

УДК 664.653.05

## Изучение возможностей управления процессом приготовления сбивного бездрожжевого теста

И. Е. ВОЛКОВ

volkovivan36@yandex.ru

*Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева*

*Выбранное направление исследований, результаты которого представлены в настоящей статье обусловлено необходимостью решения проблем оздоровления питания населения. В условиях возросших экологических нагрузок и оно часто связано с такими заболеваниями, как нарушения пищеварительной системы, гомеопатия, онкологические заболевания и для людей, что требует исключения из рациона питания дрожжей (дисбактериоз). Для разработки технологии бездрожжевого хлеба необходимо детальное исследование процессов, происходящих в тесте в процессе его приготовления, в частности, при механическом рыхлении с использованием существующих образцов оборудования, а также новых инновационных решений. Предлагаемый к использованию способ механического разрыхления теста предполагает использование муки из ржи, пшеницы, ячменя, овса, кукурузы и других зерновых культур, обладающих хлебопекарными свойствами сразу после измельчения. Содержащий биологически активные вещества и пищевые волокна сбивной бездрожжевой хлеб из цельнозернового зерна оказывает положительный эффект на здоровье человека и способствует общему укреплению организма. Все эти достоинства хлеба из сбивного бездрожжевого теста делают его особенно востребованным в условиях Крайнего Севера и регионах, не имеющих в настоящее время развитой промышленной структуры. Указанные достоинства сбивного бездрожжевого хлеба обуславливают проведение, в первую очередь, экспериментальных исследований для выявления возможностей управления процессом приготовления сбивного бездрожжевого теста с помощью вновь разрабатываемого технологического оборудования.*

**Ключевы слов:** высокоэффективная техника, продукты питания, механический способ рыхления, модели управления, режимы процесса.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 25.08.2022, одобрена после рецензирования 12.10.2022, принята к печати 10.11.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-37-44

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

*Волков И. Е.* Изучение возможностей управления процессом приготовления сбивного бездрожжевого теста // Вестник Международной академии холода. 2022. № 4. С. 37–44. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-37-44

## Perspectives of controlling whipped yeast-free dough making

I. E. VOLKOV

volkovivan36@yandex.ru

*Military Academy of Logistical Support named after General of the Army A. V. Khrulev*

*The chosen direction of research, the results of which are presented in this article, is due to the need to solve the problems of improving the nutrition of the population. Under the conditions of increased environmental stress, these issues are often associated with various deviations in the functioning of the body, for example, deviations in the normal functioning of digestion, homeopathy, and even oncological diseases. Some of these deviations do not allow the presence of yeast in the daily diet. Such requirements force us to be more attentive to the organization of the production of yeast-free bread, which requires additional study of the phenomena associated with the mechanical loosening of dough. These studies are necessary both for the use of existing equipment and for the introduction of new innovative solutions. Simultaneously with solving the problems of mechanical dough loosening, it is advisable to consider the features of increasing the overall value of yeast-free bread, which requires the use of multicomponent flour mixtures. Among the additional components, in this case the use of raw materials with an attractive mineral and vitamin composition is allowed. Among them, for example, buckwheat, oatmeal, millet flour, wheat germ, sugar beet powder or beer production wastes such as brewer's spent grains can be considered. The introduction of these additives in yeast-free bread improves metabolism and positively affects the processes of hematopoiesis, having a general health effect on the functioning of the cardiovascular system as well as the liver. The features of the studied method of mechanical loosening of the dough are the use of flour of various grain crops in certain proportions, which have baking properties immediately after grinding. The listed advantages of bread made*

*from whipped yeast-free dough make it in high demand in the Far North and regions that do not currently have a developed industrial structure. For the wide use of aerated yeast-free bread of the proposed recipes, it is necessary to conduct, first of all, experimental studies to identify the possibilities of controlling the process of preparing aerated yeast-free dough with the help of newly developed technological equipment.*

**Keywords:** high-performance machinery, food products, mechanical loosening method, control models, process modes.

#### Article info:

Received 25/08/2022, approved after reviewing 12/10/2022, accepted 10/11/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-37-44

Article in Russian

#### For citation:

Volkov I. E. Perspectives of controlling whipped yeast-free dough making. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 4. p. 37-44. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-37-44

### Введение

К числу особенно важных параметров, обуславливающих необходимые свойства дрожжевого хлеба, являются органолептические характеристики используемого теста. Эти параметры отвечают за то, что готовое изделие обладает достаточно разрыхленной структурой и при этом имеет тонкостенную равномерную пористость. Практика говорит об особом влиянии на такие качества готового хлеба способа разрыхления.

