

Александр Альбертович Майоров, д-р техн. наук, главный научный сотрудник
Ольга Николаевна Мусина, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, руководитель СибНИИС ФГБНУ «ФАНЦА»
Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия
ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий»

УДК 637.1
DOI: 10.31515/2073-4018-2023-1-31-33

Современные приборы контроля за процессом свертывания молока

Описаны новые приборы для измерения динамики сычужного свертывания молока и реологических характеристик сгустка. На принципе работы шариковых вискозиметров созданы и запатентованы приборы для измерения вязкости молочной смеси и продолжительности свертывания молока. Создан и запатентован прибор, измеряющий положение на шкале лазерного луча, отраженного от поверхности молока. По величине отклонения положений луча оценивают продолжительность свертывания молока и динамику изменения его вязкости. Разработан новый прибор, работающий по принципу сдвигометра, который измеряет усилие сопротивления внедрению индентора в исследуемый образец. Прибор предназначен для анализа молочных сгустков, получаемых при выработке полутвердых и твердых сыров. Он также может использоваться для измерения вязкости сметаны, йогурта, масла и других пищевых продуктов.

Ключевые слова: молоко, реологические свойства, сыр, сычужный сгусток, устройства, приборы, вискозиметр, сдвигометр.

Maierov A. A., Musina O. N. Modern devices for monitoring the process of milk coagulation

New devices for measuring the dynamics of rennet coagulation of milk and rheological characteristics of the clot are described. Based on the principle of operation of ball viscometers, devices for measuring the viscosity of the milk mixture and the duration of milk coagulation have been created and patented. A device has been created and patented that measures the position on the scale of a laser beam reflected from the surface of milk, the duration of milk coagulation and the dynamics of changes in its viscosity are estimated by the magnitude of the deviation of the beam positions. A new device has been developed, operating on the principle of a shear meter, which measures the resistance force of the indenter insertion into the sample under study. The device is designed for the analysis of milk clots obtained during the production of semi-hard and hard cheeses. It can also be used to measure the viscosity of sour cream, yogurt, butter and other food products.

Key words: milk, rheological properties, cheese, rennet, devices, viscometer, shear meter.

Задача отраслевой науки — изучение возможности снижения потерь при производстве сыра за счет оптимизации технологического процесса, в частности — этапа свертывания молока под действием молокосвертывающих ферментов. Оптимизация этого этапа в первую очередь направлена на экономию дорогостоящих молокосвертывающих ферментов. Необходимое количество фермента в расчете на единицу массы молока зависит не только от активности фермента, но и от способности молока-сырья к свертыванию. Поэтому на практике технологи вынуждены путем проб и ошибок подбирать необходимое соотношение «молоко/фермент» [1]. При этом актуальным вопросом является измерение структурно-механических (реологических) свойств образующегося сгустка.

При производстве сыров полутвердых и твердых большое значение име-

ет характер процесса свертывания молока и реологические показатели получаемого сгустка. Они влияют на массовую долю влаги в сырном зерне, процесс формования и прессования, массообменные процессы при посолке сыра в бассейне. Оценить динамику и результат свертывания молока представляет интерес как с практической точки зрения, так и с позиции теории. Весьма заманчивым способом получения молочного сгустка, пригодного для выработки полутвердых сыров, в котором бы содержался максимум белка, находящийся в исходном молоке.

В свое время Дебон и соавторы изучали реологические свойства сквашиваемого молока с помощью ротационного вискозиметра, при этом продукт продемонстрировал ярко выраженные неньютоновские свойства, переходящие в ньютонов-

ские при высоких скоростях сдвига. Схожие зависимости можно наблюдать при исследовании реологических свойств белковых сгустков [2]. До настоящего времени вопросы исследования механизмов сычужного свертывания молока, разработка приборов и методик контроля этого процесса остаются актуальными как в России, так и за рубежом [3–5]. В целом можно констатировать, что специальных приборов для оценки процесса свертывания молока и измерения характеристик сгустка очень мало.

