

УДК 664

**Физико-химическая механика и психореология профилактического хлеба
«ВИТАМЕТ»**

Д-р техн. наук **Арет В.А.**, valdurtera@rambler.ru,
канд. техн. наук **Байченко Л.А.**, larabaychenko@yandex.ru,
магистр **Байченко А.А.**, externalize@yandex.ru,
аспирант **Зеленкова А.А.**, mamont.service@mail.ru

Университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье рассматривается соотношение между физико-химической механикой П.А. Ребиндера и метареологией М.Рейнера. Показаны элементы истории и современности пищевой реологии, психореологии пищевкусовой, косметической и фармацевтической промышленности, переход от прямолинейных имитационных опытов к исследованиям на современных реометрах, использование в количественных описаниях дифференциальных уравнений теории вязко-упругости. Используется символьная методика построения реологических моделей. Рассматривается возможность экспериментального определения различных модулей упругости и коэффициентов динамической вязкости при одноосном сжатии на примере исследований ползучести профилактического хлеба «ВИТАМЕТ». Используется моделирование на ПК с программой MathCad и перспективы распространения на эти исследования элементов теории нечетких множеств.

Ключевые слова: физико-химическая механика, психореология, вязко-упругость, профилактический хлеб.

**Physical and chemical mechanics and psychorheology of the preventive bread
"VITAMET"**

D.Sc **Aret V.A.**, *Ph.D* **Baitchenko L.A.**, **Baitchenko A.A.**, **Zelenkova A.A.**

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The article discusses the relation between the physical and chemical mechanics of the professor P. A.Rebinder and metareology of the professor M.Reyner. Shows the elements of history and modern food rheology, psychorheology flavoring, cosmetic and pharmaceutical industries, shift from linear simulation experiments to research on modern rheometers, the use of quantitative descriptions of differential equations of the theory of viscoelasticity. The use of the symbolic technique construction of the rheological models. The possibility of experimental determination of the various modules of elasticity and coefficient of dynamic viscosity in uniaxial compression creep studies on the example of preventive bread "VITAMET." The use of the simulation on the PC with the program Mathcad and prospects of sharing these research elements of the theory of fuzzy sets.

Keywords: physical and chemical mechanics, psychorheology, visco-elasticity, preventive bread.

Физико-химическая механика (Ф-ХМ) была создана советским академиком П.А. Ребиндером (3.10.1898-12.07.1972) в послевоенные годы как учение о структурообразовании в дисперсных системах и связанное с этим представления о контактных взаимодействиях. [1.] Времена были сложные, новые западные веяния входили в науку порой с трудом – история генетики и кибернетики общеизвестна. Не исключено, что академик, который свободно владел французским, немецким, итальянским и английскими языками, сознательно не назвал направление исследований реологией. Это конечно, предположение. С другой стороны, хотя сегодня Ф-ХМ иногда отождествляют именно с реологией [2], но Ф-ХМ все же шире реологии. Скорее, используя терминологию М.Рейнера [3], Ф-ХМ относится к метареологии, то есть к тем областям механики, где исследования деформаций и течения связаны с химией, биологией, физикой, психологией, экономикой и другими науками. В качестве примеров метареологических работ назовем монографию по реологии крови [4.], или докторскую диссертацию 2010 года по психореологии англичанки Рут Элизабет Грeенавей (Ruth Elizabeth Greenaway) [5].

Надо однако признать, что исследований в области психореологии пока не очень много. Одним из лучших, правда - в кратком, системном обзоре истории развития реологии, опубликованным с охватом источников до 2001 года числом более 150 источниками, выполненным американским реологом индусского происхождения Диирак Дорайсвами [6] психореология отдельно прямо вообще не упоминается, хотя один из основателей психореологии Скотт-Блэр упомянут совместно с Шофильдом, как выполнившими экспериментальные работы по реодинамике в 1932 году [7.] Заметим, что автором пионерской работы именно по психореологии видимо следует признать Скотт Блэра (1902-1987) [8]. Основательный обзор работ по психореологии сделал Говард Р.Москович [9]

Очевидно, что именно для пищевкусовой, косметической и фармацевтической промышленности психореология имеет очень большое значение. На это указывала в своей работе 1991 год современный американский реолог польского происхождения Счесниак А.С. [10]. Счесниак определяет эту область исследований так :

"Психореология представляет собой сенсорную информацию о реологических свойствах. Это термин, используемый в пищевой промышленности, чтобы описать, как пища "чувствуется" в рту. Это очевидно, что не просто предсказать, как пища будет "чувствовать себя" на основе чисто реологических свойств. Наиболее важным фактором в пищевой реологии является восприятие потребителем продукта. Это восприятие зависит от того, как еда выглядит на тарелке, а также, как он чувствуется во рту, или "ощущение во рту". Ощущения во рту находятся под влиянием, как там пища движется или пережевывается.»

