovannogo polizlakovogo produkta pitaniya «Zdorov'e» [Way of production of an extruded polycereal food product "Health"], Innovative patent RK No. 28101, 2014 (Kazakhstan).
4. Ostrikov A.N. Koekstruzionnye produkty: novye podkhody i perspektivy [Koekstruzionnye products: new approaches and prospects], Moscow: DeLi print, 2009, 232 pp. (Russian).
5. Burtsev A.V. Sovremennaya tekhnika i tekhnologiya termoplasticheskoy ekstruzii v proizvodstve «sukhikh zavtrakov» [Modern technology and technology of thermoplastic extrusion in production of "dry breakfasts"], Krasnodar, 2004, 112 pp. (Russian).
6. Magomedov G.O. Tekhnika i tekhnologiya polucheniya pishchevykh produktov termoplasticheskoy ekstruziey [Equipment and technology of receiving foodstuff thermoplastic extrusion], Voronezh, 2003, 168 pp. (Russian).