На основании результатов проведенных исследований разработана технология производства коржиков ржаных с пониженным содержанием сахара, не требующая модификации традиционного оборудования.

Замена сахарного песка отрубями в количестве от 5 до 15 % способствует снижению плотности готовых изделий.

Изучение реологических характеристик показало, что внесение отрубей вызвало повышение значений предельного напряжения сдвига песочного теста на 2% и одновременно более интенсивное падение эффективной вязкости на 10% при возрастающем градиенте скорости сдвига опытных образцов по сравнению с исходными образцами теста без отрубей. Это связано с расслаблением структуры теста за счет снижения количества клейковины муки при замене ее отрубями.

При исследовании органолептической оценки, физико-химических и структурно-механических показателей качества коржиков ржаных с отрубями установлено оптимальное количество отрубей – 10 % к массе муки.

С учетом результатов проведенных исследований разработаны рецептуры и технологические схемы производства коржиков ржаных двух наименований. Определены физико – химические и органолептические показатели качества, позволяющие регламентировать лабораторный контроль изделий.

Установлено, что замена пшеничной муки на ржаную и введение пшеничных отрубей способствует снижению темпов изменения показателей влажности в течение 72 часов хранения и намокаемости в сравнении с контролем на 13 и 27 % соответственно, что подтверждает стабилизирующую роль продуктов, содержащих комплекс пищевых волокон, в сохранении свежести мучных кондитерских изделий.

Анализ состава аминокислот новых изделий показал существенное увеличение в них скора наиболее дефицитной аминокислоты – лизина – на 17 % по сравнению с контролем. Это обусловлено улучшением сбалансированности состава незаменимых аминокислот из ржаной муки.

Анализ химического состава разработанных изделий позволяет сделать вывод об их высокой пищевой ценности, а также диетических свойствах за счет содержания пищевых волокон, которых на 57% больше чем у контрольного образца.

Разработанный ассортимент коржиков ржаных рекомендован для использования в рациональном и диетическом питании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рецептуры на торты, пирожные, кексы и рулеты: в 3-х частях.–М.: Пищ. пром-ть, 1977–1979.

2. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания.–М.: Экономика, 1986.–295 с.

3. Долгоновова С.В. Совершенствование технологии централизованного производства песочного теста: Дис. канд. техн. наук. – Д., 1987. – 182 с.

4. Дорохина Н.А. Исследование влияния состава жиров и некоторых технологических факторов на качество изделий из песочного теста: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М., 1975. – 30 с.

5. Корячкина С.Я. Новые виды мучных и кондитерских изделий.–Труд. Орел, 2001.–213 с.

6. А.с. 1630748 СССР, МКИ^4 А 21^p 13/08 Способ производства полуфабриката низкокалорийных кондитерских изделий (В.П. Ануфриев, Е.Л. Иванов (СССР).–4 с.

7. Корячкин В.П. Установка для обработки пищевых сред давлением //Индустрия образования: Сборник статей. Выпуск 3. – М: МГИУ, 2002. – С. 105 – 110.

8. Корячкин В.П., Мачихин Ю.А. Комплект макетов устройств для анализа качества формования кондитерских масс в изделия.//Новые методы контроля технологических процессов и качество продукции: Сборник научных трудов: – Новосибирск: СО РАСХН, 1991.

9. Корячкин В.П., Ермолаев В.Д. Расчет параметров свойств пищевых систем. Кемерово.: ЦНТИ, 1982. - № 297. - 3 с.

10. Ройтер И.М., Макаренкова А.А. Сырье хлебопекарного, кондитерского и макаронного производства: Справочник.–Киев: Урожай, 1988.–208 с.

11. Казаков Е.Д., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки.–М.: Колос, 1980.–319 с.

12. Технология и техника механизированного производства торгов и пирожных /Истомина Н.М., Талейсник Н.А., Теплова Р.В. и др.–М.: Пищ. пром-ть, 1975.–253 с.

13. Технология кондитерских изделий /Под ред. г.А. Маршалкина.–М.: Пищ. пром-ть, 1978.–446 с.

14. Токарев Л.И. Производство мучных кондитерских изделий.–М.: Пищ. пром-ть, 1977.–286 с.

15. Козьмина Е.П. Технология производства изделий из теста в общественном питании.–М.: Экономика, 1969.–151 с.