Принципом наиболее распространенного физического способа разрыхления является насыщение теста диоксидом углерода. Для этого применяют тестомесильную машину специальной конструкции, обеспечивающую применение при проведении этой операции повышенного давления. Как правило, такое оборудование применяется для приготовления теста, в основном из пшеничной муки, однако широкого использования оно в традиционном хлебопечении не нашло [1].

Менее изучен механический способ разрыхления, который применяется значительно реже. Его перспективность, показанная в производстве сбивного хлеба, обуславливает широкий интерес исследователей и привело к интенсивным научным разработкам в данном направлении [2].

В процессе механического разрыхления при избыточном давлении воздуха получают тесто в виде пенообразной массы с заданными реологическими характеристиками. В таком состоянии тесто выглядит как дисперсная система, включающая пузырьки воздуха, заключенные в пленки из дисперсионной среды. Существенная особенность теста в таком состоянии состоит в том, что оно содержит достаточно большую концентрацию воздуха в жидкой дисперсионной среде, одновременно достигается необходимая развитость межфазовой поверхности [3].

Описываемый способ позволяет в раствор пенообразователя вовлекать пузырьки воздуха, создающие на поверхности жидкий дисперсный слой. Его размеры увеличиваются по мере дополнительного вовлечения в структуру и диспергирования воздуха. Происходящий процесс диспергирования превращает всю жидкую фазу в пену. В процессе такого превращения толщина перегородок между отдельными пузырьками уменьшается, а их форма из сферической преобразуется в многогранную.

Такое образование структуры пены формирует адсорбционный слой на межфазовой поверхности пузырь-

ка воздуха в тесте, который содержит поверхностно-активное вещество.

Продолжительность сбивания массы зависит от конструкции машины, частоты вращения вала, давления сжатого воздуха и других параметров. С увеличением времени сбивания объем массы возрастает, повышается ее дисперсность. Но продолжительность обработки имеет свой предел, выше которого качество пены ухудшается — ухудшается объем пены, что связано с утончением оболочек воздушных пузырьков и их разрушением [4, 5].

Изложенное выше свидетельствует о том, что для получения сбивных кондитерских и хлебобулочных изделий, имеющих тонкостенную, равномерную пористость, целесообразно использовать механический способ разрыхления теста.

### Цель исследования

Целью исследования являлось изучение возможностей управления процессом приготовления сбивного бездрожжевого теста при реализации метода механического рыхления, с помощью устройства, инициирующего кавитационные эффекты в толще теста, путем возбуждения ультразвуковых колебаний.

### Объекты и методы исследования

Исследованию подвергался процесс приготовления сбивного бездрожжевого теста с использованием, предложенной ранее, установки для производства теста ускоренным способом. Возможности управления реализуемым процессом осуществлялись путем уточнения отдельных режимов при экспериментальном опробовании опытного макета, изображенного на рис. 1.

Работа указанного устройства предполагает использование метода механического разрыхления теста под избыточным давлением с насыщением его воздухом для получения сбивного теста с заданными физико-химическими и реологическими свойствами.

Перед запуском устройства, подготовленные рецептурные компоненты, засыпают в месильную камеру (13), герметично фиксируемую прижимной крышкой (7) фиксатором (8). На блоке управления (6) программой задаются режимы изготовления сбивного бездрожжевого теста заданной рецептуры.

Блок управления подает команду компрессору (1) на создание в месильной камере давления, и на двигатель

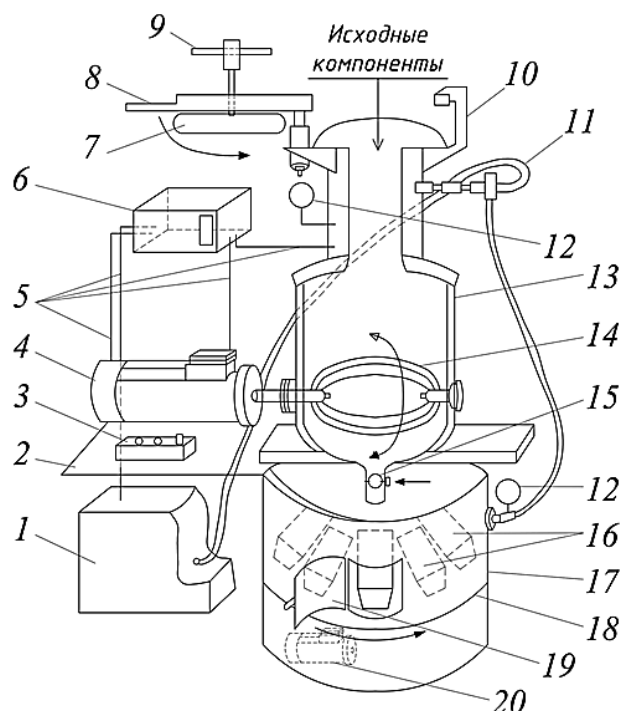


Рис. 1. Схема устройства для производства теста ускоренным способом УПТ-1:

