

znacheniya moshchnosti na unichtozhenie vreditel'ej [Study of the effect of microwave power on the pests of granaries and the influence of the optimal value of power on the destruction of pests] / X International Scientific and Practical Conference. Internet-conference. "Tendencies and prospects of science and education development in the conditions of globalization". Pereyaslav Khmel'nitsky, 2016. - pp.586-587. (In Russian)

7. Sirohi, R., & Pandey, J. P. (2019). Dilute acid hydrolysis of spoiled wheat grains: Analysis of chemical, rheological and spectral characteristics. // Bioresource Technology, 283, 53–58.

8. Tuichieva D.M., Nikolaenkov T.S. Use of physical methods for preservation of grain mass [Use of physical methods for preservation of grain mass] / Collection of materials of XX Scientific and Practical Conference. Tashkent, 2011. -p. 121. (In Russian)

9. Trisvyatsky L.A., Lesnik B.V., Kurdin V.N. Hranenie i tekhnologiya sel'skohozyajstvennyh produktov [Storage and technology of agricultural products]. Hranenie i tekhnologiya sel'skohozyajstvennyh produktov. Moscow: Agropromizdat, 1991. - p. 414. (In Russian)

10. Taheri, S., Brodie, G., & Gupta, D. (2020b). Microwave fluidised bed drying of red lentil seeds. The journal of Almaty Technological University. 2023. №2. 192 Drying kinetics and reduction of botrytis grey mold pathogen. Food and Bioproducts Processing, 119, 390–401.

11. Taheri, S., Brodie, G. I., Gupta, D., & Dadu, R. H. R. (2019). Effect of microwave radiation on internal inoculum of ascochyta blight in lentil seeds at different seed moisture contents. Transactions of the ASABE, 62(1), pp. 33–43.

12. Feng, H., & Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed // Journal of Food Science, 63(4), 679–683. 11. Hassan, A. B., Pawelzik, E., & von Hoersten, D. (2021). Effect of microwave heating on the physicochemical characteristics, colour and pasting properties of corn (*Zea mays* L.) grain // LWT-Food Science and Technology, 138, 110703

13. Bucsell, B., Tak'acs, 'A., Vizer, V., Schwendener, U., & T'om'osk'ozi, S. (2016). Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. Food Chemistry, 190, 990–996.

14. Vadivambal, R., Jayas, D. S., & White, N. D. G. (2007). Wheat disinfestation using microwave energy. Journal of Stored Products Research, 43(4), 508–514.

15. Vasilev, A.A., Vasilev, A.N. & Samarin, G. (2019, September). Substantiation of automated control modes for grain disinfection / In International Russian Automation Conference (RusAutoCon) (pp. 1-6). IEEE.

16. G'omez, M., & Mart'inez, M. M. (2016). Changing flour functionality through physical treatments for the production of gluten-free baking goods // Journal of Cereal Science, 67, pp. 68–74.

ОӘК 65.59.03  
ҒТАМА 65.59.29

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-116-124>

## ЕТ ӨНІМДЕРІ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ЭКСТРУДТАЛҒАН АҚУЫЗ ТЕКСТУРАЛАРЫН ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

<sup>1</sup>К.М. БУКАРБАЕВ , <sup>2</sup>В.Н. ВАСИЛЕНКО , <sup>1</sup>Ш.А. АБЖАНОВА ,  
<sup>1</sup>А.Ч. КАТАШЕВА , <sup>1</sup>А.А. КУЛАИПБЕКОВА\* 

(<sup>1</sup> АҚ «Алматы технологиялық университеті», Қазақстан, 050012, Алматы қ., Толе би к-сі., 100

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Россия 394036, Воронеж қ., пр. Революции, д.19)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: ak04erke22@gmail.com\*

*Экструдталған ақуыз текстураларын өндіру процесінде орталық композициялық форманы айналмалы жоспарды қолдана отырып, көп факторлы экспериментті жоспарлау әдістемесі қарастырылды. Жұмыста Экстракция кинетикасының негізгі факторларға (қабаттың биіктігі, еріткіштің қозғалыс жылдамдығы, бөлшектердің қасиеттері) және параметрлерге (ішкі диффузия коэффициенті және бойлық араластыру коэффициенті) тәуелділіктерін алу үшін экстракция процесінің қабатында масса алмасудың математикалық моделі құрылды. Зерттеу нысаны ретінде қарасора ақуыз концентраты қолданылды. Қарасора-бұл шын мәнінде керемет өсімдік, ол өзінің қасиеттеріне байланысты өңдеу өнеркәсібінің әртүрлі салаларында қолданылады, сонымен қатар майлар, тұқымдар, ақуыз қоспалары түріндегі көпфункционалды тамақ өнімі болып табылады. Қарасора ақуызға бай ғана емес, сонымен қатар бізді табиғи тағамдық талшықтармен және пайдалы май қышқылдарымен қамтамасыз етеді, бұл қарасора ақуызы өнімдерін вегетариандықтар мен вегетариандықтар үшін пайдалы тағамдық балама етеді. Осы қасиеттеріне орай біз қарасорадан таза экструдталған ақуыз*

текстураларын пайдалануды жоспарладық және пайдалану сәйкестігін табу үшін математикалық модель жасадық.

