

УДК 664.34:665.3

Реологические характеристики аномально вязких пищевых продуктов и других сред

Круподёров А.Ю. a.lex.k@mail.ru

Д-р техн. наук, проф. **Николаев Л.К.** lev.nikolaew@yandex.ru

Кузнецов А.В. kuznetsov.alexey@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул.Ломоносова, 9

Многие вязкие среды в особенности пищевые представляют собой многофазные коллоидные растворы. Такие среды в большей или меньшей степени могут обладать аномальной вязкостью. В процессе обработки структура дисперсных систем может разрушаться и восстанавливаться. Условия разрушения и восстановления для разных типов продуктов могут значительно различаться. В статье рассмотрены работы ряда отечественных и иностранных авторов по исследованию зависимости эффективной вязкости и касательных напряжений вязких продуктов от градиента скорости и ряда других факторов. Отмечены особенности структурно-механических свойств вязких продуктов и факторы, влияющие на их изменение. Приведены результаты исследований, проведённых авторами статьи в области механической обработки жиросодержащих продуктов с аномальной вязкостью в частности вискозиметрические данные полученные с помощью установки «Реотест».

Ключевые слова: вязкость, реология, температура, градиент скорости, стабилизатор.

Rheological characteristics of abnormally viscous food products and other media

Krupoderov A.Y. a.lex.k@mail.ru

D.Sc., prof. **Nikolaev L.K.** lev.nikolaew@yandex.ru

Kuznetsov A.V. kuznetsov.alexey@mail.ru

University ITMO

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

Many highly viscous products represent multiphase colloidal solutions. Such products to a greater or lesser extent can have anomalous viscosity. During processing, the medium structure of disperse systems may be destroyed and recovered. Terms of destruction and recovery for different types of products may vary considerably. This article discusses the research data dependence of the effective viscosity and shear stresses of viscous products on the velocity gradient, and other factors. The article noted the features of the structural and mechanical properties of viscous products and factors affecting their changes. This article gives the results of the research undertaken by the authors in the field of mechanical treatment products with abnormal viscosity in particular viscometric data obtained by setting "Reotest"

Keywords: viscosity, rheology, temperature, velocity gradient, stabilizer.

Основным направлением научно технического прогресса в пищевой промышленности является развитие технологий, повышающих эффективность производственных процессов, что в свою очередь ведёт к повышению производительности труда, снижению отрицательного воздействия на окружающую среду и к экономии материальных ресурсов [1]. Для разработки прогрессивных технологических решений необходимо изучение реологических свойств обрабатываемых продуктов, что особенно важно для высоковязких продуктов с неньютоновскими свойствами.

Большинство вязких пищевых продуктов представляют собой дисперсные системы и в определённом диапазоне температуры и градиента скорости обладают аномально-вязкими свойствами [2].

Автором статьи в соавторстве были проведены исследования реологических свойств продуктов отражённые в статьях [3, 4, 5, 6]. Важное значение при проведении подобных исследований имеют сведения о таких реологических характеристиках, как касательные напряжения и эффективная вязкость продукта. В частности в работе [3] изучались свойства майонеза «Колибри» при помощи вискозиметра «Реотест». Опытные данные получены при значениях градиента скорости сдвига 1,5; 2,7; 3,0; 4,5; 5,4; 8,1; 9,0; 13,5; 16,2; 24,3; 27,0; 40,5; 48,6; 72,9; 81,0; 121,5; 145,8; 218,7; 243,0; 364,5; 437,4; 656,0; 729,9 и 1312,0 с^{-1} .

Полученные данные обрабатывались графоаналитически в координатах: $\log(\eta) - f(\log(\gamma))$, где: η – эффективная вязкость продукта, Па·с; γ – градиент скорости сдвига, с^{-1} .

Полученный график имел сравнительно большой угол наклона линий вязкостно-скоростных зависимостей майонеза провансаль «Колибри», что отражает существенное изменения эффективной вязкости продукта от градиента скорости. Например, при возрастании градиента скорости от 1,5 до 1312 с^{-1} при 15°C эффективная вязкость продукта уменьшается в 107 раз. Значительное изменение эффективной вязкости продукта необходимо учитывать при тепловых расчётах оборудования и определении расходуемой на перемешивание энергии. Исследования [3] проводились при температурах 15, 25, 34,9 и 45,1°C. Угол наклона графиков $\log(\eta) - f(\log(\gamma))$ при этих температурах очень близок, из чего можно сделать вывод, что существенное влияние градиента скорости на эффективную вязкость, наблюдающееся при температуре 15,0 °C, имеет место для всех других исследованных температур.

