

- конф. (Кемерово, 5 мая 2017 г.). – Кемерово: Западно-Сибирский научный центр, 2017. – С. 96–99.
8. *Лейберова Н.В., Старовойтова Я.Ю., Чугунова О.В.* Разработка рецептур булочных изделий с использованием растительного сырья на предприятиях общественного питания // *Технология и товаро-ведение инновационных пищевых продуктов.* – 2017. – № 1 (42). – С. 8–14.
  9. *Чугунова О.В., Мысаков Д.С.* Теоретическое и практическое обоснование ингредиентного состава для производства безглютенового бисквитного полуфабриката // *Индустрия питания.* – 2016. – № 1 (1). – С. 25–32.
  10. *Аширова Н.Н.* Применение бесклеяковинных видов муки для разработки и изучения показателей качества новых блюд // *Вестн. КрасГАУ.* – 2016. – № 1 (112). – С. 79–84.
  11. Сборник технических нормативов. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания: нормативный документ / сост. *Л.Е. Голунова, М.Т. Лабзина.* – Изд. 16-е, испр. и доп. – СПб.: Профи, 2013. – 816 с.
5. *Chugunova O.V., Lejberova N.V., Krjukova E.V.* Issledovanie biologicheskoy cennosti muki netradicionnyh vidov // *Konditerskoe proizvodstvo.* – 2016. – № 1. – С. 20–22.
  6. *Kokoreva L.A.* Rasshirenie assortimenta muchnyh izdelij na regional'nom urovne // *Ural – XXI vek: region innovacionnogo razvitiya: mat-ly II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Ekaterinburg, 29–30 nojabrja 2017 g.): v 2 t. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. gos. jekon. un-ta,* 2017. – Т. 2. – С. 219–223.
  7. *Arisov A.V., Grashhenkov D.V.* Rasshirenie assortimenta bljud dlja racionov social'nogo pitaniya // *Integracija sovremennyh nauchnyh issledovanij v razvitie obshhestva: mat-ly II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Kemerovo, 5 maja 2017 g.). – Kemerovo: Zapadno-Sibirskij nauchnyj centr,* 2017. – С. 96–99.
  8. *Lejberova N.V., Starovojtova Ja.Ju., Chugunova O.V.* Razrabotka receptur bulochnyh izdelij s ispol'zovaniem rastitel'nogo syr'ja na predpriyatijah obshhestvennogo pitaniya // *Tehnologija i tovarovedenie innovacionnyh pishhevyyh produktov.* – 2017. – № 1 (42). – С. 8–14.
  9. *Chugunova O.V., Mysakov D.S.* Teoreticheskoe i prakticheskoe obosnovanie ingredientnogo sostava dlja proizvodstva bezglutenovogo biskvitnogo polufabrikata // *Industrija pitaniya.* – 2016. – № 1 (1). – С. 25–32.
  10. *Ashirova N.N.* Primenenie besklejkovinnyh vidov muki dlja razrabotki i izuchenija pokazatelej kachestva novyh bljud // *Vestn. KrasGAU.* – 2016. – № 1 (112). – С. 79–84.
  11. *Sbornik tehnicheskikh normativov. Sbornik receptur bljud i kulinarnyh izdelij dlja predpriyatij obshhestvennogo pitaniya: normativnyj dokument / sost. L.E. Golunova, M.T. Labzina.* – Izd. 16-e, ispr. i dop. – SPb.: Profi, 2013. – 816 s.

#### Literatura

1. *Obespechennost' naselenija rossii mikronutrientami i vozmozhnosti ee korrekcii. Sostojanie problemy // V.M. Kodencova, O.A. Vrzhesinskaja, D.V. Risnik [i dr.] // Voprosy pitaniya.* – 2017. – Т. 86. – № 4. – С. 113–124.
2. *Poznjakovskij V.M.* Jevoljucija pitaniya i formirovanie nutrioma sovremennogo cheloveka // *Industrija pitaniya.* – 2017. – № 3 (4). – С. 5–12.
3. *Restorannyj biznes i zdorovoe pitanie / M.V. Hajrulina, P.E. Vloshhinskij, I.P. Berezovikova [i dr.] // Mat-ly zaoch. mezhregion. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyh.* – Novosibirsk, 2010.
4. *Feofilaktova O.V., Logvinjuk S.A.* Razrabotka jemul'sionnogo sousa, obogashhennogo omega-3

