

# Новые инструментальные возможности для оценки консистенции сыров с помощью дефометра

**Александр Альбертович Майоров**<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, главный научный сотрудник, заведующий сектором процессов и оборудования  
E-mail: maiorov.alex@mail.ru

**Ольга Николаевна Мусина**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, главный научный сотрудник Центра комплексных исследований и экспертной оценки пищевой продукции «АлтайБиоЛакт»

**Виталий Анатольевич Логинов**<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, отдел Сибирский НИИ сыроделия, г. Барнаул

<sup>2</sup>Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

<sup>3</sup>Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва

В статье представлен новый подход к оценке консистенции сыров с помощью дефометра – устройства, которое измеряет твердость и упругость материалов. Применение этой технологии потенциально может улучшить процесс контроля качества сыров. Описаны принципы работы дефометра и его применение для определения консистенции сыров. Наиболее распространенным прибором для оценки твердости сыров являются пенетрометры. Однако пенетрометр позволяет оценить только твердость сыра, но не его пластичность. Более объективно упругие и пластические свойства сыра можно измерить с использованием дефометра «Реокон-240», разработанного в «Сибирском НИИ сыроделия». Твердость сыра при этом характеризуется максимальным значением усилия, действующего на сжимающий индентор, а упругость – величиной падения усилия на инденторе. Индентор при измерении движется с постоянной скоростью, сжимая образец сыра с исходного размера 10 мм до величины 6,4 мм. В этом положении индентор фиксируется и в сжатом образце сыра происходит релаксация напряжения, усилие на инденторе снижается. Представлены результаты экспериментов, проведенных с целью сравнения данных, полученных с помощью дефометра, с традиционными методами определения структурно-механических свойств. Полученные на дефометре «Реокон-240» данные о твердости образцов сыров имеют высокую степень корреляции с данными, полученными классическим пенетрационным способом. Установлено, что минимальный коэффициент релаксации у сыра пармезан – этот сыр имеет наибольшую твердость и менее склонен к релаксации напряжений. Наибольший коэффициент релаксации у брынзы, она более пластична. Эти данные хорошо коррелируют с массовой долей влаги в сыре и могут быть использованы при объективной инструментальной оценке консистенции сыров. Прибор можно также использовать при исследовании процессов прессования сырной массы, где особенно важна пластичность сыра. Режим работы прибора можно при необходимости изменять, что расширяет сферу его применения (например, для оценки реологических характеристик плодов и ягод).

**Ключевые слова:** сыроделие, реология, структурно-механические свойства сыров, консистенция сыра

**Для цитирования:** Майоров, А. А. Новые инструментальные возможности для оценки консистенции сыров с помощью дефометра / А. А. Майоров, О. Н. Мусина, В. А. Логинов // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 3. С 28–32. <https://www.doi.org/10.21603/2073-4018-2024-3-1>

## Введение

Консистенция сыра является одним из важнейших показателей, характеризующих его качество [1]. В общей оценке качества твердых и полутвердых сыров четверть представлена консистенцией. В производственных условиях оценка консистенции сыров проводится дегустационной комиссией органолептическим способом. Для получения достоверных данных органолептического анализа необходимо наличие соответствующей квалификации дегустатора. Немаловажным является наличие у специалиста опыта дегустации именно конкретного вида сыра, поскольку разные сыры имеют весьма различную консистенцию. Также существенно различаются структурно-механические характеристики сыров, выработанных не из коровьего, а из овечьего или козьего молока. Это еще в большей степени затрудняет объективную оценку таких сыров, тем более что массовая доля жира и влаги в них может варьировать в достаточно широких пределах.

Для получения объективной оценки реологических свойств сыров, в частности, консистенции применяют различные приборы и методы [2, 3]. Наиболее распространенным прибором для оценки консистенции сыров являются пенетрометры [4]. Оценку проводят по величине погружения конуса пенетрометра в сырную массу. Чем нежнее консистенция, тем глубже конус погружается в сырную массу. Таким образом оценивается твердость сыра. Твердость сыра при этом рассчитывают по формуле П. А. Ребиндера с поправкой Н. Н. Агранта и М. Ф. Широкова [4, 5]:

$$T = K \frac{P}{H^2} P;$$

где  $T$  – твердость сыра, Па;  $P$  – вес конуса, Н;  $H$  – глубина погружения конуса, м;  $K$  – постоянная для данного угла раствора конуса.

Сыр с низкой температурой второго нагревания должен характеризоваться пластичной, однородной по всей массе консистенцией.