- 1 — компрессор; 2 — станция; 3 — пульт управления;
- 4 — электродвигатель; 5 — шина; 6 — блок управления;
- 7 — прижимная крышка; 8 — фиксатор; 9 — запор;
- 10 — штанга; 11 — шланг; 12 — визуализатор давления;
- 13 — датчик уровня теста; 14 — венчик; 15 — дозатор;
- 16 — хлебопекарная форма; 17 — камера; 18 — карусель;
- 19 — дверка; 20 — двигатель-2

Fig. 1. An apparatus for accelerated dough making (UPT-1):

- 1 — compressor; 2 — base; 3 — control panel; 4 — electric motor;
- 5 — bus; 6 — control box; 7 — clamp cover;
- 8 — fixing rod; 9 — latch; 10 — bar; 11 — hose; 12 — pressure visualizer;
- 13 — dough level sensor; 14 — beater; 15 — batcher;
- 16 — baking tin; 17 — chamber; 18 — turntable; 19 — door;
- 20 — motor-2

(4), работа которого обеспечивает приготовление теста. В камеру (17) на карусель размещаются восемь хлебопекарных форм (по количеству форм, размещающихся одновременно в пекарной камере хлебопекарной печи). Камера герметично закрывается. Блок управления (6) подает команду на выравнивание давления внутри камеры и месильной камеры, а затем подает команду на дозатор (15), который обеспечивает заполнение хлебопекарной формы (16) тестом. Подача сигнала от блока управления на двигатель-2 (20) обеспечивает вращение карусели (18) и установку под дозатором (15) хлебопекарной формы для последующего заполнения.

Параметром оптимизации функционирования устройства для производства теста ускоренным способом на опытной установке являлась производительность  $y$ , кг/ч;

Определялась зависимость ее производительности  $y$ , кг/ч от следующих факторов: давления внутри камеры  $x_1$  ( $P$ , МПа), скорости вращения рабочего органа  $x_2$  ( $s$ , об/мин<sup>-1</sup>) и продолжительности замеса  $x_3$  ( $\tau$ , мин). Уровни и интервалы варьирования этих факторов представлены в табл. 1.

Однородность результатов испытаний устройства УПТ-1 для производства теста определялась по критерию Кохрена.

Дисперсия результатов каждого испытания (опыта) ( $S_j^2$ ) вычислялась по зависимости:

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (y_{ju} - y_j)^2, j = 1, 2, \dots, N, m = 2. \quad (1)$$

Расчет суммы дисперсии опытов  $\sum S_j^2$  выполнялся по формуле

$$S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2 = \sum_{j=1}^8 S_j^2 = 16,57. \quad (2)$$

Значение коэффициента Кохрена определялось по зависимости:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum S_j^2} = \frac{2,6}{16,572} = 0,16. \quad (3)$$

Для уровня значимости  $\alpha=0,05$  табличное значение  $G$  критерия составляет  $G_{кр}=0,679$ .

Экспериментальная величина критерия, рассчитанная по зависимостям (3) меньше этого значения. Следовательно, гипотеза об однородности дисперсий производительности  $y$ , кг/ч подтверждается. Это позволяет перейти к разработке математической модели функционирования устройства для производства теста.

Порядок проведения экспериментов, после проверки их результатов на воспроизводимость по критерию Кохрена, показан в табл. 2.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии выполнялся по соответствующей программе Excel [5, 6].

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии показаны в табл. 3, 4, 5, 6.

На следующем этапе обработки данных проверялась значимость полученных коэффициентов уравнений регрессии для производительности устройства УПТ-1.

Таблица 1  
Уровни и интервалы варьирования факторов экспериментальных исследований для производительности  $y$ , кг/ч

Таблица 1  
The values and their ranges for the parameters of the experiments with performance  $y$ , kg/h

Факторы	Давление $P$ , МПа, $x_1$	Скорость вращения рабочего органа $s$ , об/мин <sup>-1</sup> , $x_2$	Продолжительность, $\tau$ , мин, $x_3$
Основной уровень	0,4	1000	10
Интервал варьирования	0,1	200	3
Нижний уровень	0,3	800	7
Верхний уровень	0,5	1200	13

