

УДК 664.849:633.1  
DOI: 10.31866/2616-7468.2.2.2019.188207

## ВПЛИВ СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНОВИХ СМУЗИ

*Сергій Неїленко,*  
кандидат технічних наук,  
Київський національний університет  
культури і мистецтв,  
Київ, Україна,  
nsm110986@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-7282-2682>  
© Неїленко С., 2019

*Мирослав Криворучко,*  
кандидат технічних наук,  
Київський національний торговельно-  
економічний університет,  
Київ, Україна,  
m.kryvoruchko@knute.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-7378-1050>  
© Криворучко М., 2019

**Актуальність.** Під час розроблення технологічних процесів виробництва зернових смузів важливою умовою є визначення терміну зберігання смузи, в тому числі і зміну реологічних показників протягом зберігання в залежності від вибору структуроутворювача. Зміни реологічних показників смузи можна аналізувати і прогнозувати за допомогою основних структурно-механічних параметрів. **Мета і методи дослідження.** Метою дослідження визначено вивчення впливу структуроутворювачів на реологічні властивості зернових смузів при зберіганні. Методологічною основою дослідження є комплексний підхід як під час постановки завдань, так і при проведенні і аналізі результатів досліджень із використанням нових теоретичних розробок, сучасних комп'ютерних методів математичного моделювання і аналізу. **Результати.** Простежуються два основних періоди зміни характеристик структури смузи. Перший період тривалості зберігання становить 15 днів. Протягом нього всі структурно-механічні властивості смузи залишаються стабільними та мають наступні значення: темп руйнування структури  $m = 0,61$ , пластична в'язкість  $\eta_{пл} = 7,71$  Па·с, ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву  $B_0 = 292$  Па·с, гранична напруга зсуву  $\sigma_0 = 240$  Па, динамічна гранична напруга зсуву  $\sigma_d = 832$  Па. Від шістнадцятої доби зберігання можна спостерігати другий період, коли реологічні показники смузи зростають. За досліджуваний період часу, від 15 до 30 діб, темп руйнування структури  $m$  збільшився від 0,61 до 0,69. Таке збільшення характеризує посилення аномальних, неньютонівських властивостей смузи. Пластична в'язкість  $\eta_{пл}$  зросла на 12,1 %, ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву  $B_0$  зросла на 29,5 %. **Висновки та обговорення.** Дослідження впливу терміну зберігання на структурно-механічні властивості смузи тривало 30 діб. Наприкінці цього строку смузи набуло конденсаційно-кристалізаційної структури. Межа текучості  $\sigma_0$  досягла значення 2200 Па. Таким чином, рекомендований термін зберігання смузи становить  $15 \pm 0,5$  діб.

**Ключові слова:** в'язкість, напруга зсуву, реологія, смузи, структурно-механічні властивості, термін зберігання.

### Актуальність проблеми

*Постановка проблеми.* Серед комплексу фізичних властивостей різних середовищ реологічні властивості є найважливішими. Вони часто передбачають по-

ведінку середовищ у найрізноманітніших технологічних процесах і є зовнішнім вираженням внутрішньої структури об'єктів, тобто характеризують агрегатний стан, дисперсність, будову, структуру і вид взаємодії всередині продукту.

В одного і того самого матеріалу залежно від його стану і умов навантаження виявляються різні реологічні властивості. Відомо багато випадків, коли в процесі технологічної обробки один і той самий продукт переходить із одного реологічного стану в інший, часто протилежний за своїми властивостями до першого. Наприклад, шоколад під час відливання у форму піддається охолодженню і переходить із в'язкого (плинного) стану в твердий; макаронне тісто за раптової дії навантаження поводить себе переважно як пружне тіло; за повільних навантажень виявляються в'язкі та пластичні властивості (Черевко, Пересічний, & Пересічна, 2017). Тому насамперед необхідно з'ясувати, які властивості смузи за заданих умов деформації є основними. Саме тому вдосконалення технології виробництва смузи неможливе без урахування реологічних властивостей. Дані реологічних вимірювань дають змогу інтенсифікувати технологічні процеси і встановити терміни зберігання з одночасним покращанням їх якості.