Сыры с высокой температурой второго нагревания («Советский», «Алтайский», «Швейцарский» и др.) имеют более плотную консистенцию, поскольку массовая доля влаги них ниже<sup>1</sup> [1, 4–5].

Исследования, проведенные В. П. Табачниковым, позволили применительно к сыроделию конкретизировать методику таких измерений [6]. В частности, определена масса (вес) конуса и продолжительность процесса погружения конуса. Для пенетрометра AP-4 эти величины составляют  $(150 \pm 0,5)$  Г и 5 секунд при использовании конуса с углом раскрытия  $30^\circ$ . В таблице 1 приведены данные по твердости сыров, измеренные пенетрационным способом [6]. Эта методика достаточно проста и широко применяется в исследованиях влияния различных факторов на формирование консистенции сыров [7].

Однако эти данные позволяют измерить только твердость сыра, без оценки его пластичности. Конус пенетрометра при проникновении в сыр испытывает трение боковых поверхностей о сыр, а это трение зависит от массовой доли жира в нем.

**Таблица 1**  
**Твердость сыров (пенетрационный способ)**

№	Наименование сыра	Верхний предел	Норма	Нижний предел
1	«Швейцарский» (классический)	100	95–75	65
2	«Алтайский»	100	95–75	65
3	«Советский»	95	92–75	65
4	«Швейцарский» блочный	90	85–70	62
5	«Эмментальский» блочный	90	85–70	62
6	«Российский»	32	31–25	20
7	«Радонежский»	33	31–27	22
8	«Витязь»	32	30–26	20
9	«Горный»	95	90–72	65
10	«Голландский» брусковый	110	110–85	65
11	«Голландский» круглый	100	92–76	70
12	«Костромской»	115	110–90	72
13	«Сибиряк»	120	115–90	65
14	«Богатырь»	100	95–77	62



Источник изображения: freerik.com

<sup>1</sup>Технология и оборудование для производства натурального сыра: учебник / И. И. Раманаускас, А. А. Майоров, О. Н. Мусина [и др.]. СПб: Лань, 2023. – 508 с.

Источник изображения: freepik.com



Более объективно упругие и пластические свойства сыра можно измерить с использованием дефометров. «Дефомер» является общим названием группы приборов, измеряющих структурно-механические характеристики различных образцов продуктов и материалов. В зависимости от свойств исследуемых материалов существует различные конструкции приборов такого типа (реометры, пластометры, реоконсистометры). Устройство реоконсистометров достаточно простое. Образец сыра подвергают сжатию между двумя параллельными плоскостями, инструментально регистрируя усилие, которое возникает в результате противодействия образца сжатию. При этом используют образец сыра заранее заданного размера, прилагают к сыру одноосное сжатие до определенного уровня, измеряя при этом величину усилия как в процессе сжатия (деформации) образца, так и в течение некоторого времени после. В деформированном образце сыра происходит процесс релаксации напряжений и усилие воздействия на измерительное устройство снижается.

## Объекты и методы исследования

«Сибирский НИИ сыроделия» (подразделение ФГБНУ ФАНЦА) – это государственное научное учреждение, в сферу компетенции которого уже более 65 лет входит разработка и изготовление приборов и оборудования для нужд лабораторий молочной отрасли.

В «Сибирском НИИ сыроделия» ФАНЦА разработан и изготовлен прибор – дефометр, позволяющий проводить измерения как твердости сыра, так и его релаксационных характеристик (рис. 1). Общая концепция дефометра «Реокон-240» разработана заведующим сектором процессов и оборудования СибНИИС профессором А. А. Майоровым, изготовление прибора проведено вспомогательным персоналом (слесарь, инженер) под руководством и при непосредственном участии проф. А. А. Майорова, экспериментальные данные (табличный материал, реограммы) получены д. т. н. А. А. Майоровым и д. т. н. О. Н. Мусиной, обработка данных проведена к. т. н. В. А. Логиновым. Прибор состоит из рамы, на которой закреплен привод нагрузочной пластины (пуансона) и устройства измерения нагрузки с использованием электронного тензометра. В зависимости от конкретной конструкции прибора предельная величина нагрузки и величина хода пуансона может изменяться. Так, в приборе «Реокон-240» предельная величина нагрузки составляет 240 г, максимальная величина хода 30 мм.

