

УДК 637.143

**Исследование реодинамики йогуртов, обогащенных селеном**

Магистрант **А.Б. Поташова**, ms.potashova@inbox.ru  
канд. техн. наук **Ю.Н. Гуляева**, gulyaeva.yul@yandex.ru  
д-р техн. наук **А.Г. Новоселов**, dekrosh@mail.ru

Университет ИТМО  
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*В статье обосновывается необходимость разработки рецептур функциональных кисломолочных продуктов, обогащенных селеном. Рассмотрены вопросы выбора рецептур функциональных кисломолочных напитков, включающих селен, на основе восстанавливаемости их структурно-механических свойств. В качестве критерия оценки степени восстанавливаемости структуры, была выбрана степень изменения коэффициента динамической вязкости при изменении скорости сдвига  $\gamma$ . Исследования проводились в два этапа. На предварительном этапе изучалась восстанавливаемость структуры напитка, и осуществлялся выбор напитка с наилучшей восстанавливаемостью. Дано описание методики проведения экспериментов. Исследовано семь функциональных напитков с различной рецептурой и на их основе выбран напиток П7. Основной этап исследований заключался в снятии реологических характеристик выбранного напитка в более широком диапазоне скоростей сдвига ( $\gamma = 2 \div 1000 - c^{-1}$ ) с целью получения математических зависимостей для расчета коэффициента динамической вязкости. Установлено, что все исследованные кисломолочные продукты проявляют при течении неньютоновские свойства и относятся к группе псевдопластичных жидкостей с проявлением тиксотропных свойств. Представлены две группы уравнений для расчета коэффициентов динамической вязкости: в зависимости от увеличения скорости сдвига и ее уменьшения.*

*Полученные уравнения необходимы для расчета гидравлических сопротивлений при движении выбранного продукта в трубах и дозирующих устройствах промышленных аппаратов.*

**Ключевые слова:** селен; коэффициент динамической вязкости; закваска; кисломолочные напитки; скорость сдвига; структурно-механические свойства.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-37-44

**Rheodynamics of yogurt enriched with selenium**

Master student **Anastasia B. Potashova**, ms.potashova@inbox.ru  
Ph.D. **Yulia N. Gulyaeva**, gulyaeva.yul@yandex.ru  
Ph.D. **Alexander G. Novosyolov**, dekrosh@mail.ru

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

*The article substantiates the need for the development of functional formulations for dairy products enriched with selenium. The problem of formulation selection for functional fermented milk beverages with selenium is analyzed in terms of recoverability of their structural and mechanical properties. The rate of dynamic viscosity coefficient change with the change of shear rate  $\gamma$  was selected as a criterion for assessing the recoverability of the beverage structure. At the first stage the recoverability of the drink structure was studied and the choice of beverage with the best recoverability was made. The experimental technique is described. Seven functional beverages with different formulations were analyzed and P7 drink was selected. The main stage of the research was the rheological properties analysis of the beverage selected in a wider range of shear rates ( $\gamma = 2 \div 1000 - c^{-1}$ ) in order to obtain mathematical data for dynamic viscosity calculation. It was found that all the investigated dairy products had non-Newtonian properties of flow and belonged to the group of pseudoplastic liquids with thixotropic properties. Two groups of equations are presented to calculate the dynamic viscosity coefficient: for increasing and decreasing shear rate. The equations obtained are necessary to calculate hydraulic resistances when product flows in tubes and in batching equipment*

**Keywords:** selenium; the coefficient of dynamic viscosity; sourdough; sour milk drinks; shear rate; structural-strength properties.

### Введение

В настоящее время особенно остро стоит вопрос здорового питания. В этой связи появилось новое направление разработки функциональных продуктов питания, которое предполагает использование в пищу продуктов с заданными свойствами в зависимости от цели их применения. Продукты, используемые в функциональном питании, обладают оздоровительными свойствами и полезны для человека, восполняют нехватку в организме того или иного компонента [1, 2].

По данным Института питания РАМН и результатам клинических исследований, 80% россиян испытывают недостаток селена. Выявлено, что у людей с пониженным уровнем селена в крови, чаще возникает болезни сердечно-сосудистой системы, ухудшается острота зрения [3].

