Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-145-153 Оригинальная статья/Research article
УДК 664.8:634 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Разработка методики определения прочности фруктово-ягодных батончиков с использованием прибора «Структурометр СТ-2»

Евгения Э. Клейн [1] kleyn.ee@rea.ru 0000-0003-0322-036X
Шерзодхон Муталлибзода [1] mutallibzoda.s@rea.ru 0000-0003-3855-9494
Игорь А. Никитин [1] nikitin.ia@rea.ru 0000-0002-8988-5911
Дарья А. Велина [1] velina.da@rea.ru 0000-0002-2398-3375
Дмитрий С. Гончаров [1] dmitrijgoncarov477@gmail.com Место для ввода текста.

1 Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия

Аннотация. В настоящее время в пищевой промышленности отсутствует стандартизированная методика оценки прочности фруктово-ягодных батончиков на приборе «Структурометр СТ-2», что затрудняет объективный контроль качества как в производственных условиях, так и при разработке новых рецептур. В данной работе предложено комплексное решение этой проблемы. Проведен сравнительный анализ трех типов инденторов («Нож №1», «Конус 60», «Цилиндр Ø1») с оценкой воспроизводимости результатов (коэффициент вариации – CV). Установлено, что индентор «Нож№1» демонстрирует наилучшее сочетание воспроизводимости (CV = 10,4 %) и способности адекватно оценивать прочностные характеристики батончика при изгибе. Рассчитано отношение пластической деформации к упругой ($\Delta h_{plastic}/\ \Delta h_{elastic}$), что подтверждает вязкопластичное поведение продукта (пластическая деформация в 2,7 раза превышает упругую). Коэффициент эластичности (E_{el}=7,5 %) является второстепенным параметром и указывает на низкую способность батончика к восстановлению формы. Выполнена математическая интерпретация кривых нагружения с выделением стадий деформации: упругой (линейная зависимость $F = 65{,}0h+18{,}9,\ R^2 = 0{,}997$), пластической (полином $F = -\ 0{,}631h^2+109{,}0h-286{,}8,\ R^2 = 0{,}996$) и разгрузки. Полученные регрессионные модели количественно описывают структурно-механические свойства фруктово-ягодного батончика, в частности, жесткость при изгибе (коэффициент жесткости 65 г/мм). Разработанная методика апробирована на батончике с фруктово-ореховым составом и представляет практическую ценность для стандартизации контроля структурно-механических показателей данного вида продукции.

Ключевые слова: фруктово-ягодный батончик, прочность, структурометр СТ-2, структурно-механические свойства.

Development of a method for determining the strength of fruit and berry bars using the «Strukturometer ST-2» device

Evgeniya E. Klein [1] kleyn.ee@rea.ru 0000-0003-0322-036X
Sherzodkhon Mutallibzoda [1] mutallibzoda.s@rea.ru 0000-0003-3855-9494
Igor A. Nikitin [1] nikitin.ia@rea.ru 0000-0002-8988-5911
Daria A. Velina [1] velina.da@rea.ru 0000-0002-2398-3375
Dmitrii S. Goncharov [1] dmitrijgoncarov477@gmail.com Место для ввода текста.

1 Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia

Abstract. Currently, the food industry lacks a standardized method for assessing the strength of fruit and berry bars using the «Strukturometer ST-2» device, which significantly limits the possibilities of objective quality control in both industrial settings and the development of new recipes. This paper presents a comprehensive solution to this problem. A comparative analysis of three types of indenters («Knife No. 1», «Cone 60», «Cylinder Ø1») was carried out with an assessment of the reproducibility of the results (coefficient of variation – CV). It was found that the «Knife No. 1» indenter demonstrates the best combination of reproducibility (CV = 10.4 %) and the ability to adequately assess the strength characteristics of the bar under bending. The ratio of plastic deformation to elastic deformation ($\Delta h_{plastic}/\Delta h_{elastic}$) was calculated, which confirms the visco-plastic behavior of the product (plastic deformation is 2.7 times higher than elastic deformation). The elasticity index (E_{el} = 7.5 %) is a secondary parameter and indicates the low ability of the bar to recover its shape after loading. Mathematical interpretation of the loading curves was performed, identifying the stages of deformation: elastic (linear dependence $F = 65.0h + 18.9$, $R^2 = 0.997$), plastic (polynomial $F = -0.631h^2 + 109.0h - 286.8$, $R^2 = 0.996$) and unloading. The obtained regression models quantitatively describe the structural and mechanical properties of the fruit and berry bar, in particular, the bending stiffness (stiffness coefficient 65 g/mm). The developed method was tested on a bar with a fruit-nut composition and is of practical value for standardizing the control of structural and mechanical parameters of this type of product.

Keywords: fruit and berry bar, strength, Strukturometer ST-2, structural and mechanical properties.

Для цитирования
Клейн Е.Э., Муталлибзода Ш., Никитин И.А., Велина Д.А., Гончаров Д.С. Разработка методики определения прочности фруктово-ягодных батончиков с использованием прибора «Структурометр СТ-2» // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 145–153. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-145-153

For citation
Kleyn E.E., Mutallibzoda Sh., Nikitin.I.A., Velina D.A., Goncharov D.S. Development of a method for determining the strength of fruit and berry bars using the «Strukturometer ST-2» device. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 145–153. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-145-153

© 2026, Клейн Е.Э. и др. / Kleyn E.E. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Фруктово-ягодные батончики занимают значительную долю рынка продуктов здорового питания, позиционируясь как альтернатива традиционным кондитерским изделиям с высоким содержанием сахара. Они востребованы среди потребителей, ведущих активный образ жизни, а также в сегменте спортивного и диетического питания [1-3]. Важнейшим потребительским свойством данных изделий является их структура – оптимальное сочетание упругости, достаточной прочности для сохранения формы и легкого разжевывания [4, 5].