В работе [4] проводились исследования реологических свойств смеси мороженого «Пломбир шоколадный». Исследования проводились на соосно-цилиндрическом вискозиметре «Реотест». Температуры смеси мороженого при проведении опытов устанавливались равными: 5,1; 15,0; 20,0; 30,0; 35,0; 40,0 и 45,0 °C. Градиент скорости изменялся от 121 до 1312 с^{-1} .

Опытные данные обработали в логарифмических координатах в виде зависимости эффективной вязкости смеси мороженого от градиента скорости при различных температурах продукта. В интервале температур смеси мороженого от 5,1 до 45 °C эффективная вязкость при понижении температуры продукта на каждые пять градусов уменьшалась на 22÷25% [4].

В работе [5] проводились исследования сыра плавленого «Сыр с луком» с помощью ротационного коаксиального вискозиметра «Реотест». Проводили измерения касательного напряжения при возрастающих значениях градиента скорости. В ходе проведения экспериментов было установлено следующее: большие значения касательных напряжений - до 1840 Па наблюдаются при температуре сыра 20,1°C и градиенте скорости 1,5 с^{-1} . С повышением температуры сыра от 20,1 до 79,9 °C при одинаковом значении градиента скорости, равном 1,5 с^{-1} , касательное напряжение уменьшается от 1840 до 30,5 Па. Незначительные касательные напряжения, равные 17 Па, наблюдаются, при температуре сыра равной 79,9 °C, а градиенте скорости равном 0,5 с^{-1} . Зависимость касательных напряжений от скорости незначительна, по сравнению с влиянием температуры продукта. При температуре продукта 20,1°C и возрастании градиента скорости от 0,167 до 1,50 с^{-1} касательное напряжение изменяется от 1420 до 1840 Па, то

есть примерно на 25%. Аналогичные изменения касательных напряжений от градиента скорости наблюдаются и при других температурах сыра в интервалах температур его от 20,1 до 79,9°С.

В статье [6] исследовалась эффективная вязкость кулинарного жира «Фритюрный». Замеры проводились при пяти значениях температуры: 24,1; 26,2; 28,1; 30,0; 34,2 и 35,0 °С. Вязкость измерялась при изменении градиента скорости в диапазоне от 0,167 до 437 с⁻¹.

Градиент скорости существенно влиял на уменьшение эффективной вязкости исследованного продукта при малых значениях градиента скорости - от 0,167 до 4,5 с⁻¹. При температуре 30,0 °С возрастание градиента скорости от 0,167 до 4,5 с⁻¹ приводит к уменьшению эффективной вязкости продукта от 564 до 68 Па·с, т.е. более чем в 8,3 раза. При повышении температуры среды до 34,2°С эффективная вязкость существенно уменьшается и составляет от 0,116 до 0,269Па·с в исследованном диапазоне градиентов. Это можно объяснить плавлением триглицеридов, что приводит к разрушению структуры продукта.

Знания реологических характеристик продуктов, полученные в работах [3, 4, 5, 6] могут быть использованы при изучении тепловых и гидродинамических процессов при обработке исследованных продуктов.

Исследования продуктов с аномальной вязкостью были также проведены другими авторами, приводим некоторые из них.

Дебон и соавторы [7] изучали реологические свойства молока сквашенного пребиотическими ферментами. Измерения осуществлялись с помощью ротационного вискозиметра. Диапазон изменения градиента скорости составлял: от 10,82 до 221,8 с⁻¹. Продукт продемонстрировал ярко выраженные неньютоновские свойства, переходящие в ньютоновские при высоких скоростях сдвига. В сравнении со сгустками молочной закваски, изученными в работе [8], структура сгустков Дебона и соавторов разрушалась при втрое большем значении градиента скорости (25 – 30 с⁻¹). Результаты представлены на рисунке 1.