Негізгі сөздер: математикалық модель сәйкестік, жоспар ядросы, жұлдыз нүктелері, матрица, регрессия коэффициенті, дисперсия, критикалық, онтайландыру параметрі.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРУДИРОВАННЫХ БЕЛКОВЫХ ТЕКСТУР В ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

<sup>1</sup>К.М. БУКАРБАЕВ, <sup>2</sup>В.Н. ВАСИЛЕНКО., <sup>1</sup>Ш.А. АБЖАНОВА,  
<sup>1</sup>А.Ч.КАТАШЕВА, <sup>1</sup>А.А.КУЛАЙПБЕКОВА\*

(<sup>1</sup>АО «Алматинский технологический университет», Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Толе би 100  
<sup>2</sup>Воронежский государственный университет инженерных технологий,  
Россия 394036, г. Воронеж, пр. Революции, д.19)  
Электронная почта автора корреспондента: erema\_gera@mail.ru\*

*В процессе производства текстур экструдированных белков метод многогранного экспериментального планирования рассматривался с использованием плана рецидивов центральной композиции. Была создана математическая модель массового обмена в слое процесса экстракции для получения основных факторов кинетики экстракции (слой слоя, скорость растворителя, частицы и коэффициент продольного смешивания) к параметрам (коэффициенты внутренней диффузии). Концентрат белка карасора использовали в качестве объекта исследования. Карасора - это действительно замечательное растение, которое используется в различных областях производства, а также multifunctional продукты в виде жиров, семян, белков. Карасора обеспечивает не только богатым белком, но с природными пищевыми волокнами и здоровыми жирными кислотами, что делает белки канасоры полезными для вегетарианства и вегетарианцев. Из-за этих качеств мы планируем использовать чистые экструдированные текстуры белка из Карасоры и разработали математическую модель, чтобы найти соответствующее использование.*

Ключевые слова: соответствие математической модели, точки плана, звездные точки, матрица, коэффициент регрессии, дисперсия, критическая настройка оптимизации.

## MODELING AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESS OF EXTRUDED PROTEIN TEXTURES IN MEAT PRODUCTS TECHNOLOGY

<sup>1</sup>K. BUKARBAYEV, <sup>1</sup>SH.A. ABZHANOVA, <sup>2</sup>V.N. VASILENKO, <sup>1</sup>A.CH. KATASHEVA,  
<sup>1</sup>A.A. KULAIPEKOVA

(<sup>1</sup>Almaty Technological University, Kazakhstan, 050012, Almaty, Tole bi str., 100  
<sup>2</sup>Voronezhsky State University of Engineering Technology, Russia 394036, Voronezh, pr. Revolution, d.19)  
Corresponding author e-mail: erema\_gera@mail.ru\*

*In the production of extruded protein textures, the method of multifaceted experimental planning was considered using the recurrence plan of the central composition. The work created a mathematical model of mass exchange in the extraction process layer to obtain the main factors of extraction kinetics (layer, solvent velocity, particles, and longitudinal mixing coefficient) to parameters (internal diffusion coefficients). Carasora protein concentrate was used as the object of the study. Carasora is a wonderful plant, which is used in various fields of production, as well as multifunctional food products in the form of fats, seeds, and proteins. Carasora provides not only rich protein, but also natural dietary fiber and healthy fatty acids, which makes carasora proteins useful for vegetarians and vegans. Because of these qualities, we plan to use pure extruded protein textures from carasora and have developed a mathematical model to find appropriate uses.*

Keywords: mathematical model fit, plan points, star points, matrix, regression coefficient, variance, critical optimization setting.

### Кіріспе

Ауыл шаруашылығы шикізатын қайта өңдеудің неғұрлым перспективалы тәсіл-

дерінің бірі қазіргі уақытта агроөнеркәсіптік кешеннің қайта өңдеу салаларында басым болып саналатын экструзия процесі болып

табылады. Бұл процесс шикізат түрлері бойынша да, дайын өнімдер мен жартылай фабрикаттар үшін де әмбебап болып саналады. Экструзия технологиясының бір бағыты-тамақ және жем текстураларын өндіру. Термопластикалық экструзияның әсерінен шикізаттың ақуыз компоненттері денатурацияланады, ал макромолекулалардың ішкі байланыстары қайта топтастырылады [1].

Тамақ өнеркәсібінде экструзия техникасын қолдану қазіргі уақытта көптеген технологиялық процестерді күшейтіп қана қоймай, сонымен қатар дәстүрлі тағамдарды байыту үшін қолданылатын текстуралардың жаңа тағамдық композицияларын жасауға мүмкіндік береді. Тағам текстурасы өндірісінің даму тенденциялары, сондай-ақ оларды сатудың әлеуетті нарығын талдау болашақта осы түрдегі өнімдерді құрамалас ет өнімдерін жобалау кезінде маңызды орын алатынын көрсетеді [2,3].

Ет толтырғыштары майсыздандырылған бұршақ ұнын немесе ұнды экструдтау процесінде алынады, текстураланған тағамдық ақуыздардың көп бөлігін құрайды; бұл өнімдер етпен немесе ет эмульсияларымен толтырғыш ретінде 20-30% деңгейде немесе одан жоғары деңгейде қосып араластырылады. Ет аналогтарының сыртқы түрі, құрылымы және дәмі бойынша етке ұқсас болады. Олар бұлшықет тініне ұқсас қабатты құрылымға ие, бірақ өнімдер ассортиментін кеңейту және балама шешімдерді іздеу арзан және функционалды аналогтарды іздеуге мәжбүр етеді [4].