УДК 519.237.5:664.691/694

*Ю.С. Черепанов, И.А. Чаплыгина,  
В.В. Матюшев, А.А. Беляков*

#### ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАМЕСА ДРОЖЖЕВОГО ТЕСТА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

*Yu.S. Cherepanov, I.A. Chaplygina,  
V.V. Matyushev, A.A. Belyakov*

#### THE INFLUENCE OF THE INTENSITY OF KNEADING DOUGH ON QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF WHEAT BREAD

**Черепанов Ю.С.** – асп. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: cherepanovjura@mail.ru

**Чаплыгина И.А.** – канд. биол. наук, доц. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: ledum\_palustre@mail.ru

**Cherepanov Yu.S.** – Post-Graduate Student, Chair of Merchandizing and Product Quality Control of Agrarian and Industrial Complex, Krasnoyarsk. E-mail: cherepanovjura@mail.ru

**Chaplygina I.A.** – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of Agrarian and Industrial Complex, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: ledum\_palustre@mail.ru

**Матюшев В.В.** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. товаро-ведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Беляков А.А.** – канд. техн. наук, доц., инженер отдела аграрных технологий Красноярского НИИ сельского хозяйства, г. Красноярск. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

**Matyushev V.V.** – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of AIC, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: matyushe@yandex.ru

**Belyakov A.A.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Engineer, Department of Agrarian Technologies, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk. E-mail: belyakov@ksc.krasn.ru

Снижения себестоимости выпускаемой хлебобулочной продукции можно достичь за счет сокращения длительных стадий тестоприготовления. Получение теста осуществляется в тестомесильных машинах, которые, на основе выполненных научных исследований и производственного опыта, непрерывно совершенствуются и модернизируются. Разработанная и запатентованная новая конструктивно-технологическая схема тестомесильной машины, допускающая регулирование величины электрической нагрузки при варьировании частоты вращения месильного органа, угла наклона и количества установленных месильных лопастей, их количества, использована в серии экспериментов. На основе данных экспериментальных исследований выполнена систематизация и моделирование процессов. Разработана модель влияния конструктивно-технологических и режимных параметров работы тестомеса на качество готовой продукции и получены модельные представления величин: объёма, массы, удельного объёма хлеба; высоты, ширины и формоустойчивости хлеба; веса выемок и пористости хлеба. Рациональные конструктивно-технологические и режимные параметры получения качественной готовой продукции соответствуют экстремумам модельных представлений процессов функционирования тестомесильной машины: частоте вращения месильного органа (90 мин<sup>-1</sup>); количеству установленных месильных лопастей (2 шт.); углу наклона установленных месильных лопастей (60 град); продолжительности замеса (2 мин). При этих показателях формируются следующие результативные значения: объем хлеба – 1120 см<sup>3</sup>, масса хлеба – 385 грамм, формоустойчивость – 0,44 ед., пористость хлеба – 74,28 %.

**Ключевые слова:** тестомес, интенсивность замеса, дрожжевое тесто, качество пшеничного хлеба, формоустойчивость хлеба, пористость хлеба, эффективный режим.

*Reducing the cost of bakery products can be achieved by cutting long stages of dough preparation. Receiving the dough is carried out in kneading machines which on the basis of scientific research and production experience continuously improve and modernize. Developed and patented new design and technological scheme of kneading machine, allowing the regulation of electric load with varying the speed of kneading body, the angle of inclination and the number of installed kneading blades, their number has been used in a series of experiments. On the basis of experimental data, systematization and modeling of processes were performed. The model of the influence of technological and regime parameters of the mixer on the quality of finished product and the model representation of the variables: volume, mass, specific volume of*

*bread; the height, width and dimensional stability of bread; the weight of the recesses and the porosity of the bread has been developed. Rational constructive and technological and regime parameters of obtaining high-quality finished products correspond to the extremes of model representations of the processes of functioning kneading machine: the speed of the kneading body (90 min<sup>-1</sup>), the number of installed kneading blades (2 pieces), the angle of inclination-on installed kneading blades (60 deg.) and the duration of mixing (2 minutes). When these indicators following effective values are developed: the amount of bread – 1120 cm<sup>3</sup>, the mass of bread – 385 grams, dimensional stability – 0.44 units, the porosity of bread – 74.28 %.*

**Keywords:** dough mix, intensity of kneading, yeast dough, quality of wheat bread, shape stability of bread, porosity of bread; effective regime.