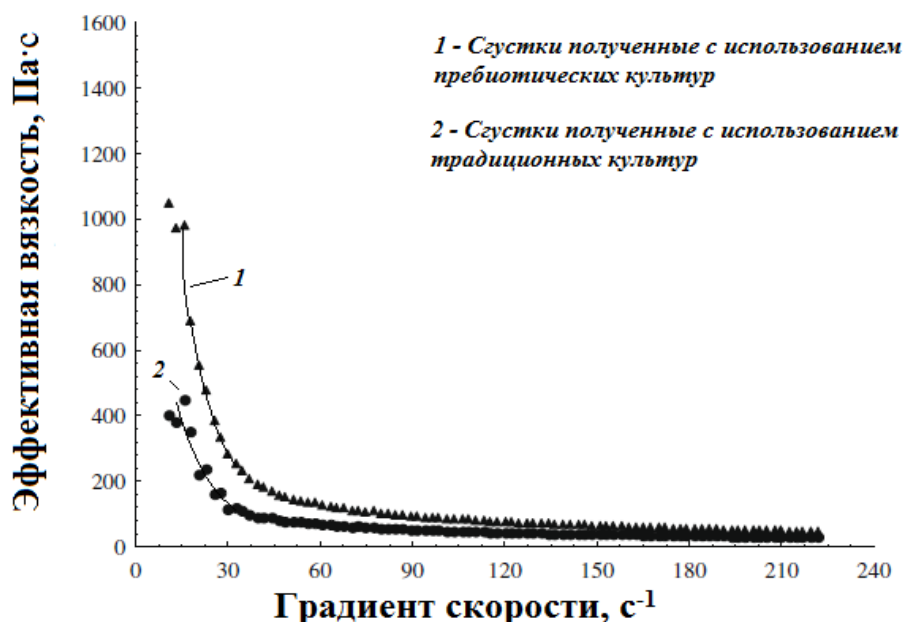


Рис. 1. Скоростные характеристики вязкости сгустков молока сквашенного пребиотическими и традиционными культурами

Схожие зависимости можно наблюдать в исследовании Острецовой Н.Г. и Чекалева А.В. [8] проводивших исследования реологических свойств белковых сгустков комбинированной молочной закваски.

Раскон-Диаз и соавторы [9] исследовали реологические свойства йогурта. Исследования проводились в широком диапазоне от 0,001 до 100 с⁻¹. Эффективная вязкость исследованного продукта возрастала в диапазоне градиентов скоростей от 0,001 до 0,15 с⁻¹. Авторы объясняют это синерезисом образцов, то есть уплотнением их структуры. При более высоких скоростях сдвига вязкость снижалась, и йогурт приобретал псевдопластичные свойства.

Полученная зависимость вязкости и напряжения сдвига от градиента скорости представлена на рисунке 2.

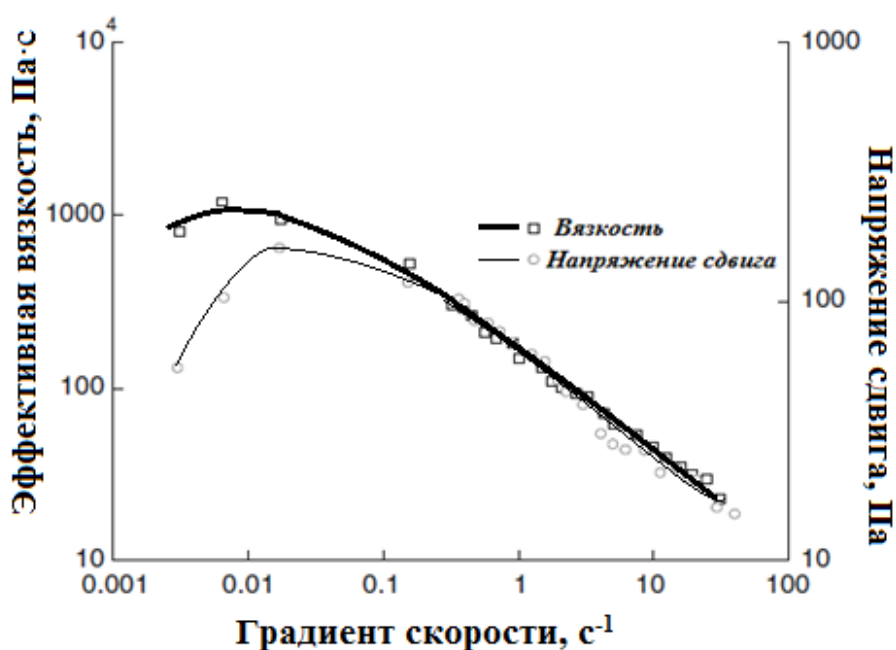


Рис. 2. Скоростные характеристики вязкости и напряжения сдвига йогурта

Апортела-Поласиос и другие [10] проводили исследования реологических свойств йогурта обогащённого волокнами и кальцием. В качестве источника волокон использовались отруби пшеницы. Исследования проводились с помощью ротационного вискозиметра DV-III. Температура образцов составляла 25°C. Градиент скорости изменялся в диапазоне от 1 до 22 с⁻¹. При повышении содержания волокон вязкость возрастала, причём образцы содержащие жареные волокна имели большую вязкость, чем образцы с сырыми волокнами. Авторы объясняли это различным количеством связанной воды в образцах. На рисунке3 представлена зависимость вязкости от градиента скорости и содержания отрубей.