Қарасора ақуызының тағамдық құндылығы мен қолданылуы ақуыздың құрылымы мен функционалдық қасиеттерімен тығыз байланысты. Азық-түлік өндірушілері гранола, энергетикалық батондар, макарон өнімдері, балмұздақ, сүт және т.б. сонымен қатар, тұқымдар текстурасы бойынша сапаны

жақсарту үшін қоспаның функционалды ингредиенті ретінде пайдалануға болатын өнімдер жасалды. Қарасораның артықшылықтары зерттелгенімен, бұл дақыл туралы әлі де көп нәрсе білуге болады. Қарасора тұқымдарының қасиеттері және олардың тамақ - жем ретінде өзара әрекеттесуі болашақта қабылданып, заңды түрде пайдалануға әсер етеді. Қазіргі уақытта Еуропалық Одақ қарасора тұқымын тек тамақ өнеркәсібінде қолдануды мақұлдады. Осы шарттарға сәйкес тек май, ақуыз және ұнды ингредиент ретінде заңды түрде қосуға немесе тамақ өнімі ретінде пайдалануға болады [5].

### *Зерттеу материалдары мен әдістері*

Қойылған мақсатты шешу үшін көп факторлы эксперименттің математикалық жоспарлау әдістері қолданылды: математикалық жоспарлаудың полином түрінде әдісі ұсынылады.

Эмпирикалық математикалық модельді алу үшін орталық композициялық формаларға-екінші ретті айналмалы жоспарға сәйкес  $2^4$  факторлық эксперимент жүргізіледі. Тәжірибелердің реті бақыланбайтын параметрлердің эксперимент нәтижелеріне әсерін болдырмайтын кездейсоқ сандар кестесі арқылы таңдалады. Эксперименттік деректер Mathcad 15 бағдарламалық жасақтамасымен өңделеді [15].

Эксперимент нәтижелерін өңдеу кезінде келесі статистикалық критерийлер қолданылды: дисперсиялардың біртектілігін тексеру - Кохрен критерийі, регрессия теңдеулерінің коэффициенттерінің маңыздылығы-Стьюдент критерийі, теңдеулердің сәйкестігі-Фишер критерийі.

Математикалық моделі эксперименттерге негізделген статистикалық әдістермен табылған регрессия теңдеуі түрінде болады. Зерттелетін процестің математикалық моделі екінші дәрежелі полином түрінде ұсынылады [12,13] және келесі формуламен анықталады.

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

Эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу жүргізілді [6].

Скалярлық оңтайландыруға бір критерийді (негізгі) бөліп көрсету және қалғандарын шектеулер санатына аудару немесе мақсатты критерийлердің жиынтығы түрінде жаһандық критерий құру арқылы аламыз. Бұл жұмыста өлшемелі әдіс қолданылады.

### *Нәтижелер және оларды талқылау*

Қазақстан Республикасында қарасораны өңдеу дамудың бастапқы кезеңдерінде тұр. Ішкі нарықта қарасора өнімдерін өндірушілерде бәсекелестік жоқ, дегенмен оған сұраныс көп. Қайта өңдеу бағытын дамыту сапалы шикізат өндіру көлемін ұлғайту және заманауи өндірістік

куаттарды іске қосу кезінде ғана мүмкін береді. Акуыз текстураларын өндіру үшін қарасора акуызының концентратын қолданған жөн, ол майларды суық сығып алғаннан кейін қарасора тұқымынан алынады. 100 микроннан аз бөлшектерге дейін ұнтақтау және инерциялық сепарациялау арқылы тазартылған жоғары акуызды өнім алынады, ол бастапқы құрамын толығымен сақтайды, өйткені ол температуралық немесе химиялық өндеуден өтпейді [7,8].

Экструзия – бұл жылу мен масса алмасудың күрделі процесі, оның барысында жоғары температура мен қысымның әсерінен тері энергиясының жылу энергиясына ауысуы жүреді, бұл материалдың сапалық көрсеткіштеріндегі әртүрлі тереңдіктегі өзгерістерге әкеледі (акуыздардың денатурациясы, крахмалдың желімделуі және басқа биохимиялық өзгерістер) [9]. Өзгерістердің сипаты мен тереңдігі және олардың өнім сапасына әсері экструзия процесінің режиміне және оның ұзақтығына байланысты. Бұл үшін экструзия процесін сәндеудің басым нәтижесін оңтайландыру – бұл процестің ең жақсы немесе оңтайлы шарттарын таңдау. Бұл шарттардың анықтамасы бірқатар параметрлердің (мысалы, температура, қысым және т.б.) оңтайлы мәндеріне тәуелді болуы мүмкін оңтайландыру критерийін таңдаумен байланысты. Көрсетілген параметрлер арасында әдетте күрделі байланыс болғандықтан, бұл процестің тиімділігін жан-жақты сипаттайтын бірыңғай критерийді таңдауды қиындатады [10,11].

Зерттеу нысаны ретінде қарасора акуыз концентраты қолданылды. Қарасора тұқымдары денсаулыққа және ықтимал емдеуге

бірқатар әсерлермен байланысты. Қарасора тұқымдары қатерлі ісік, неврологиялық аурулар, иммуномодуляциялық әсерлер, асқазан-ішек жолдарының бұзылуы, липидтер алмасуы, дерматологиялық аурулар және жүрек-қан тамырлары денсаулығы сияқты созылмалы аурулардың алдын алуға көмектесетін антиоксиданттарға бай.

