

Пустовалов Евгений Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Прикладная геодезия, природообустройство и водопользование», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 40002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: pustovalov-evgeniy@mail.ru.

Author's Information

Denisova Maria Alekseevna, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: masha2008-1988@mail.ru.

Ovchinnikov Aleksey Semenovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor head of the department of "Applied geodesy, environmental management and water use", Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: oas_volgau@mail.ru.

Bocharnikov Viktor Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: bocharnikov_vs@mail.ru.

Bocharnikova Olesya Vladimirovna, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Applied Geodesy, Natural Development and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: olesya.bocharnikova@mail.ru.

Kozinskaya Olga Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: kozinska1977@mail.ru.

Pustovalov Evgeniy Vasilievich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Geodesy, Environmental Management and Water Use, Volgograd Agrarian University (Russian Federation, 40002, Volgograd, Universitetskiy prospect, 26), e-mail: pustovalov-evgeniy@mail.ru.

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51

OPTIMIZATION OF THE DRYING PROCESS OF GLUTEN-FREE PASTA FROM NON-TRADITIONAL FLOUR RAW MATERIALS: MATHEMATICAL MODELING

A. I. Kabylda, A. S. Kazhybekova, Zh. Z. Urazbayev, N. M. Kerimbekova

*Astana branch of LLP «Kazakh research institute of processing and food industry»
Astana, Kazakhstan*

Corresponding author E-mail: anara121579@gmail.com

Received 22.05.2023

Submitted 30.11.2023

The research was carried out within the framework of the scientific and technical program of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan for 2021-2023 BR10764977 "Development of modern technologies for the production of dietary supplements, enzymes, starter cultures, starch, oils, etc. in order to ensure the development of the food industry"

Summary

In the process of work, the drying temperature of pasta from 50 °C to 60 °C and the drying time from 105 to 110 minutes, during which the drying process of pasta is carried out at optimal humidity values. This model describes the drying process in real form and ensures the convergence of calculations with observations. The model was used to develop a temporary drying protocol for belt conveyor dryers with phased heat supply.

Abstract

Introduction. The drying procedure is the key to obtaining pasta of a given quality and at a certain price. However, the existing models are mainly intended to describe the drying process in a stationary state. **Materials and methods.** The mathematical model of gluten-free pasta drying based on non-traditional raw materials allows us to determine the temperature and humidity gradient curve for tubular pasta. **Results and conclusions.** Thus, a mathematical model was built that allowed to set their optimal values in the right amount, the best settings for minimizing the cost of thermal energy while

maintaining good quality of the dried product are with indicators such as the humidity of pasta (w_m , %) up to 10, the drying temperature of pasta from 50 °C to 60 °C and the drying time from 105 to 110 minutes, during which the drying process of pasta is carried out at optimal humidity values. This model describes the drying process in real form and ensures the convergence of calculations with observations. The model was used to develop a temporary drying protocol for belt conveyor dryers with phased heat supply. The analysis of three-dimensional spatial models shows that in the field of optimal search, the values necessary for the optimality of the optimization criterion are achieved. This means that the degree of change in input factors is taken into account when planning experiments. The following graphs show the optimal ranges of variable values of the drying agent temperature (T_a , °C) and drying time (t_d , min), at which the pasta drying process is most effective, the humidity values are optimal. The dependences $y_n=f(T_a, t_d)$, given from the variables T_a and t_d that determine the drying process, allow us to predict with sufficient accuracy the change in the value of w_m (%) in the studied range of values. At the same time, it is possible to determine the predominant influence of each factor on the efficiency of drying raw pasta from non-traditional ingredients. This information is then used to approximate the kinetics of the technological process in the drying device. Adjustment and optimization of a variety of parameters in the production of pasta led to optimal values of these parameters in the required amount: pasta humidity (wt.%) from 10 to 15, drying temperature from 50 °C to 60 °C and drying time from 105 minutes to 110 minutes.

Key words: rate of pasta drying, functional nutrition, gluten-free products, non-traditional raw materials, food value of pasta, pasta recipe.