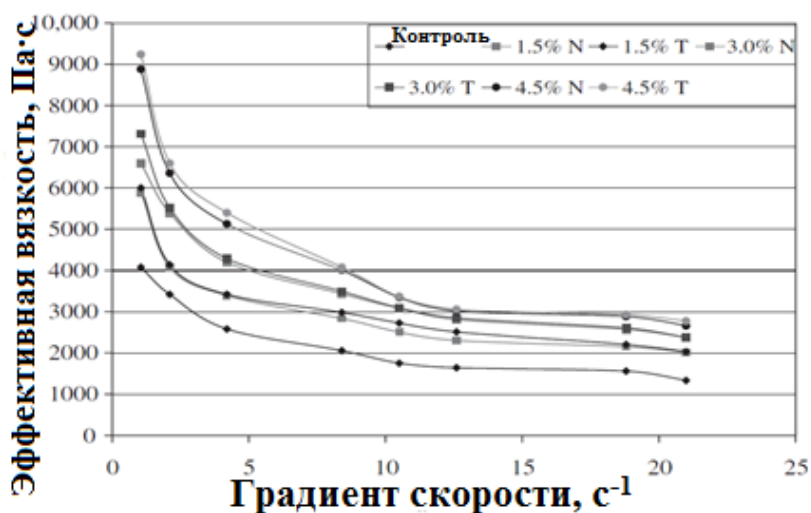


Рис.3. Скоростные характеристики вязкости образцов йогурта с различным содержанием волокон отрубей

Мандела и другие [11] исследовали влияние пищевых добавок на реологические характеристики белого соуса. Рассматривалось влияние содержания ксантановой камеди и камеди рожкового дерева, которые используются в промышленности как стабилизаторы и загустители. В ходе исследований было установлено, что добавление камеди в количестве 0,09% увеличивает вязкость контрольных образцов на большую величину, чем добавление 0,25%. Все образцы продемонстрировали псевдопластичные свойства. При высоких значениях градиента скорости свойства продукта приближаются к ньютоновским. Это можно объяснить изменением ориентации макромолекул раствора. Псевдопластичность соуса обеспечивается содержанием в нём крахмала. Ксантановая камедь и камедь рожкового дерева являются высокомолекулярными соединениями и также придают раствору неньютоновские свойства. Авторами было установлено, что образцы соуса, содержащие ксантановую камедь, обладают более выраженными псевдопластичными свойствами в сравнении с образцами, содержащими камедь рожкового дерева. Исследования проводились на универсальном реометре SR-5 при постоянной температуре 25 °С. Градиент скорости изменялся от 0,01 до 450 с⁻¹. Вязкость изменялась от 0,6 до 1000 Па·с.

АрашКучеки и соавторы [12] исследовали реологические свойства кетчупа при различных концентрациях стабилизаторов. Исследовались такие стабилизаторы как ксантановая камедь и гуаровая камедь в количестве 0.5%, 0,75% и 1 %. Измерения осуществлялись с помощью ротационного вискозиметра BMV 88. Градиент скорости изменялся в диапазоне от 1 до 300 с⁻¹. Смеси продемонстрировали явные псевдопластичные свойства при скоростях сдвига меньше 150 с⁻¹. При увеличении концентрации стабилизаторов вязкость росла.

Мин Жанг и другие [13] исследовали реологические свойства белка рыбной кожи. Градиент скорости изменялся от 0,1 до 10 с⁻¹. Исследования проводились при температурах 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5 и 30 °С. Было установлено, что при температурах ниже 25 °С включительно, раствор белка рыбной кожи имел псевдопластичные свойства, так-так вязкость уменьшалась с ростом градиента скорости. Однако при температурах 27,5 и 30 °С график зависимости градиента скорости от вязкости становился неровным и при повышении градиента скорости вращения вязкость повышалась. Авторы объясняли изменения характера графиков началом денатурации белков в растворе. Полученные авторами графики представлены на рисунке 4.

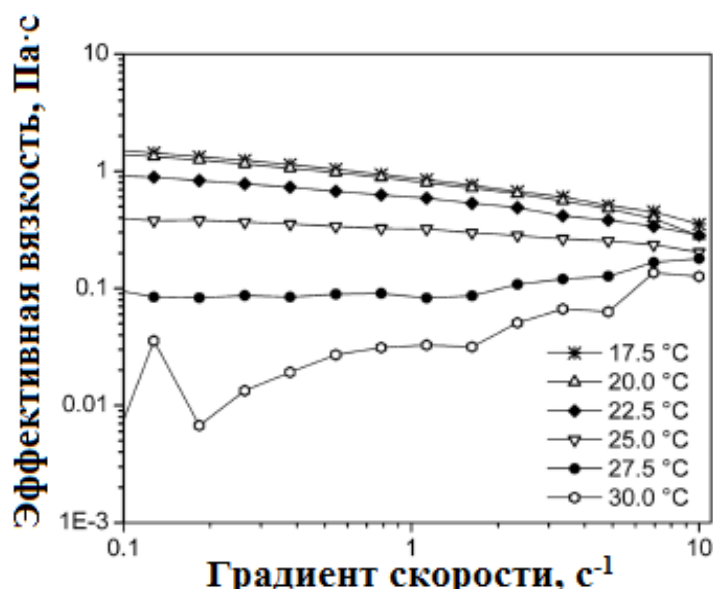


Рис.4. Скоростные характеристики вязкости белка рыбной кожи при различных температурах