Селен – микроэлемент, обладающий свойствами сильнейшего антиоксиданта, значительно снижает смертность от рака за счет повышения иммунитета, предотвращает разрушение и некроз печени, соединяясь с тяжелыми металлами и выводя их из организма. Восполнить недостаток этого вещества в организме человека можно с помощью функциональных продуктов, содержащих селен [4].

В настоящее время на кафедре «Технологии молока и пищевой биотехнологии» университета ИТМО разработаны рецептуры йогуртов, обогащенных селеном с применением добавки «Селен Альга Плюс» [5, 6].

Создание нового продукта должно удовлетворять не только вкусовым и полезным свойствам, но и соответствовать технологическим показателям, необходимым для его промышленного производства. Качество готового йогуртового напитка определяется степенью восстанавливаемости после прохождения технологической линии производства [7]. Внесение биологических добавок в процессе производства йогурта может приводить к изменению структурно-механических свойств, влияющих на качество конечного продукта. Одним из показателей структурно-механических свойств является вязкость, которая зависит от состава продукта [8–10].

### Методы и объекты исследований

С этой целью нами было исследовано несколько йогуртовых напитков с различными заквасками. Готовили лабораторную закваску на стерилизованном (121°C, 15–20 мин) обезжиренном молоке. После стерилизации молоко охлаждали до температуры заквашивания, вносили порцию сухой закваски и сквашивали при оптимальной температуре в течение 12–18 часов до образования сгустка.

Эксперимент проводился в два этапа: предварительный и основной. На предварительном этапе были изучены семь рецептур йогуртовых напитков, рецептура которых представлена в таблице 1. На этом этапе стояла задача определить рецептуру продукта, позволяющую в наибольшей степени восстановить структуру напитка.

Таблица 1 – Состав функциональных йогуртовых напитков

Продукт	Состав продукта
П1	<i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы молоко
П2	<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> + <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>diacetylactis</i> + <i>Streptococcus thermophilus</i> , молоко
П3	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> , вязкие штампы, молоко
П4	Закваска для сметаны: л+к+д+ст ( <i>л</i> , <i>к</i> – <i>lactis</i> , <i>cremoris</i> , <i>д</i> – <i>diacetylactis</i> , <i>ст</i> – <i>Streptococcus thermophilus</i> ), молоко
П5	Закваска для йогурта: <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> и <i>Streptococcus thermophilus</i> в соотношении 1:4, молоко
П6	<i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы и <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> , вязкие штампы в соотношении 1:1, молоко
П7	<i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> , вязкие штампы в соотношении 2:1, молоко, селен

Эксперименты проводились при температуре  $T = 20^{\circ}\text{C}$  и скоростях сдвига, равных  $\gamma_1 = 3\text{c}^{-1}$ ,  $\gamma_2 = 6\text{c}^{-1}$ ,  $\gamma_3 = 9\text{c}^{-1}$  в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [11]. Время проведения каждого эксперимента составляло 120 с, после чего продукт выдерживали 900 с для восстановления структуры напитка, и затем продолжали опыт в течение 120 с. Анализируя данные по значению коэффициента динамической вязкости, полученные на 120 с (верхняя линия) и на первой секунде продолженного опыта, получали информацию о восстанавливаемости структуры исследуемого напитка.

### Результаты исследований

В результате проведенного комплекса экспериментов были определены значения коэффициентов динамической вязкости для семи видов йогуртовых напитков.

По результатам предварительных исследований на разных скоростях сдвига, был выбран продукт П7 с наилучшей восстанавливаемостью (рисунки 1–3).