*Стан вивчення проблеми.* Структурно-механічні властивості неньютонівських рідин досліджуються рядом вітчизняних та закордонних вчених. Вчені розділяють неньютонівські рідини на три категорії: стаціонарні системи, баланс швидкості зсуву й напруги зсуву яких не залежить від часу; нестаціонарні системи, для яких співвідношення між напругою та швидкістю зсуву залежить від часу; та в'язкопружні рідини, які мають одночасно властивості рідини та твердого тіла і після зняття напруги проявляють пружне відновлення форми. Петриченко С. В. розподіляє дисперсні системи на твердо- й рідиноподібні (Петриченко, Олексієнко, & Паляничка, 2016). Дослідження Гладух І.М. надійшло висновку, що за типом структур просторові системи можна поділити на чотири типи: коагуляційні, конденсаційні, кристалізаційні, комбіновані (Gladukh, Grubnik, Kukhtenko, & Stepanenko, 2015).

Важливий внесок у розвиток реології зробили вітчизняні та зарубіжні вчені: Азаров Б. М., Бургерс В. Г., Великовський Д. С., Виноградов Г. Б., Гладух І.М., Гуць В. С., Ейрих Ф. Р., Муні М., Маслов А. М., Пересічний М.І., Петриченко С. В., Рейнер М., Рогов І. А., Сурков Б. Д., Тябін Н. В., Шерман В. тощо.

Вчені, які удосконалюють структурно-механічні властивості різних систем, приділяють увагу вивченню реологічних характеристик як головних для оцінювання якості продукту, розрахунку технологічних процесів, отримання продукції по заданим властивостям (Шаніна, Лобачова, & Ліфенцева, 2014).

*Невирішені питання.* Під час розроблення технологічних процесів виробництва зернових смуз важливою умовою є визначення терміну зберігання смузи, в тому числі і зміну реологічних показників протягом зберігання в залежності від вибору структуроутворювача. Зміни реологічних показників смузи можна аналізувати і прогнозувати за допомогою основних структурно-механічних параметрів.

## **Мета і методи дослідження**

*Метою дослідження* визначено вивчення впливу структуроутворювачів на реологічні властивості зернових смуз при зберіганні.

*Методологічною основою дослідження* є комплексний підхід як під час постановки завдань, так і при проведенні і аналізі результатів досліджень із викорис-

танням нових теоретичних розробок, сучасних комп'ютерних методів математичного моделювання і аналізу.

*Методи дослідження.* Визначення в'язкості та напруги зсуву проводилося на ротаційному віскозиметрі Брукфілда, аналіз даних проводився за допомогою комп'ютерної програми MathCaD.

*Характеристика об'єкта дослідження.* Об'єктом дослідження прийняті структурно-механічні зміни у зернових смузі на основі вівса з додаванням колагену PRO (0,2% вмісту) та трансглютамілази (0,25% вмісту) при зберіганні протягом 30 діб.

*Інформаційна база дослідження:* монографії, наукові статті, матеріали міжнародних конгресів та симпозіумів, науково-практичних конференцій, нормативно-технічна документація, патенти, авторські свідоцтва, статистичні дані.

### Результати дослідження

Вивчення основних закономірностей процесів структуроутворення в дисперсних системах смузі при різній концентрації структуроутворювачів та термінах зберігання дозволяє отримувати смузі з прогнозованими властивостями.

В якості структуроутворювачів обрано колаген PRO та трансглютамілазу з масовою часткою, яку встановлено попередніми дослідженнями: 0,2 % та 0,25 % відповідно. Для зручності запису зразок смузі із вмістом колагену PRO позначено як зразок 1, тоді як смузі із вмістом трансглютамілази – як зразок 2.

За результатами експериментів побудовано реограми (рис. 1) за середніми значеннями граничної напруги зсуву  $\sigma_0$ , динамічної граничної напруги  $\sigma_d$ , пластичної в'язкості  $\eta_{пл}$ .