**Введение.** Снижение себестоимости выпускаемой хлебобулочной продукции при одновременном увеличении ее объемов надлежащего качества можно достичь за счет сокращения длительных стадий тестоприготовления [1, 2]. Получение теста осуществляется в тестомесильных машинах, которые на основе выполненных научных исследований и производственного опыта непрерывно совершенствуются и модернизируются [3–5].

Следует отметить, что до настоящего времени в литературных источниках не получили подробного научного освещения системные вопросы влияния процесса замеса теста в зависимости от конструктивно-технологических и режимных параметров работы тестомеса на качество готовой продукции.

Следовательно, актуальной является разработка новой конструкции тестомесильной машины и модели влияния комплекса конструктивно-технологических и режимных параметров работы тестомеса на качество готовой продукции.

**Цель исследования.** Совершенствование технологии приготовления дрожжевого теста посредством обоснованного выбора конструктивно-технологических параметров и эффективного режима функционирования разработанной тестомесильной машины.

**Задачи исследования:** разработать модель влияния комплекса конструктивно-технологических и режимных параметров работы тестомеса на качество готовой продукции; определить экстремумы модельных представлений комплекса процессов функционирования тестомесильной машины; обосновать эффективные режимы и сформировать результативные показатели тестоприготовления для разработанной новой тестомесильной машины.

**Методы исследования.** Экспериментальные исследования проводились на запатентованной тестомесильной установке [1]. Определены высота, ширина, формоустойчивость, масса выемок и пористость хлеба. Используются утверждённые методики по оценке качества хлеба из пшеничной муки согласно ГОСТ 27669-88 и ГОСТ 27842-88, методы теории конструирования и автоматического регулирования технических средств и технологий, регрессионного анализа, интерполяции данных [6–8]. Применены алгоритмы и прикладные программы компьютерных пакетов DataFit и Maple.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На основе экспериментальных данных выполнена систематизация и моделирование процессов. Для практического использования выявленных закономерностей приведены модельные представления формоустойчивости и пористости, рассчитаны числовые значения в окрестности предполагаемого оптимума.

**Модельное представление величин высоты, ширины и формоустойчивости хлеба.** Величина высоты

формы хлеба ( $h, \text{см}$ ) в зависимости от частоты вращения месильного органа ( $\omega, \text{мин}^{-1}$ ) и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha, \text{град}$ ) представляется следующей функцией (рис. 1):

$$h(\omega, \alpha) = b_0 + \frac{b_1}{\omega} + b_2\alpha + \frac{b_3}{\omega^2} + b_4\alpha^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – числовые коэффициенты, отыскиваемые с помощью пакета регрессионного анализа DataFit (табл.).

Коэффициент детерминации данной зависимости составляет 99,67 % [6, 9]. Относительная погрешность сглаживания опытных данных величины высоты формы хлеба не превосходит принятого порогового значения 5 % (табл.).