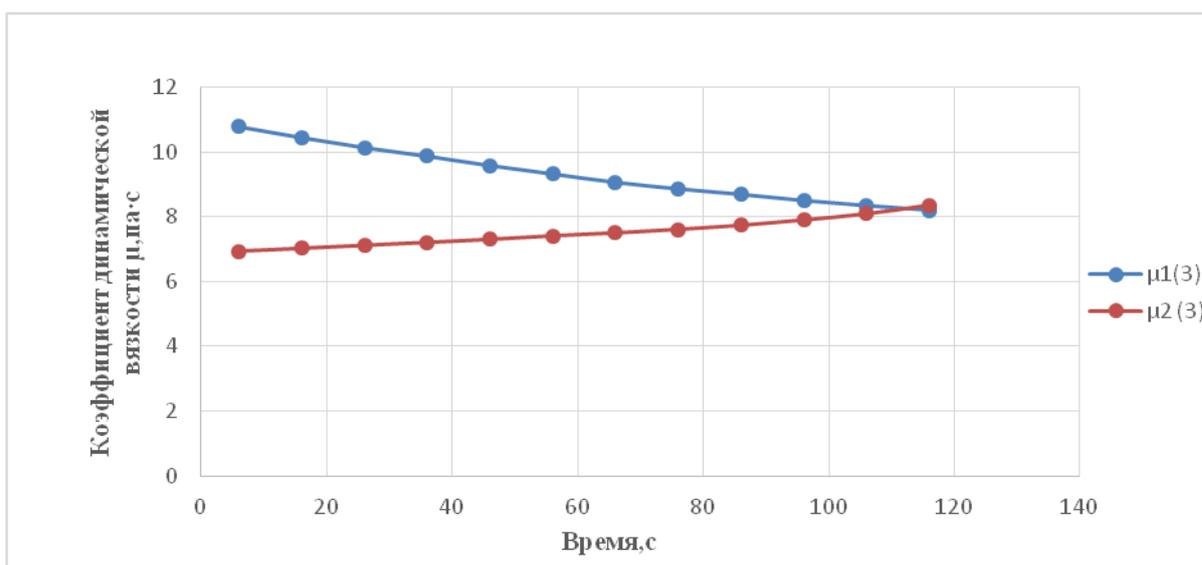


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости от времени при скорости сдвига  $\gamma_1 = 3\text{c}^{-1}$  П7

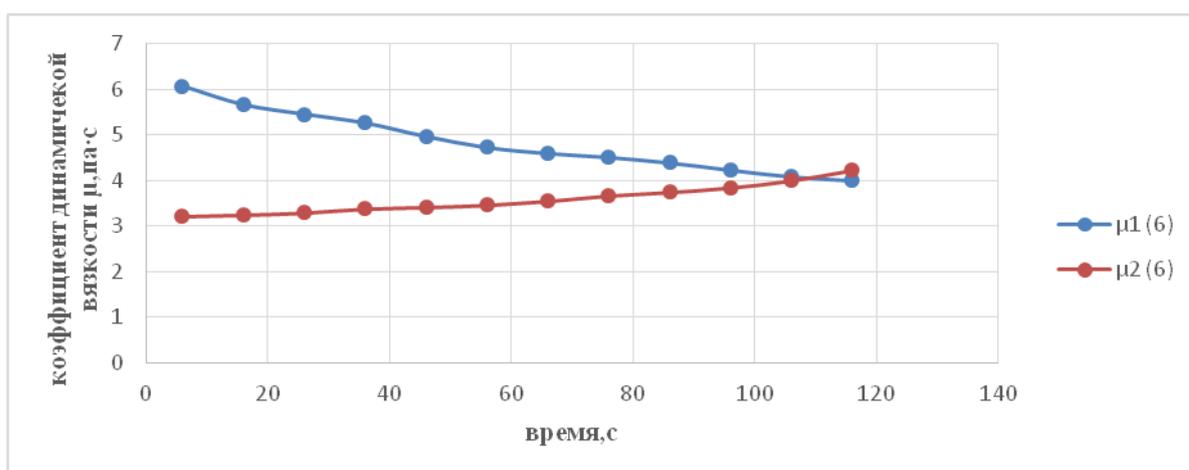


Рисунок 2 – Зависимость динамической вязкости от времени при скорости сдвига,  $\gamma_2 = 6\text{c}^{-1}$  П7