Однако при разработке новых рецептур или замене традиционного сырья (например, сахара на сахаро-заменители) структура батончиков может существенно изменяться: от чрезмерно твердой и хрупкой до излишне мягкой и липкой [6–9]. Для объективного контроля качества необходимы точные и воспроизводимые методы измерения реологических характеристик.

Одним из перспективных инструментов для таких исследований является прибор «Структурометр СТ-2», предназначенный для оценки реологических свойств пищевых систем.

В настоящее время для данного прибора отсутствует единая стандартизированная методика определения структурно-механических свойств батончиков. Различные исследователи применяют разные типы инденторов, разные режимы нагружения, а также разные приборы (пенетрометр, текстурометр), что делает невозможным сравнение результатов между отдельными лабораториями и затрудняет воспроизводимость экспериментальных данных [10].

Анализ работ по близкой тематике, в частности по исследованию мармелада, показывает, что однопараметрические методики, ограниченные фиксацией максимального усилия, не позволяют детально проанализировать процесс деформации. Кроме того, в существующих работах часто не учитывается остаточная деформация образца после снятия нагрузки, которая является важной реологической характеристикой для пищевых продуктов с вязко-эластичными свойствами [11, 12].

Зарубежные исследования с применением анализаторов текстуры (Texture Profile Analysis, TPA) демонстрируют, что комплексный анализ полной кривой нагружения, с выделением зон упругой и пластической деформации, позволяет получить значительно больше информации о структуре продукта, чем просто измерение максимальной прочности [13–15].

Цель работы — разработка объективной и воспроизводимой методики оценки реологических характеристик фруктово-ягодного батончика с использованием анализатора текстуры «Структурометр СТ-2» с обоснованием выбора оптимального индентора и математической интерпретацией кривых нагружения.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ трех типов инденторов («Нож № 1», «Конус 60», «Цилиндр Ø1») с оценкой воспроизводимости результатов (коэффициент вариации CV);
2. Выбрать оптимальный индентор для стандартизации измерений;
3. Провести детальный анализ кривой нагружения для выбранного индентора с идентификацией характерных зон (упругая деформация, пластическая деформация, разгрузка) и расчетом отношения пластической деформации к упругой;
4. Выполнить регрессионный анализ характерных участков кривой нагружения с определением жесткости при изгибе (k);
5. Рассчитать коэффициент эластичности и величину остаточной деформации.

Объекты и методы

Объектом исследования являлся фруктово-ягодный батончик массой 25 г. Продукт имел прямоугольную форму, плотную поверхностную структуру и более мягкую внутреннюю структуру, что обусловлено наличием измельченных орехов и сухофруктов. В состав продукта входили следующие виды сырья: финиковая паста, какао, мальтодекстрин, сорбитовый сироп, миндаль, изюм.

Измерения проводили на анализаторе текстуры «Структурометр СТ-2» (Россия). Были протестированы три типа инденторов:

- «Нож № 1» – испытание на трехточечный изгиб с фиксированным прогибом 8 мм (имитирует усилие при надкусывании, оценивает прочность при механическом воздействии [16]). Выбор прогиба 8 мм для индентора «Нож № 1» обусловлен толщиной батончика (12–15 мм), при которой прогиб 8 мм соответствует 50–70 % от толщины, что позволяет оценить как упругие, так и пластические свойства продукта без полного разрушения образца.
- «Конус 60» – внедрение конического индентора с контролем скорости нагружения (10 г/с) до глубины 15 мм.
- «Цилиндр Ø1» – пенетрация цилиндрического индентора диаметром 1 мм с постоянной скоростью 1 мм/с до глубины 15–40 мм.

Алгоритм определения прочности фруктово-ягодных батончиков состоял из следующих этапов. На первом этапе фруктово-ягодный батончик устанавливали на съемный столик с крышкой № 1 (для инденторов «Конус 60» и «Цилиндр Ø1») или на столик с опорами (для индентора «Нож № 1), далее выбранный индентор («Конус 60», «Цилиндр Ø1», «Нож № 1») с помощью основного держателя закрепляли в тензобалке прибора. На втором этапе происходил выбор режима работы прибора (методики), после тензодатчик калибровался с помощью эталонной гири. На третьем этапе происходил запуск измерения для реализации предварительного выбранного режима работы прибора.

В таблице 1 представлен режим работы прибора «Структурометр СТ-2» при определении показателя прочности фруктово-ягодных батончиков с использованием инденторов «Конус 60», «Цилиндр Ø1», «Нож № 1».

Таблица 1.

Режим работы прибора с индентором «Конус 60», «Цилиндр Ø1», «Нож № 1»

Table 1.