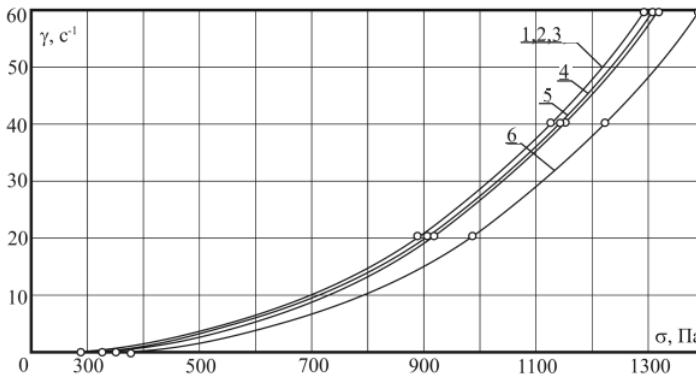


Рис. 1. Залежність швидкості зсуву від напруги зсуву зразків смузі за різної тривалості зберігання  $\tau$  (діб):

- 1, 2 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 0 діб;
- 3, 4 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 15 діб;
- 5, 6 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 30 діб.

Fig. 1. Shear rate-shear stress dependency diagrams of the smooth samples during different storage time  $\tau$  (days):

- 1, 2 – sample 1 and sample 2 (storage for 0 days);
- 3, 4 – sample 1 and sample 2 (storage for 15 days);
- 5, 6 – sample 1 and sample 2 (storage for 30 days).

Залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву смузі за своїм характером нагадують високов'язкі неньютонівські рідини та мають степеневу залежність і являють собою прямі лінії з від'ємним нахилом у логарифмічних координатах. За цим графіком були визначені значення  $B_0$  і  $m$ . Під час зберігання від 0 до 30 діб спостерігається зміна структурно-механічних властивостей.

На рисунку 2 чітко простежуються два основних періоди зміни характеристик структури смузі. Перший період тривалості зберігання становить 15 днів. Протягом нього всі структурно-механічні властивості смузі залишаються без змін. Так, темп руйнування структури  $m = 0,61$ , пластична в'язкість  $\eta_{пл} = 7,71 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву  $B_0 = 292 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , гранична напруга зсуву  $\sigma_0 = 240 \text{ Па}$ , динамічна гранична напруга зсуву  $\sigma_d = 832 \text{ Па}$ .

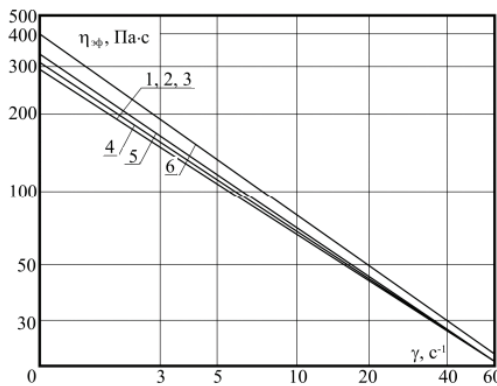


Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості смузі від швидкості зсуву за різної тривалості зберігання  $\tau$  (діб):

- 1, 2 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 0 діб;
- 3, 4 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 15 діб;
- 5, 6 – зразок 1 та зразок 2 при зберіганні 30 діб.

Fig. 2. Effective viscosity-shear rate dependency diagrams of the smoothie samples during different storage time  $\tau$  (days):

- 1, 2 – sample 1 and sample 2 (storage for 0 days);
- 3, 4 – sample 1 and sample 2 (storage for 15 days);
- 5, 6 – sample 1 and sample 2 (storage for 30 days).

Від шістнадцятої доби зберігання можна спостерігати другий період, коли реологічні показники смузі зростають. За досліджуваній період часу, від 15 до 30 діб, темп руйнування структури  $m$  збільшився від 0,61 до 0,69. Таке збільшення характеризує посилення аномальних, неньютонівських властивостей смузі. Пластична в'язкість  $\eta_{пл}$  зростає на 12,1 %, причому спостерігається збільшення ефективної в'язкості при одиничній швидкості зсуву  $B_0$  на 29,5 %.

Другий період зберігання характеризується ознаками «старіння» структури смузі. На графіках (рис. 3) можна відмітити, що динамічна межа текучості  $\sigma_d$  зростає на 5 %.

Ефективна в'язкість при одиничній швидкості зсуву  $B_0$  є найбільш значимою властивістю структурованої продукції. Ця величина збільшилась у другому періоді, при цьому під час зберігання смузі процес розчинення концентрату займає

в 2–3 рази більше часу, що і сприяє небажаним додатковим витратам енергії. В результаті цих досліджень було встановлено, що раціональний термін зберігання смузі складає  $15 \pm 0,5$  діб, причому зразок 1 зазнає менших змін структури при зберіганні, ніж зразок 2.

