

УДК 65.33

**Исследование реологических свойств в процессе черствения  
хлебобулочных изделий с добавлением микронутриентов**

Колодязная В.С. д.тн., Байченко Л.А.

[externalize@yandex.ru](mailto:externalize@yandex.ru)

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и  
пищевых технологий

*Исследовано изменение параметров ползучести хлеба с добавлением  
микронутриентов в процессе хранения в естественных условиях, что важно  
при сенсорной оценке свежести хлеба потребителем через тактильный  
тест.*

Ключевые слова: хлеб, ползучесть, психореология

**Study of rheological properties during staling of bakery products with added  
micronutrients**

Kolodyaznaya V.S., Baychenko L.A.

[externalize@yandex.ru](mailto:externalize@yandex.ru)

St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering

*The change of the parameters of creep of bread with the addition of micronutrients  
during storage in natural conditions, which is important for sensory assessment of  
freshness of bread by the user via a tactile test.*

Keywords: bread, creep, psychorheology

Исследования пищевых продуктов методами реологии и психологии  
потребителя относятся к метареологии или , точнее, к психореологии и дают

ценную информацию для управления биотехнологическими процессами [1,2,3] .

В нашей работе [4] по психореологическим свойствам профилактического витаминизированного хлеба «ВИТАМЕТ» было показано, что тактильная оценка свежести хлеба потребителем моделируется математически дифференциальным уравнением вязкоупругой среды Кельвина-Фойгта с добавлением упругого элемента Гука. Символьная реологическая формула хлеба «ВИТАМЕТ» тогда имеет вид :

$$\mathbf{H}-\mathbf{H} \mid \mathbf{N} , \quad (1)$$

где  $\mathbf{H}$  – символ упругого тела Гука;

$\mathbf{N}$  – символ вязкой среды Ньютона;

$\mathbf{H} \mid \mathbf{N}$  - символ среды Кельвина-Фойгта.

Механическое поведение этой модели хлеба описывается дифференциальным уравнением вида :

$$\frac{d \sigma}{dt} + \left( \frac{E_1 + E_2}{\mu} \right) \sigma = E_1 \frac{d \varepsilon}{dt} + \left( \frac{E_1 E_2}{\mu} \right) \varepsilon, \quad ( 2 )$$

где  $\sigma$  - напряжение сжатия, Па ;

$t$  - время, с;

$\varepsilon$  - деформация сжатия;

$E_1, E_2$  - модули упругости первого рода, Па;

$\mu$  - аналог коэффициента динамической вязкости при сжатии ,

Па·с.

Тактильную пробу свежести хлеба потребителем можно представить себе, как последовательность следующих деформаций:

1. Мгновенная упругая деформация с модулем упругости  $E_1$ , при котором в модели игнорируются инерционные составляющие, поскольку скорости тактильных деформации малы;

2. Деформация ползучести при постоянном напряжении сжатия, при котором количественно процесс определяется величинами модуля упругости  $E_2$  и коэффициента вязкости  $\mu$ .

Психологически при ручной пробе свежий хлеб не должен деформироваться только упруго, как резиновый мячик (первый вид деформации), но должен также проявить свойства вязкоупругой ползучести (второй вид деформации).

Схема установки для экспериментального исследования хлеба «ВИТАМЕТ» имеет вид :

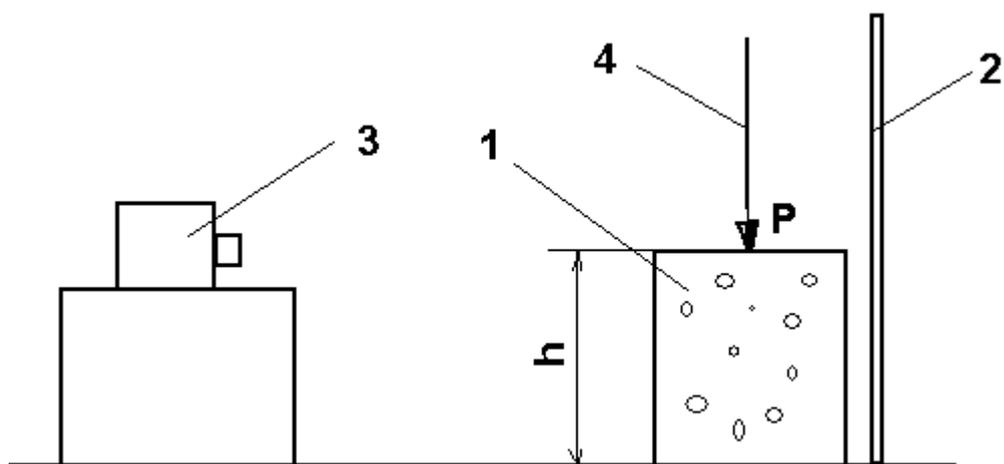


Рисунок 1. Схема установки. 1- образец хлеба «ВИТАМЕТ», 2 –мерная линейка, 3 – видеокамера, 4 - вектор вертикальной нагрузки.