Citation. Kabylda A. I., Kazhybekova A. S., Urazbayev Zh. Z., Serikbai G. S. Optimization of the drying process of gluten-free pasta from non-traditional flour raw materials: mathematical modeling. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 507-518 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

УДК 664.8:577.112.6:519.6

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕТРАДИЦИОННОГО МУЧНОГО СЫРЬЯ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. И. Кабылда, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель проекта

А. С. Кажыбекова, бакалавр техники и технологии, научный сотрудник

Ж. З. Уразбаев, доктор технических наук, научный сотрудник

Н. М. Керимбекова, магистр сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Астанинский филиал ТОО "Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности"

г. Астана, Казахстан

Исследования проводились в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2021-2023 годы BR10764977 «Разработка современных технологий производства БАДов, ферментов, заквасок, крахмала, масел и др. в целях обеспечения развития пищевой промышленности»

Актуальность. Процедура сушки является ключом к получению макаронных изделий заданного качества и по определенной цене. Однако существующие модели в основном предназначены для описания процесса сушки в стационарном состоянии. **Материалы и методы.** Математическая модель сушки макаронных изделий без глютена на основе нетрадиционного сырья позволяет определить кривую градиентов температуры и влажности для трубчатых макаронных изделий. **Результаты и выводы.** Таким образом, была построена математическая модель, позво-

лившая установить их оптимальные значения в нужном количестве, самыми наилучшими настройками для минимизации затрат тепловой энергии при сохранении хорошего качества высушиваемого продукта является с такими показателями, как влажность макаронных изделий (wm, %) до 10, температура сушки макаронных изделий от 50 °С до 60 °С и время сушки от 105 до 110 минут, в течение которых процесс сушки макаронных изделий осуществляется при оптимальных значениях влажности. Эта модель описывает процесс сушки в реальном виде и обеспечивает сходимость расчетов с наблюдениями. Модель была использована для разработки протокола временной сушки для ленточных конвейерных сушилок с поэтапной подачей тепла.

Ключевые слова: скорость сушки макаронных изделий, функциональное питание, безглютеновые продукты, нетрадиционное сырье, пищевая ценность макаронных изделий, рецептура макаронных изделий.

Цитирование. Кабылда А. И., Кажыбекова А. С., Уразбаев Ж. З., Серикбай Г. С. Оптимизация процесса сушки безглютеновых макаронных изделий из нетрадиционного мучного сырья: математическое моделирование. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 507-518. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-51.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. На сегодняшний день дефицит микроэлементов (минералов и витаминов) в рационе населения признан проблемой мирового уровня. Это характерно для всех стран мира – Африки, Азии, Европы и Америки. По мнению экспертов ВОЗ, дефицит микронутриентов (натуральных белков) станет главным кризисом (проблемой) в питании населения мира в XXI веке [1].

Производство безглютеновых макаронных изделий во всем мире является одним из самых перспективных направлений создания инновационных продуктов. Макароны из нетрадиционных ингредиентов имеют ряд преимуществ перед другими видами муки: обладают высокой усвояемостью основных питательных веществ, высокими потребительскими свойствами, длительным сроком хранения, недороги и доступны всем слоям населения [2]. Это имеет особое значение, поскольку современные тенденции в производстве макаронных изделий вызывают интерес к использованию безглютеновых ингредиентов для производства диетических макаронных изделий. В состав этого сырья входит мука, полученная из различных злаков (гречневая, рисовая, кукурузная, ячневая, сорго, овсяная и др. Некоторые из них одновременно повышают биологическую и пищевую ценность продуктов [3]. Эти добавки также сохраняют первичные материалы и повышают их эффективность [4].

Традиционно в качестве сырья для производства макаронных изделий используются твердые сорта пшеницы, которые считаются низкопитательными. В связи с этим можно повысить пищевую ценность макаронных изделий, заменив ингредиенты на пшеницу, кукурузу, просо, гречку, ячмень или овес, а также другие крупы, химически отличающиеся от традиционных ингредиентов (Ким и др., 2017). В результате производство макаронных изделий на основе нетрадиционных ингредиентов является одним из наиболее перспективных направлений создания функциональных продуктов.

Таким образом, обзор текущего состояния макаронной промышленности свидетельствует о том, что отрасль характеризуется динамичным развитием. С каждым годом происходит увеличение производственных мощностей. Основной прирост мощностей происходит преимущественно за счет расширения и реконструкции существующих производственных мощностей, их технического перевооружения, а также посто-

янного расширения ассортимента выпускаемой продукции (Шнейдер, 2012). Стоит отметить высокое качество выпускаемой продукции, характеризующееся отличными потребительскими свойствами. А высококачественное отечественное сырье делает макаронные изделия отечественных предприятий конкурентоспособными на рынках соседних стран и может составить конкуренцию в Центральноазиатском регионе.

Результаты исследований. Макароны, приготовленные из нетрадиционных зерновых ингредиентов, были использованы в качестве объекта исследования для изучения процесса сушки. Тесто для макарон было создано по трем рецептам (таблица 1) из нетрадиционных зерновых ингредиентов. В то же время было добавлено 25% кукурузного крахмала для изменения реологических свойств теста. Тесто, полученное в результате брожения макарон, отличалось от других макаронных масс тем, что замешивалось под большим углом, влажностью 28-38%, состояло из муки, кукурузного крахмала и воды. С тестом непрерывно манипулировали, пока не была получена пластичная масса.