Қарасора өнімдері барған сайын пайдалы тағам ретінде танылуда. Тұқымдар құрамында жеңіл сіңімді акуыздар, липидтер, ПҚМҚ, ерімейтін талшықтар мен көмірсулар көп болатын пайдалы диеталық көз болып табылады. Олар омега-6 ПҚМҚ-дан омега-3 ПҚМҚ-ға дейін қолайлы арақатынасқа ие, адамның тамақтануына өте қолайлы және жүрек-қан тамырлары аурулары, экзема, іш қату, атопия және қатерлі ісік ауруларына және басқа ауруларға көмектеседі. Қарасора өсімдік затын әртүрлі тағамдарды дайындау үшін пайдалануға болады. Қарасора өнімі құрамында қарасора компоненттері бар және медициналық тәжірибеде майлар, маймен толтырылған капсулалар немесе тұнбалар түрінде тұтынылуы мүмкін тағамдық өнім.

Экструзия процесіне әсер ететін әртүрлі факторлардың өзара әрекеттесуін зерттеу үшін экспериментті жоспарлаудың математикалық әдістері қолданылды. Бұл процестің математикалық сипаттамасы эмпирикалық болуы мүмкін. Сонымен қатар, оның математикалық моделі эксперименттерге негізделген статистикалық әдістермен табылған регрессия теңдеуі түрінде болады. Зерттелетін процестің математикалық моделі екінші дәрежелі полином түрінде ұсынылады [12,13].

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

мұндағы:

$b_0$  – қарастырылып отырған факторлар орташа, «нөлдік» деңгейлерде болған жағдайда жауаптың орташа мәніне тең теңдеудің еркін мүшесі;

$x$  – жауап функциясын анықтайтын және өзгеруге болатын факторлардың ауқымдалған мәндері;

$i, j$  – факторлардың индекстері;

$b_i$  – сызықтық терминдердегі коэффициенттер;

$b_{ij}$  – екі факторлы өзара әрекеттесу коэффициенттері, екіншісінің шамасы

өзгерген кезде бір фактордың әсер ету дәрежесі қаншалықты өзгертетінін көрсететін;

$b_{ii}$  – қарастырылатын факторлардан сызықтық емес шығу параметрін анықтайтын квадраттық әсерлердің коэффициенттері,  $N$  жоспарлау матрицасындағы факторлардың саны.

Қарасора акуызының концентратының экструзия процесіне әсер ететін негізгі факторлар ретінде таңдалды:

$x_1$  – өнімнің бастапқы ылғалдылығы, %;

$x_2$  – шнектің айналу жиілігі,  $c^{-1}$ ;

$x_3$  – құрылымдық параметр (шнектің ішкі диаметрінен сыртқы диаметріне дейін);

$x_4$ -матрица алдындағы қысым, аймақ, МПа.

Осы факторлардың барлығы үйлесімді және өзара байланысты емес, өзгеру шектері 1 кестеде келтірілген [14].

Кесте 1 – Кіріс факторларының өзгеру шектері

Жоспарлау шарттары	Факторлардың өзгеруі			
	$x_1, \%$	$x_2, \text{с}^{-1}$	$x_3$	$x_4$
Негізгі деңгей	16	8	0,86	6
Өзгеру аралығы	2	1	0,01	1
Жоғарғы деңгей	18	9	0,87	7
Төменгі деңгей	14	7	0,85	5
Жоғарғы «жұлдыз нүктесі»	20	10	0,88	8
Төменгі «жұлдыз нүктесі»	12	6	0,84	4

Факторлардың өзгеру аралықтарын таңдау қарасора ақуызының концентратын экструзиялау процесінің технологиялық жағдайларына, экструзия қондырғысының техникалық сипаттамаларына байланысты. Экструзия процесіне әр түрлі факторларының критерийлерінің әсерін бағалау ретінде келесі таңдалды:  $Y_1$  – экструзия процесіне энергия шығыны, кДж / кг;  $Y_2$  – меншікті өнімділік, кг/сағ;  $Y_3$  – сапаның кешенді көрсеткіші (PDA) [14].

Эмпирикалық математикалық модельді алу үшін орталық композициялық формаларға екінші ретті айналмалы жоспарға сәйкес  $2^4$  факторлық эксперимент жүргізілді. Тәжірибелердің реті бақыланбайтын параметрлердің

эксперимент нәтижелеріне әсерін болдырмайтын кездейсоқ сандар кестесі арқылы таңдалды. Эксперименттік деректер Mathcad 15 бағдарламалық жасақтамасымен өңделді [15].

Эксперимент нәтижелерін өңдеу кезінде келесі статистикалық критерийлер қолданылды: дисперсиялардың біртектілігін тексеру-Кохрен критерийі, регрессия теңдеулерінің коэффициенттерінің маңыздылығы-Стьюдент критерийі, теңдеулердің сәйкестігі-Фишер критерийі.

Эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу нәтижесінде зерттелетін факторлардың әсерінен осы процестің сәйкестігін сипаттайтын регрессия теңдеулері алынды:

$$Y_1 = 0,159 + 2,705 x_1 + 6,167 x_2 - 1,25 x_3 + 4,143 x_4 - 0,262 x_1 x_2 + 6,735 x_1 x_3 - 1,2 x_1 x_4 + 2,353 x_2 x_3 - 2,729 x_2 x_4 - 7,059 x_3 x_4 + 1,421 x_1 x_2 x_3 + 1,486 x_1 x_2 x_4 + 1176 x_1 x_3 x_4 + 4,706 \cdot 10^4 x_2 x_3 x_4 - 2,941 x_1 x_2 x_3 x_4 - 5,978 \cdot 10^{-2} x_1^2 - 0,8262 x_2^2 - 1,753 x_3^2 - 4,565 \cdot 10^5 x_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 47,3 + 4,164 \cdot x_1 + 4,275 \cdot x_2 - 1,441 \cdot x_3 + 4,291 \cdot x_4 - 4,49 \cdot x_1 x_2 - 8,475 \cdot x_1 x_3 - 1,205 \cdot x_1 x_4 - 2,212 \cdot x_2 x_3 - 0,123 x_2 x_4 - 4,779 x_3 x_4 + 0,78 \cdot x_1 x_2 x_3 + 2,152 \cdot x_1 x_2 x_4 + 0,325 x_1 x_3 x_4 + 1,506 x_2 x_3 x_4 - 0,382 x_1 x_2 x_3 x_4 - 0,05 \cdot x_1^2 - 7,843 \cdot x_2^2 + 0,337 x_3^2 + 9,29 x_4^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 9,7 + 1,196 x_1 + 3,020 x_2 - 2,854 x_3 + 3,478 x_4 - 1,103 x_1 x_2 + 9,926 x_1 x_3 + 3,512 x_1 x_4 + 3,481 x_2 x_3 - 6,534 x_2 x_4 + 4,264 \cdot x_3 x_4 - 0,753 x_1 x_2 x_3 + 2,797 x_1 x_2 x_4 - 1,328 x_1 x_3 x_4 + 2,235 \cdot 10^4 x_2 x_3 x_4 - 1,471 x_1 x_2 x_3 x_4 - 3,117 \cdot x_1^2 - 1,135 x_2^2 - 7,2 x_3^2 - 1,988 \cdot x_4^2 \quad (3)$$

Регрессия теңдеулерін талдау (1) - (3) қарастырылып отырған процеске ең көп әсер ететін факторларды анықтауға мүмкіндік береді. Меншікті энергия шығындарына ең үлкен әсер матрица алдындағы аймақтағы қысым, ең азы - өнімнің бастапқы ылғалдылығы. Шнектің айналу жиілігі меншікті өнімділікке ең үлкен әсер етеді, ең азы - дизайн параметрі. Кешенді сапа көрсеткішіне өнімнің бастапқы ылғалдылығы үлкен әсер етеді, ең азы - шнектің айналу жиілігі.

Алынған барлық теңдеулер (1) - (3) сызықты емес. Осылайша, отыз екі тәжірибені орындау нәтижесінде факторлардың әсері туралы ақпарат алынды және процестің математикалық моделі құрылды, бұл белгілі бір энергия шығындарын, ісіну коэффициентін және кіріс факторларының таңдалған аралықтарындағы ылғалдың булану қарқындылығын есептеуге мүмкіндік береді.

Оңтайландыру міндеті келесідей тұжырымдалған: максималды үлестік өнімділікті

және минималды энергия шығындарымен сапаның кешенді көрсеткішін қамтамасыз ететін экструдердің жұмыс режимін табу. Оңтайландыру

мәселесінің жалпы математикалық тұжырымы келесі модель түрінде ұсынылған:

$$\begin{aligned}
 q &= q(y_1, y_2, y_3) \xrightarrow{x \in D} \max \\
 D: y_1(x_1, x_2, x_3, x_4) &\xrightarrow{x \in D} \min \\
 y_2(x_1, x_2, x_3, x_4) &\xrightarrow{x \in D} \max \\
 y_3(x_1, x_2, x_3, x_4) &\xrightarrow{x \in D} \max
 \end{aligned} \tag{4}$$

Алынған регрессия теңдеулері (1) - (3) көп өлшемді кеңістіктегі кейбір жоғарғы бетін сипаттайды, ал канондық форманың коэффициенттері бойынша біз бұл жоғарғы беттің қандай дене түріне жататынын анықтаймыз.

$x_{is}$  орталығының координаттары регрессия (1) - (3) теңдеулерін  $x_1, x_2, x_3, x_4$  бойынша саралау және туындыларды нөлге

теңестіру нәтижесінде алынған теңдеулер жүйесінен табылды. (1) - (3) теңдеулері бойынша  $x_{is}$  орталығының координаттарын біле отырып, оларға сәйкес оңтайландыру параметрлерінің мәндерін анықтады. Есептеу нәтижелері 2 кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Кіріс факторларының оңтайлы мәндері

$y_i$	$x_{1s}$	$x_{2s}$	$x_{3s}$	$x_{4s}$	$y_s$
$y_1$	0,025	6,370	12,464	0,207	0,709
$y_2$	0,477	1,050	0,513	-2,514	1,130
$y_3$	-0,402	-3,071	5,812	7,983	-0,011

3 кестеде барлық зерттелетін Шығыс факторлары үшін  $x_i$  параметрінің оңтайлы өзгеру аралықтары жинақталған.

Кесте 3 – Оңтайлы параметр интервалдары

$y$	$x_1, \%$		$x_2, c^{-1}$		$x_3$		$x_4, МПа$	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
$y_1$	19,3	25,4	7,25	10,34	0,932	0,976	6,21	9,63
$y_2$	16,3	18,7	6,12	7,15	0,854	0,891	4,97	6,78
$y_3$	11,9	16,4	7,34	8,16	0,833	0,859	5,80	7,03

Оңтайландыру критерийіне сәйкес (4) зерттелетін процесің оңтайлы режимдерін таңдау бойынша түпкілікті шешім қабылдау үшін кестеде көрсетілген оңтайлы мәселелерді қою арқылы ымыраға келу мәселесін шешу қажет, 3- кестеде параметрлерінің бір-біріне  $x_i$  аралықтары көрсетілген.