Таблица 2  
Расчетная таблица коэффициентов  
уравнения регрессии

Table 2  
Calculation table for regression equation coefficients

№ опыта	$x_0$	Матрица планирования			Векторы-столбцы взаимодействия			Отклики
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	
1	+	-	-	-	+	+	+	34,04
2	+	-	+	+	-	-	+	35,17
3	+	-	+	-	-	+	-	37,46
4	+	-	-	+	+	-	-	38,53
5	+	+	-	-	-	-	+	40,36
6	+	+	+	+	+	+	+	43,57
7	+	+	+	-	+	-	-	42,47
8	+	+	-	+	-	+	-	43,88

Таблица 3  
Результаты регрессионного анализа

Table 3  
The results of regression analysis

Наименование	Показатели
Множественный R	0,987919
R-квадрат	0,975983
Нормированный R-квадрат	0,831882
Стандартная ошибка	1,541493
Наблюдения	8

Таблица 4  
Результаты дисперсионного анализа

Table 4  
The results of dispersion analysis

Наименование	$df$	$SS$	$MS$	$F$	Значимость $F$
Регрессия	6	96,5628	16,0938	6,772	0,285957
Остаток	1	2,3762	2,3762	-	-
Итого	7	98,939	-	-	-

Коэффициенты регрессии

Regression coefficients

Наименование	Коэффициенты	Стандартная ошибка	$t$ -статистика	$P$ -значение	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%	Нижняя граница 95,0%	Верхняя граница 95,0%
$Y$ -пересечение	39,435	0,545	72,3578	0,008	32,51012	46,359	32,51	46,35
$x_1$	3,135	0,545	5,75229	0,109	-3,78988	10,059	-3,78	10,05
$x_2$	0,2325	0,545	0,42660	0,743	-6,69238	7,1573	-6,69	7,157
$x_3$	0,8525	0,545	1,56422	0,362	-6,07238	7,7773	-6,07	7,777
$x_1x_2$	0,2175	0,545	0,39908	0,758	-6,70738	7,1423	-6,70	7,142
$x_1x_3$	0,3025	0,545	0,55504	0,677	-6,62238	7,2273	-6,62	7,227
$x_2x_3$	-1,15	0,545	-2,1100	0,281	-8,07488	5,7748	-8,07	5,774

Коэффициенты уравнения регрессии

Regression equation coefficients

Параметр оптимизации	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$
Производительность	39,435	3,135	0,233	0,852	0,218	0,302	-1,150

С этой целью определялась дисперсия воспроизводимости опытов ( $S_{\text{воспр}}^2$ ), а затем дисперсия ошибки ( $S_{bi}^2$ ).

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{1}{N} \sum S_j^2 = \frac{1}{8} \cdot 16,572 = 2,072; \quad (4)$$

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{Nm} \cdot S_{\text{воспр}}^2 = \frac{2,072}{2 \cdot 8} = 0,129;$$

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} = \sqrt{0,36}. \quad (5)$$

В последующем определялось число степеней свободы при двух уровнях факторов ( $m=2$ ) и  $N$ -опытах ( $N=8$ )  $f_2 = N(m-1) = 8(2-1) = 8$ . (6)

Далее по таблице Стьюдента при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы  $f_2=8$  было определено критическое значение ( $t_{\text{кр}}$ ) критерия Стьюдента  $t_{\text{кр}}=2,31$ .

Расчет доверительных интервалов  $\Delta t_i$  коэффициентов уравнения выполнялся по зависимости

$$\Delta t_i = \pm t_{\text{кр}} \cdot S_{bi} = 2,31 \cdot 0,36 = \pm 0,83. \quad (7)$$

Так как абсолютная величина  $t_{\text{кр}} > \Delta t_i$ , коэффициенты достоверны и значимы. Оценка значимости коэффициентов регрессии показала, что на параметр оптимизации функционирования устройства для производства теста ускоренным способом УПТ-1 оказывает давление ( $P$ , МПа), скорость вращения рабочего органа ( $s$ , об/мин) и продолжительность замеса ( $\tau$ , мин) [7]–[9]. Исходя из этого, уравнение регрессии для расчета производительности имеет следующий вид:

$$y = 39,435 + 3,135x_1 + 0,2325x_2 + 0,8525x_3 + 0,2175x_1x_2 + 0,3025x_1x_3 - 1,15x_2x_3 \quad (8)$$

Для возможного использования построенной модели в практических целях осуществлялась проверка ее адекватности. С этой целью было определено значение

Таблица 5

Table 5

Таблица 6

Table 6

параметров ( $y_j^*$ ) по уравнению регрессии в каждом опыте. Результаты расчетов параметров адекватности показаны в табл. 7.

Дисперсия адекватности рассчитывалась по зависимости

$$S_{ад}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^*)^2 = \frac{2}{8-4} \cdot 3,919 = 1,96. \quad (9)$$

Кроме того, было определено отношение дисперсии адекватности к дисперсии производительности (расчетное значение критерия Фишера)

$$F_{пр} = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2} = \frac{2,072}{1,96} = 1,057. \quad (10)$$

Значение критерия Фишера определялось по [6] при числе степеней свободы  $f_4 = N - l = 8 - 4 = 4$ .