Таблица 1 – Рецептура мучной смеси для приготовления теста для макаронных изделий с содержанием кукурузного крахмала 25%

Table 1 – Recipe of flour mixture for making pasta dough with a corn starch content of 25%

№	Название сырья	Ценности, %	Расчетная питательная ценность смеси
Рецепт №1			
1	кукуруза	33.33	белок – 18,028%; крахмал – 60,256%; клетчатка – 8,076%; жир – 8,61%; зола – 3,664%; энергетическая ценность – 405,847 ккал
2	гречка	33.33	
3	нут	16.67	
4	соя	16.67	
Рецепт №2			
1	кукуруза	50.0	белок – 17,824%; крахмал – 63,076%; клетчатка – 6,684%; жир – 8,348%; зола – 2,946%; энергетическая ценность – 408,028 ккал
2	гречка	16.67	
3	нут	16.67	
4	соя	16.67	
Рецепт №3			
1	кукуруза	35.0	белок – 18,5%; крахмал – 56,7%; клетчатка – 13,23%; жиры – 7,76%; зола – 5,34%; энергетическая ценность – 406,07 ккал
2	нут	15.0	
3	гречка	33.3	
4	соя	16.7	

Тесто для макарон формировалось на первой ступени шнека в камере прессования. Под действием лопасти шнека порошкообразная субстанция постепенно уплотнялась и формовалась. На втором этапе тесто для макарон выдавливается и экструдировается через контейнеры. В результате выдавливания получали трубчатые макаронные изделия в форме трубочек.

После придания макаронам определенной формы начинался процесс сушки макарон. Кроме того, визуальное представление физического процесса сушки макаронных изделий аналогично таковому для других пористых капилляров, результат следующий: первая стадия характеризуется неуклонным снижением содержания влаги в пищевых материалах по мере более глубокого удаления влаги, вторая стадия характеризуется снижением скорости сушки, обезвоживается белковая составляющая продукта,

эта часть продукта сильнее удерживает влагу, чем крахмал. Предпоследний этап – третий и последний процесс сушки. Крайне важно следить за тем, чтобы напряжения сдвига не превышали допустимого предела. Это связано с тем, что продукты в данный момент находятся в состоянии эластичности, и любой излишек приведет к распаду структуры макаронных изделий. В этом конкретном сценарии крайне важно поддерживать равновесие между скоростью испарения влаги с поверхности и скоростью поглощения влаги внутренними слоями из самых внутренних слоев. Это подходящее время, чтобы объединить процесс сушки с ревитализацией.

При рассмотрении визуального представления процесса сушки макаронных изделий становится ясно, что значительное обезвоживание может происходить только на начальных стадиях сушки, когда тесто для макарон находится в податливом состоянии и менее склонно к ломкости. Любая попытка более строго управлять процессом неизбежно приведет к более частому растрескиванию макаронных изделий, повышенному градиенту влажности и повышенному стрессу. Это связано с тем, что тесто для макарон приобрело характеристики эластичного вещества, что делает невозможным дополнительные процессы затвердевания.

Чтобы уменьшить появление трещин в технике, специалисты используют процесс, называемый омоложением или увлажнением. Это связано с увеличением относительной влажности, что приводит к тому, что поверхностный слой становится мягче из-за поглощения влаги. В результате градиент влажности уменьшается, а возникающие из-за него напряжения устраняются. Этот метод наиболее эффективен при использовании при высоких температурах и уровнях влажности, так как эти условия ускоряют скорость диффузии влаги, уменьшая при этом количество влаги, испаряющейся с поверхности.

Для оценки эффективности сушки сырых макаронных изделий контролировали температуру сушильного агента (T_a , в градусах Цельсия) и продолжительность процесса сушки (t_d , в минутах), так как они оба влияют на оптимальное содержание влаги в макаронах (w_m , в процентах). Лабораторный журнал использовался для записи экспериментальных значений процесса, а затем результаты были задокументированы в электронной таблице Microsoft Excel. Затем с использованием этих экспериментальных результатов был построен график зависимости времени высыхания макаронных изделий (t , в минутах) от фиксированных уровней влажности (W , в процентах).

Математическая модель влияния технологических параметров на процесс приготовления макаронных изделий.