Шантс и Ром [14] исследовали реологические свойства расплавленного шоколада. Исследования проводились с помощью ротационного вискозиметра F25-ED. Исследовались образцы шоколада при 40°C содержащие такие стабилизаторы как лецитин и полиглицеролаполирициониата (PGPR) в количестве 4г на килограмм. Образцы, не содержащие стабилизаторов, показали наибольшую вязкость. Шоколад, стабилизированный лецитином, показал вязкость более высокую, чем шоколад, стабилизированный PGPR при низких значениях градиента скорости до 10c^{-1} . На рисунке 5 представлена полученная зависимость напряжения сдвига от градиента скорости.

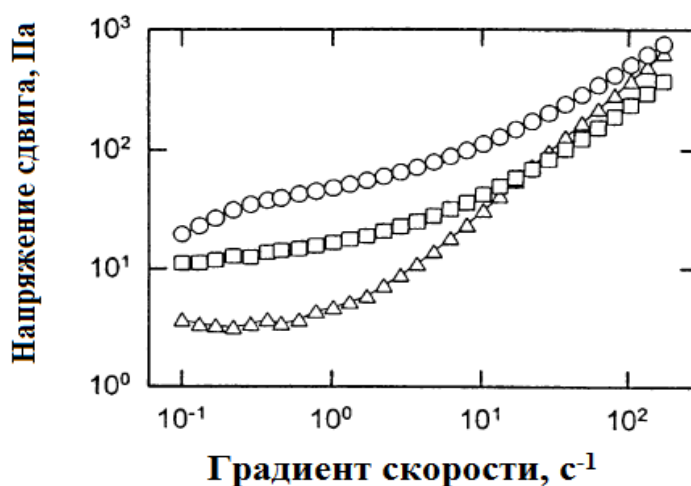


Рис.5. Скоростные характеристики напряжения сдвига тёмного шоколада при различных содержаниях лецитина

Хэссан и соавторы [15] исследовали реологические свойства образцов йогурта полученных с использованием ряда молочных культур. Одна из полученных авторами кривых, представленная на рисунке 6, имеет ярко выраженный пик, приходящийся на градиент скорости 376c^{-1} . При этом касательное напряжение достигает 117 Па. При дальнейшем повышении градиента скорости вязкость снижается, что свидетельствует о разрушении структуры. Необходимо отметить, что подобное поведение в ис-

следованном диапазоне градиента скорости наблюдалось только для молочнокислой культуры образующей йогурт наибольшей вязкости.

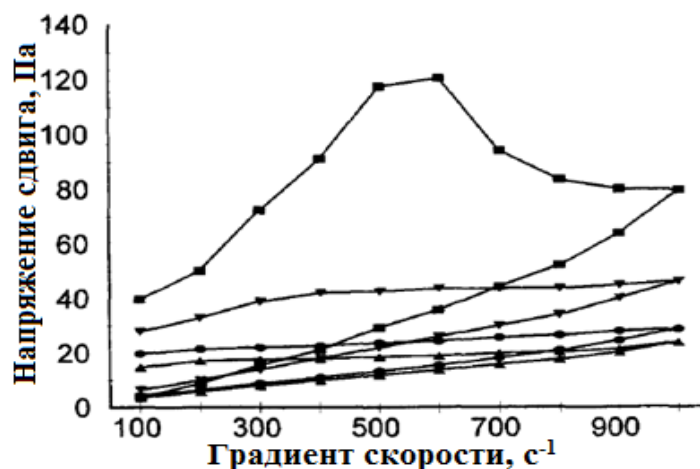


Рис.6. Реологические свойства образцов йогурта полученных с использованием различных молочнокислых культур

Зобкова и соавторы [16] проводили исследование влияния внесения трансглатуминазы на структурно-механические свойства йогурта. Исследования проводились с помощью ротационного вискозиметра BELIDV-2 при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Диапазон изменения скорости сдвига составлял от $0,93$ до 93c^{-1} . Образцы подчинялись закономерностям Шведова-Бингама:

$$\theta = \theta_0 + \eta_{\text{пл}}\gamma, \tag{1}$$

А также Освальда-де-Виле:

$$\eta_{\text{эф}} = B_0^*(\gamma/\gamma_1)^{n-1} \tag{2}$$

θ — напряжение сдвига, Па; θ_0 — предельное напряжение сдвига, Па; $\eta_{\text{пл}}$ — пластическая вязкость, Па·с; γ — скорость сдвига или градиент скорости, c^{-1} ; $\eta_{\text{эф}}$ — эффективная вязкость, Па·с; B_0^* — коэффициент, пропорциональный эффективной вязкости при заданном градиенте скорости равном 1c^{-1} , Па·с; n — индекс течения, характеризующий угол наклона линии течения в логарифмических шкалах.