16. Корячкин В.П. Новое в технике и технологии производства мучных кондитерских изделий. М. ЦНИИТЭИ хлебпродинформ, 1997. – 38 с.

РАЗРАБОТКА ОСЕВОГО ШЕСТЕРЕННОГО ВЫТЕСНИТЕЛЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ПЛАСТИЧЕСКИХ СРЕД ДАВЛЕНИЕМ В СКВОЗНЫХ КАНАЛАХ

Корячкин В.П.
Орловский государственный технический университет, Орел

В шестеренном вытеснителе потери мощности от вязкого и механического трения сосредоточены, в основном в торцевых и радиальных зазорах, во впадинах зубьев, в месте взаимного зацепления шестерен, в подшипниках и уплотнениях вала.

Для определения потерь мощности в торцевых зазорах вытеснителя рассмотрим процесс течения пластической среды в торцевом кольцевом зазоре осевого шестеренного вытеснителя в цилиндрической системе координат: r, φ, z. Торцевой зазор $\delta_т$ ограничен, с одой стороны наружной торцевой поверх-

ностью шестерни с радиусом $R_ш$ и с другой - внутренней поверхностью корпуса с радиусом $R_к$ и цапфой с радиусом $R_ц$.

Начало координат совместим с центром вращения шестерни, и ось z направим вдоль оси вращения (рисунок 1). Заметим, что величина торцевого зазора d_m << $R_ш$. Поэтому осевой U_z и радиальной U_r составляющими скорости можно пренебречь.

Окружную скорость U_j определим в виде функции:

$$U_j = rf(z) \tag{1}$$

где r - текущий радиус, f (z) - неизвестная функция координаты z.

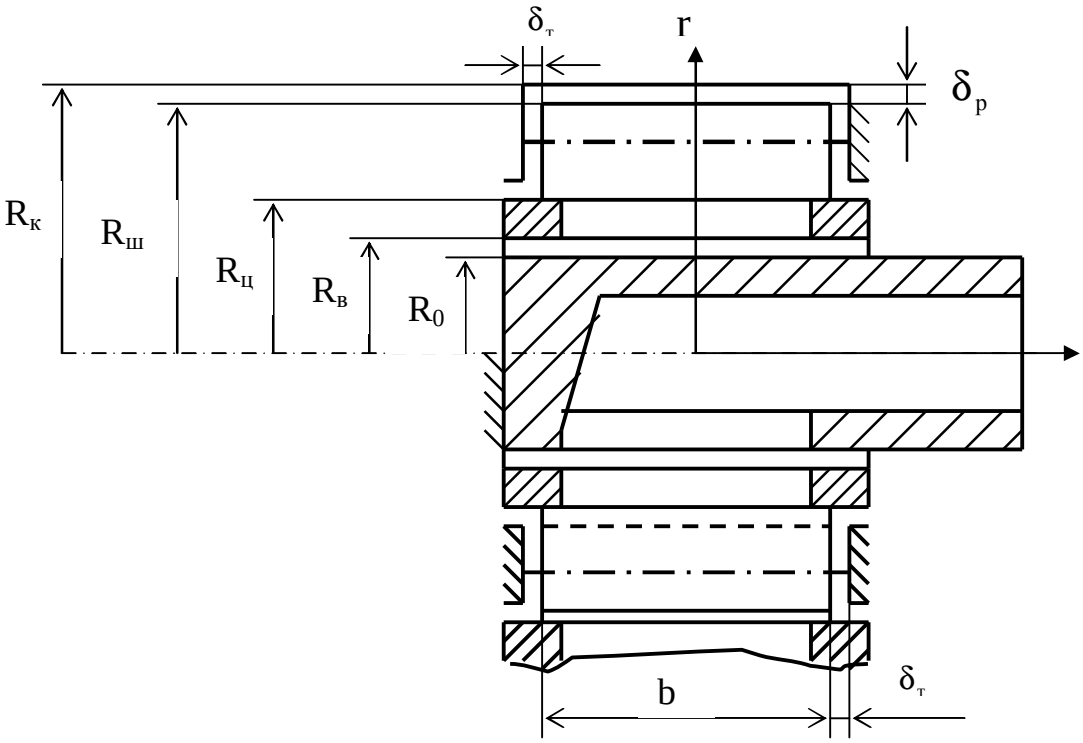

Рисунок 1. Схема шестеренного вытеснителя с осевым выходом формуемой среды

Реологическим уравнением состояния пластической среды будет трехпараметрическое уравнение, которое запишем в виде:

$$q = \frac{(\pm q_0)^2}{q} + k[f'(z)]^n \tag{2}$$

Вязкость выразим уравнением:

$$h = \frac{\left[\frac{(\pm q_0)^2}{q}\right]}{f'(z)} + k[f'(z)]^{n-1} \tag{3}$$