Для определения параметров, влияющих на процесс приготовления макаронных изделий, была построена математическая модель технологического процесса, представляющая собой уравнение регрессии, использовался поворотный план второго порядка (Boxing plan) при количестве факторов $K=3$, количестве экспериментов плана составило 20, количество экспериментов в нулевой точке составило 6, а количество коэффициентов уравнения составило 10. На основании экспериментальных исследований процесса приготовления макарон были выявлены следующие факторы: температуры сушильного агента (T_a , °C) и продолжительность сушки (t_d , мин), которые влияют на критерий оптимизации – влажность макаронных изделий w_m ,%. В ходе исследования был определен доверительный интервал точности измерений по всем основным показателям и рассчитаны математические характеристики полученных результатов. В таблице 2 приведены значения уровня и интервалы изменения входных факторов.

Матрица планирования приведена в таблице 3. Коэффициент уравнения регрессии b_i считался значимым, если его абсолютное значение было больше интервала Δb_i . В противном случае это считается незначительным и должно было быть исключено из математической модели. После отсеивания незначимых коэффициентов было выведено уравнение регрессии в его окончательном виде и найден оптимум функции отклика.

Для создания математической модели процесса сушки макаронных изделий, традиционно не изготавливаемых из муки-сырца, при их производстве, представляющей собой уравнение регрессии, применялся ротационный план второго порядка (Box plan), при $K = 2$ число опытов больше 20, количество опытов в нулевой точке равно 6, а количество коэффициентов равно 10.

На основе проведенных экспериментальных исследований процесса сушки образцов макаронных изделий №1, №2, №3, 2 были установлены факторы – температура сушильного агента (T_a , °C) и продолжительность сушки (t_d , мин), влияющие на критерии оптимизации – влажность макаронных изделий w_m , %.

Далее мы закодировали интервалы и уровни изменения входных параметров, которые представлены в таблице 2. Матрица планирования представлена в таблице 3.

Таблица 2 – Кодирование интервалов и уровней вариации входных факторов
Table 2 – Coding of intervals and levels of variation of input factors

Факторы		Уровни вариации Вариация					Интервалы
Естественный	Закодированный	-1,68	-1	0	+1	+1,68	
T_a , °C	x_1	40	45	50	55	60	5
t_d , sec	x_2	37	74	111	148	185	37

Таблица 3 – Матрица ротационного планирования экспериментальных исследований процесса замеса макаронного теста

Table 3 – Matrix of rotational planning of experimental studies of the process of kneading pasta dough

№	Закодированные значения		Естественные ценности		Экспериментальные значения, w_m , %		
	x_1	x_2	T_a , °C	t_c , sec	y_1 Рецепт №1	y_2 Рецепт №2	y_3 Рецепт №3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	--	-	55	148	10	9,8	9,9
2	-	+	55	74	14	13,8	14,2
3	+	-45	45	148	15,5	15,2	15,6
4	++	+	45	74	16	15,8	15,9
5-1	,41	0	42,93	111	15,5	15,1	15,6
6	+1,41	0	57,07	111	13	12,8	13,2
7	0-1	1,41	50	58,682	25	25,5	26
8	0	+1,41	50	163,318	22	21,8	22,1
9	0	0	50	111	12	12	12

В таблице 4 приведены значения доверительных интервалов критериев оптимизации процесса измельчения в экспериментальной установке.

Таблица 4 – Значения доверительных интервалов
Table 4 – Values of confidence intervals

Процесс замеса теста	Входные параметры	Доверительные интервалы			
		Δb_0	Δb_i	Δb_{ii}	Δb_{ij}
Рецепт №1, (w_m , %)	y_1	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00
Рецепт №2 (w_m , %)	y_2	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00
Рецепт №3 (w_m , %)	y_3	± 0.00	± 0.00	± 0.00	± 0.00

После вычисления доверительных интервалов мы определили коэффициенты регрессии, представленные в таблице 5, которые будут принимать участие в расшифровке уравнений регрессии.

Таблица 5 – Коэффициенты уравнений регрессии выходных параметров
Table 5 – Coefficients of regression equation of output parameters

№	Критерий оптимизации	Коэффициенты	Значения процесса экструзии
1	Рецепт №1, (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		b_0	12,18463
		b_1	-1,40007
		b_2	-1,10914
		b_{12}	-0,88813
		b_{11}	-0,14322
		b_{22}	4,549736
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	29,49448
		B_1	0,825746
		B_2	-0,52774
		B_{12}	-0,0048
		B_{11}	-0,00573
		B_{22}	0,003323
		F_p	0
2	Рецепт №2 (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		b_0	12,18461
		b_1	-1,3515
		b_2	-1,24741
		b_{12}	-0,86275
		b_{11}	-0,33336
		b_{22}	4,5879
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	11,51416
		B_1	1,5808
		B_2	-0,54452
		B_{12}	-0,00466
		B_{11}	-0,01333
		B_{22}	0,003352
		F_p	0
3	Рецепт №3 (w_m ,%)	Для кодированных значений коэффициентов	
		B_0	11,51416
		B_1	1,5808
		B_2	-0,54452
		B_{12}	-0,00466
		B_{11}	-0,01333
		B_{22}	0,003352
		Для натуральных значений коэффициентов	
		B_0	27,01859
		B_1	0,934137
		B_2	-0,53
		B_{12}	-0,00549
		B_{11}	-0,00599
		B_{22}	0,003467
		F_p	0