Классическим прибором для измерения скорости свертывания молока и расчета оптимальной дозы молокосвертывающего фермента является кружка ВНИИМС, которая представляет собой прозрачную емкость со шкалой на боковой стенке и отверстием в дне. Кружку наполняют молоком и устанавливают на край сыродельной ванны так, чтобы молоко из кружки стекало в ванну. Открывают пробку и когда уровень молока в кружке достигнет отметки «0», в него добавляют раствор сычужного фермента и перемешивают. После того как молоко свернется, оно перестает вытекать из кружки. По делению, на котором остановился уровень молока в кружке, рассчитывают, сколько нужно внести фермента на 100 кг молока для свертывания в течение 25 мин [6]. Данный прибор давно используется в промышленности и хорошо себя зарекомендовал. Однако продолжительность измерений трудно зафиксировать, поскольку процесс свертывания не является мгновенным и истечение молока мо-

жет быть растянуто во времени. На процесс измерения влияет поверхностное натяжение, которое вносит свои коррективы в показания прибора. Также недостатком прибора является достаточно большой расход молока для проведения измерений, что неприемлемо при лабораторных исследованиях.

Известно устройство для исследования процесса свертывания молока, включающее термостатируемую емкость с размещенным внутри нее и связанным с приводом цилиндром для исследуемого образца, и измерительную систему [7]. Цилиндр связан с приводом, обеспечивающим его вращение вокруг измерительного цилиндра. По величине крутящего момента, переданного через исследуемый продукт на измерительную систему, судят о его реологических характеристиках. Такая конструкция проста в эксплуатации, но при этом включает измерительную систему механического типа, состоящую из большого числа отдельных элементов (пружины, валики, шестерни, подшипники), при этом точность и надежность измерения во многом зависят от состояния этих элементов.

В Сибирском НИИ сыроделия разработан и успешно функционирует ряд простых и точных приборов, позволяющих контролировать процесс свертывания молока под действием ферментов и объективно измерять реологические характеристики образцов.

Так, на принципе работы шариковых вискозиметров созданы приборы для измерения продолжительности свертывания молока (рис. 1). Приборы имеют малые габариты, информация о процессе выводится на встроенный монитор, где в графическом и цифровом виде отображаются результаты измерений, которые через USB передаются в компьютер. Температурный диапазон работы прибора — от 25 до 65 °С. Продолжительность падения шарика измеряют с точностью 0,001 с. Необходимый объем пробы для измерений — 2 мл. Приборы обеспечивают измерение температуры образца с погрешностью $\pm 0,5$ °С. Достоинством этих приборов является возможность наблюдения процесса изменения вяз-



Рис. 1. Микровискозиметры СибНИИС

кости на экране встроенного цветного монитора. Прибор защищен патентом на изобретение [8].

Для получения полной картины свойств получаемого сгустка предлагается использовать простой способ, основанный на изменении вязкости сгустка. Способ реализован с помощью прибора, схема которого представлена на рис. 2. Прибор состоит из термостатируемой емкости (7), в которой располагается цилиндр (5), заполненный до заданного уровня исследуемой смесью (молоком). Цилиндр установлен с возможностью изменения его наклона относительно уровня жидкости в термостате. Наклоняется цилиндр на строго заданный угол с помощью механического привода от электродвигателя. На поверхность исследуемой смеси (молока) направляется луч (2) от лазера (1). Отраженный луч света от поверхности молока попадает на специальный градуированный экран (8) с нанесенной шкалой. Одновременно можно наблюдать за свертыванием молока пяти образцов с различной дозой фермента и хлористого кальция. Это позволяет получать сопоставимые между собой данные, поскольку измерения проводятся в одинаковых условиях. Устройство защищено патентом на полезную модель [9].