Ермолаев и другие [17] исследовали вязкостные свойства растворов крахмалов. Авторы изучали зависимость эффективной вязкости раствора ячменного крахмала от градиента скорости и времени прошедшего после разведения. Исследования проводились на реометре Brookfield DV-II. Полученные кривые, представленные на рисунке 7, соответствующие образцам, разведённым через 30 и 180 секунд, практически совпадают. Через 900 секунд вязкость образцов значительно возросла, а псевдопластичные свойства стали проявляться более выражено, что связано с завершением набухания крахмала.



Рис.7. Скоростные характеристики вязкости ячменного крахмала через 30, 180 и 900 секунд

Мачихина и Ермолаев [18] провели исследования вязкости киселей на основе картофельного, гречневого и ячменного крахмалов. Исследования проводились с помощью вискозиметра Реотест-2. На рисунке 8 представлена зависимость эффективной вязкости от градиента скорости через 30 секунд после разведения образцов. Раствор гречневого крахмала показал значительно большую вязкость, что свидетельствует о более высокой скорости набухания.

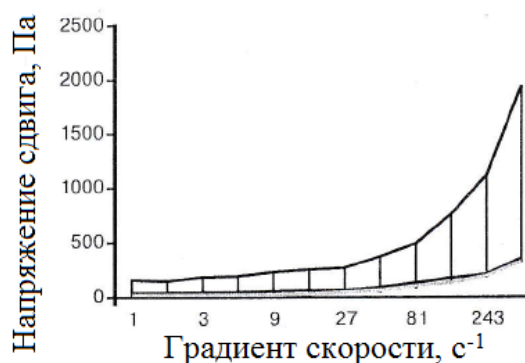


Рис.8. Скоростные характеристики напряжения сдвига 5.5% раствора ячменного, гречневого и картофельного крахмала

Емельянов и другие [19] исследовали реологические свойства виноградной пасты с помощью вискозиметра Реотест. Авторы предлагают следующую формулу для описания характеристик продукта:

$$\theta = [(\pm\theta_0)^2/\theta] + k \cdot D^n, \tag{4}$$

где θ – касательное напряжение, Па; θ_0 – предельное напряжение сдвига, Па; k – коэффициент консистенции, Па·с; n – индекс течения; D – скорость сдвига, c^{-1} .

Березовский и соавторы [20] проводили исследования реологических свойств майонеза с содержанием жира 67%. Измерения проводились с помощью вискозиметра Реотест-2 при температуре 20°C. Градиент скорости изменялся в диапазоне от 1,5 до 656 c^{-1} . Были получены кривые течения майонеза после восстановительной выдержки 20, 30, 40 и 90 минут. Авторы предлагают зависимость Гершеля-Балкли для описания результатов. Было отмечено, что различия реологических параметров образцов майонеза одной и той же марки, взятых из разных партий, могут достигать 10%. В ходе исследований авторы выяснили, что восстановление структуры майонеза после воздействия градиента скорости занимает примерно 120 минут.

Некрасов [21] исследовал вязкость диетических майонезов, обогащённых диацилглицеринами. Температура, при которой проводились замеры, составляла 20°C. Майонез, обогащённый диацилглице-

ринами, имел значительно более высокую вязкость и высокую структурированность. Автор объяснял это тем, что размер дисперсных частиц содержащихся в майонезе, обогащённом диацилглицеринами в три раза меньше размера частиц майонеза традиционной рецептуры. А также наличием свободной гидроксильной группы в молекулах диацилглицерина образующей дополнительные связи между частицами жира. Восстановление структуры майонеза традиционной рецептуры происходило намного быстрее.

Из рассмотренных исследований следует, что большинство вязких пищевых продуктов обладают псевдопластичными свойствами. Такие продукты представляют собой дисперсные растворы и их реологические свойства могут изменяться в зависимости от ряда факторов влияющих на структуру дисперсной фазы.