Operating models of the device with «Cone 60», «Cylinder Ø1», «Knife № 1» indenter

Этап Step	Режим работы | Operating mode
1	Перемещение индентора вниз до контакта с продуктом с усилием 5 г при скорости 0,5 мм/с | Moving the indenter down to contact the product with a force of 5 g at a speed of 0.5 mm/s
2	Внедрение индентора «**Конус 60**» со скоростью нагружения 10 г/с до глубины 15 мм; «**Цилиндр Ø1**» со скоростью перемещения 1 мм/с до глубины 15–40 мм; Изгиб батончика до прогиба 8 мм при скорости 1 мм/с индентором «**Нож № 1**» | The introduction of the «**Cone 60**» indenter with a loading speed of 10 g/s to a depth of 15 mm; «**Cylinder Ø1**» with a displacement speed of 1 mm/s to a depth of 15–40 mm; Bending of the bar to a deflection of 8 mm at a speed of 1 mm/s with the «**Knife № 1**» indenter
3	Снятие нагрузки со скоростью 3 мм/с до усилия 1 г | Unloading at 3 mm/s to 1 g
4	Возврат индентора в базовую точку при скорости 5 мм/с | Return of the indenter to the base point at a speed of 5 mm/s

Все измерения проводили в трех параллельных повторностях для каждого индентора. Рассчитывали среднее арифметическое значение (X), стандартное отклонение (σ) и коэффициент вариации (CV, %) по формуле

$$CV = (\sigma / X)100\ \%$$

Для углубленного анализа кривых нагружения индентора «Нож № 1» кривая была сегментирована на три характерных участка:

- Участок *a-b* (от касания до границы упругой зоны, 0–2 мм) – аппроксимация линейной функцией;
- Участок *b-c* (пластическая деформация, 2–8 мм) – аппроксимация полиномом второй степени;
- Участок c-d (разгрузка) – качественный анализ.

Аппроксимацию выполняли методом наименьших квадратов в Python с использованием библиотек scikit-learn и numpy. Критерием качества аппроксимации служил коэффициент детерминации (R^2).

Для оценки реологических параметров были рассчитаны:

1. Жесткость при изгибе (k, г/ мм) – тангенс угла наклона линейной регрессии в упругой зоне (0–2 мм).

2. Отношение пластической деформации к упругой:

$$\Delta h_{\text{plastic}} / \Delta h_{\text{elastic}} = (h_d - h_b / h_d - h_a),$$

где h_a – деформация в точке касания (0 мм), h_b – деформация на границе упругой и пластической зон (2,0 мм), h_d – деформация в точке потери контакта (≈ 7,4 мм).

3. Коэффициент эластичности (E_{el}):

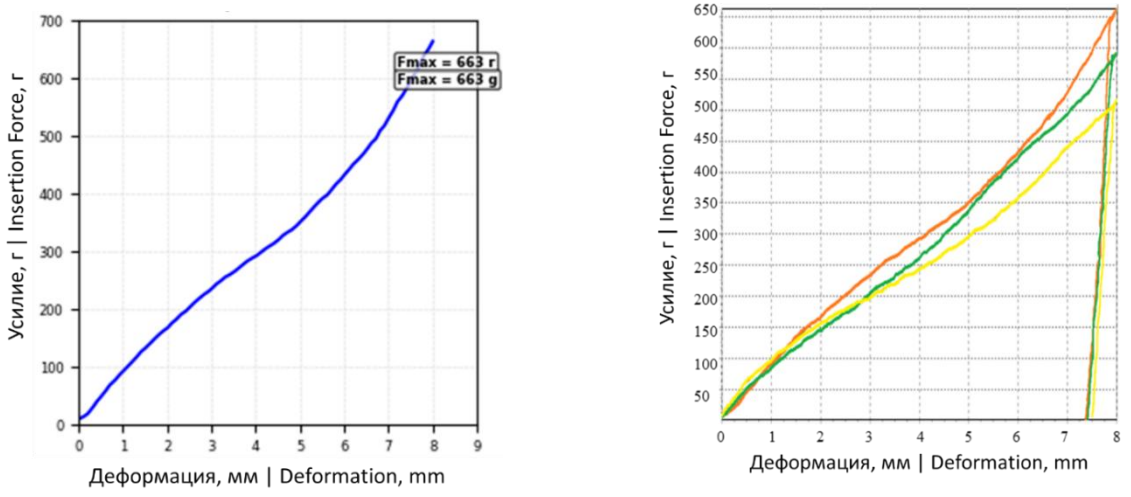
$$E_{el} = (h_C - h_d)100\ \% / h_C ,$$

где h_C – максимальная деформация (8 мм).