В 30-ые годы, на заре реологии использовались для исследований весьма экзотические по виду экспериментальные имитационные устройства (Рис.1)[11]



Рис.1 Установка по психореологии из музея Гарварда

В последствии реология ушла о таких непосредственных имитационных опытов и стала применять более тонкие математические и экспериментальные устройства теории вязкоупругости.

Х.Стоун и Дж.Сидел [12] отмечали : «Сенсорная оценка является научной дисциплиной , которая используется для измерения, анализа и интерпретации таких характеристик материалов, как они воспринимаются чувствам зрения, обоняния, вкуса, осязания и слуха». Ряд авторов [13; 14.; 15.] указываю на связь психореологии с трибологией.

Википедия [16] определяет целью реология изучение реологических свойств пищевых продуктов, то есть деформацию и поток пищи при определенных условиях. Жесткость, степень текучести и другие механические свойства имеют важное значение, и влияют на способность длительности пищи храниться, устойчив ли он во времени. Приемлемость пищевых продуктов для потребителя часто определяется пищевой текстурой. Например, какова способность к размазыванию у сливочного масла. Знание реологических свойств важно для контроля качества в процессе производства и переработки пищевых продуктов. Некоторые понятия реологии были отмечены с древних времен. В древнем Египте пекари судили о консистенции теста путем прокатки его в руках.

Покупатель оценивает свежесть хлебобулочных изделий, проведя реологический «эксперимент»: деформирует хлеб и, следя за его вязкоупругим поведением, оценивает усилие деформации и восстанавливаемость изделия после деформации. Психофизиологические и реологические свойства сливочного масла или маргарина при намазывании их на хлеб тоже можно отнести к метареологии. Вообще органолептические оценки качества многих пищевых продуктов относятся к метареологии или психореологии, например оценка «на глаз» вязкостных свойств сметаны, зернистости творога, консистенции мясного фарша и т. п. При исследовании биологических процессов в живых организмах, например в системе кровообращения, в мышечных тканях, широко используются данные биореологии, реологии крови.

Работы Байченко Л.А. [17] в 1988-2011 годы по биотехнологии пищевых продуктов и биологически активных веществ показали необходимость проведения психореологических исследований. Наукометрия в системах (РИНЦ, Science Index.

Scholar.google и в ряде других) показывают, что по биотехнологии пищевых продуктов растет число публикаций, рассматривающих технологию и применение нутрицевтиков и парафармацевтиков при разработке продуктов питания целевого назначения. Эти продукты позволяют удовлетворить потребности в пищевых веществах населения, живущего или/и работающего в экологически неблагоприятных условиях, усиливают и ускоряют связывание и выведение ксенобиотиков и токсичных веществ из организма. Колодязной В.С. и Байченко Л.А. [18.] , были разработаны рецептуры хлебобулочных изделий, обогащенных витаминам группы В и Е, пищевыми волокнами, макро- и микроэлементами и фосфолипидами, предназначенные для профилактики вредного воздействия фенола и анилина на организм человека, причем этот хлеб необходимо было потреблять регулярно.

При всей важности учета непосредственно реологических свойств теста в процессе производства профилактического хлеба, эти показатели не особенно интересуют потребителей, которые в быту обычно оценивают качество, «свежесть» , хлеба по его вязкоупругим свойствам, деформируя хлеб , затем зрительно и тактильно отслеживая процесс восстановления следа деформации. Описание процесса потребует привлечения теории нечетких множеств [19, 20, 21].

В начале исследований была сделана попытка использовать непосредственно модель Кельвина –Фойгта в режиме ползучести [22].