На основании приведенных допущений запишем дифференциальное уравнение движения пластической среды в торцевом зазоре шестеренного вытеснителя:

$$\frac{r}{r^n}\frac{\partial P}{\partial j} = f'(z)\left\{\frac{\left[\frac{(\pm q_0)^2}{q}\right]}{f'(z)} + k[f'(z)]^{n-1}\right\} \tag{4}$$

Перепишем (4) с учетом (3) в виде:

$$A = f'(z) = \frac{1}{h}\frac{r}{r^n}\frac{\partial P}{\partial j} \tag{5}$$

Введем новые обозначения:

$$f(z) = f'(z)$$
$$f'(z) = f''(z) \tag{6}$$

Тогда:

$$A = f'(z) = \frac{df}{dz} \tag{7}$$

Проинтегрируем (7), получим:

$$f(z) = Az + C_1 \tag{8}$$

Можно записать, что

$$\frac{df(z)}{dz} = f'(z) \tag{9}$$

или

$$df(z) = A\int zdz + C_1\int dz \tag{10}$$

После интегрирования (10), получим:

$$f(z) = \frac{A}{2}z^2 + C_1 z + C_2 \tag{11}$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из граничных условий:

$$\left| \begin{array}{l} z=0;\ f(z)=w \\ z=d_m;\ f(z)=0 \end{array} \right. .$$

$$C_1 = -\frac{A}{2}d_m - \frac{w}{d_m};$$

$$C_2 = w. \qquad (12)$$

Подставив C_1 и C_2 в (11), получим:

$$f(z) = \frac{A}{2}z^2 - \frac{A}{2}d_m z - \frac{w}{d_m}z + w \qquad (13)$$

Запишем (13) с учетом (11)

$$U_j = wr\left(1 - \frac{z}{d_m}\right) + \frac{z(z-d_m)}{2} \cdot$$

$$\cdot \left\{ q_o \frac{d_m r^{1-n}}{w} + k\left(\frac{w}{d_m}\right)^{n-1} r^{3-n} \right\} \qquad (14)$$

Уравнение (14) с граничными условиями (12) определяет закон распределения окружной скорости U_j по торцевому зазору шестеренного вытеснителя при течении в нем сплошной среды с пластическими свойствами.

Определим момент $M_т$ от вязкостного трения пластической среды в торцевом зазоре, как сумму момента M_1 сопротивления сдвиговому течению и момента сопротивления M_2 от действия в торцевом зазоре градиента давления $\frac{\partial p}{\partial j}$.

$$M_m = M_1 + M_2 =$$

$$= 2p\int_{R_ц}^{R}\left[\left[\frac{(\pm q_0)^2}{q}\right] + k\left(\frac{w}{d_m}r\right)^n\right] r^2 dr + \qquad (15)$$

$$+ pd_m \frac{\partial p}{\partial j}\int_{R_ц}^{R} r dr$$

После интегрирования (15) и соответствующих преобразований запишем выражение момента сопротивления для всех четырех торцевых зазоров шестеренного вытеснителя в виде:

$$M_m = 8p\left[\begin{array}{l} \left[\frac{(\pm q_0)^2}{q}\right]\frac{R_ш^{\ 3} - R_ц^3}{3} + \\ + k\left(\frac{w}{d_m}\right)^n \frac{R_ш^{\ 3+n} - R_ц^{3+n}}{3+n} + \\ + \frac{d_m}{4}\left(\frac{\partial p}{\partial j}\right)\left(R_ш^3 - R_ц^3\right) \end{array}\right] \qquad (16)$$

где q_o, k и n - предельное напряжение сдвига, коэффициент консистенции и индекс течения объекта формования;

$R_ш$ и $R_ц$ - радиусы выступов зубьев и цапфы шестеренного вытеснителя;

w - угловая скорость нагнетающих шестерен;

d_m - торцевой зазор;

Мощность $N_т$, потребляемая вязким сопротивлением, при течении пластической среды в торцевом зазоре рассчитывают по формуле:

$$N_m = M_m w \qquad (17)$$

Для определения мощности $N_р$, необходимой для преодоления вязкого трения в радиальном зазоре шестеренного вытеснителя, также воспользуемся цилиндрической системой координат r, φ, z.