В модернизированном варианте прибора вместо экрана установлены датчики положения отраженного

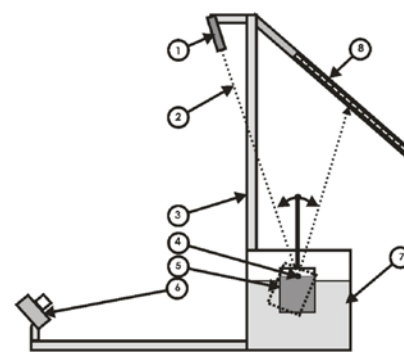


Рис. 2. Схема прибора для исследования процесса свертывания молока: 1 – лазер; 2 – луч; 3 – стойка; 4 – ось вращения; 5 – цилиндр с образцом молока; 6 – фотоаппарат; 7 – термостат; 8 – экран со шкалой

луча. При изменении угла наклона цилиндра с молоком в исходном состоянии положение луча на экране не изменяется. При изменении вязкости молока при его свертывании поверхность молока меняет свое положение относительно исходного горизонтального положения. При этом изменяется положение на шкале луча, отраженного от поверхности молока. Измерения отклонения луча проводят с заданной периодичностью в течение всего процесса свертывания молока. По величине отклонений положений луча строят график (рис. 3), по которому оценивают продолжительность свертывания молока и динамику изменения его вязкости. Сгусток, полученный в цилиндре, получается монолитным и его подвергают исследованию на реологические показатели. Это позволяет на одном образце иметь информацию как о динамике процесса свертывания, так и о реологических характеристиках полученного сгустка.

Дозировка фермента влияет на начало процесса свертывания и его динамику (рис. 3). Так, начало свертывания происходило на третьей минуте при дозировке фермента из расчета 1,5/100 кг молока (скрытый период свертывания). При дозе 0,5 г/100 кг молока процесс свертывания начинался на 14-й минуте. Интересным являлось то, что конечные реологические показатели во всех случаях были соизмеримы, но время их достижения отличалось в 1,5–2 раза от максимальной дозы.

Также в СибНИИС разработан, изготовлен и прошел рабочие испыта-

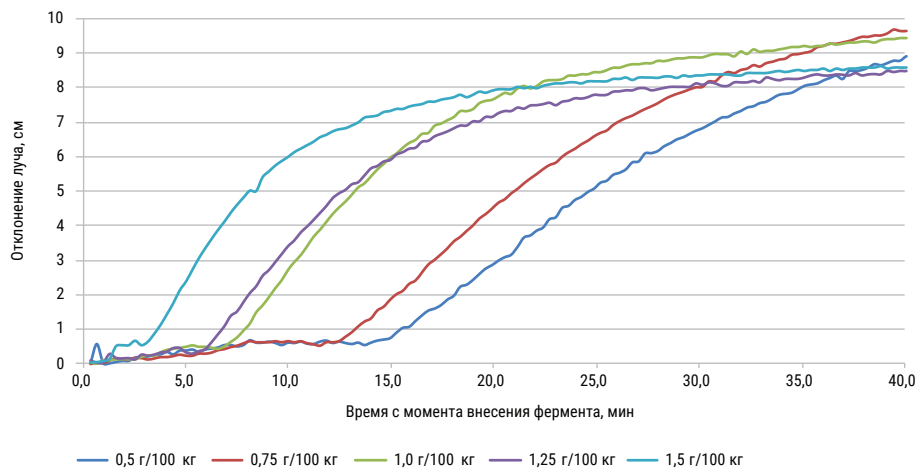


Рис. 3. Динамика свертывания молока под действием различных доз фермента СГ 50 (молоко обезжиренное, массовая доля сухих веществ 13 %, температура 35 °С)

ния новый вариант реоконсистометра (рис. 4). Прибор работает по принципу сдвигометра, измеряя усилие сопротивления внедрению индентора в исследуемый образец. Основная задача прибора — измерение характеристик молочных сгустков, получаемых при выработке полутвердых и твердых сыров. Он также может использоваться и для измерения вязкости сметаны, йогурта, масла и других пищевых продуктов. Прибор укомплектован специальными быстросъемными инденторами для измерения консистенции различных продуктов.