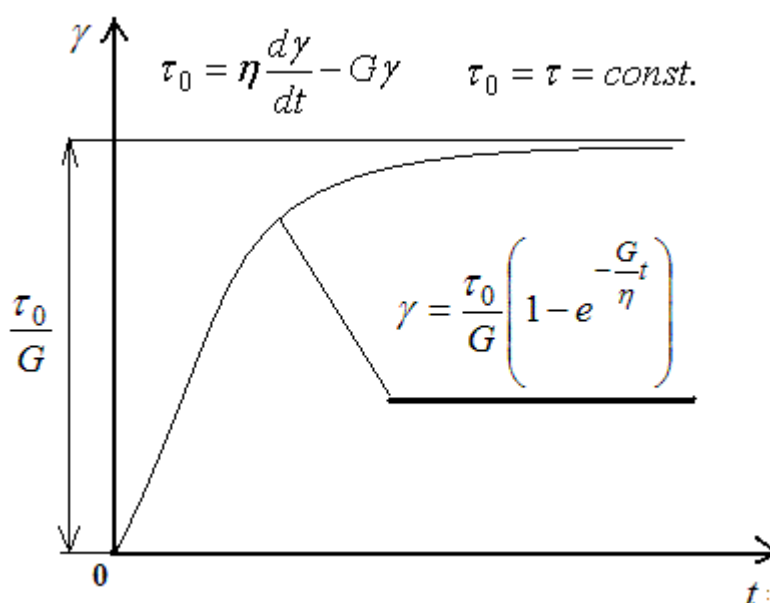


Рис. 2. График ползучести модели Кельвина –Фойгта [22]. Где t -время, G – модуль упругости, τ_0 - начальное напряжение; η - коэффициент вязкости; γ - относительная деформация.

Однако в этой модели не учитывается первичная упругая реакция хлеба. Поскольку в этом органолептическом (сенсорном) процессе проявляются кроме вязкоупругих структурно-механических свойств хлеба также элементы психологии потребителей, то исследования в данном направлении относят как уже указывалось к психореологии или по классификации М.Рейнера, к метареологии.

В хлебе «ВИТАМЕТ» в управлении реологическими свойствами необходимо было уменьшать влияние вязкой составляющей в компонента Кельвина – Фойгта, поскольку именно она ответственна за вязкую компоненту деформации, величину изменения которой во времени сенсорно оценивает потребитель. Символьная модель хлеба «ВИТАМЕТ» имеет вид:

$$G_1 - M = G_1 - G_2 I N \quad (1)$$

Соответственно наглядная вязкоупругая модель состоит из последовательного соединения модели Гука и модели Кельвина-Фойгта:

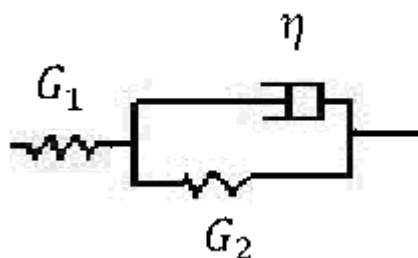


Рис.3. Механическая модель профилактического хлеба «ВИТАМЕТ»

Дифференциальное реологическое уравнение хлеба «ВИТАМЕТ» по модели, приведенной на рис. 3, будет иметь вид:

$$\frac{d \tau}{dt} + \left(\frac{G_1 + G_2}{\eta} \right) \tau = G_1 \frac{d \gamma}{dt} + \left(\frac{G_1 G_2}{\eta} \right) \gamma \quad (2)$$

Опишем количественно тактильные ощущения потребителя при нажатия на хлеб. Пусть $\tau = \tau_0 = const$. Тогда $\frac{d \tau}{dt} = 0$ и решение находится простым разделением переменных в дифференциальном уравнении и интегрированием:

$$\left(\frac{G_1 + G_2}{\eta} \right) \tau_0 = G_1 \frac{d \gamma}{dt} + \left(\frac{G_1 G_2}{\eta} \right) \gamma \quad (3)$$

и

$$\gamma(t) = \frac{G_1 + G_2}{G_1 G_2} \left[1 - e^{-\frac{G_2 t}{\eta}} \right] \tau_0 + \frac{\tau_0}{\eta} e^{-\frac{G_2 t}{\eta}} \quad (4)$$

Графически кривая деформации выглядит следующим образом (рис. 4)