Радиальный зазор d_p образован между корпусом вытеснителя радиусом $R_к$ и поверхностью головок зубьев вытесняющих шестерен радиусом $R_ш$ (рисунок 1).

Ось z направим вдоль оси шестерни. Считаем, что течение в радиальном зазоре происходит со скоростью U_j, так как d_p значительно меньше $R_ш$ и осевая U_z и радиальная U_r компоненты скорости незначительны. Заметим также, что перепад давления по длине зуба шестерни тоже несущественен.

Запишем дифференциальное уравнение течения сплошной среды с пластическими свойствами в радиальном зазоре шестеренного вытеснителя в виде:

$$U_j'' + \frac{c}{r}U_j' - \frac{c}{r^2}U_j = 0 \qquad (18)$$

где $c = \frac{2-n}{n}$

Решение уравнения (18) найдем в виде:

$$U_j = A\frac{c}{r^2} + B\frac{1}{r^C} \qquad (19)$$

Для определения коэффициентов A и B составим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} A\frac{R}{c^2} + B\frac{1}{R_ш^C} = wR_ш \\ AR_к - B\frac{1}{R_к^{\ C}} = 0 \end{array} \right. \qquad (20)$$

для которой граничные условия имеют вид:

$$\left| \begin{array}{l} r = R_ш; U_j = wR_ш \\ r = R_к; U_j = 0 \end{array} \right. \qquad (21)$$

Можно записать, что:

$$B = -AR_к^{c+1} \qquad (22)$$

Тогда

$$A = \frac{w}{\left[\frac{1}{c^2} - \left(\frac{R_к}{R_ш}\right)^{c+1}\right]} \qquad (23)$$

Подставим выражение A из (23) в (22) получим:

$$B = -\frac{w}{\left[\frac{1}{c^2 R_к^{c+1}} - \frac{1}{R_ш^{c+1}}\right]} \quad (24)$$

Перепишем (29) с учетом (23) и (24) - получим выражение скорости в радиальном зазоре:

$$U_j = wr\frac{1-\left(\frac{r}{R_к}\right)^{-\frac{2}{n}}}{1-\left(\frac{2-n}{n}\right)^2\left(\frac{R_ш}{R_к}\right)^{-\frac{2}{n}}} \quad (25)$$

Запишем выражение силы вязкого трения, действующей на участке, равном длине головки одного зуба нагнетающей шестерни.

$$F_{в.тр.} = \frac{2prb}{z}q \quad (26)$$

Для вязкопластичного пищевого материала с нелинейной вязкостью запишем реологическое уравнение состояния в виде:

$$q = \frac{\left(\pm q_o^2\right)}{q} + k\left\{w\frac{\left[1-\left(\frac{r}{R_ц}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]}{\left[1-\left(\frac{2-n}{n}\right)^2\left(\frac{R_ш}{R_к}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]}\right\}^n \quad (27)$$

Тогда момент сил вязкого трения, действующий в радиальных зазорах двух шестерен будет:

$$M_p = 2F_{в.тр.}R_ш \aleph_1 q =$$

$$= 4pR^2\aleph b\left\{\frac{\left(\pm q_o^2\right)}{q} + kw^n\frac{\left[1-\left(\frac{r}{R_к}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]^n}{\left[1-\left(\frac{2-n}{n}\right)^2\left(\frac{R_ш}{R_к}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]^n}\right\} \quad (28)$$

где $\aleph$ - коэффициент, учитывающий количество зубьев, находящихся в постоянном контакте с корпусом.