где  $l$  — число значимых коэффициентов регрессии ( $l_{пр} = 4$ ).

При уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , табличное значение для производительности  $F_{кр} = 3,84$ .

Так как  $F < F_{кр}$  ( $1,057 < 3,84$ ), то гипотеза об адекватности модели не отвергается.

Статистические методы анализа точности и стабильности технологического процесса технологической разработки вычисляли следующим образом [10]–[12]:

$$P \left( -z_\alpha \leq \frac{\bar{x} - v}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} < +z_\alpha \right) \approx 2\Phi_0(z_\alpha) = \alpha, \quad (11)$$

где  $\bar{x}$  — оценка математического ожидания производительности;  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение производительности;  $n$  — число испытаний;  $v$  — значение производительности в данном испытании;  $z_\alpha$  — верхний и нижний допуски теоретического распределения производительности.

$$|\bar{x} - v| < \Delta_v,$$

где  $\Delta_v$  — предельная ошибка в определении производительности.

$$n \geq \frac{z_\alpha^2 \sigma^2}{\Delta_v^2}. \quad (12)$$

Численные значения параметров для оценки производительности приготовления сбивного теста приведены в табл. 8.

### Полученные результаты и их обсуждение

Уравнение регрессии (8), полученное на основании обработки результатов экспериментов, позволяет прове-

Таблица 7

### Расчет параметров адекватности по уровню регрессии

Table 7

### Calculation of adequacy parameters according to regression coefficient

№ опыта	Значение параметра оптимизации по данным натурального эксперимента	Значение параметра оптимизации по уровням регрессии	$(y_{ср} - y^*)^2$
	$y_{ср}$	$y^*$	
1	34,04	34,298	0,067
2	35,17	36,002	0,692
3	37,46	36,598	0,743
4	38,53	38,302	0,052
5	40,36	40,568	0,043
6	43,57	42,272	1,685
7	42,47	42,868	0,158
8	43,88	44,572	0,479
			3,919

сти графический анализ возможностей управления процессом приготовления сбивного бездрожжевого теста [13]–[19].

Практическое применение рассматриваемого устройства для сбивания теста часто нуждается в информации о возможных пределах изменения режимов эксплуатации и выборе их оптимального соотношения.

Пусть, например, по условиям эксплуатации из конструктивных соображений ограничены возможности изменения давления  $P$  внутри камеры. В этих условиях необходимо выяснить какие режимы других параметров и как нужно менять для того, чтобы добиться максимальной производительности устройства. Такая задача решается на основании анализа соответствующей зависимости полученной, например, для основного уровня величины давления  $P = 0,4$  МПа.

При рассмотрении полученной зависимости (8) можно отметить, что производительность устройства растет при увеличении скорости перемешивания, но только до определенного времени перемешивания. Очень длительное перемешивание при высоких скоростях приводит к снижению производительности, поскольку структура теста разрушается и качество его снижается до непригодного.

Особенно наглядно это показывают графики эквивалентных кривых, полученных проецированием поверхности на горизонтальную плоскость (рис. 2).

Каждая кривая соответствует определенному горизонтальному срезу полученной поверхности и описывает условия, при которых достигается заданная высотой среза производительность  $y$ .

Таблица 8

### Параметры для оценки производительности приготовления сбивного теста

Table 8

### Parameters for estimating the performance of whipped dough making

Наименование частных параметров	$\alpha$	$z_\alpha$	$\sigma$	$v$	$x$	$\Delta v$	$n$
Численные значения частных параметров	0,95	45	7,4	1,5	1,3	0,82	50

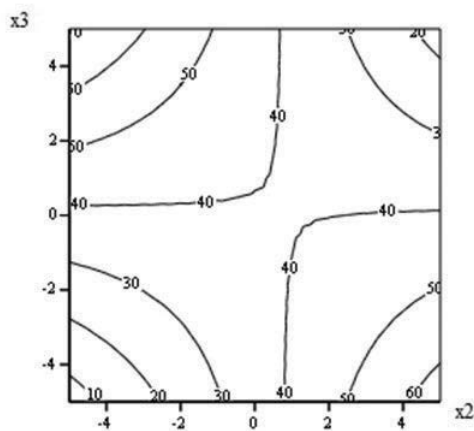


Рис. 2. Эквипотенциальные поверхности изменения производительности процесса  $y$  (кг/ч) от скорости  $x_2$  и продолжительности  $x_3$  ( $x_1=0$ ,  $x_2$  и  $x_3$  — кодированные переменные)