Мұндай интервал  $x_4$  параметрі үшін - матрица алдындағы аймақтағы қысым-6,21 болды...6,78 МПа көрсетті.

Басқа тәуелсіз айнымалылар:  $x_1$ - өнімнің бастапқы ылғалдылығы,%;  $x_2$ -шнектің айналу жиілігі, айн/с;  $x_3$  - конструктивті параметр оңтайландыру критерийлеріне қатысты бір-біріне сәйкес келеді.

Оңтайландыру критерийлерінің максималды мәндеріне сәйкес келетін кіріс параметрлерінің табылған мәндері сәйкесінше бір-

біріне тең болмағандықтан, зерттелетін процесің оңтайлы режимдерін таңдау туралы түпкілікті шешім қабылдау үшін оңтайландыру критерийіне сәйкес ымыраға келу мәселесін шешу қажет.

Бұл қактығыс Парето жиынтығы деп аталатын критерийлер  $\{y\}$  кеңістігіндегі белгілі бір аймақта көрсетіледі.

Көбінесе Парето жиынтығынан белгілі бір шешім алу үшін олар векторлық оңтайландыру мәселесін скалярлық оңтайландыруға бір критерийді (негізгі) бөліп көрсету және қалғандарын шектеулер санатына аудару немесе мақсатты критерийлердің жиынтығы түрінде жаһандық критерий құру арқылы азайтады. Бұл жұмыста өлшемелі әдіс қолданылды, оның идеясы скалярлық критерийді синтездеу негізделген:

$$q(x) = q(q_1, q_2, \dots, q_k),$$

бастапқы критерийлердің функциясы ретінде және оның минимумы көп өлшемді мәселені шешуге сәйкес келеді. Содан кейін шешім әдеттегі оңтайландыруға келеді:

$$q(x) \xrightarrow{x \in D} \min$$

$q(x)$  функциясы критерийлер жиынтығы ретінде ұсынылған:

$$q(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \frac{q_i(\bar{x}) - q_{i \min}}{q_{i \max} - q_{i \min}}$$

мұнда  $\alpha_i$  - салмақ  $i$ -го критерия ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ,

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1); q_{i \max}; q_{i \min} - \text{сапа критерийлерінің}$$

минималды және максималды мәні  $q_i(\bar{x})$ .

Бұл жағдайда Парето жиыны  $\Psi$  - түрлендіру әдісімен,  $\alpha_i$  салмақ коэффициентін  $[0...1]$  интервалында өзгерту арқылы алынды.

$$\left( \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1 \right)$$

Көрсетілген әдісті қолдану нәтижесінде параметрлердің субоптикалық тіркесімі алынды:  $x_1 = 19,3\%$ ;  $x_2 = 7,15 \text{ c}^{-1}$ ;  $x_3 = 0,85$ ;  $x_4 = 6,46 \text{ Мпа}$ .

Алынған нәтижелердің дұрыстығын тексеру үшін бірқатар параллель эксперименттер қойылды, алынған нәтижелер барлық сапа критерийлері бойынша санаулы сенімділік интервалдарына түсті. Бұл жағдайда орташа квадраттық қате  $2,8\%$  - дан аспады.

#### Қорытынды

Осылайша, оңтайландырудың векторлық критерийі бар мәселені шешу екі кезеңде жүзеге асырылады-бұл ымыраға келу аймағын (Парето бойынша оңтайлы шешімдер) бөліп көрсету және оны кейбір схема негізінде одан әрі тарылту. Шешімді түпкілікті таңдау шығыс факторларының оңтайлы мәндері саласындағы зерттелетін процестің физикалық мағынасы негізінде жүзеге асырылды.

Қазіргі уақытта біздің еліміздегі тамақ өнеркәсібінің міндеттерінің бірі тұтынушыларды жоғары сапалы өнімдермен қамтамасыз ету болып табылады. Зерттеліп отырған қарасора ақуызы және текстураты ет өнімдерін өндіруде алғаш рет қолданысқа ие болып отыр. Зерттеулер нәтижесінде сәйкестікпен алынған эктрудталған ақуыз текстуралары шұжық өнімдерін өндіру процессінде қолданылды. Зерттеулер нәтижесіне сүйенсек дайын өнім көрсеткіштері қауіпсіз таза, сапалы, құрамында барлық алмастырылмайтын амин қышқыл-

дары бар, тағамдық құндылығы және дәрумендер көрсеткіші жоғары болғандығын көрсетті.

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Kochkin I.B., Eremin I.D. [Mathematical model of the extrusion process of grain crops during the non-isothermal flow of crop melting to the temperature at the beginning of the Maillard reaction] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2022, 1052(1), 012137

2. Ostrikov A.N., Afanasiev V.F., Vasilenko V.N., Kochkin I.B., Eremin I.D. [Study of the kinetic regularities of the grain extrusion process in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2022, 1052(1), 012144

3. Vasilenko V.N., Frolova L.N., Mikhailova N.A., Dragan I.V. [Innovative technology to obtain forage flour from keratin-containing waste by extrusion] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.-2021, 640(2), 022010

4. Ostrikov A., Ospanov A., Shevtsov A., Vasilenko V., Timurbekova A. [An empirical-mathematical modeling approach to explore the drying kinetics of cereals under variable heat supply using the stitched method] // Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science.- 2021, 71(9), PP. 762–771

5. Mateyev Y.Z., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Mateyeva S.Z., Kopylov M.V. [Mathematical modeling of the viscous medium flow in a conical annulus of the extruder with a dynamic matrix] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020, 12(6), PP. 720–730

6. Alexander N. Ostrikov, Abdymanap A. Ospanov, Vitaly N. Vasilenko, Nurzhan Zh. Muslimov4, Aigul K. Timurbekova and Gulnara B. Jumabekova [Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modeling. Mathematical Biosciences and Engineering] // 16(4): 2875–2905. DOI: 10.3934/mbe.2019142

7. Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Дерканосова А.А., Михайлова Н.А., Щепкина А.А. Давыдов А.М. Математическое обеспечение процесса экструдирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. - № 3- С. 37-42.