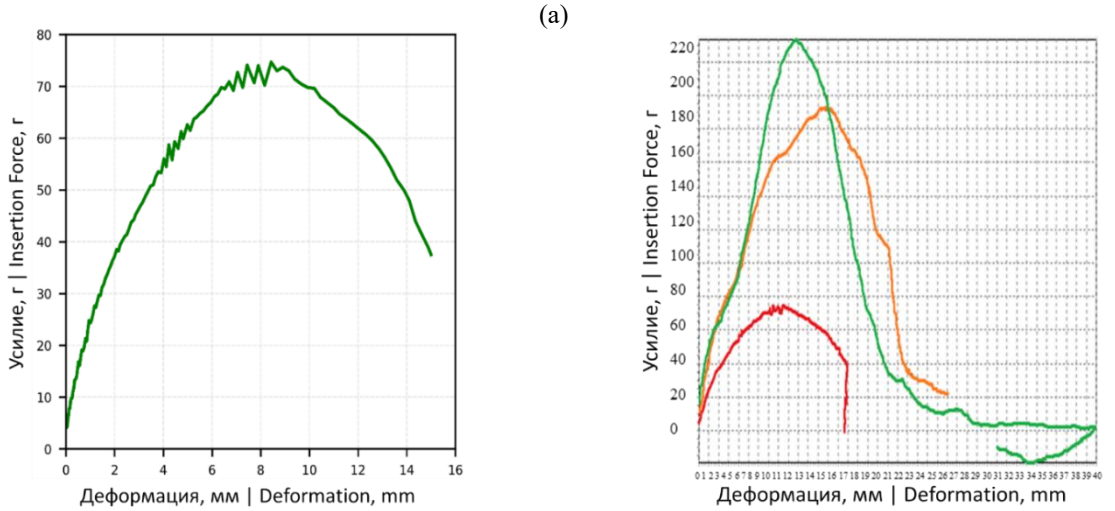
Результаты и обсуждение

Для определения оптимальной методики оценки прочности был проведен сравнительный анализ трёх типов инденторов. На рисунке 1 представлены исходные графики зависимости усилия от деформации (*F-h*) для трех типов инденторов, а также по одному графику из параллельных измерений для демонстрации характерной формы кривой.

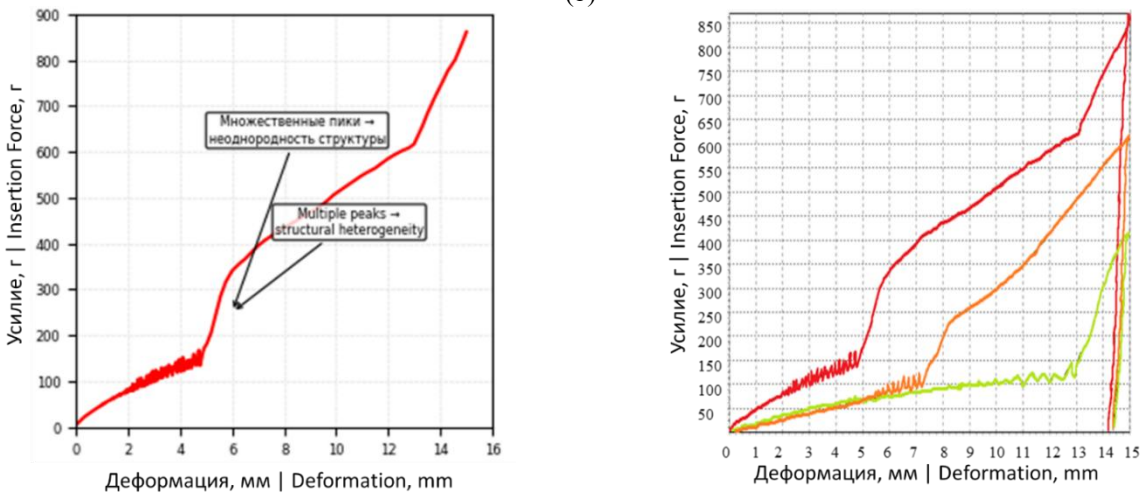
В таблице 2 представлены значения максимальной прочности (Fmax) и коэффициенты вариации для каждого индентора, полученные по результатам трех параллельных измерений.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 1. Кривые нагружения фруктово-ягодного батончика для разных типов инденторов: (a) – «Нож № 1»; (b) – «Цилиндр Ø1»; (c) – «Конус 60»

Figure 1. Loading curves of the fruit and berry bar for different indenters: (a) – «Knife № 1»; (b) – «Cylinder Ø1»; (c) – «Cone 60»

Таблица 2.

Показатели прочности и воспроизводимости для разных типов инденторов

Table 2.

Strength and reproducibility indicators for different indenters

Индентор Indenter	Опыт 1, г | Sample No. 1, g	Опыт 2, г | Sample No. 2, g	Опыт 3, г | Sample No. 3, g	Среднее, г | Mean,g	CV, %
Нож № 1 Knife № 1	663,3	513,6	591,7	589,5	10,4
Конус 60 Cone 60	861,4	619,9	413,7	631,7	35,5
Цилиндр Ø1 Cylinder Ø1	74,7	233,3	191,6	166,5	49,2

Как показывают полученные данные, индентор «Нож № 1» обеспечивал наилучшую воспроизводимость результатов (CV = 10,4 %), что находится в пределах, приемлемых для пищевых продуктов (рекомендуемый порог – не более 10-15 % [17]). Кривая нагружения (рисунок 1а) имела классическую для изгиба форму: плавный рост усилия до максимума при прогибе 8 мм с последующим резким спадом при разгрузке. Такая форма обусловлена тем, что при изгибе батончика происходит последовательное вовлечение в деформацию поверхностного слоя и внутренней структуры [18].

Индентор «Конус 60» продемонстрировал значительно более высокий разброс значений (CV = 35,5 %). Кривая нагружения (рисунок 1в) имела ярко выраженный нелинейный характер с множественными локальными пиками, что свидетельствовало о неоднородной структуре батончика. При внедрении индентор «проскальзывал» относительно твердых включений (частиц орехов, кусочков изюма), создавая локальные пики усилия. Переменная площадь контакта индентора с продуктом в процессе внедрения также внесла вклад в нестабильность измерений.