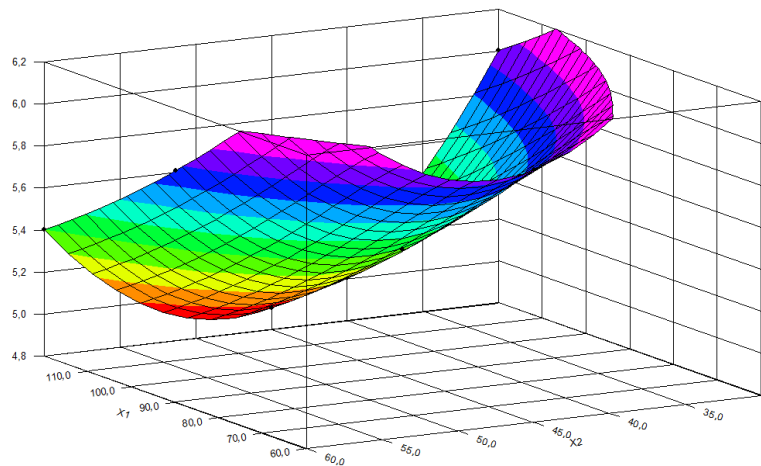


Рис. 1. Изменение высоты формы хлеба ( $h, \text{см}$ ) при изменении частоты вращения ( $\omega, \text{мин}^{-1}$ ) месильного органа и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha, \text{град}$ )

**Сравнение опытных и расчётных данных величины высоты формы хлеба**

Частота вращения месильного органа	Угол наклона установленных месильных лопастей	Величина высоты		Отклонение опытной от расчётной*	Относительное отклонение
		Опытная	Расчётная		
$\omega, \text{мин}^{-1}$	$\alpha, \text{град}$	$h, \text{см}$	$h(\omega, \alpha), \text{см}$	$\varepsilon$	$\delta, \%$
120,0	30,0	6,0	6,0000	0,0000	0,0000
60,0	45,0	6,0	6,0000	0,0000	0,0000
90,0	45,0	5,4	5,4000	0,0000	0,0000
120,0	45,0	4,9	4,9000	0,0000	0,0000
120,0	60,0	5,4	5,4000	0,0000	0,0000

\* Фактически рассчитаны по неполиномиальной интерполяции.

Исходя из определения функции  $h(\omega, \alpha)$ , вычислим высоту формы хлеба, получаемого при частоте вра-

щения 90 мин<sup>-1</sup> и угле наклона месильных лопастей 60 град.

Очевидно, что искомая высота формы равна

$$h(90, 60) = 5,9 \text{ см.}$$

Величина ширины формы хлеба ( $s$ , см) в зависимости от частоты вращения месильного органа ( $\omega$ , мин<sup>-1</sup>) и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha$ , град) представляется следующей функцией (рис. 2):

$$s(\omega, \alpha) = b_0 + \frac{b_1}{\omega} + b_2\alpha + \frac{b_3}{\omega^2} + b_4\alpha^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – числовые коэффициенты, отыскиваемые с помощью пакета регрессионного анализа DataFit.

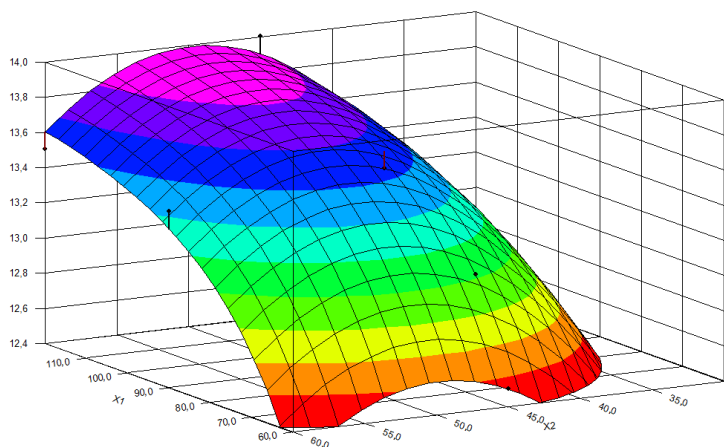


Рис. 2. Изменение ширины формы хлеба ( $s$ , см) при изменении частоты вращения ( $\omega$ , мин<sup>-1</sup>) месильного органа и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha$ , град)

Коэффициент детерминации данной зависимости – 97,18 %.

Относительная погрешность сглаживания опытных данных величины ширины формы хлеба составляет 0,7407 % – не превосходит принятого порогового значения 5 % [6, 9].

Исходя из определения функции  $s(\omega, \alpha)$ , вычислим ширину формы хлеба, получаемого при частоте вращения 90 мин<sup>-1</sup> и угле наклона месильных лопастей 60 град.