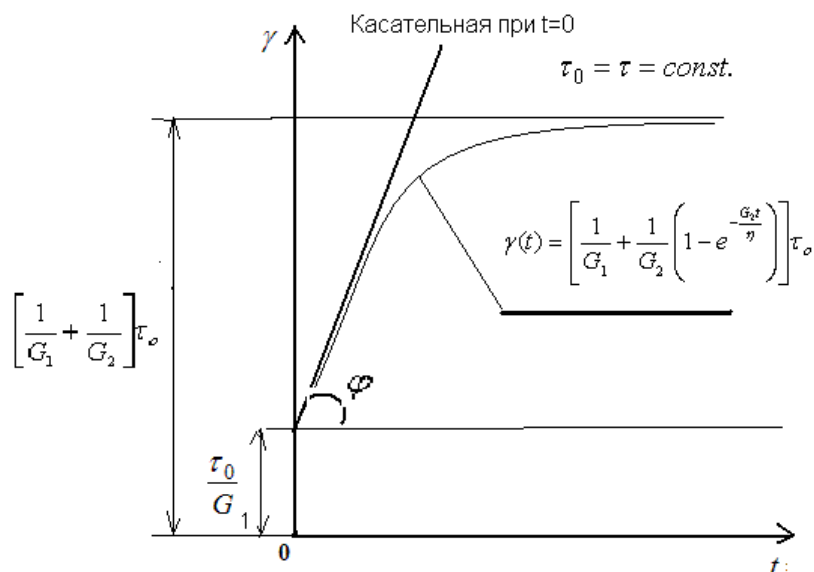


Рис.4. Кривая тактильной пробы свежести хлеба «ВИТАМЕТ»

Очевидно это опыт на ползучесть.

$$t = \infty; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \gamma = \lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \left(1 - e^{-\frac{G_2 t}{\eta}} \right) \right] \tau_0 = \left[\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right] \tau_0 \quad (5)$$

при $t = 0; \quad \gamma = \frac{\tau_0}{G_1} \quad (6)$

Измерив деформации в начальный и в конечный момент времени при известном начальном напряжении τ_0 , находим модули упругости G_1 и G_2 .

Производная по времени кривой ползучести геометрически представляет собой тангенс угла касательной к кривой :

$$\frac{d}{dt} \gamma(t) = \frac{\tau_0}{\eta} e^{-\frac{G_2 t}{\eta}} \quad (7)$$

$$\frac{d}{dt} \gamma(t) \Big|_{(t=0)} = \frac{\tau_0}{\eta} = \tan \varphi \quad (8)$$

Откуда находим коэффициент динамической вязкости элемента в модели Кельвина-Фойгта для хлеба «ВИТАМЕТ». Рецепт и технология этого хлеба была построена в направлении достижения требований психореологии и биотехнологии.

С помощью программы Mathcad 14 построена теоретическая экспериментальная кривая ползучести хлеба «ВИТАМЕТ».

$$g_1 := 2.67 \cdot 10^{-3} \quad g_2 := 1.78 \cdot 10^{-3} \quad v := 3.32 \cdot 10^{-3} \quad t_0 := 2.67 \cdot 10^{-4}$$

$$f(x) := \left[\left(\frac{1}{g_1} \right) + \frac{1 - e^{\left(\frac{-g_2 \cdot x}{v} \right)}}{g_2} \right] \cdot t_0$$