Индентор «Цилиндр Ø1» показал самый высокий коэффициент вариации (CV = 49,2 %), что свидетельствовало о крайне низкой воспроизводимости. Кривая нагружения (рисунок 1б) продемонстрировала постепенное снижение усилия после достижения максимума, что связано с трением поверхности цилиндра о продукт при пенетрации. Для батончика с неоднородной структурой траектория цилиндра при внедрении могла отклоняться, что привело к значительному разбросу результатов.

Таким образом, по совокупности критериев (воспроизводимости, физической интерпретируемости результатов и соответствия реальному механизму нагружения) индентор «Нож № 1» был выбран в качестве оптимального для дальнейшего углубленного анализа.

На рисунке 2 представлена кривая нагружения для индентора «Нож № 1». В качестве концептуальных ориентиров на кривой были выделены четыре характерные точки, соответствующие различным стадиям деформации продукта.

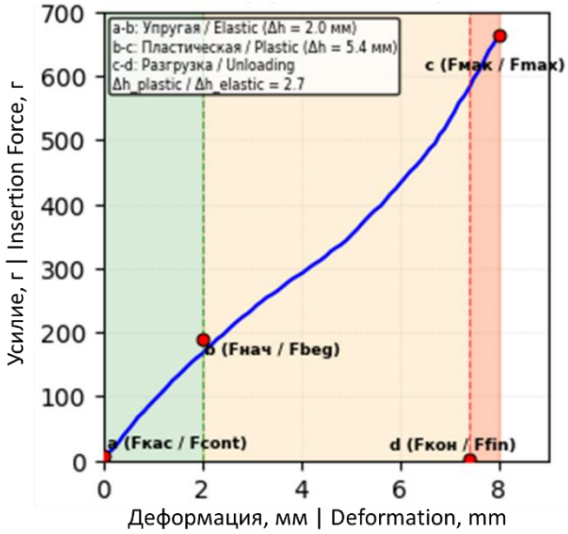


Рисунок 2. Характерные зоны кривой нагружения индентора «Нож № 1»: a-b – упругая деформация ($\Delta h_{elastic}$ = 2,0 мм); b-c – пластическая деформация ($\Delta h_{plastic}$ = 5,4 мм); c-d – разгрузка. Отношение $\Delta h_{plastic}/\ \Delta h_{elastic}$ = 2,7

Figure 2. Characteristic zones of the loading curve of the «Knife No. 1» indenter: a-b – elastic deformation ($\Delta h_{elastic}$ = 2.0 мм); b-c – plastic deformation ($\Delta h_{plastic}$ = 5.4 мм); c-d – unloading. Ratio $\Delta h_{plastic}/\ \Delta h_{elastic}$ = 2.7

На кривой нагружения были выделены следующие реологически значимые точки:

- Точка *a-Fкас* – отражает момент касания индентором поверхности батончика (усилие ≈ 8,4 г, деформация 0 мм). С этого момента начинается регистрация сопротивления продукта деформации;
- Точка *b-Fнач* – соответствует границе между упругой и пластической зонами (деформация ≈ 2,0 мм, усилие ≈ 190 г). До этой точки деформация являлась преимущественно упругой, после начались необратимые структурные изменения;
- Точка *c-Fmax* – момент достижения максимальной нагрузки (деформация 8 мм, усилие 663,3 г).
- Точка *d-Fкон* – момент потери контакта индентора с образцом в процессе разгрузки (усилие ≈ 1 г, деформация 7,4 мм). Важно отметить, что точка d находилась не при нулевой деформации, а при остаточном прогибе 7,4 мм, что отражает пластический характер деформации продукта.

Как видно из рисунка 2, от точки *a* до точки *b* наблюдалась выраженная упругая деформация, характеризующая сжатие батончика без необратимых изменений структуры. В точке *b* усилие достигло значений, достаточных для начала пластической деформации, и далее на отрезке *b-c* появился нелинейный рост усилия с замедлением, что характерно для перехода материала в пластическую зону. На участке *c-d* наблюдалась разгрузка: индентор двигался вверх, усилие снижалось, но образец не возвращался в исходное положение, сохраняя остаточную деформацию 7,4 мм.

Отношение пластической деформации к упругой ($\Delta h_{plastic}/\ \Delta h_{elastic}$) было равно 2,7. Полученное значение подтвердило, что продукт ведет себя как типичная вязкопластичная масса, а не как упругий материал, что хорошо согласуется с его составом [19].

Для количественного описания структурно-механических свойств батончика была выполнена математическая обработка кривой нагружения. Кривая была разделена на два характерных участка – упругую и пластическую зоны, для каждого из которых была проведена регрессионная аппроксимация (рисунок 3).

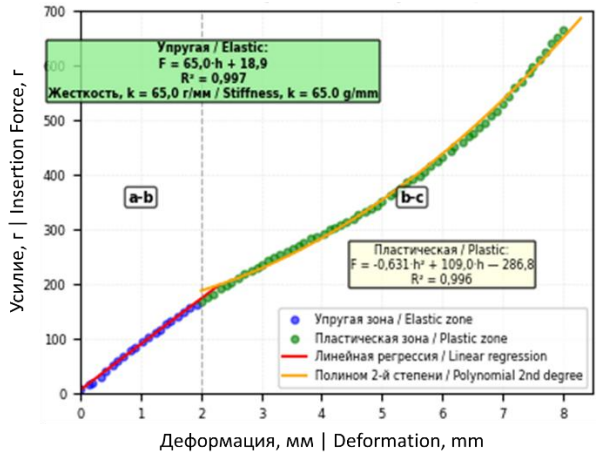


Рисунок 3. Регрессионная аппроксимация участков кривой нагружения: *a* – упругая деформация (линейная регрессия); *b* – пластическая деформация (полином 2-й степени)