Искомая ширина формы равна

$$s(90, 60) = 13,3 \text{ см.}$$

Величина формоустойчивости хлеба ( $\eta$ , ед.) в зависимости от частоты вращения месильного органа ( $\omega$ , мин<sup>-1</sup>) и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha$ , град) представляется следующей функцией (рис. 3):

$$\eta(\omega, \alpha) = b_0 + \frac{b_1}{\omega} + b_2\alpha + \frac{b_3}{\omega^2} + b_4\alpha^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – числовые коэффициенты, отыскиваемые с помощью пакета регрессионного анализа DataFit.

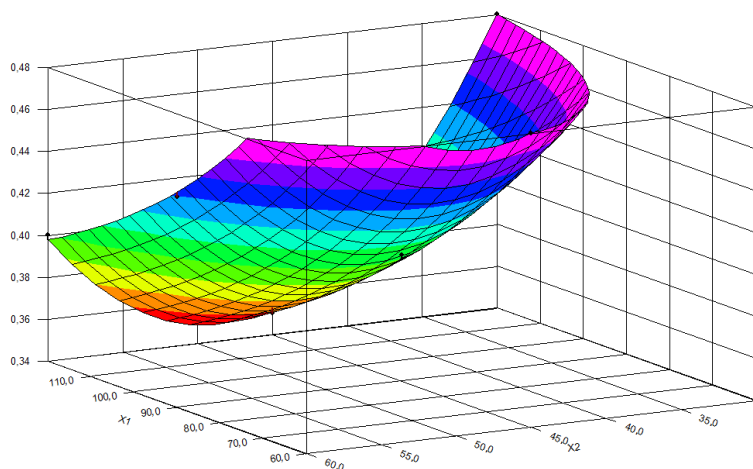


Рис. 3. Изменение формоустойчивости хлеба ( $\eta$ , ед.) при изменении частоты вращения ( $\omega$ , мин<sup>-1</sup>) месильного органа и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha$ , град)

Коэффициент детерминации данной зависимости составляет 99,04 %.

Относительная погрешность сглаживания опытных данных величины формоустойчивости хлеба составляет 0,7143 % и не превосходит принятого порогового значения 5 % [6, 9].

Исходя из определения функции  $\eta(\omega, \alpha)$ , вычислим формоустойчивость хлеба, получаемого при частоте вращения 90 мин<sup>-1</sup> и угле наклона месильных лопастей 60 град.

Искомая формоустойчивость равна

$$\eta(90, 60) = 0,44 \text{ ед.}$$

**Модельное представление величин веса выемок и пористости хлеба.** Величина веса выемок ( $w, \text{г}$ ) формы хлеба в зависимости от частоты вращения месильного органа ( $\omega, \text{мин}^{-1}$ ) и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha, \text{град}$ ) представляется следующей функцией (рис. 4):

$$w(\omega, \alpha) = b_0 + \frac{b_1}{\omega} + b_2\alpha + \frac{b_3}{\omega^2} + b_4\alpha^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – числовые коэффициенты, отыскиваемые с помощью пакета регрессионного анализа DataFit.