Fig. 2. Equipotential surfaces for the performance of process  $y$  (kg/h) depending on velocity  $x_2$  and duration  $x_3$  ( $x_1=0$ ,  $x_2$  and  $x_3$  — coded variables)

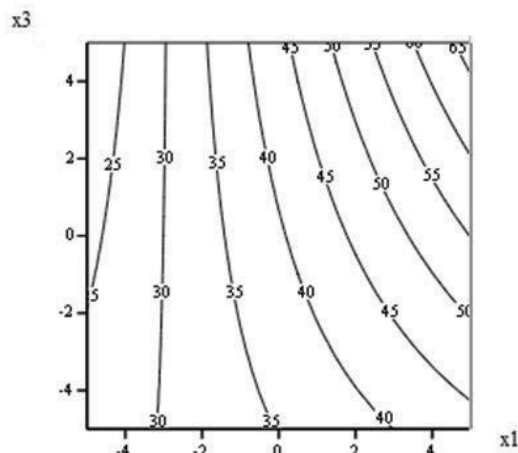


Рис. 3. Изменение производительности процесса  $y$  (кг/ч) от давления  $x_1$  и продолжительности  $x_3$  ( $x_2=0$ ) (эквипотенциальные кривые)

Fig. 3. Changes of performance for process  $y$  (kg/h) depending on pressure  $x_1$  and duration  $x_3$  ( $x_2=0$ ) (equipotential curves)

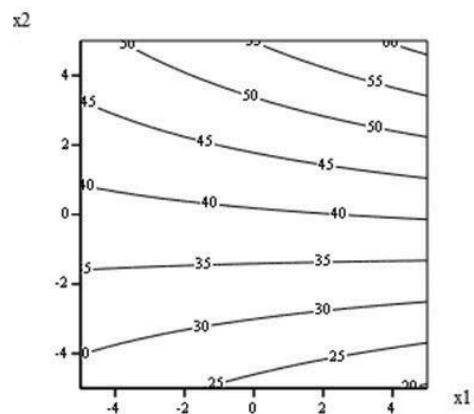


Рис. 4. Изменение производительности процесса  $y$  (кг/ч) от давления  $x_1$  и скорости сбивания  $x_2$  ( $x_3=0$ ) (эквипотенциальные кривые)

Fig. 4. Changes of performance for process  $y$  (kg/h) depending on pressure  $x_1$  and weeping speed  $x_2$  ( $x_3=0$ ) (equipotential curves)

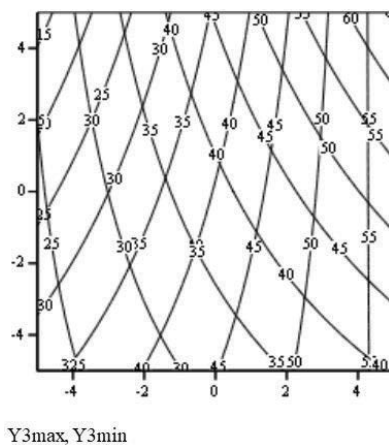


Рис. 5. Эквипотенциальные поверхности производительности процесса  $y$  (кг/ч) от скорости  $x_2$  и продолжительности  $x_3$  ( $x_2$  и  $x_3$  — кодированные переменные) при минимальном и максимальном давлениях в месильной камере

Fig. 5. Equipotential surfaces for the performance of process  $y$  (kg/h) depending on velocity  $x_2$  and duration  $x_3$  ( $x_2$  and  $x_3$  — coded variables) at minimum and maximum pressure in the kneading chamber

Таким образом, появляется возможность управления скоростью и длительностью процесса сбивания без изменения его производительности.

Аналогичного плана заключения можно сделать при фиксировании значений скорости вращения рабочего органа или продолжительности замеса.

Как и в предыдущем случае, еще более наглядно такие зависимости показывают графики эквипотенциальных кривых, полученных проецированием этой поверхности на горизонтальную плоскость (рис. 3, 4).

Особенно важные заключения можно сделать при анализе изменения производительности для различных значений одного и того же варьируемого параметра — режима проведения процесса. Если наложить две со-

вокупности эквипотенциальных зависимости, например, при минимальном и максимальном величинах давления  $P$  (0,3 и 0,5, соответственно), то можно получить номограмму для управления режимами процесса для желаемой производительности (рис. 5). Такая задача всегда решается при включении любого технологического оборудования в машино-аппаратурную схему процесса.

**Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования сбивания теста на предложенной установке, позволили получить соответствующее уравнение регрессии, которое позволяет осуществлять управление процессом сбивания. Это особенно важно при использовании новых

технологических приемов способствующих повышению воздухоудержания теста, например за счет инициирования эффектов кавитации посредством воздействия ультразвуковым полем и возможного снижения времени работы месильной камеры.