Список литературы

1. *Остриков А.Н., Абрамов О.В., Логинов А.В.* Процессы и аппараты пищевых производств.– СПб. ГИОРД.– 2012. – 616с.
2. *Горбатов А.В., Маслов А.М., Мачихин В.П., Табачников В.П., Косой В.Д.* Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. – М. Легкая пищевая промышленность, –1982.– 296 с.
3. *Николаев Б.Л., Николаев Л.К., Денисенко А.Ф., Круподёров А.Ю., Кузнецов А.В.* Влияние температуры продукта, градиента скорости и касательных напряжений на реологические характеристики майонеза провансаль «Колибри» //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. №1.
4. *Николаев Б.Л., Николаев Л.К., Денисенко А.Ф., Мовчанюк Е.В., Круподёров А.Ю.* Влияние механической и тепловой обработки на реологические свойства смеси мороженого «Пломбир шоколадный» // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2012. № 2
5. *Николаев Б.Л., Николаев Л.К., Круподёров А.Ю.* Особенности реологического поведения сыра плавленого «Сыр с луком». / Сборник трудов 26-го Симпозиума по реологии – Тверь, 2012. - №2. С.130 – 131.
6. *Николаев Л.К., Денисенко А.Ф., Николаев Б.Л., Круподеров А.Ю.* Кинетика реологических свойств кулинарного жира «Фритюрный» // Сборник трудов 26-го Симпозиума по реологии – Тверь, –2012. –№2.– С.128 – 129.
7. *Janaina Debon, Elane Schwinden Prudêncio, Jose Carlos Cunha Petrus* //JournalofFoodEngineering.– 2010.–№99,– 128–135.
8. *Острецова Н.Г., Чекалева А.В.* Исследование влияния состава комбинированной молочной основы на активность развития заквасочной микрофлоры. // Молочно-хозяйственный вестник, – 2014. – №1. –С.71 – 77.
9. *Martha P. Rascon-Diaz, Jose M. Tejero, Patricia G. Mendoza-Garcia, Hugo Sergio Garcia, Marco A. Salgado-Cervantes.* Spray Drying Yogurt Incorporating Hydrocolloids: Structural Analysis, Acetaldehyde Content, Viable Bacteria, and Rheological Properties. // *Food Bioprocess Technol*–2012. – №5.– P560–567.
10. *AportelaPalatcios A., Sosa Morales M.E. Velez Ruiz J.F.* Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium // *Journal of Texture Studies*.–2005.–№36.–P.333–349.

11. Mandala I.G, Savvas T.P, Kostaropoulos A.E Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. // *Journal of food engineering*. –2004.– №64.–P.335–342.
12. ArashKoocheki, Amir Ghandi, Seyed M. A. Razavi, Seyed Ali Mortazavi, TodorVasiljevic. The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature.// *International Journal of Food Science and Technology*.–2009.–№44.–P.596–602.
13. Min Zhang and others, Rheological properties of fish skin collagen solution Effects of temperature and concentration. // *Korea-Australia Rheology Journal*.–2010. –Vol. 22,– № 2, –P.119-127.
14. Birgit Schantz, Harald Rohm, Influence of lecithin–PGPR blends on the rheological properties chocolate. // *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.*–2005.–№38,–P.41–45
15. Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A., Shalabi, S.I. Rheological Properties of Yogurt Made with Encapsulated Nonropy Lactic Cultures // *Journal of Dairy Science*. –1996,–V. 79,–№12,–P.2091–2097
16. Зобкова З.С., Фирсова Т.П., Зенина Д. Влияние способа внесения трансглутаминазы на структурно-механические свойства йогурта и протеолитическую активность заквасочных культур.// *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2014.№3.С.28 – 32.
17. Ермолаев Я.Ю., Попов А.М. и др. Исследования растворов модифицированных гречневого и ячменного крахмалов. // *Хранение и переработка сельхоз сырья*, –2012. –№3. – С.33 – 35.
18. Мачихина А.И., Ермолаев Я.Ю. Линия производства киселей на основе гречневого и ячменного крахмала. // *Хранение и переработка сельхозсырья*, –2012. – №1. –С.51 – 53.
19. Емельянов А.А., Корячкин В.П. и др. Реологические характеристики виноградной пасты, полученной низкотемпературным выпариванием в вакууме. // *Хранение и переработка сельхоз сырья*, 2010. – №4.С.10 – 13.
20. Березовский Ю.М., Андреев В.Н., Гаврикин А.С., Шпаков В.Ю. Исследование тиксотропных свойств майонеза. // *Масложировая промышленность*, –2010. №4.–С.32 – 34.
21. Некрасов П.А. Тиксотропные свойства диетических майонезов, обогащённых диацилглицеридами // *Масложировая промышленность*, –2009. –№4. –С.34 – 35.