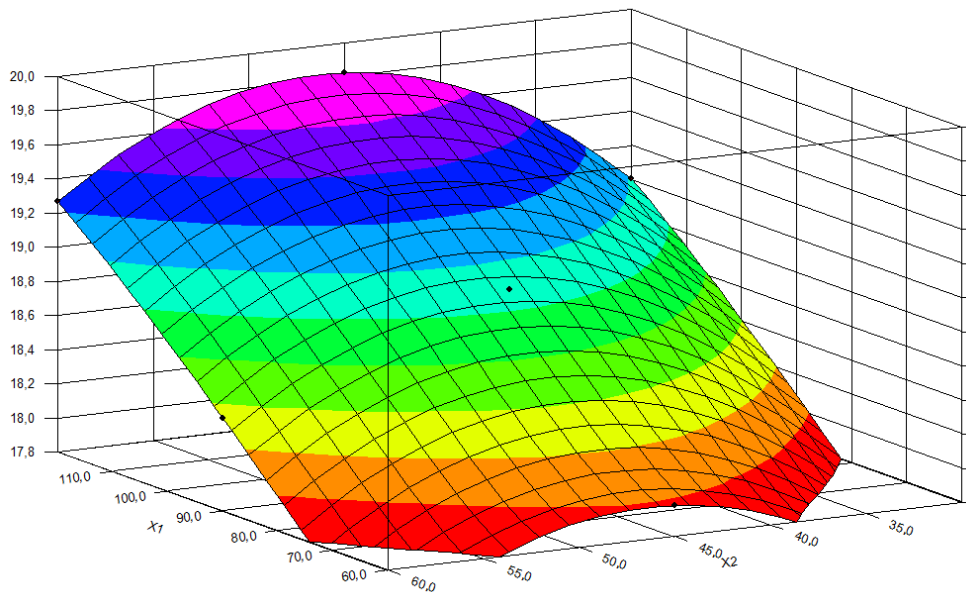


Рис. 4. Изменение веса выемок ( $w, \text{г}$ ) формы хлеба при изменении частоты вращения ( $\omega, \text{мин}^{-1}$ ) месильного органа и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha, \text{град}$ )

Коэффициент детерминации данной зависимости составляет 98,48 %. Относительная погрешность сглаживания опытных данных величины веса выемок формы хлеба не превосходит принятого порогового значения 5 % [6, 9].

Исходя из определения функции  $w(\omega, \alpha)$ , вычислим вес выемок формы хлеба, получаемого при частоте вращения 90 мин<sup>-1</sup> и угле наклона месильных лопастей 60 град. Очевидно, искомый вес выемок равен

$$w(90, 60) = 18,34 \text{ г.}$$

Величина пористости ( $p, \%$ ) формы хлеба в зависимости от частоты вращения месильного органа

( $\omega, \text{мин}^{-1}$ ) и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha, \text{град}$ ) представляется следующей функцией (рис. 5):

$$p(\omega, \alpha) = b_0 + \frac{b_1}{\omega} + b_2\alpha + \frac{b_3}{\omega^2} + b_4\alpha^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  – числовые коэффициенты, отыскиваемые с помощью пакета регрессионного анализа DataFit.

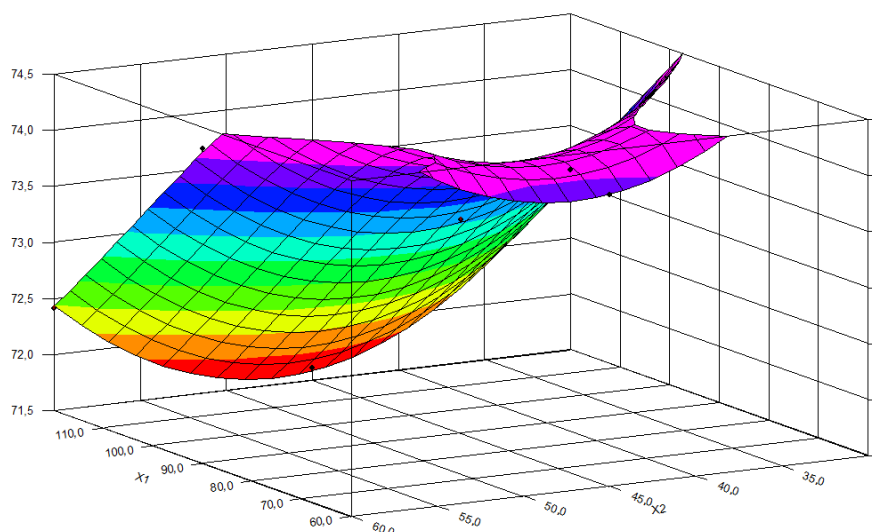


Рис. 5. Изменение пористости ( $p$ , %) формы хлеба при изменении частоты вращения ( $\omega$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ) месильного органа и угла наклона месильных лопастей ( $\alpha$ , град)

Коэффициент детерминации данной зависимости равен 97,37 %.

Относительная погрешность сглаживания опытных данных величины пористости формы хлеба не превосходит принятого порогового значения 5 % [6, 9].