8. Магомедов А.М., Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю. Особенности конструирования пищевых продуктов специализированного назначения. – Краснодар: Издательский Дом – Юг. - 2021. 158 с.

9. Макарова Н.В., Игнатова Д.Ф., Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстрагирования на содержание фенолов, флавоноидов и уровень

антиоксидантної активності для плодів шиповника (*Rosa L.*), кори дуба (*Quercus robur L.*), корня ревеня (*Rheum officinale*), корня женьшеня (*Panax L.*), почек березы (*Betula L.*) // Химия растительного сырья, 2020. – № 3. – С. 271–278.

10. Касьянов Г.И. Технологии пищевых производств [и др.] Сушка сырья. //– М. : Издательство Юрайт, Сер. 76 Высшее образование (3-е изд., испр. и доп), 2019. – 113 с.

11. Кошевой Е.П., Михневич А.Н., Василенко В.В. Математическая модель много-ступенчатого противоточного перколяционного экстрактора. Пищевая промышленность: интеграция науки, образования и производства // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. КубГТУ. Краснодар.- 2005. - С.178-180.

12. Мишкевич Э.Ю., Запорожский А.А., Запорожская С.П. Влияние электромагнитного поля низких частот на активацию симбиотического микробного консорциума // Известия вузов. Пищевая технология. – 2016. – № 1 (349). – С. 27–30.

13. Мохаммад А., Касьянов Г.И., Касьянов Д.Г. Анализ антиоксидантных и антимикробных свойств экстрактов лекарственных растений Сирии // В сборнике: Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Пятигорск. - 2020. – С. 54–58.

14. Ван, К.; Xiong, YL Переработка, питание и функциональность белка конопляного семени: обзор. Компр. Преподобный Food Sci. Пищевая безопасность 2019, 18, 936–952.

15. Леонард, В.; Чжан, П. ; Ин, Д. ; Фанг, З. Конопляное семя в пищевой промышленности: пищевая ценность, польза для здоровья и промышленность Приложения. Компр. Преподобный Food Sci. Пищевая безопасность 2020, 19, 282–308.

#### REFERENCES

1. Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Frolova L.N., Kochkin I.B., Eremin I.D. Mathematical model of the extrusion process of grain crops during non-isothermal flow of crop melting to the temperature at the beginning of the Maillard reaction.//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2022, 1052(1), 012137

2. Ostrikov, A.N., Afanasiev, V.F., Vasilenko, V.N., ...Kochkin, I.B., Eremin, I.D. Study of the kinetic regularities of the grain extrusion process in the production of highly digestible feed with protected protein for cattle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2022, 1052(1), 012144

3. Vasilenko, V.N., Frolova, L.N., Mikhailova, N.A., Dragan, I.V. Innovative technology to obtain forage flour from keratin-containing waste by extrusion. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2021, 640(2), 022010

4. Ostrikov, A., Ospanov, A., Shevtsov, A., Vasilenko, V., Timurbekova, A. An empirical-mathematical modelling approach to explore the drying kinetics of cereals under variable heat supply using the stitched method. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science.- 2021, 71(9), PP. 762–771

5. Mateyev Y.Z., Ostrikov A.N., Vasilenko V.N., Mateyeva S.Z., Kopylov M.V. Mathematical modeling of the viscous medium flow in a conical annulus of extruder with a dynamic matrix. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020, 12(6), PP. -720–730

6. Alexander N. Ostrikov, Abdymanap A. Ospanov, Vitaly N. Vasilenko, Nurzhan Zh. Muslimov, Aigul K. Timurbekova and Gulnara B. Jumabekova Melt flow of biopolymer through the cavities of an extruder die: Mathematical modelling// Mathematical Biosciences and Engineering.- 16(4): 2875–2905. DOI: 10.3934/mbe.2019142

7. Vasilenko V.N., Frolova L.N., Derkanosova A.A., Mikhailova N.A., Schepkina A.A., Davydov A.M. Matematicheskoe obespechenie processa ekstrudirovaniya anomalno-vyazkix sred metodami planirovaniya eksperimenta / [Mathematical support for the process of extrusion of anomalous-viscous media by methods of experimental planning] // Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. - 2018. - № 3- PP. 37-42. (In Russian)

8. Magomedov A.M., Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu. Osobennosti konstruirovaniya pishevyyh produktov specializirovannogo naznacheniya / [Features of the design of food products of specialized purposes]. - Krasnodar: Publishing House-Yug, 2021. P. 158. (In Russian)

9. Makarova N.V., Ignatova D.F., Ereemeeva N.B. Vliyaniye tehnologii ekstragirovaniya na sodержaniye fenolov, flavonoidov i uroven antioksidantnoj aktivnosti dlya plodov shipovnika (*Rosa L.*), kory duba (*Quercus robur L.*), kornya revenya (*Rheum officinale*), kornya zhenshenya (*Panax L.*), pochek berezy (*Betula L.*) / [Influence of extraction technology on the content of phenols, flavonoids and the level of antioxidant activity for rosehip fruit (*Rosa L.*), oak bark (*Quercus robur L.*), rhubarb root (*Rheum officinale*), ginseng root (*Panax L.*), birch buds (*Betula L.*)] // Chemistry of vegetable raw materials. - 2020. - № 3. - PP. 271-278. (In Russian)