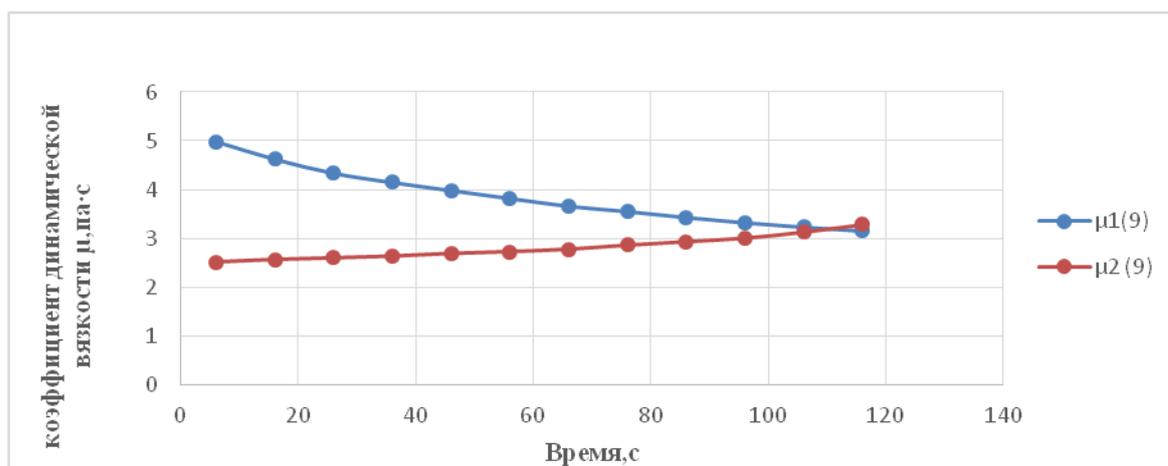


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости от времени при скорости сдвига,  $\dot{\gamma}_3 = 9\text{ с}^{-1}\text{П7}$

Основной этап заключался в дальнейшем и более тщательном исследовании выбранного ранее продукта, с целью расширения реологических данных, необходимых для расчета гидравлических сопротивлений при движении выбранного продукта в трубах и дозирующих устройствах промышленных аппаратов [12].

Эксперименты проводились с выбранным продуктом с одной закваской, но различными составляющими. Для контроля изменения реологических свойств в зависимости от состава функционального напитка нами были измерены значения  $\mu$  для напитка П1 (Таблица 2).

Таблица 2 – Состав продуктов на основном этапе экспериментов

Продукт	Состав продукта
П7-1	Молоко, закваска <i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы и <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i> , вязкие штампы в соотношении 2:1, сахар, селен
П7-2	Молоко, закваска <i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i> , вязкие штампы в соответствии 2:1, подсластители (сироп топинамбура и стевииозид), селен
П7-3	Молоко, закваска <i>Streptococcus thermophilus</i> , вязкие штампы и <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i> , вязкие штампы в соотношении 2:1, подсластители (сироп топинамбура и стевииозид), селен, корица, имбирь, селен

Все эксперименты по измерению вязкости проводились при одной температуре  $T = 20^\circ\text{C}$ . Значения вязкости получали при увеличении, а также уменьшении градиента скорости сдвига в интервале от  $3,0$  до  $1000\text{ с}^{-1}$ . Эти значения изображены на рисунках 4–6.