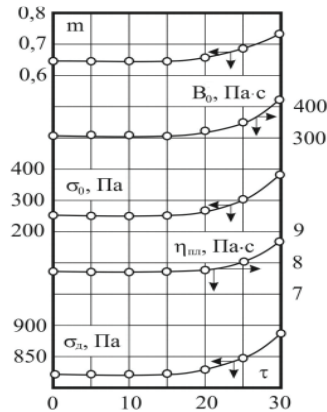


Рис.3. Структурно-механічні характеристики смузі за різної тривалості зберігання  $\tau$  (діб)

Fig. 3. Structural-mechanical characteristics of the smoothies at different storage time  $\tau$  (days)

На відміну від коагуляційних структур, конденсаційно-кристалізаційні утворюються під час безпосереднього з'єднання клітковини нової фази за допомогою хімічних сил основних валентностей. З'єднанні структури формуються із перенасиченого розчину тільки при достатньо високому перенасичуванні і вони стають термодинамічно нестійкі внаслідок нерівномірного з'єднання клітковини.

### Висновки та обговорення результатів

У процесі зберігання смузі відбувається зєднання клітковини у вигляді нової фази унаслідок перенасичування рідкого прошарку, що зв'язує тверді частки. Під час зберігання смузі товщина рідкого прошарку між часиною дисперсної фази зменшується. Спостерігається також перманентний перехід від коагуляційної структури до високоміцної унаслідок поступового зневоднення смузі.

Дослідження впливу терміну зберігання на структурно-механічні властивості смузі тривало 30 діб. Наприкінці цього строку смузі набуло конденсаційно-кристалізаційної структури. Межа текучості  $\sigma_0$  досягла значення 2200 Па. Також смузі до цього часу втратили органолептичні властивості. Таким чином, рекомендований термін зберігання смузі становить  $15 \pm 0,5$  діб. Смузі з використання колагену PRO зазнає менших змін при зберіганні, ніж при використанні структуроутворювача трансглютамілази.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

---

- Маджитов, Д.Ф. (2018). Безопасность – наше кредо. Высокоэффективная транsgлютаминаза «FloraBond» (1000 ед/г) теперь безопасна благодаря жидкой форме. *Молочная промышленность*, 5, 29.
- Мазаракі, А.А., Пересічний, М.І., Кравченко, М.Ф., Карпенко, П.О., & Пересічна, С.М. (2012). *Технологія харчових продуктів функціонального призначення* [Монографія]. (2-ге вид.). Київ: Київський національний торговельно-економічний університет.
- Петриченко, С.В., Олексієнко, В.О., & Паляничка, Н.О. (2016). Механічне моделювання реологічної поведінки харчових матеріалів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*, 16, 1, 29-36
- Тюрікова, І.С., Пересічний, М.І., & Рогова, Н.В. (2015). Розроблення технології біологічно цінного смузі з використанням волоського горіха. *Восточно-Европейський журнал передових технологій*, 5/11 (77), 49-53.
- Черевко, О.І., Пересічний, М.І., & Пересічна, С.М. (2017). *Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення* (Ч. 2) [Монографія]. (4-те вид.). Харків: ХДУХТ.
- Шаніна, О.М., Лобачова, Н.Л., & Ліфенцева, А.О. (2014). Вивчення деформаційних процесів у безглютеновому тісті. В *Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві*, Міжнародна науково-практична інтернет-конференція (с. 143-144). Харків: ХДУХТ.
- Ashokkumar, M., Narayanan, N.T., Reddy, A.L.M, Gupta, B.K., Chandrasekaran, B., Talapatra, S. ... Thanikaivelan, P. (2014). Transforming collagen wastes into doped nanocarbons for sustainable energy applications. *Green Chemistry*, 14, 1689-1695.
- Gladukh, Ie.V., Grubnik, I.M., Kukhtenko, G.P., & Stepanenko, S.V. (2015). Rheological studies of water-ethanol solutions of gel-formers. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7 (4), 729-734.
- Grubnik, I., Gladukh, I., & Serbin, A. (2015). pH influence on the rheological properties of natural gums gels. *Yale Journal of Science and Education*, 1 (16), 504-510.
- Ray, L., Pramanik, S., & Bera, D. (2016). Enzymes-An Existing and Promising Tool of Food Processing Industry. *Recent patents on biotechnology*, 10.1, 58-71.