Анализ полученной номограммы приводит к важному выводу, что эквивалентные семейства кривых при определенных производительностях имеют пересечения для одинаковых значений производительности (цифры на графике). Это дает возможность сделать важный вывод — при режимах определяемых этими точками

давление в камере не влияет на производительность, что позволяет управлять процессом сбивания теста, регулируя скорость и время сбивания при определенном давлении для достижения необходимой производительности.

Полученная номограмма дает возможность определять режимы переработки для любой заранее заданной производительности устройства, что важно при встраивании ее в технологическую цепочку для соответствия ее выхода с входом следующего устройства, например, выпечной камеры.

## Литература

1. Бегулов М. Ш. Реологические свойства теста // Хлебопродукты. 2003. № 2. С. 18–19.
2. Магомедов Г. О. Влияние различных факторов на реологические свойства сбивного бездрожжевого теста // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 5. С. 42–46.
3. Breitbach M. Influence of ultrasound on adsorption // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2001. Vol. 8. No 3. P. 277–283.
4. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства / Под общ. ред. Л. И. Пучковой. СПб: Профессия, 2002. 414 с.
5. Воларович М. П., Бранопольская Р. А. Исследование физико-механических свойств пшеничного теста. М.-Л.: Пищепромиздат, 1940. 124 с.
6. Гуськов К. П., Мачихин Ю. А., Мачихин С. А. Реология пищевых масс // Пищевая промышленность. 1970. 207 с.
7. Максимов А. С., Черных В. Л. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовых изделий хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств. М.: МГУПП, 2004. 163 с.
8. Кузьминский Р. В. Интенсивная механическая обработка теста // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1970. № 8. С. 9–12.
9. Применение ультразвуковых колебаний для ускорения процессов в жидких средах. [Электронный ресурс]: <https://u-sonic.ru/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/primenenie-ultrazvukovykh-kolebaniy-dlya-uskoreniya-protseessov-v-zhidkikh-sredakh/> (дата обращения: 01.07.2022).
10. Технологии использования ультразвука в пищевых средах. [Электронный ресурс]: <http://bio-x.ru>. (дата обращения: 01.07.2022).
11. Романчиков С. А. Исследование структурно-механических свойств макаронных изделий повышенной пищевой ценности в поле ультразвука. / В сборнике научных статей МНПК: Современные технологии продуктов питания. 2014. С. 180–183.
12. Шестаков С. Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции. СПб.: Гиорд, 2013. 152 с.
13. Ермошин Н. А., Романчиков С. А., Николук О. И. Технология сепарированной очистки от примесей, электрогидравлического размола зерна и электроконтактной выпечки хлебобулочных изделий // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 64–69.
14. Магомедов Г. О., Пономарева Е. И., Шелест Т. Н., Левин Ю. Н. Математическое моделирование эффективной вязкости сбивного бездрожжевого теста. / Материалы XX

## References

1. Begeulov M. S. Rheological properties of dough. *Bread products*. 2003. No. 2. pp. 18–19. (in Russian)
2. Magomedov G. O. The influence of various factors on the rheological properties of churned yeast-free dough. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2007. No. 5. pp. 42–46. (in Russian)
3. Breitbach M. Influence of ultrasound on adsorption. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2001. Vol. 8. No 3. P. 277–283. (in Russian)
4. Auerman L. Ya. Technology of bakery production / Under the general. ed. L. I. Puchkova. SPb: Profession, 2002. 414 p. (in Russian)
5. Volarovich M. P., Branopolskaya R. A. Study of the physical and mechanical properties of wheat dough. М.-Л., Pishchepromizdat, 1940. 124 p. (in Russian)
6. Guskov K. P., Machikhin Yu. A., Machikhin S. A. Rheology of food masses. *Food industry*. 1970. 207 p. (in Russian)
7. Maksimov A. S., Chernykh V. L. Laboratory workshop on the rheology of raw materials, semi-finished products and finished products of bakery, confectionery and pasta industries. Moscow, MGUPP, 2004. 163 p. (in Russian)
8. Kuzminsky RV. Intensive mechanical processing of dough. *Bakery and confectionery industry*. 1970. No. 8. p. 9–12. (in Russian)
9. The use of ultrasonic vibrations to accelerate processes in liquid media. [Electronic resource]: <https://u-sonic.ru/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/primenenie-ultrazvukovykh-kolebaniy-dlya-uskoreniya-protseessov-v-zhidkikh-sredakh>. (cited 2022 July 01). (in Russian)
10. Technologies for the use of ultrasound in food environments. [Electronic resource]: <http://bio-x.ru>. (cited 2022 July 01). (in Russian)
11. Romanchikov S. A. Study of the structural and mechanical properties of pasta with increased nutritional value in the field of ultrasound. *Collection of scientific articles of the international scientific-practical conference: Modern food technologies*. 2014. P. 180–183. (in Russian)
12. Shestakov S. D. Technology and equipment for processing food media using cavitation disintegration. SPb, Giord, 2013. 152 p. (in Russian)
13. Yermoshin N. A., Romanchikov S. A., Nikoluk O. I. The technology of separate grain refining, electro-hydraulic grain milling, and electro contact baking of bakery products. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 3. p. 64–69. (in Russian)
14. Magomedov G. O., Ponomareva E. I., Shelest T. N., Levin Yu. N. Mathematical modeling of the effective viscosity of whipped yeast-free dough. *Proceedings of the XX Interna-*

- международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях». 2007. С. 213–214.
15. Магомедов Г. О., Пономарева Е. И., Шелест Т. Н., Крутских С. Н. Повышение пищевой ценности сбивных мучных изделий // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 6. С. 73–75.
  16. Ермошин Н. А., Романчиков С. А., Волков И. Е. Создание математической модели приготовления сбивного теста // Хлебопродукты. 2022. № 8. С. 38–41.
  17. Кондратов А. В., Верболоз Е. И., Алексеев Г. В. О модели развития кавитационной полости при измельчении пищевого сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 11. С. 27–29.
  18. Иванова А. С., Алексеев Г. В. Моделирование процесса натекания неньютоновской жидкости на жесткую преграду // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 34–35.
  19. Алексеев Г. В., Вороненко Б. А., Головацкий В. А. Аналитическое исследование процесса импульсного (дискретного) теплового воздействия на перерабатываемое пищевое сырье. // Новые технологии. 2012. № 2. С. 11–15.
15. Magomedov G. O., Ponomareva E. I., Shelest T. N., Krutskikh S. N. Increasing the nutritional value of whipped flour products. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2006. No. 6. P. 73–75. (in Russian)
  16. Ermoshin N. A., Romanchikov S. A., Volkov I. E. Creation of a mathematical model for the preparation of aerated dough. *Khleboprodukty*. 2022. No. 8. P. 38–41. (in Russian)
  17. Kondratov A. V., Verboloz E. I., Alekseev G. V. On the development model of the cavitation cavity during grinding of food raw materials. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2007. No 11. P. 27–29. (in Russian)
  18. Ivanova A. S., Alekseev G. V. Modeling the process of non-Newtonian fluid leakage onto a rigid barrier. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. No. 1. P. 34–35. (in Russian)
  19. Alekseev G. V., Voronenko B. A., Golovatsky V. A. Analytical study of the process of pulsed (discrete) thermal effects on processed food raw materials. *New technologies*. 2012. No. 2. P. 11–15. (in Russian)

### Сведения об авторе

#### Волков Иван Евгеньевич

Слушатель, Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева, 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова 8, volkovivan36@yandex, ORCID 0000-0002-9384-9948


### Information about author

#### Volkov Ivan E.

Adjunct, Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A. V. Khrulev, 199034, Russia, St. Petersburg, nab. Makarova, 8, volkovivan36@yandex, ORCID 0000-0002-9384-9948



Статья доступна по лицензии  
Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



32 международная агропромышленная выставка-ярмарка

## АГРОПУСЬ-2023

Выставка «АГРОПУСЬ»  
30 августа – 1 сентября 2023 г.  
Ярмарка региональных продуктов «АГРОПУСЬ»  
25 августа – 3 сентября 2023 г.

**АГРОПУСЬ:** агропромышленный конгрессно-выставочный форум, ориентированный на создаваемую отечественную агропищевую индустрию будущего – Foodne

**ВЫСТАВКА. РАЗДЕЛЫ:**

- ✓ Сельскохозяйственная техника
- ✓ Оборудование для АПК
- ✓ Растениеводство сельскохозяйственных культур
- ✓ Средства защиты растений. Агрохимия
- ✓ Животноводство. Корма и комбикорма. Ветеринария
- ✓ Продукты питания
- ✓ Напитки (Кухня регионов «От поля до прилавка»)
- ✓ Услуги для АПК. Научное обеспечение. Управление

<http://agrorus.expoforum.ru/>

**Организатор выставки-ярмарки:**  
Министерство сельского хозяйства РФ,  
при официальной поддержке Правительств Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

**Контакты:**  
Тел./факс: +7 (812) 240-40-40, доб.2235  
E-mail: e.gabuchiya@expoforum.ru,

**Место проведения:**  
КВЦ «Экспофорум»  
Петербургское шоссе 64, корпус 1