Figure 3. Regression approximation of loading curve sections: *a* – elastic deformation (linear regression); *b* – plastic deformation (2nd degree polynomial)

Участок *a-b (упругая деформация)* описывается линейной зависимостью $F = 65,0\ h + 18,9$ с высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,997$), что свидетельствует о линейно-упругом поведении в начальной стадии нагружения. Тангенс угла наклона линейной регрессии характеризовал жесткость при изгибе (k = 65,0 г/мм). Этот параметр характеризует «твердость» батончика при надкусывании [20].

Участок *b-c (пластическая деформация, 2–8 мм)* аппроксимируется полиномом второй степени, отражающим нелинейный процесс структурной перестройки продукта $F = -0,631\ h^2 + 109,0\ h – 286,8$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,996$ свидетельствует о высоком качестве аппроксимации. Отрицательный коэффициент при квадратичном члене указывает на замедление роста усилия с увеличением деформации, что характерно для перехода материала в пластическую зону.

Для количественной оценки способности батончика к восстановлению формы после снятия нагрузки был рассчитан коэффициент эластичности. Полученное значение (E_{el} = 7,5 %) свидетельствовало об очень низкой эластичности продукта. После снятия нагрузки батончик практически не возвращался к исходной форме, сохраняя деформацию, полученную в процессе изгиба.

Таким образом, комплексный анализ, включавший оценку воспроизводимости и физической релевантности результатов, а также детальную интерпретацию кривых нагружения, показал, что разработанная методика с использованием индентора «Нож № 1» позволяет объективно оценивать структурно-механические свойства фруктово-ягодного батончика.

Заключение

Проведенное исследование позволило разработать и научно обосновать методику оценки прочности фруктово-ягодных батончиков на приборе «Структурометр СТ-2». Разработанная методика решает актуальную проблему, связанную с отсутствием стандартизированного подхода к оценке прочности данного продукта.

Проведенный сравнительный анализ трех типов инденторов («Нож № 1», «Конус 60», «Цилиндр Ø1») показал существенные различия в получаемых значениях прочности и характере кривых нагружения. Установлено, что индентор «Нож № 1» обеспечивает наилучшую воспроизводимость результатов (CV = 10,4 %). Инденторы «Конус 60» (CV = 35,5 %) и «Цилиндр Ø1» (CV = 49,2 %) демонстрируют существенно более высокий разброс значений, что делает их непригодными для стандартизированного контроля качества. На кривой индентора «Конус 60» обнаружены множественные пики, свидетельствующие о неоднородной структуре батончика (наличие орехов и кусочков изюма).

Выполнен регрессионный анализ упругой зоны (0–2 мм), получено уравнение линейной зависимости $F = 65{,}0\ h + 18{,}9$ ($R^2 = 0{,}997$). Жесткость батончика при изгибе составила 65 г/мм (k). Данный параметр позволяет количественно оценить «твердость» продукта при надкусывании.

На основе анализа характерных точек кривой нагружения рассчитано отношение пластической деформации к упругой ($\Delta h_{plastic} / \Delta h_{elastic} = 2{,}7$), что подтверждает вязкопластичное поведение продукта. Для пластической зоны (2–8 мм) получено уравнение полинома второй степени $F = -0{,}631\ h^2 + 109{,}0\ h - 286{,}8$ ($R^2 = 0{,}996$), описывающее нелинейный процесс структурной перестройки продукта.

Рассчитанный коэффициент эластичности (E_{el} = 7,5 %) является второстепенным параметром и указывает на низкую способность батончика к восстановлению формы.

Разработанная методика рекомендуется для стандартизации контроля структурно-механических показателей фруктово-ягодных батончиков. Основными контролируемыми параметрами являются жесткость при изгибе (k) и отношение пластической деформации к упругой ($\Delta h_{plastic} / \Delta h_{elastic}$).

Благодарности

Исследование выполнено в рамках внутренней НИР при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова».

Литература

1 Попова Д.Г., Резниченко И.Ю. Маркетинговые исследования потребительского рынка протеиновых батончиков в Кузбассе // Практический маркетинг. 2024. № 12. С. 40–43.

2 Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Ключевые проблемы в структуре потребления пищевой продукции и прорывные технологии оптимизации питания для здоровьесбережения населения России // Вопросы питания. 2024. Т. 93. № 1. С. 6–21. doi: 10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21

3 Jain A., Kumar A., Bhatt D.K. et al. A comprehensive review on nutrition bars as the emerging functional foods: insights into their composition, health benefits and market trends // Journal of Food Measurement and Characterization. 2026. V. 20. P. 4133–4152. doi: 10.1007/s11694-026-04104-4

4 Bchir B., Jean-François T., Rabetafika H.N., Blecker C. Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars // Food Science and Technology International. 2018. V. 24. № 3. P. 198–208. doi: 10.1177/1082013217742752

5 Danalache F., Beirão-da-Costa S., Mata P. et al. Texture, microstructure and consumer preference of mango bars jellified with gellan gum // LWT – Food Science and Technology. 2015. V. 62. № 1. P. 584–591. doi: 10.1016/j.lwt.2014.12.040