## REFERENCES

---

- Ashokkumar, M., Narayanan, N.T., Reddy, A.L.M, Gupta, B.K., Chandrasekaran, B., Talapatra, S. ... Thanikaivelan, P. (2014). Transforming collagen wastes into doped nanocarbons for sustainable energy applications. *Green Chemistry*, 14, 1689-1695 [in English].
- Cherevko, O.I., Peresichnyi, M.I., & Peresichna, S.M. (2017). *Innovatsiini tehnologii kharchovoi produktii funktsionalnogo pryznachennia* [Innovative functional food technology] (Pt. 2) [Monograph] (4th ed.). Kharkiv: KhDUKhT [in Ukrainian].
- Gladukh, Ie.V., Grubnik, I.M., Kukhtenko, G.P., & Stepanenko, S.V. (2015). Rheological studies of water-ethanol solutions of gel-formers. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7 (4), 729-734 [in English].
- Grubnik, I., Gladukh, I., & Serbin, A. (2015). pH influence on the rheological properties of natural gums gels. *Yale Journal of Science and Education*, 1 (16), 504-510 [in English].
- Madzhitov, D.F. (2018). Bezopasnost – nashe kredo. Vysokoeffektivnaia transglutaminaza "FloraBond" (1000 ed/g) teper bezopasna blagodaria zhidkoi forme [Safety is our credo. The highly effective transglutaminase "FloraBond" (1000 units / g) is now safe due to its liquid form]. *Molochnaia promyshlennost*, 5, 29 [in Russian].

- Mazaraki, A.A., Peresichnyi, M.I., Kravchenko, M.F., Karpenko, P.O., & Peresichna, S.M. (2012). *Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [Functional food products technology]* [Monograph] (2nd ed.). Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi torhovo-ekonomichnyi universytet [in Ukrainian].
- Petrychenko, S.V., Oleksiienko, V.O., & Palianychka, N.O. (2016). Mekhanichne modeliuvannya reolohichnoi povedinky kharchovykh materialiv [Mechanical modeling of rheological behavior of food materials]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, 16, 1, 29-36 [in Ukrainian].
- Ray, L., Pramanik, S., & Bera, D. (2016). Enzymes-An Existing and Promising Tool of Food Processing Industry. *Recent patents on biotechnology*, 10.1, 58-71 [in English].
- Shanina, O.M., Lobachova, N.L., & Lifentseva, A.O. (2014). Vyvchennia deformatsiinykh protsesiv u bezhgliutenovomu tisti [Study of deformation processes in gluten-free dough]. In *Innovatsiini tekhnolohii v kharchovii promyslovosti ta restorannomu hospodarstvi [Innovative technologies in the food industry and restaurant industry]*, Proceedings of the International Conference (с. 143-144). Kharkiv: KhDUKHT [in Ukrainian].
- Tiurikova, I.S., Peresichnyi, M.I., & Rohova, N.V. (2015). Rozroblennia tekhnolohii biolohichno tsinnoho smuzi z vykorystanniam voloskoho horikha [Development of biologically valuable stripe technology using walnut]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*, 5/11 (77), 49-53 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 06.10.2019



УДК 664.849:633.1

**Сергей Неиленко,**  
кандидат технических наук,  
Киевский национальный университет  
культуры и искусств,  
Киев, Украина,  
nsm110986@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-7282-2682>

**Мирослав Криворучко,**  
кандидат технических наук,  
Киевский национальный торгово-  
экономический университет,  
Киев, Украина,  
m.kryvoruchko@knute.edu.ua  
<https://orcid.org/0000-0002-7378-1050>