References

1. Ostrikov A.N., Abramov O.V., Loginov A.V. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.– SPb. GIORD,– 2012. – 616 p.
2. Gorbatov A.V., Maslov A.M., Machikhin V.P., Tabachnikov V.P., Kosoi V.D. Strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov. – M. Legkaya pishhevaya promyshlennost', –1982.– 296 p.
3. Nikolaev B.L., Nikolaev L.K., Denisenko A.F., Krupoderov A.Yu., Kuznetsov A.V. Vliyanie temperatury produkta, gradienta skorosti i kasatel'nykh napryazhenii na reologicheskie kharakteristiki maioneza provansal' «Kolibri» // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2013. №1.
4. Nikolaev B.L., Nikolaev L.K., Denisenko A.F., Movchanyuk E.V., Krupoderov A.Yu. Vliyanie mekhanicheskoi i teplovoi obrabotki na reologicheskie svoistva smesi morozhenogo «Plombir shoko-ladnyi» // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2012. № 2
5. Nikolaev B.L., Nikolaev L.K., Krupoderov A.Yu. Osobennosti reologicheskogo povedeniya syra plavlennogo «Syr s lukom». / *Sbornik trudov 26-go Simpoziuma po reologii – Tver'*, 2012. - №2. P.130 – 131.
6. Nikolaev L.K., Denisenko A.F., Nikolaev B.L., Krupoderov A.Yu. Kinetika reologicheskikh svoistv kulinarного zhira «Friturnyi» // *Sbornik trudov 26-go Simpoziuma po reologii – Tver'*, –2012. –№2.– P.128 – 129.

7. Janaina Debon, Elane Schwinden Prudêncio, Jose Carlos Cunha Petrus // *Journal of Food Engineering*. – 2010. – №99, – 128–135.
8. Ostretsova N.G., Chekaleva A.V. Issledovanie vliyaniya sostava kombinirovannoi molochnoi os-novy na aktivnost' razvitiya zakvasochnoi mikroflory. // *Molochno-khozyaistvennyi vestnik*, –2014. – №1. –P.71 – 77.
9. Martha P. Rascon-Diaz, Jose M. Tejero, Patricia G. Mendoza-Garcia, Hugo Sergio Garcia, Marco A. Salgado-Cervantes. Spray Drying Yogurt Incorporating Hydrocolloids: Structural Analysis, Acetaldehyde Content, Viable Bacteria, and Rheological Properties. // *Food Bioprocess Technol*–2012. – №5.–P560–567.
10. AportelaPalatcios A., Sosa Morales M.E. Velez Ruiz J.F. Rheological and physicochemical behavior of fortified yogurt, with fiber and calcium // *Journal of Texture Studies*.–2005.–№36.–P.333–349.
11. Mandala I.G, Savvas T.P, Kostaropoulos A.E Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. // *Jornal of food engineering*. –2004.– №64.–P.335–342.
12. ArashKoocheki, Amir Ghandi, Seyed M. A. Razavi, Seyed Ali Mortazavi, TodorVasiljevic. The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature.// *International Journal of Food Science and Technology*.–2009.–№44.–P.596–602.
13. Min Zhang and others, Rheological properties of fish skin collagen solution Effects of temperature and concentration. // *Korea-Australia Rheology Journal*.–2010. –Vol. 22,– № 2, –P.119-127.
14. Birgit Schantz, Harald Rohm, Influence of lecithin–PGPR blends on the rheological properties chocolate. // *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*.–2005.–№38.–P.41–45
15. Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A., Shalabi, S.I. Rheological Properties of Yogurt Made with Encapsulated Nonropy Lactic Cultures // *Journal of Dairy Science*. –1996,–V. 79,–№12,–P.2091–2097
16. Zobkova Z.S., Firsova T.P., Zenina D. Vliyanie sposoba vneseniya transglutaminazy na strukturno-mekhanicheskie svoystva iogurta i proteoliticheskuyu aktivnost' zakvasochnykh kul'tur.// *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya*, 2014.№3.S.28 – 32.
17. Ermolaev Ya.Yu., Popov A.M. i dr. Issledovaniya rastvorov modifitsirovannykh grechnevogo i yachmennogo krakhmalov. // *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya*, –2012. –№3. – S.33 – 35.
18. Machikhina A.I., Ermolaev Ya.Yu. Liniya proizvodstva kiselei na osnove grechnevogo i yachmennogo krakhmala. // *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya*, –2012. – №1. –S.51 – 53.
19. Emel'yanov A.A., Koryachkin V.P. i dr. Reologicheskie kharakteristiki vinogradnoi pasty, poluchennoi nizektemperaturnym vyparivaniem v vakuume. // *Khranenie i pererabotka sel'khoz syr'ya*, 2010. – № 4. S. 10 – 13.
20. Berezovskii Yu.M., Andreev V.N., Gavrikin A.S., Shpakov V.Yu. Issledovanie tiksotropnykh svoystv maioneza. // *Maslozhirovaya promyshlennost'*, –2010. №4.–S.32 – 34.
21. Nekrasov P.A. Tiksotropnye svoystva dieticheskikh maionezov, obogashchennykh diatsilglitseridami // *Maslozhirovaya promyshlennost'*, –2009. –№4. –S.34 – 35.