Мощность, необходимая для преодоления сил вязкого сопротивления в радиальном зазоре, будет:

$$N_p = M_p w \quad (29)$$

Определим мощность, потребляемую на срез формуемой пластической среды при вытеснении его через загрузочные окна в цилиндрических стенках камер вытеснения:

$$N_c = M_c w \quad (30)$$

Для расчета момента среза найдем площадь среза. При обращенном движении окно среза совершает полный оборот вокруг оси вращения вытесняющей шестерни и описывает площадь равную:

$$S_1 = 2pR_{кв}b \quad (31)$$

Для двух нагнетающих шестерен:

$$S_c = 2S_1 = 4pR_{кв}b \quad (32)$$

Введем коэффициент, учитывающий реальную площадь среза в зависимости от геометрических размеров шестеренного вытеснителя:

$$\aleph_c = \frac{m(2z-1)}{8R_{кв}} \quad (33)$$

Окончательно площадь среза можно определить по формуле:

$$S = S_c\aleph_c = pmb\frac{(2z-1)}{2} \quad (34)$$

Теперь запишем выражение для определения момента среза:

$$M_c = pmb\frac{(2z-1)}{2}qR_{кв}\aleph_c \quad (35)$$

При уменьшении коэффициента $\aleph_c$ на поверхности камеры вытеснения образуется радиальный зазор $d_{кв}$, в котором момент вязкого трения можно определить по аналогии с (28). Для двух камер момент $M_{кв}$ равен:

$$M_{кв} = 2pR_{кв}^2\aleph_1 b\cdot$$

$$\cdot\left\{\frac{\left(\pm q_o^2\right)}{q} + k\frac{w^n}{1-\left(\frac{R_{кв}}{R}\right)^{-\frac{2}{n}}}\frac{\left[1-\left(\frac{r}{R_{кв}}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]^n}{\left[1-\left(\frac{2-n}{n}\right)^2\left(\frac{R}{R_{кв}}\right)^{-\frac{2}{n}}\right]^n}\right\}$$

(36)

Мощность вязкого трения в радиальных зазорах формующих камер:

$$N_{кв} = M_{кв}w \quad (37)$$

Общая мощность:

$$N_o = N_т + N_р + N_{кв} + N_c +, \quad (38)$$

где N_{xx} – мощность холостого хода.

Формула (38) позволяет подобрать привод шестеренного вытеснителя с учетом реологических характеристик объекта вытеснения.

Разработку конструкций элементов осевого шестеренного вытеснителя проводили методом твердотельного моделирования.

Шестеренный вытеснитель построен по модульному принципу. Все модули интегрированы.

На рисунке 2 представлена схема сборки осевого шестеренного вытеснителя.

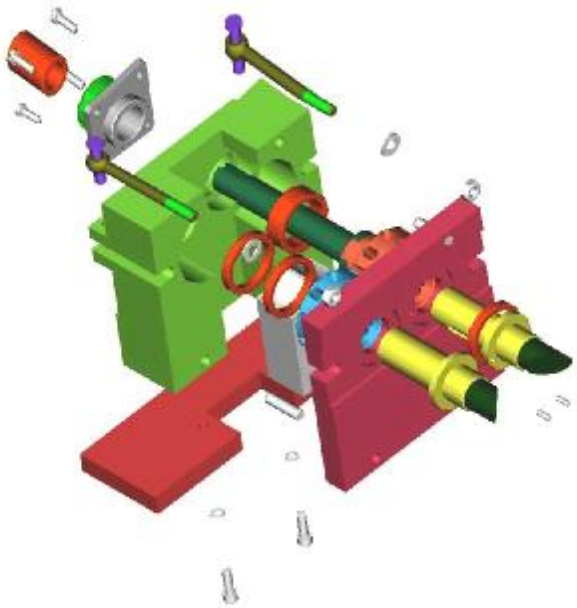

Рисунок 2. Схема сборки осевого шестеренного вытеснителя

На рисунке 3 представлен разработанный вытеснитель с автоматизированной системой сбора экспериментальных данных.

Рисунок 3. Общий вид осевого шестеренного вытеснителя с автоматизированной системой сбора данных от датчиков давления, температуры и положения

Автоматизированная система сбора данных позволяет контролировать технологические процессы обработки пластических сред давлением в сквозных каналах в режиме реального времени. При этом информация с датчиков передается в память компьютера, что позволяет создавать банки данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачихин Ю.А., Берман Г.К., Клаповский Ю.В. Формование пищевых масс. – М.: «Колос», 1992. – 272 с.

2. Корячкин В.П. Новое в технике и технологии производства мучных кондитерских изделий. М. ЦНИИТЭИ хлебпродинформ, 1997. – 38 с.

3. Корячкин В.П. Установка для обработки пищевых сред давлением //Индустрия образования: Сборник статей. Выпуск 3. – М: МГИУ, 2002. – С. 105 – 110.