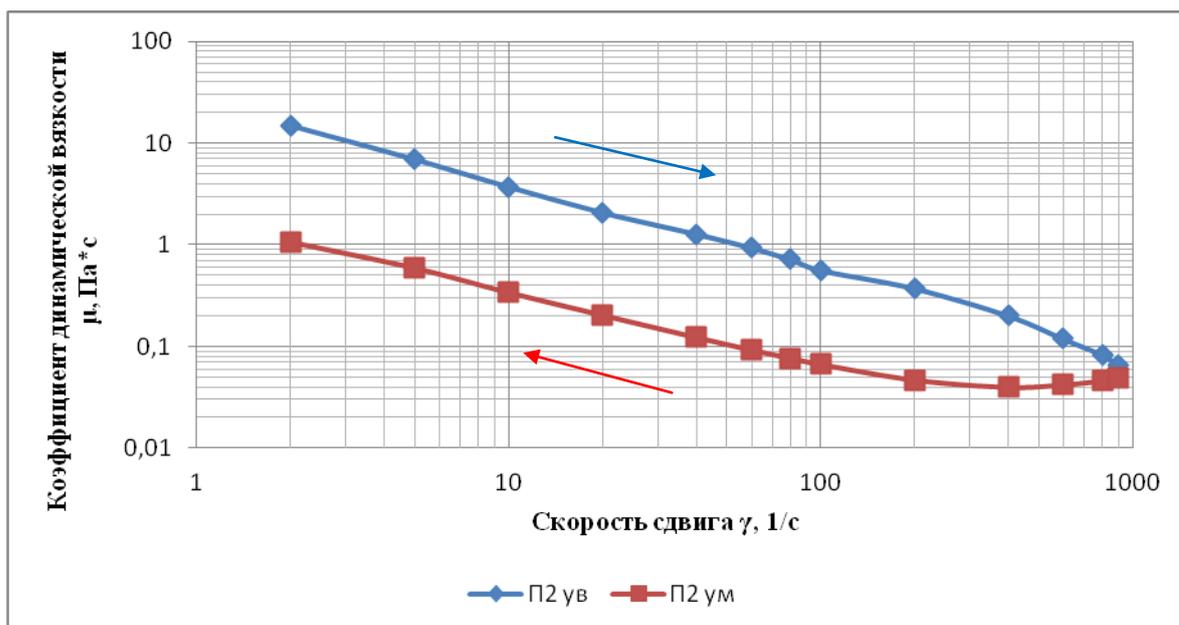


Рисунок 4 – Зависимость динамической вязкости от градиента скорости для П2-1 при  $T = 20^\circ\text{C}$

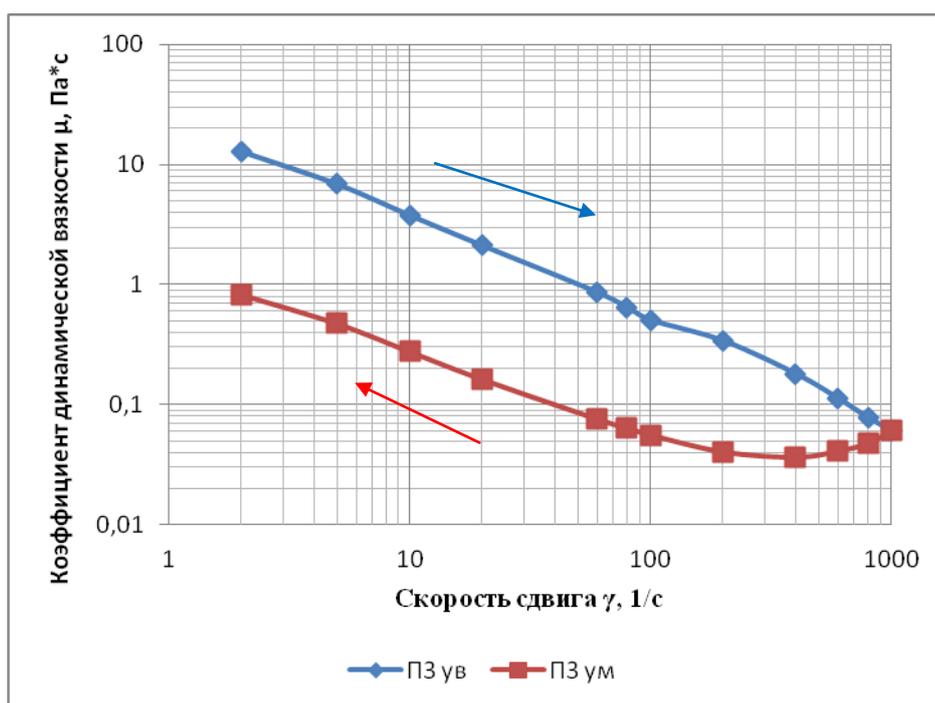


Рисунок 5 – Зависимость динамической вязкости от градиента скорости для продукта П2-2 при  $T = 20^\circ\text{C}$