Дефометр «Реокон-240», в отличие от широко применяемых дефометров, например, ДМ 2 (разработан в 60-х гг. прошлого столетия, габариты 1200 × 600 × 940 мм) имеет значительно меньшие габариты. Кроме того, прибор имеет управляющую микропроцессорную систему, обеспечивающую высокую точность измерения величин



Рисунок 1. Общий вид дефометра «Реокон-240» и образцов сыра

деформации, времени и нагрузки на образец. Так, встроенные аналогово-цифровые преобразователи позволяют измерять нагрузку на образец сыра с точностью до 0,01 грамма, время с точностью 0,001 секунды и величину деформации с точностью 0,01 мм. Прибор может работать в автономном режиме, выводя информацию на встроенное табло и в комплексе с подключаемым компьютером. Прибор в описанной конфигурации предназначен для оперативного измерения с высокой точностью характеристик сырной массы и готового продукта.

График изменения усилия на измерительное устройство при одноосном сжатии сыра приведен на рисунке 2. При такой реализации методики твердость измеряется классическим способом. Упругие свойства сыра (твердость) при этом характеризуются максимальным значением усилия, действующего на сжимающий индентор (пуансон), а пластические свойства – величиной падения усилия на инденторе. Калибровка прибора и программное обеспечение микропроцессора, управляющего измерением, реализовано таким образом, чтобы результат измерений выводился в величине твердости сыра.

Индентор при измерении движется с постоянной скоростью, сжимая образец сыра от исходного размера в 10 мм (соответствует точке А, рис. 2) до размера 6,4 мм (соответствует точке В, рис. 2). При этом величина усилия на инденторе возрастает до максимального значения ( $P_{def}$ ). В этом положении индентор фиксируется и в сжатом образце

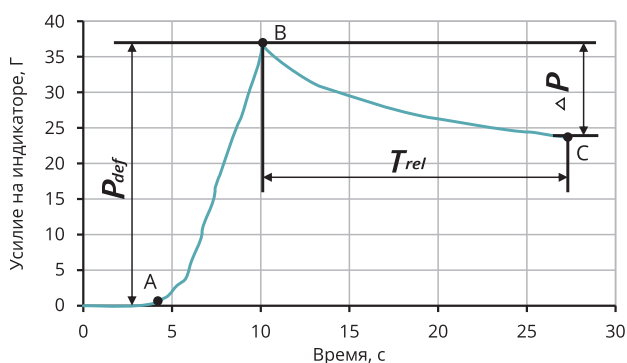


Рисунок 2. График изменения усилия при одноосном сжатии сыра

**Таблица 2**  
**Коэффициенты релаксации сыров**

Наименование сыра	Брынза	Моцарелла	Зеленодольский	Советский	Пармезан
Коэффициент релаксации	0,61	0,47	0,25	0,25	0,18



сыра происходит релаксация напряжения, усилие на инденторе снижается до величины в точке С. Разность между усилием в точке В и С характеризует величину релаксации напряжений в исследуемом образце ( $\Delta P$ ). Коэффициент релаксации рассчитывают из соотношения величины ( $\Delta P/P_{def}$ ), выраженный в процентах. Пластические свойства в данном случае можно оценивать по соотношению конечного значения усилия к максимальному.

## Результаты и их обсуждение

С помощью дефометра «Реокон-240» проведены измерения реологических характеристик различных видов сыров (рис. 3). Полученные на дефометре данные о твердости образцов сыров имеют высокую степень корреляции с данными, полученными классическим пенетрационным способом (табл. 1). Расчетные коэффициенты релаксации для проведенных измерений приведены в таблице 2.

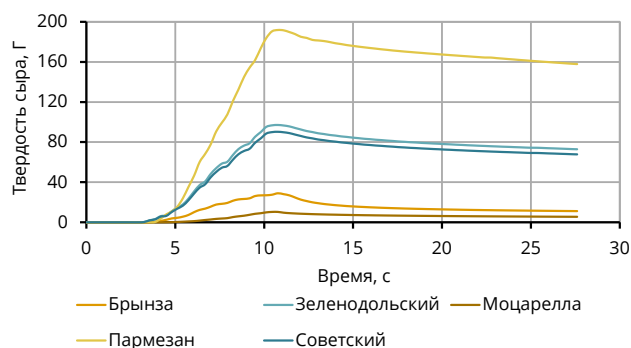


Рисунок 3. Реограммы образцов сыров, полученные на дефометре «Реокон-240»

Установлено, что минимальный коэффициент релаксации у сыра Пармезан – этот сыр имеет наибольшую твердость и менее склонен к релаксации напряжений. Наибольший коэффициент релаксации у брынзы, она более пластична. Эти данные хорошо коррелируют с массовой долей влаги в сыре и могут быть использованы при объективной инструментальной оценке консистенции сыров.