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНОВЫХ СМУЗИ

**Актуальность.** При разработке технологических процессов производства зерновых смузи необходимо было определить, как изменяются органолептические и связанные с ними структурно-механические свойства при хранении в зависимости от выбора структурообразователя. Структура смузи со временем претерпевает изменения, которые могут быть положительными или отрицательными. Эти изменения можно анализировать и прогнозировать с помощью основных структурно-механических параметров. **Цель и методы исследования.** Целью исследования определено изучение влияния структурообразователей на реологические свойства зерновых смузи при хранении. Методологической основой исследования является комплексный подход как при постановке задач, так и при проведении и анализе результатов исследований с использованием новых теоретических разработок, современных компьютерных методов математического моделирования и анализа. **Результаты.** Прослеживаются два основных периода изменения характеристик структуры смузи. Первый период продолжительности хранения составляет 15 дней. В течение него все структурно-механические свойства смузи остаются без изменений. Так, темп разрушения структуры  $m = 0,61$ , пластическая вязкость  $\eta_{пл} = 7,71$  Па·с, эффективная вязкость при единичной скорости сдвига  $V_0 = 292$  Па·с, предельное напряжение сдвига  $\sigma_0 = 240$  Па, динамическое предельное напряжение сдвига  $\sigma_d = 832$  Па. От шестнадцати суток хранения начинается второй период, когда значение всех основных структурно-механических характеристик смузи начинают расти. За исследованный период времени, от 15 до 30 месяцев, темп разрушения структуры  $m$  увеличился с 0,61 до 0,69. Такое увеличение характеризует усиление аномальных, неньютоновских свойств смузи. Пластическая вязкость  $\eta_{пл}$  выросла на 12,1 %, эффективная вязкость при единичной скорости сдвига  $V_0$  увеличилась на 29,5 %. **Выводы и обсуждение.** Исследование влияния срока хранения на структурно-механические свойства смузи продолжалось 30 дней. В конце этого срока смузи приобрело конденсационно-кристаллизационную структуру. Предел текучести  $\sigma_0$  достиг значения 2200 Па. Таким образом, рекомендуемый срок хранения смузи составляет  $15 \pm 0,5$  дней.

**Ключевые слова:** вязкость, напряжение сдвига, реология, смузи, структурно-механические свойства, срок хранения.



UDC 664.849:633.1

**Serhii Neilenko,**  
*Ph.D. in Technical Sciences,*  
*Kyiv National University of Culture and Arts,*  
*Kyiv, Ukraine,*  
*nsm110986@gmail.com*  
*<https://orcid.org/0000-0002-7282-2682>*

**Myroslav Kryvoruchko,**  
*Ph.D. in Technical Sciences,*  
*Kyiv National University of Trade and Economics,*  
*Kyiv, Ukraine,*  
*m.kryvoruchko@knu.edu.ua*  
*<https://orcid.org/0000-0002-7378-1050>*

## INFLUENCE OF STRUCTURE FORMERS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GRAIN SMOOTHIES

**The purpose of the article.** During developing technological processes for the production of grain smoothies, it is necessary to determine how the organoleptic and related structural and mechanical properties change during storage using structure-forming agent. The smoothie structure undergoes changes over time that can be positive or negative. These changes can be analyzed and predicted using the basic structural and mechanical parameters. **Research methods.** The aim of the study is to determine the influence of structure formers on the rheological properties of grain smoothies during storage. The methodological basis of the study is an integrated approach, both in the formulation of tasks and in the conduct and analysis of research results using new theoretical developments, modern computer methods of mathematical modeling and analysis. **Scientific novelty.** There are two main periods of change in the characteristics of the smoothie structure. During the first 15 days storage period all the structural and mechanical properties of the smoothie remain unchanged. So, the rate of structure destruction is  $m = 0.61$ , the plastic viscosity is  $\eta_{nn} = 7.71 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , the effective viscosity at a unit shear rate is  $B_0 = 292 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , yield point is  $\sigma_0 = 240 \text{ Pa}$ , the Bingham yield point is  $\sigma_d = 832 \text{ Pa}$ . From sixteen storage days the value of all the basic structural and mechanical characteristics of the smoothie begins to grow up. During storage for 30 days the rate of rate of structure destruction  $m$  increased from 0.61 to 0.69. Such an increase characterizes the strengthening of the anomalous, non-newtonian properties of the smoothie. The plastic viscosity  $\eta_{nn}$  increased by 12.1%, the effective viscosity at a yield point  $B_0$  increased by 29.5%. **Conclusions.** The study of the structural and mechanical properties of the smoothie lasted 30 days. At the end of this period, the smoothie acquired a condensation-crystallization structure. The yield strength was reached 2200 Pa. Thus, the recommended storage period of a smoothie is  $15 \pm 0.5$  days.

**Keywords:** viscosity, bias stress, rheology, smoothies, structural and mechanical properties, storage period.