10. G.I. Kasyanov [et al.] Tehnologii pishevyyh proizvodstv [i dr.] Sushka syrya. / [Technologies of food production. Drying of raw materials.] // - М. :



Publishing house Yurait, Ser. 76 Higher education (3rd ed., amended and ext.).-2019. – P. 113. (In Russian)

11. Koshevoy E.P., Mikhnevich A.N., Vasilenko V.V. Matematicheskaya model mnogo-stupenchatogo protivotochnogo perkolyacionnogo ekstraktora. Pischevaya promyshlennost: integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva / [Mathematical model of multistage countercurrent percolation extractor. Food Industry: the Integration of Science, Education and Production] // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. KubGTU. Krasnodar.-2005. - PP.178-180. (In Russian)

12. Mishkevich E.Y., Zaporozhsky A.A., Zaporozhskaya S.P. Vliyanie elektromagnitnogo polya nizkih chastot na aktivaciyu simbioticheskogo mikrobnogo konsorciuma / [Influence of low frequency electromagnetic field on activation of symbiotic microbial consortium] // Izvestiya vuzov. Food technology. - 2016. - № 1 (349). - PP. 27-30. (In Russian)

13. Mohammad A., Kasyanov G.I., Kasyanov D.G. Analiz antioksidantnyh i antimikrobnyh svojstv ekstraktov lekarstvennyh rastenij Sirii / [Analysis of antioxidant and antimicrobial properties of extracts of medicinal plants in Syria] // In the collection: Modern

achievements of biotechnology. Technology, technology and packaging for the implementation of innovative projects in the food and biotechnology industry. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference. - Pyatigorsk, 2020. - PP. 54-58. (In Russian)

14. Wang, C.; Xiong, YL Pererabotka, pitanie i funkcionalnost belka konoplyanogo semeni: obzor. / [Processing, nutrition, and functionality of hemp seed protein: a review.] // Compr. Rev. Food Sci. Food Safety 2019, 18, 936-952.

15. Leonard, W.; Zhang, P.; Ying, D.; Fang, Z. Konoplyanoe seme v pishевой promyshlennosti: pischevaya cennost, polza dlya zdorovya i promyshlennost [Hemp seed in the food industry: nutritional value, health benefits, and industry applications]. Compr. Rev. Food Sci. Food Safety 2020, 19, 282-308.

МРНТИ 65.63.33

<https://doi.org/10.48184/2304-568X-2024-1-124-133>

## ТАБИҒИ ТӘТТІЛЕНДІРГІШТЕРІ БАР ЕШКІ СҮТІНЕН ДАЙЫНДАЛҒАН ЙОГУРТТЫҢ РЕЦЕПТУРАСЫН ЖЕТІЛДІРУ

А.К. МУСТАФАЕВА\* , С. ӘЛТАЙҰЛЫ , Б. КАЛЕМШАРИВ , Р. САЛЫҚОВА 

(Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан, 010011, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62)

Автор-корреспонденттің поштасы: ayaulym.mustafa@mail.ru\*

*Мақалада ешкі сүтінен дайындалған йогурттың органолептикалық, физика-химиялық көрсеткіштеріне талдау жүргізіліп, өнімнің құрамындағы биологиялық белсенді және тағамдық қоспаларды анықтау үшін жүргізілген зерттеулердің нәтижелері көрсетілген. Зерттеу жұмысының мақсаты-табиғи тәттілендіргіші бар ешкі сүтінен жасалған йогурт рецептурасын жетілдіру. Тазартылған ақ қантты табиғи тәттілендіргіштермен алмастыра отырып, ешкі сүтінен йогурт дайындалып, оның органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері зерттелді. Бұл жұмыстың практикалық маңыздылығына тоқталсақ: қант қалыпты мөлшерде тұтыну аздағанда пайдалы, яғни қан айналымын қалпын келтіруге, ми процесінің белсенділігін арттыруға ықпал етеді және энергия көзі болып табылады. Бірақ шамадан тыс тұтыну семіздікке әкелетінін, сонымен қатар жүрек-қан тамыр ауыруларын, диабет және қатерлі ісік ауруларын тудыратынын ескерсек бұл күрделі мәселенің бірі және оны шешу үшін рецептураға сәйкес ақ қанттың орнына аздағанда зиянсыз, өсімдік тектес тәттілендіргіштер қолдана отырып, қантсыз ешкі сүтінен йогурт алу әдісі ұсынылады. Табиғи тәттілендіргіштер қосылған йогуртты дайындау процесінің параметрлік сұлбасы ұсынылды. Стевия мен эритритол сығындылары қосылған ешкі сүтінен жасалған йогурттың органолептикалық көрсеткіштері мен физика-химиялық қасиеттері йогурттарға қойылатын талаптарға сәйкес келетіні анықталды. Зерттеулер нәтижесінде эритритол мен стевияның табиғи тәттілендіргіштерін қолдана отырып ешкі сүтінен дайындалған йогуртты өндіру технологиясы жасалды, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары өнім алынды.*

**Негізгі сөздер:** йогурт, стевия, эритритол, тәттілендіргіш, ешкі сүті.