Прибор снабжен высокочувствительным тензодатчиком для измерения усилия, производит измерения в автоматическом режиме с индикацией на встроенном цифровом табло. Продолжительность всего цикла измерения составляет 30 секунд. Прибор имеет небольшие размеры и массу, реализовано подключение прибора к персональному компьютеру, где данные измерений сохраняются, могут выводиться на экран и обрабатываться.

## Выводы

Прибор можно использовать как для оценки консистенции сыров, так и при исследовании про-

цессов прессования сырной массы, где особенно важна пластичность сыра. Излишняя пластичность сырной массы при прессовании в перфорированных формах приводит к ее затеканию в перфорационные отверстия, что затрудняет извлечение сыра из формы после прессования. Режимы работы прибора (скорость деформации, продолжительность измерения релаксации) можно при необходимости изменять программно. Это расширяет сферу его применения. Так, можно использовать прибор для оценки реологических характеристик не только сыров, но и других продуктов. Например, измерять устойчивость плодов и ягод (смородина, жимолость, клубника и др.) к деформационным воздействиям при транспортировании, переработке.

В секторе процессов и оборудования «Сибирского НИИ сыроделия» помимо дефометра конструируют и изготавливают и другие приборы для исследования реологических свойств различных продуктов (на основе госбюджетных и хозяйственных тематик НИР). ■

## Assessing Cheese Texture with Deformeter: New Instrumental Options

Alexander A. Mayorov<sup>1</sup>, Olga N. Musina<sup>2</sup>, Vitaly A. Loginov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, Siberian Research Institute of Cheese Production, Barnaul

<sup>2</sup>Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

<sup>3</sup>Plekhanov Russian University of Economics, Moscow

A deformeter is a deflection device that measures such structural and mechanical properties of cheese as hardness and elasticity. This technology facilitates cheese quality control. The article describes its operation principles and application options in cheese production. A penetrometer is the most common device for assessing the hardness of cheese. However, it cannot measure plasticity. A deformeter, on the other hand, tests both the elastic and plastic properties of cheese. This research featured Reokon 240 deflection device developed at the Siberian Research Institute of Cheese Making. Hardness was expressed as the maximal value of the force applied to the indenter under compression while elasticity was the reduction magnitude on the indenter. The indenter moved at a constant speed, compressing the cheese sample from the original size of 10 mm to that of 6.4 mm. Fixed in this position, the force on the indenter decreased as the stress in the compressed cheese sample relaxed. The test results were compared with those obtained by traditional methods. The experimental hardness data registered with Reokon 240 correlated well with the those obtained by the classical penetration method. The minimal relaxation coefficient belonged to the sample of Parmesan cheese, which had the greatest hardness and was less prone to stress relaxation. The highest relaxation coefficient belonged to the Feta cheese sample, which appeared to be more plastic. These data correlated well with the mass fraction of moisture in the cheese samples. Reokon 240 proved to be an objective instrument of cheese texture assessment. In addition, it could also measure cheese plasticity during pressing. The scope of application could be extended to the rheological properties of fruits and berries.

**Key words:** cheese production, rheology, structural and mechanical properties of cheeses, cheese texture

### Список литературы

1. Гудков, А. В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / А. В. Гудков. – М.: Де Ли принт, 2003. – 800 с.
2. Малкин, А. Я. Реология: концепции, методы, приложения: авториз. пер. с англ. яз. / Малкин А. Я., Исаев А. И. – СПб.: Профессия, 2010. – 557 с.
3. Мусина, О. Н. Реология / О. Н. Мусина. – М., Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 146 с.
4. Косой В. Д. Реология (на примере молочной отрасли): монография / В. Д. Косой, Н. И. Дунченко, М. Ю. Меркулов. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2010. – 472 с.
5. Мусина, О. Н. Процессы и оборудование в производстве натуральных сыров: монография / О. Н. Мусина, А. А. Майоров. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2019. – 176 с.
6. Табачников, В. П. Физико-химическая интерпретация и методы исследования процессов сычужного свертывания молока / В. П. Табачников // Физико-химическая механика сыродельного производства: труды ВНИИМС. 1973. № 12. С. 3–10.
7. Майоров, А. А. Современные приборы контроля за процессом свертывания молока / А. А. Майоров, О. Н. Мусина // Сыроделие и маслоделие. 2023. № 1. С. 31–33. <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2023-1-31-33>; <https://www.elibrary.ru/ssjlul>