Опыты и обработку экспериментальных данных проводили по изложенной в работе [4] методике, позволило вычислить образцовые величины реологических констант свежего хлеба «ВИТАМЕТ».

С помощью программы Mathcad 14 построена экспериментальная кривая ползучести (рис. 2) свежего хлеба «ВИТАМЕТ», согласно следующему аналитическому выражению, полученному из основного дифференциального уравнения (2) при условии постоянства напряжений сжатия  $\sigma_0$  :

$$\varepsilon(t) = \left[ \left( \frac{1}{E_1} \right) + \frac{\left[ 1 - e^{\left( -\frac{E_2 \cdot t}{\mu} \right)} \right]}{E_2} \right] \sigma_0 \quad (3)$$

$$E_1 := 2.67 \cdot 10^{-3} \quad E_2 := 1.78 \cdot 10^{-3} \quad \mu := 3.32 \cdot 10^{-3} \quad \sigma_0 := 2.67 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon(t) := \left[ \left( \frac{1}{E_1} \right) + \frac{1 - e^{\left( \frac{-E_2 \cdot t}{\mu} \right)}}{E_2} \right] \cdot \sigma_0$$

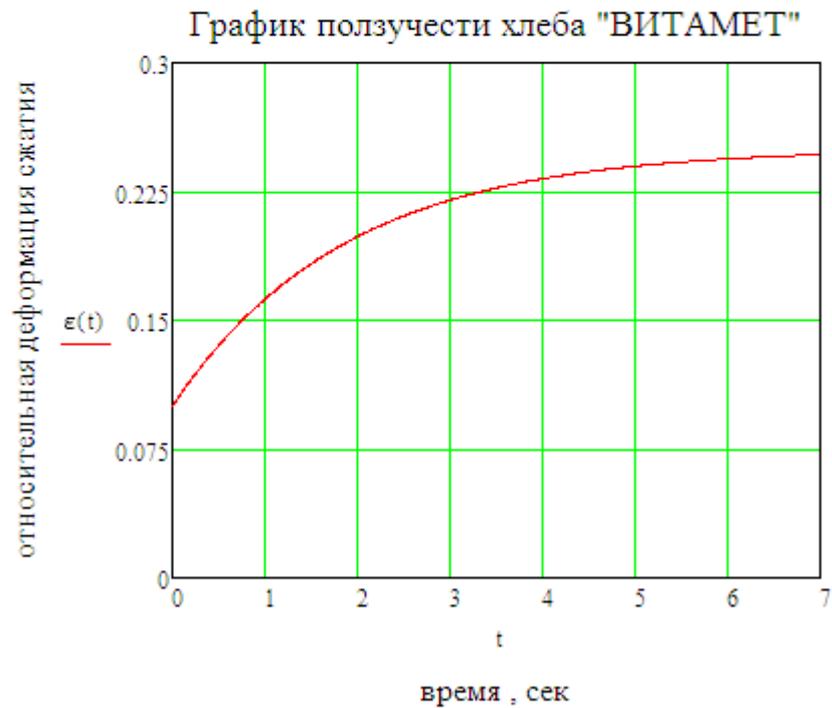


Рисунок 2. Экспериментальная кривая ползучести свежего хлеба «ВИТАМЕТ» построенная программой Mathcad 14 по формуле (3).

Аналогично выглядит кривая ползучести черствого хлеба, сравнительные параметры приведены в следующей таблице.

Таблица. Реологические параметры ползучести свежего и черствого хлеба «ВИТАМЕТ»

Параметры	$E_1 \cdot 10^{-4}$ , Па	$E_2 \cdot 10^{-4}$ ,	$\mu$ $\cdot 10^{-4}$ ,	$P$ , Н	$\sigma_0$
-----------	-----------------------------	-----------------------	----------------------------	------------	------------

		Па	Па· с		$\cdot 10^{-5}$ , Па
Свежий хлеб	2.67	1.78	3.22	26,4	2.67
Черствый хлеб	0.138	25	10700	26,4	2.67

### Выводы.

Полученные значения реологических констант свежего хлеба являются ориентирами, которых можно достичь регулированием параметров технологии и рецептуры. Эти константы нужно сохранять в процессе хранения хлеба, что улучшает потребительские свойства хлеба.

### Список литературы

1. Moskowitz, H. R. Psychorheology –its foundations and current outlook. Journal of Texture Studies, 1977, v. [8](#), pg. 229–246
2. Bourne, M. C. Food Texture and Viscosity. Concept and Measurement, Academic Press, London Second Edition, 2002, pg. 423.
3. Арет, В.А. и др. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009. – 537 с.
4. Андреев А.Н., Колодязная В.С., Байченко Л.А., Психореологические свойства хлеба «ВИТАМЕТ» [Электронный ресурс]: Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств»— Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2011. — №1. — март, 2011.