6 Akter N., Reza M.S.A., Esrafil M. et al. Nutritional, Textural, Sensory Properties and Storage Stability Evaluation of Newly Formulated Strawberry Bar // Food and Nutrition Sciences. 2023. V. 14. P. 287–299. doi: 10.4236/fns.2023.144019

7 Bratosin B.C., Martău G.A., Ciont C. et al. Nutritional and Physico-Chemical Characteristics of Innovative Bars Enriched with Aronia melanocarpa By-Product Powder // Applied Sciences. 2024. V. 14. № 6. P. 2338. doi: 10.3390/app14062338

8 Haș I.M., Vodnar D.C., Bungau A.F. et al. Enhanced Elderberry Snack Bars: A Sensory, Nutritional, and Rheological Evaluation // Foods. 2023. V. 12. № 19. P. 3544. doi: 10.3390/foods12193544

9 Pallavi B.V., Chetana R., Ravi R., Reddy S.Y. Moisture sorption curves of fruit and nut cereal bar prepared with sugar and sugar substitutes // Journal of Food Science and Technology. 2015. V. 52. № 3. P. 1663–1669. doi: 10.1007/s13197-013-1101-0

10 Haghighi M., Rezaei K. General Analytical Schemes for the Characterization of Pectin-Based Edible Gelled Systems // The Scientific World Journal. 2012. V. 2012. P. 967407. doi: 10.1100/2012/967407

11 Руськина А.В., Калинина И.В., Попова Н.В. Сонохимически модифицированный крахмал в технологии желейных кондитерских изделий // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9. № 3. С. 14–22. doi: 10.14529/food210302

12 Боженова В.В., Баланов П.Е., Смотраева И.В. Разработка рецептуры и технологии диетического клюквенного мармелада на эритритоле // Вестник КрасГАУ. 2022. № 10 (187). С. 187–194.

13 Jonkers N., van Dommelen J.A.W., Geers M.G.D. Intrinsic mechanical properties of food in relation to texture parameters // Mechanics of Time-Dependent Materials. 2022. V. 26. P. 323–346. doi: 10.1007/s11043-021-09490-4

14 Tóth M., Kaszab T., Meretei A. Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples // European Food Research and Technology. 2022. V. 248. P. 1447–1455. doi: 10.1007/s00217-021-03944-2

15 Yao L., Zhou C., Tan R. et al. Texture profile analysis and sensory quality of pumpkin-navel orange composite bread and cake // Journal of Food Measurement and Characterization. 2026. doi: 10.1007/s11694-026-04322-w

16 Перфильев Д.С., Зайцева Л.В., Рубан Н.В. Разработка кондитерской глазури с повышенной антиоксидантной активностью // Вестник КрасГАУ. 2025. № 10. С. 271–285. doi: 10.36718/1819-4036-2025-10-271-285

17 Han Y., Liu J., Li J. et al. Novel risk assessment model of food quality and safety considering physical-chemical and pollutant indexes based on coefficient of variance integrating entropy weight // Science of The Total Environment. 2023. V. 877. P. 162730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162730

18 Mo L., Rector C., Frostad J.M. A Practical Framework for Textural Categorization as a Guide to Food Bar Formulation // Journal of Texture Studies. 2025. V. 56. № 6. P. e70048. doi: 10.1111/jtxs.70048

19 Medina Lopez S.V., Hernandez M.S., Fernandez-Trujillo J.P. Fruit and vegetable bar antioxidant contents and texture optimization with prebiotic fiber addition // ISHS Acta Horticulturae. 2022. V. 1407. P. 129–137. doi: 10.17660/ActaHortic.2024.1407.17

20 Vu N.D., Nguyen V.M., Tran T.T. Effects of pH, Total Soluble Solids, and Pectin Concentration on Color, Texture, Vitamin C, and Sensory Quality of Mango Fruit Bar // International Journal of Food Science. 2023. P. 6618300. doi: 10.1155/2023/6618300

References

1 Popova D.G., Reznichenko I.Yu. Marketing research of the consumer market of protein bars in Kuzbass. Practical Marketing. 2024. no. 12. pp. 40–43. (in Russian).

2 Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. Key problems in the structure of food consumption and breakthrough technologies for optimizing nutrition for public health preservation in Russia. Problems of Nutrition. 2024. vol. 93. no. 1. pp. 6–21. doi: 10.33029/0042-8833-2024-93-1-6-21 (in Russian).

3 Jain A., Kumar A., Bhatt D.K. et al. A comprehensive review on nutrition bars as the emerging functional foods: insights into their composition, health benefits and market trends. Journal of Food Measurement and Characterization. 2026. vol. 20. pp. 4133–4152. doi: 10.1007/s11694-026-04104-4.

4 Bchir B., Jean-François T., Rabetafika H.N., Blecker C. Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. Food Science and Technology International. 2018. vol. 24. no. 3. pp. 198–208. doi: 10.1177/1082013217742752.

5 Danalache F., Beirão-da-Costa S., Mata P. et al. Texture, microstructure and consumer preference of mango bars jellified with gellan gum. LWT – Food Science and Technology. 2015. vol. 62. no. 1. pp. 584–591. doi: 10.1016/j.lwt.2014.12.040.

6 Akter N., Reza M.S.A., Esrafil M. et al. Nutritional, Textural, Sensory Properties and Storage Stability Evaluation of Newly Formulated Strawberry Bar. Food and Nutrition Sciences. 2023. vol. 14. pp. 287–299. doi: 10.4236/fns.2023.144019.