Далее мы искали оптимум функций отклика с наибольшей точностью (решение компромиссной задачи), не исключая при этом незначимые коэффициенты из уравнений регрессии. Таким образом, уравнения регрессии для процесса прессования макаронного теста, составленные по научно обоснованным рецептам №1, №2, №3 из нетрадиционного мучного сырья в кодированных значениях, примут следующий вид:

$$y_1 = 12,00456 - 1,379375x_1 - 1,09275x_2 - 0,875x_1x_2 - 0,141105x_1^2 + 4,482499x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 12,004542 - 1,331525x_1 - 1,228975x_2 - 0,85x_1x_2 - 0,328436x_1^2 + 4,520099x_2^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 0,003302 - 1,3492x_1 - 1,264325x_2 - 1x_1x_2 - 0,147543x_1^2 + 4,676x_2^2; \quad (3)$$

После расшифровки независимых переменных в уравнениях (1-6) мы получаем уравнения регрессии для натуральных значений факторов:

$$w1 = 29,0586 + 0,813543T_a - 0,519939t_c - 0,000473T_a t_c - 0,005644T_a^2 + 0,003274t_c^2; \quad (4)$$

$$w2 = 11,3440 + 1,557438T_a - 0,536475t_c - 0,004595T_a t_c - 0,013137T_a^2 + 0,003302t_c^2; \quad (5)$$

$$w3 = 26,6193 + 0,920332T_a - 0,522171t_c - 0,005405T_a t_c - 0,005902T_a^2 + 0,003416t_c^2; \quad (6)$$

Fr Фишера оценил точность математических моделей, полученных на основе данных. Значения, рассчитанные по Fr, приведены в таблице 5.

В результате, поскольку $Fr < Fr_{табл}$ является показателем технологичности процесса сушки макаронных изделий из нетрадиционной муки, образцы № 1, № 2 и № 3 можно считать подходящими с доверительной вероятностью 95%.

После канонического преобразования моделей второго порядка были выведены уравнения регрессии в каноническом виде, а значения параметров оптимизации рассчитаны в Microsoft Excel, с использованием этих уравнений создана трехмерная пространственная модель, которая представляла собой плоскость, описывающую зависимости между температурой сушильного агента (T_a , оС) и продолжительностью сушки (t_d , мин), эти факторы повлияли на критерий оптимизации - влажность макаронных изделий w_m , %.

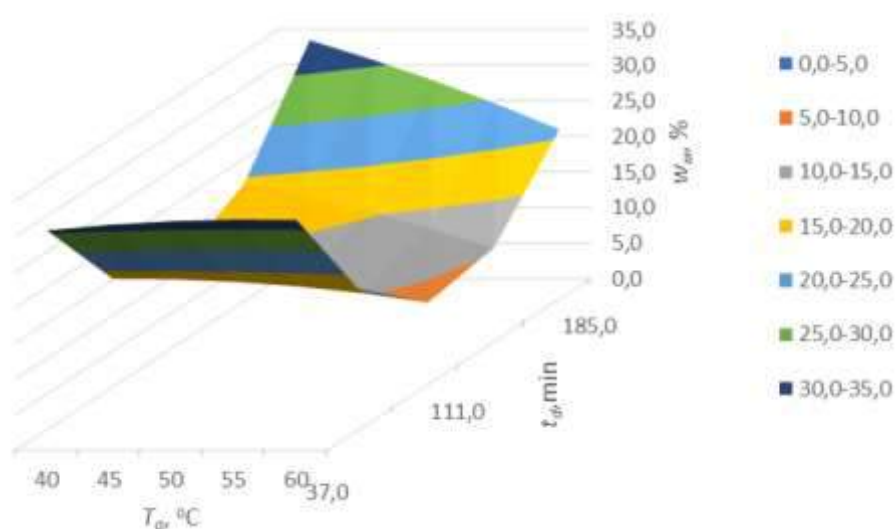


Рисунок 1 – Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , оС) и времени сушки (t_d , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m ,%), приготовленных по рецепту № 1
Figure 1 – Three-dimensional dependence of the drying agent temperature (t_a , оС) and drying time (t_d , min) from changes in the moisture content of pasta (w_m ,%) prepared according to recipe No. 1

На рисунке 1 показана трехмерная зависимость между температурой сушильного агента (t_a , °C) и временем сушки (t_d , мин) в зависимости от содержания влаги в макаронах (w_m , %), созданных по первому рецепту.