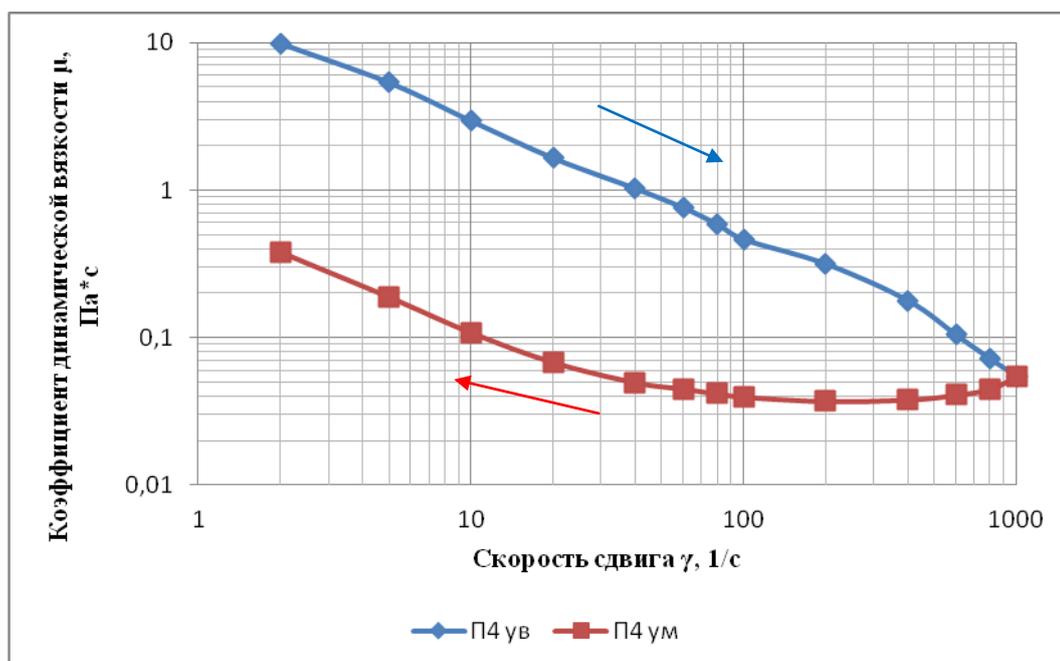


Рисунок 6 – Зависимость динамической вязкости от градиента скорости для П7-3 при  $T = 20^{\circ}\text{C}$

Из представленных на рисунках результатов исследования вязкости можно сделать следующие выводы:

- с увеличением скорости сдвига коэффициент динамической вязкости исследуемых продуктов уменьшается при постоянной температуре, что говорит о неньютоновском поведении этих продуктов при их течении (нисходящая линия);
- характер течения этих продуктов показывает, что они относятся к группе псевдопластичных жидкостей;
- с уменьшением скорости сдвига (восходящая линия) коэффициент динамической вязкости исследуемых продуктов сначала продолжает уменьшаться, но после достижения скорости сдвига  $400\text{ с}^{-1}$  увеличивается;
- во всех исследованных продуктах наблюдалась неполное восстановление их структуры, наличие не замкнутой петли гистерезиса (рисунки 4–6), что свидетельствует о существовании зависимости вязкости от времени (явление тиксотропии).

Результаты математической обработки значений коэффициентов эффективной вязкости в зависимости от скорости сдвига, полученные для различных продуктов, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сводная таблица формул для расчета вязкости йогуртовых напитков

Продукт	нисходящая линия (увеличение скорости сдвига)	восходящая линия (уменьшение скорости сдвига)
П7-1	$\mu = 26,79 \cdot \gamma^{-0,84}$	$\mu = 1,778 \cdot \gamma^{-0,72}$
П7-2	$\mu = 34,38(\gamma + 0,94)^{-0,91}$	$\mu = 1,31 \cdot \gamma^{-0,66}$
П7-3	$\mu = 23,48(\gamma + 0,73)^{-0,86}$	$\mu = 0,605 \cdot \gamma^{-0,7}$

### Заключение

1. Выполнены экспериментальные исследования эффективной вязкости для десяти йогуртовых напитков и получены математические уравнения для оценки этой величины.
2. Характер течения этих продуктов показывает, что они относятся к группе псевдопластичных жидкостей.
3. Во всех исследованных продуктах наблюдалась неполное восстановление их структуры, что свидетельствует о существовании зависимости вязкости от времени (явление тиксотропии).
4. По результатам исследований был выбран напиток П7, который обладает наилучшей восстанавливаемостью структуры.