Исходя из определения функции  $p(\omega, \alpha)$ , вычислим пористость формы хлеба, получаемого при частоте вращения 90  $\text{мин}^{-1}$  и угле наклона месильных лопастей 60 град. Очевидно, искомая пористость равна

$$p(90, 60) = 74,275 \% .$$

Таким образом, на уровне детерминации выше 95 % и относительной погрешности, не превышающей 5 %, при частоте вращения 90  $\text{мин}^{-1}$  и угле наклона месильных лопастей 60 град определяется согласованный оптимум формоустойчивости и пористости подового пшеничного хлеба.

**Выводы.** На основании проведенных лабораторных экспериментальных исследований тестомесильной машины разработана модель влияния конструктивно-технологических и режимных параметров работы тестомеса на качество готовой продукции и получены модельные представления величин: объема, массы, удельного объема хлеба; высоты, ширины и формоустойчивости хлеба; веса выемок и пористости хлеба.

Эффективные конструктивно-технологические и режимные параметры получения качественной готовой продукции соответствуют экстремумам модельных представлений процессов функционирования тестомесильной машины: частоте вращения месильного органа 90  $\text{мин}^{-1}$ , двум установленным месильным лопастям, углу наклона установленных месильных лопастей – 60 град, продолжительности замеса – 2 мин. При этом формируются следующие результативные показатели: объем хлеба –

1120  $\text{см}^3$ , масса хлеба – 385 грамм, формоустойчивость – 0,44 ед., пористость хлеба – 74,28 %.

#### Литература

1. Патент №179212 Российская Федерация. МПК А21С 1/02. Тестомесильная машина / И.А. Чаплыгина, В.В. Матюшев, А.В. Семенов, Ю.С. Черепанов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. – № 2017122469, заявл. 26.06.2017; опубл. 04.05.2018, Бюл. № 13.
2. Васюкова А.Т., Жилина Т.С., Хлебникова О.А. [и др.]. Влияние составных компонентов рецептуры на качество дрожжевого теста // Изв. ТСХА. – 2013. – Вып. 5. – С. 101–114.
3. Компьютерные технологии при проектировании и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, В.А. Головацкий [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2012. – 256 с.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
5. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования: учеб. пособие / Г.В. Алексеев, Б.А. Вороненко, М.В. Гончаров [и др.]. – СПб.: ГИОРД, 2014. – 200 с.
6. Draper Norman R. and Smith Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998. – 3rd ed.
7. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
8. Stuart Alan, and Ord Keith. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
9. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.

## Literatura

1. Patent №179212 Rossijskaja Federacija. MPK A21C 1/02. Testome-sil'naja mashina / I.A. Chaplygina, V.V. Matjushev, A.V. Semenov, Ju.S. Cherepanov; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Krasnojarskij GAU. – № 2017122469, zajavl. 26.06.2017; opubl. 04.05.2018, Bjul. № 13.
2. Vasjukova A.T., Zhilina T.S., Hlebnikova O.A. [i dr.]. Vlijanie so-stavnyh komponentov receptury na kachestvo drozhzhevogo testa // Izv. TSHA. – 2013. – Vyp. 5. – S. 101–114.
3. Komp'juternye tehnologii pri proektirovanii i jekspluatacii tehnologicheskogo oborudovanija: uceb. posobie / G.V. Alekseev, I.I. Bridenko, V.A. Golovackij [i dr.]. – SPb.: GIORD, 2012. – 256 s.
4. Moiseev N.N. Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza. – M.: Nauka, 1981. – 448 s.
5. Chislennye metody pri modelirovanii tehnologicheskikh mashin i oborudovanija: uceb. posobie / G.V. Alekseev, B.A. Voronenko, M.V. Goncharov [i dr.]. – SPb.: GIORD, 2014. – 200 s.
6. Draper Norman R. and Smith Harry. Applied Regression Analysis. – New York: Wiley, 1998. – 3rd ed.
7. Montgomery, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. – 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.
8. Stuart Alan, and Ord Keith. Kendall's Advanced Theory of Statistics. Distribution Theory. – London: Edward Arnold, 1998. – 6th ed. – Vol. 1.
9. Kobzar' A.I. Prikladnaja matematicheskaja statistika dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. – M.: Fizmatlit, 2012. – 816 s.