На рисунке 1 показано, что выбранная область входных переменных содержит их оптимальные значения, обеспечивающие максимальный выход сушки макарон. Таким образом, на рисунке 1 показаны оптимальные результаты, полученные при сушке макарон при температуре 60 градусов при 110 мин влажность макарон составила 7,5%, что свидетельствует о том, что температура сушки и время сушки прямо пропорциональны друг другу.

Из рисунка 2 следует, что при температуре сушки макарон 55 градусов при 105 минутах, влажность макаронных изделий составила 8,0%.

На рисунке 3 – температура сушки макарон составила 60 градусов, по времени 105 минут, влажность макарон составила 8,5%.

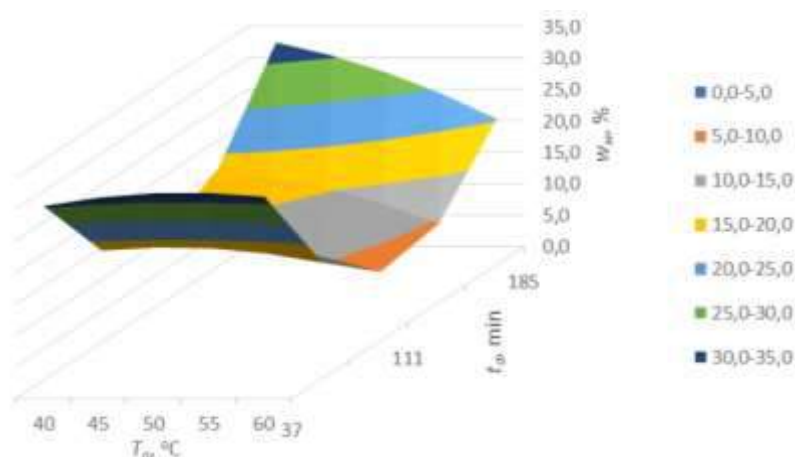


Рисунок 2 – Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , °C) и времени сушки (t_d , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m , %), приготовленных по рецепту № 2

Figure 2 – Three-dimensional dependence of the temperature of the drying agent (t_a , °C) and the drying time (t_d , min) from changes in the moisture content of pasta (w_m , %) prepared according to recipe No. 2

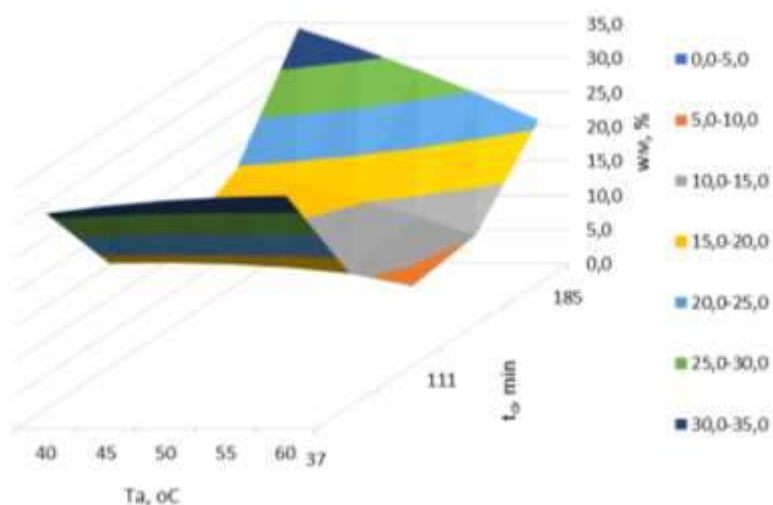


Рисунок 3 - Трехмерная зависимость температуры сушильного агента (t_a , °C) и времени сушки (t_c , мин) от изменения влажности макаронных изделий (w_m , %) приготовлено по рецепту № 3

Figure 3 - Three-dimensional dependence of the temperature of the drying agent (t_a , °C) and the drying time (t_c , min) from changes in the humidity of pasta (w_m , %) prepared according to recipe No. 3

Выводы. Анализ трехмерных пространственных моделей показывает, что в области оптимального поиска достигаются значения, необходимые для оптимальности критерия оптимизации. Это означает, что степень изменения входных факторов учитывается при планировании экспериментов.

На следующих графиках показаны оптимальные диапазоны переменных значений температуры агента сушки (T_a , °C) и времени сушки (t_d , мин), при которых процесс сушки макаронных изделий наиболее эффективен, значения влажности оптимальны.