### Литература

1. Бобренева И.В. Функциональные продукты питания. СПб.: Интермедия, 2012. 180 с.
2. Monastyrsky K. *Bases of functional food*. New York, Agelles Press, 2000, P. 336.
3. Тутельян В.А., Княжев В.А., Голубина Н.А. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе. М.: Российская академия медицинских наук, 2002. 220 с.
4. Вощенко А.В., Дремина Г.А. Селен. Здоровье. Человек. Чита: Забтранс, 1996. 136 с.
5. Арсеньева Т.П., Скриплева Е.А. Исследование и разработка йогурта, обогащенного селеном в биодоступной форме // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 1(19). С. 5.
6. Арсеньева Т.П., Скриплева Е.А. Обогащение кисломолочного напитка селеном и йодом // Научно-практическая конференция молодых ученых «Современные тенденции в развитии пищевой биотехнологии» (Санкт-Петербург, 4–6 июня 2013 г.): сб. тр. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. С. 32–36.
7. Ребрин Ю.И. Управление качеством: учебное пособие. Таганрог: ТРТУ, 2004. 172 с.
8. Раманускас Р. Вязкостные свойства кисломолочных напитков // Тезисы докладов IX Международной научно-технической конференции «Техника и технология пищевых производств» (Могилев, 2013 г.). Могилев: Изд-во Могилевского гос. ун-та продовольствия, 2013. С. 331–334.
9. Харинова И.Б. Изучение структурно-механических свойств кисломолочных напитков с добавкой порошка корня сельдерея // Молодой ученый. 2011. № 4. Т.1. С. 76–79.
10. Николаев Л.К. Исследование эффективной вязкости кисломолочных напитков кефиров «Фруктовый» и «Детский» // Известия СПбГУНиПТ. 2002. № 1. С. 25–27.
11. Тамим А. И., Робинсон Р.К. Йогурты и другие кисломолочные продукты. СПб.: Профессия, 2003. 664 с.
12. Арет В.А., Николаев Л.К., Забровский Г.П., Николаев Б.Л. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов. СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. 435 с.

### References

1. Bobreneva I.V. *Funktsional'nye produkty pitaniya* [Functional Foods]. St. Petersburg, Intermediya Publ., 2012. 180 p.
2. Monastyrsky K. *Bases of functional food*. New York, Agelles Press, 2000, P. 336.
3. Tutel'yan V.A., Knyazhev V.A., Golubina N.A. *Selen v organizme cheloveka: metabolizm, antioksidantnye svoistva, rol' v kontserogeneze* [Selenium in humans: metabolism, antioxidant role in carcinogenesis]. Moscow, Rossiiskaya akademiya meditsinskikh nauk Publ., 2002. 220 p.
4. Voshchenko A.V., Dremina G.A. *Selen. Zdorov'e. Chelovek* [Selenium. Health. Human]. Chita: Zabtrans, 1996. 136 p.
5. Arsen'eva T.P., Skripleva E.A. Issledovanie i razrabotka iogurta, obogashchennogo selenom v biodostupnoi forme [Research and development of yogurt enriched with selenium in a bioavailable form]. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and equipment for food production*. 2014. № 1(19). P. 5.
6. Arsen'eva T.P., Skripleva E.A. Obogashchenie kislomolochnogo napitka selenom i iodom [Enrichment of dairy drink selenium and iodine]. *Proceeding of Scientific-practical conference of young scientists "Modern trends in the development of food biotechnology"* (St. Petersburg, 4–6 June 2013). St. Petersburg, NIU ITMO Publ., 2013, pp. 32–36.

7. Rebrin Yu.I. *Upravlenie kachestvom: uchebnoe posobie* [Quality management: manual]. Taganrog, TRTU Publ., 2004, 172 p.
8. Ramanauskas R. Vyazkostnye svoistva kislomolochnykh napitkov [Viscous properties of dairy drinks]. *Abstracts Abstracts of the 9th International Scientific Conference "Technology and Food Production Technology" (Mogilev, 2013)*. Mogilev, Mogilev State University of Foodstuffs Publ., 2013, pp. 331–334.
9. Kharinova I.B. Izuchenie strukturno-mekhanicheskikh svoistv kislomolochnykh napitkov s dobavkoi poroshka kornya sel'dereya [Studying of structural and mechanical properties of dairy drinks with a celery root powder additive]. *Young scientist*. 2011, no. 4, V.1, pp. 76–79.
10. Nikolaev L.K. Issledovanie effektivnoi vyazkosti kislomolochnykh napitkov kefirov «Fruktovyi» i «Detskii» [A study of the effective viscosity of fermented milk drinks kefir "Fruit" and "Children"]. *Izvestiya SPbGUNIPT*. 2002, no. 1, pp. 25–27.
11. Tamim A. I., Robinson R.K. *Iogurty i drugie kislomolochnye produkty* [Yogurts and other fermented milk products]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2003, 664 p.
12. Aret V.A., Nikolaev L.K., Zabrovskii G.P., Nikolaev B.L. *Reologicheskie osnovy rascheta oborudovaniya proizvodstva zhirosoderzhashchikh pishchevykh produktov* [Rheological bases of calculation of equipment of the production of the fat-containing foods]. St. Petersburg, SPbGUNIPT, 2006, 435 p.

Статья поступила в редакцию 18.11.2015