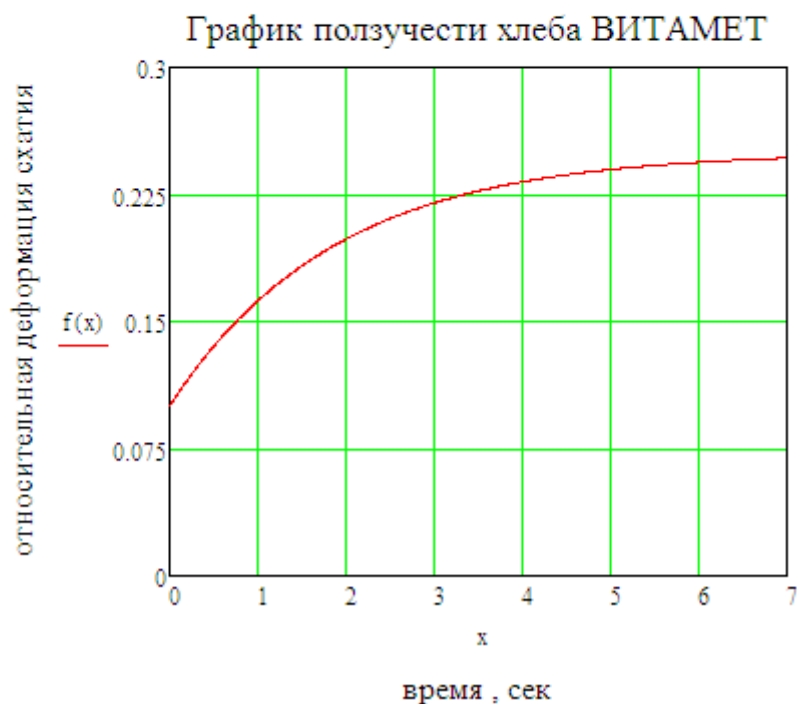


Рис.5. Теоретическая модель кривой тактильного опыта, построенного на ПК

Заключение

1. Определены метареологические свойства хлебобулочных изделий; получено дифференциальное реологическое уравнение, характеризующее взаимозависимость модулей первого рода, напряжения и скорости сжатия и коэффициента динамической вязкости сжатия изделий, изготовленных с добавлением различных ингредиентов. Разработаны рецептуры хлебобулочных изделий, обогащенных витаминами группы В и Е, пищевыми волокнами, макро- и микроэлементами и фосфолипидами, предназначенные для профилактики вредного воздействия фенола и анилина на организм человека.
2. Разработаны рецептуры хлебобулочных изделий, обогащенных витаминами группы В и Е, пищевыми волокнами, макро- и микроэлементами и фосфолипидами, предназначенные для профилактики вредного воздействия фенола и анилина на организм человека.

3. Показана большая роль психореологии в пищевой промышленности. Описан математически тактильный процесс оценки свежести хлеба

Список литературы

1. Ребиндер П.А.. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика.- М.:Изд. «Наука», 1979.- 384 с.]
- 2 Арет В.А., Николаев Б.Л., Забровский Г.П., Николаев Л.К. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов.- СПб.: СПбГУНиПТ, 2004.-343 с
- 3 Рейнер М. Деформация и течение.-М.: Изд-во нефтяной и горнотопливной промышленности, 1963.-с.381
- 4 Левтов В.А. , Регирер С.А.,Шадрина Н.Х. Реология крови.-М.: Медицина, 1982.- 272 с.
- 5 Ruth Elizabeth Greenaway .PSYCHORHEOLOGY OF SKIN CREAM. Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy. July 2010. - 248 pg.
6. Deepak Doraiswamy. The Origins of Rheology: A Short Historical Excursion.. DuPont iTechnologies, Experimental Station. Wilmington, DE 19880-0334.
http://www.rheology.org/sor/publications/rheology_b/jan02/origin_of_rheology.pdf
- 7.Schofield R.K., Scott Blair C.W. The relationship between viscosity, elasticity and plastic strength of soft materials as illustrated by some properties of flour dough. I.-Proc.Roy.Soc., L. Ser.A., 1932, vol.138, N A836,p.707-718
- 8 G. W. S. Blair, "Psychorheology: links between the past and the present," Journal of Texture Studies, vol. 5, pp. 3–12, 1974.
- 9 HOWARD R. MOSKOWITZ. PSYCHORHEOLOGY - ITS FOUNDATIONS AND CURRENT OUTLOOK. Journal of Texture Studies.-v.8, Issue 2,June 1977, pg.229-246 (Article first published online: 30 JAN 2007).
10. Szczesniak A. S. (December 1991). "Psychorheology and texture as factors controlling the consumer acceptance of food". Cereal Foods World 35 (12): 1201–1205.
- 11.<http://www.gsd.harvard.edu/#/news/anthony-acciavatti-on-psychorheology.html>
12. Stone H. and Sidel J., Quantitative descriptive analysis: Developments, applications and the future, Food Technology 52 (8) (1998), pp. 48–52.
13. Derler, S., U. Schrade and L. C. Gerhardt (2007). "Tribology of human skin and mechanical skin equivalents in contact with textiles." Wear 263(7-12): 1112-1116.;
14. Dresselhuis, D. M., H. J. Klok, M. A. C. Stuart, R. J. de Vries, G. A. van Aken and E.H. A. de Hoog (2007). "Tribology of o/w emulsions under mouth-like conditions: Determinants of friction." Food Biophysics 2: 158-171;

15. Winkelmann, R. K. (1961). "The skin as a sensory organ." Journal of the society of cosmetic chemists 12(2).

16. http://en.wikipedia.org/wiki/Food_rheology .

17. Байченко Л. А. Автореферат «Разработка технологий пищевых продуктов на растительной основе повышенной биологической ценности для профилактики вредного воздействия фенола и анилина» Специальность 05.18.07 - Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ . Санкт-Петербург.- 2011 г.- с.16

18. Колодязная В.С., Байченко Л.А. Исследование реологических свойств в процессе черствения хлебобулочных изделий с добавлением микронутриентов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. №2.

19. Андреев А.Н., Колодязная В.С. Байченко Л.А., Психореологические свойства хлеба «ВИТАМЕТ» // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. №1.

20. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

21. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 208 с.

22. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции: Учебное пособие / В. А. Арет, Б. Л. Николаев, Л. К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 537 с.