7 Bratosin B.C., Martău G.A., Ciont C. et al. Nutritional and Physico-Chemical Characteristics of Innovative Bars Enriched with Aronia melanocarpa By-Product Powder. Applied Sciences. 2024. vol. 14. no. 6. article 2338. doi: 10.3390/app14062338.

8 Haș I.M., Vodnar D.C., Bungau A.F. et al. Enhanced Elderberry Snack Bars: A Sensory, Nutritional, and Rheological Evaluation. Foods. 2023. vol. 12. no. 19. article 3544. doi: 10.3390/foods12193544.

9 Pallavi B.V., Chetana R., Ravi R., Reddy S.Y. Moisture sorption curves of fruit and nut cereal bar prepared with sugar and sugar substitutes. Journal of Food Science and Technology. 2015. vol. 52. no. 3. pp. 1663–1669. doi: 10.1007/s13197-013-1101-0.

10 Haghighi M., Rezaei K. General Analytical Schemes for the Characterization of Pectin-Based Edible Gelled Systems. The Scientific World Journal. 2012. vol. 2012. article 967407. doi: 10.1100/2012/967407.

11 Ruskina A.V., Kalinina I.V., Popova N.V. Sonochemically modified starch in the technology of jelly confectionery products. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2021. vol. 9. no. 3. pp. 14–22. doi: 10.14529/food210302 (in Russian).

12 Bozhenova V.V., Balanov P.E., Smotraeva I.V. Development of recipe and technology of dietary cranberry marmalade on erythritol. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 10 (187). pp. 187–194. (in Russian).

13 Jonkers N., van Dommelen J.A.W., Geers M.G.D. Intrinsic mechanical properties of food in relation to texture parameters. Mechanics of Time-Dependent Materials. 2022. vol. 26. pp. 323–346. doi: 10.1007/s11043-021-09490-4.

14 Tóth M., Kaszab T., Meretei A. Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples. European Food Research and Technology. 2022. vol. 248. pp. 1447–1455. doi: 10.1007/s00217-021-03944-2.

15 Yao L., Zhou C., Tan R. et al. Texture profile analysis and sensory quality of pumpkin-navel orange composite bread and cake. Journal of Food Measurement and Characterization. 2026. [Online first]. doi: 10.1007/s11694-026-04322-w.

16 Perfiliev D.S., Zaitseva L.V., Ruban N.V. Development of confectionery glaze with increased antioxidant activity. Bulletin of KrasGAU. 2025. no. 10. pp. 271–285. doi: 10.36718/1819-4036-2025-10-271-285 (in Russian).

17 Han Y., Liu J., Li J. et al. Novel risk assessment model of food quality and safety considering physical-chemical and pollutant indexes based on coefficient of variance integrating entropy weight. Science of The Total Environment. 2023. vol. 877. article 162730. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162730.

18 Mo L., Rector C., Frostad J.M. A Practical Framework for Textural Categorization as a Guide to Food Bar Formulation. Journal of Texture Studies. 2025. vol. 56. no. 6. article e70048. doi: 10.1111/jtxs.70048.

19 Medina Lopez S.V., Hernandez M.S., Fernandez-Trujillo J.P. Fruit and vegetable bar antioxidant contents and texture optimization with prebiotic fiber addition. ISHS Acta Horticulturae. 2022. vol. 1407. pp. 129–137. doi: 10.17660/ActaHortic.2024.1407.17.

20 Vu N.D., Nguyen V.M., Tran T.T. Effects of pH, Total Soluble Solids, and Pectin Concentration on Color, Texture, Vitamin C, and Sensory Quality of Mango Fruit Bar. International Journal of Food Science. 2023. article 6618300. doi: 10.1155/2023/6618300.

Сведения об авторах

Евгения Э. Клейн аспирант, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия, kleyn.ee@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-0322-036X

Шерзодхон Муталлибзода к.т.н., доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия, mutallibzoda.s@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-3855-9494

Игорь А. Никитин д.т.н., доцент, доцент, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия, nikitin.ia@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Дарья А. Велина младший научный сотрудник, Научно-исследовательская лаборатория «Биотехнологии пищевых систем», Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия, velina.da@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Дмитрий С. Гончаров магистрант, кафедра пищевых технологий и биоинженерии, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., 36, Москва, 115054, Россия, dmitrijgoncarov477@gmail.com

Information about authors

Evgeniya E. Klein graduate student, Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, kleyn.ee@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-0322-036X

Sherzodkhon Mutallibzoda Cand. Sci. (Engin.), Associate Professor, Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, mutallibzoda.s@rea.ru
https://orcid.org/0000-0003-3855-9494

Igor A. Nikitin Dr. Sci. (Engin.)., Docent, Head of Department, Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, nikitin.ia@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-8988-5911

Daria A. Velina Research Assistant, Research Laboratory "Biotechnology of Food Systems", Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, velina.da@rea.ru
https://orcid.org/0000-0002-2398-3375

Dmitrii S. Goncharov master's student, Department of Food Technology and Bioengineering, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 115054, Russia, dmitrijgoncarov477@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/06/2026	**После редакции** 29/06/2026	**Принята в печать** 03/08/2026
Received 01/06/2026	**Accepted in revised** 29/06/2026	**Accepted** 03/08/2026