Зависимости $y_n = f(T_a, t_d)$, приведенные от переменных T_a и t_d , определяющих процесс сушки, позволяют с достаточной точностью прогнозировать изменение величины w_m (%) в исследуемом диапазоне значений. При этом можно определить преимущественное влияние каждого фактора на эффективность сушки сырых макаронных изделий из нетрадиционных ингредиентов. Эта информация затем используется для приблизительного описания кинетики технологического процесса в сушильном устройстве.

Корректировка и оптимизация множества параметров при производстве макаронных изделий привели к оптимальным значениям этих параметров в требуемом количестве: влажность макаронных изделий (мас.%) от 10 до 15, температура сушки от 50 °C до 60 °C и время сушки от 105 минут до 110 минут.

Conclusions. Analysis of three-dimensional spatial models shows that in the optimal search area, the values necessary for the optimality of the optimization criterion are achieved. This means that the degree of change in the input factors is taken into account when planning experiments.

The following graphs show the optimal ranges of the drying agent temperature variables (T_a , °C) and drying time variables (t_d , min) at which the drying process of the pasta is most efficient, the humidity values are optimal.

The dependencies $y_n = f(T_a, t_d)$ given by the variables T_a and t_d determining the drying process make it possible to predict with sufficient accuracy the change in the w_m (%) value in the studied range of values. At the same time, it is possible to determine the advantageous effect of each factor on the drying efficiency of raw pasta from non-traditional ingredients. This information is then used to approximate the process kinetics of the dryer.

Adjustment and optimization of multiple parameters in pasta production resulted in optimal values of these parameters in required quantity: moisture content of pasta (wt%) from 10 to 15, drying temperature from 50 °C to 60 °C and drying time from 105 minutes to 110 minutes.

Библиографический список/ References

1. Collin P., Thorell L., Kaukinen K., Mäki M. The safe threshold for gluten contamination in gluten-free products. Can trace amounts be accepted in the treatment of coeliac disease? *Aliment Pharmacol Ther.* 2004. No 19 (12). Pp. 1277-1283.
2. Makovicky P., Makovicky P., Caja F., Rimarova K., Samasca G., Vannucci L. Celiac disease and gluten-free diet: past, present, and future. *Gastroenterol Hepatol Bed Bench.* 2020. No 13 (1). Pp. 1-7.
3. Yoosuf S., Makharia G. K. Evolving Therapy for Celiac Disease. *Front Pediatr.* 2019. No 7. 193 p.
4. Catassi C., Räscher I. M., Fabiani E., et al. Coeliac disease in the year 2000: exploring the iceberg. *Lancet.* 1994. V. 343 (8891). Pp. 200-203.
5. Samasca G., Lerner A., Girbovan A., et al. Challenges in gluten-free diet in coeliac disease: Prague consensus. *Clin Invest.* 2017. No 47 (5). Pp. 394-397.
6. Kim H. S., Demyen M. F., Mathew J., Kothari N., Feurdean M., Ahlawat S. K. Obesity, Metabolic Syndrome, and Cardiovascular Risk in Gluten-Free Followers Without Celiac Disease in the United States: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2014. *Dig Dis Sci.* 2017. No 62 (9). Pp. 2440-2448.

7. Perrin L., Allès B., Buscail C., et al. Gluten-free diet in French adults without coeliac disease: sociodemographic characteristics, motives and dietary profile. *Nutr.* 2019. No 122 (2). Pp. 231-239.
8. Kabylda A., Sagyntay F., Iztaev A., Muslimov N. Investigation of the influence of non-traditional raw materials on the rheological properties of dough in the production of gluten-free pasta. *The Journal of Hygienic Engineering and Design.* 2022. No 40. Pp. 36-40.
9. Makovický P., Chrenková M., Makovický P., et al. The effect of selected feed mixtures on the duodenal morphology: comparison study. *Physiol Res.* 2018. No 67 (6). Pp. 955-962.
10. Kahraman G., Harsa S., Casiraghi M. C., Lucisano M., Cappa C. Impact of Raw, Roasted and Dehulled Chickpea Flours on Technological and Nutritional Characteristics of Gluten-Free Bread. *Foods.* 2022. No 11 (2). P. 199.
11. Cappa C., Laureati M., Casiraghi M. C., et al. Effects of Red Rice or Buckwheat Addition on Nutritional, Technological, and Sensory Quality of Potato-Based Pasta. *Foods.* 2021. No 10 (1). P. 91.
12. Kahraman G., Harsa S., Lucisano M., Cappa C. Physicochemical and rheological properties of rice-based gluten-free blends containing differently treated chickpea flours *LWT.* 2018. V. 98. Pp. 276-282.
13. Piga A., Conte P., Fois S., et al. Technological, Nutritional and Sensory Properties of an Innovative Gluten-Free Double-Layered Flat Bread Enriched with Amaranth Flour. *Foods.* 2021. No 10 (5). P. 920.
14. Cannas M., Pulina S., Conte P., et al. Effect of Substitution of Rice Flour with Quinoa Flour on the Chemical-Physical, Nutritional, Volatile and Sensory Parameters of Gluten-Free Ladyfinger Biscuits. *Foods.* 2020. No 9 (6). P. 808.
15. Conte P., Pulina S., Del Caro A., et al. Gluten-Free Breadsticks Fortified with Phenolic-Rich Extracts from Olive Leaves and Olive Mill Wastewater. *Foods.* 2021. V. 10 (5). P. 923.
16. Codex Alimentarius 1981:118 Codex standard for Gluten Free Foods. 1983. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. WHO, 198. 3 p.
17. Marti A., Pagani M. A. What can play the role of gluten in gluten free pasta? *Trends in Food Science and Technology.* 2013. No 31. Pp. 63-71.

Информация об авторах

Кабылда Анар Идашовна, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель проекта Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: anara121579@gmail.com

Кажыбекова Айдана Саниязовна, магистрант 1 курса, научный сотрудник Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, 47), e-mail: saniyazkyzy@inbox.ru

Уразбаев Жуматай Зейноллаевич, доктор технических наук, директор ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: zhz1964@mail.ru

Керимбекова Нурай Муратхановна, магистрант 1 курса, научный сотрудник Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Казахстан, 010000, г. Астана, Аль-Фараби, д. 47), e-mail: kerimbekova_nur@mail.ru

Author's Information

Kabylda Anar Idashovna, Candidate of Agricultural Sciences, Project Manager of Astana Branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: anara121579@gmail.com

Kazhybekova Aydana Saniyazovna, 1st year master's student, researcher of Astana branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: saniyazkyzy@inbox.ru

Urazbaev Zhumatai Zeinollaevich, Doctor of Engineering Sciences, Director of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: zhz1964@mail.ru

Kerimbekova Nurai Murathanovna, 1st year master's student, researcher of Astana branch of Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry LLP (Kazakhstan, 010000, Astana, Al-Farabi, 47), e-mail: kerimbekova_nur@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-52

OPTIMIZATION OF DESIGN PARAMETERS OF WIDE-GRIP SPRINKLER EQUIPMENT

**O. V. Kozinskaya, A. S. Ovchinnikov, V. S. Bocharnikov, S. V. Tronev,
O. V. Bocharnikova, M. A. Denisova, E. P. Borovoy**

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: bocharnikov_vs@mail.ru

Received 17.09.2023

Submitted 03.11.2023

Summary

The article presents theoretical results on determining optimal (best) parameters of a new wide-spread sprinkler using the Rechtshafner method. The coefficients B_0 , B_i , B_{ij} and B_{ii} were obtained based on experimental data and presented in form of a mathematical model, the significance of which was assessed using the Student's test. For identifying the correctness of the experimental results obtained using the Fisher criterion studied the coefficients gave an error of 5%, which is quite acceptable. As a result of the compromise solution task, we determined the optimal values of factors for the wide-cut section sprinkler.

Abstract

Introduction. Design engineers are tasked with developing a new generation of irrigation equipment using modern construction materials, with reduced energy consumption, with maximum automation, and a wide range of adjustable parameters when used for certain irrigation conditions. The quality of irrigation with a sprinkler is characterized by the uniform distribution of irrigation water over the area. To determine the quality of uniform distribution of artificial rain by wide-span sprinklers, the coefficient of effective irrigation is used, which characterizes the uniformity of the distribution of irrigation water in the irrigated area. **Object.** Wide-span pivot irrigation machine. **Materials and methods.** Theoretical studies were carried out to determine the optimal parameters of a new wide-spread sprinkler using the Rechtshafner method. **Results and conclusions.** The coefficients B_0 , B_i , B_{ij} and B_{ii} were obtained based on experimental data and presented in the form of a mathematical model, the significance of which was assessed using the Student's t-test. To determine the correctness of the obtained experimental results using the Fisher criterion, the studied coefficients gave an error of 5%, which is quite acceptable. As a result of solving the compromise problem, we determined the optimal values that ensure uniform distribution of rain with an effective irrigation coefficient of at least 0.8.

Key words: *sprinkler machines, sprinkler equipment parameters, sprinkler equipment design.*

Citation. Kozinskaya O. V., Ovchinnikov A. S., Bocharnikov V. S., Tronev S. V., Bocharnikova O. V., Denisova M. A., Borovoy E. P. Optimization of design parameters of wide-grip sprinkler equipment. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 518-528 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-52.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.