Параллельно проведенные опыты с использованием реоконсистометра на образцах с дозировкой фермента 1,5 г/100 кг молока (фермент СГ 50) позволили получить реограммы зондирования сгустков (рис. 5). При зондировании индентором молочного сгустка предел прочности определяется как максимальное значение нагрузки на инденторе. На графике

видно, что предел прочности в процессе свертывания увеличивается до максимального значения на 42-й минуте. Оптимальная величина предела прочности достигается при указанных условиях на 28–32-й минуте с момента внесения фермента.

Работы по созданию приборов для оперативного контроля за процессом образования и формирования молочных сгустков в СибНИИС продолжаются. К настоящему времени разработаны приборы, позволяющие измерять реологические характеристики молочных сгустков методом неразрушающего контроля или с минимальным воздействием. Использование современных специализированных приборов и цифровой техники для измерения с высокой точностью структурно-механических характеристик образцов позволяет ученым получить новые данные в части механизма формирования сгустков, а технологам-практикам

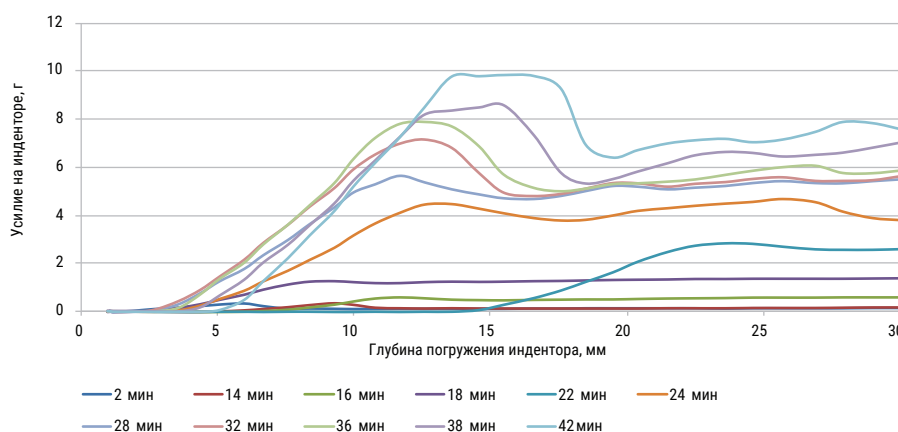


Рис. 5. Предел прочности молочного сгустка

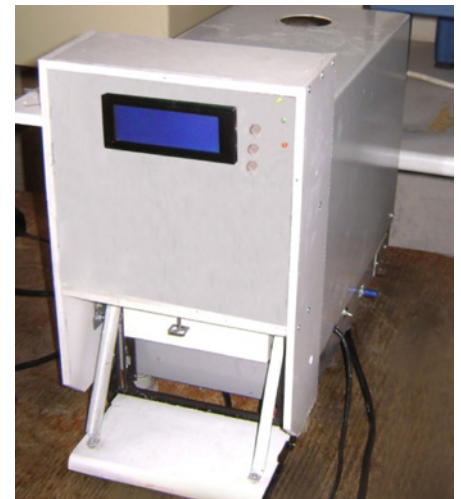


Рис. 4. Реоконсистометр СибНИИС

оптимизировать технологические процессы производства сыров.

В СибНИИС изготавливаются как описанные в статье устройства, используемые при выполнении НИР, так и разработанные в соответствии с техническим заданием заказчика, а также другие современные приборы для исследования свойств молочных продуктов.

Список литературы

1. Раманаускас, И.-Р.И. Технология и оборудование для производства натурального сыра: Учебник для вузов. – 5-е изд., стер. / И.-Р.И.Раманаускас [и др.]. – СПб.: Лань, 2022. – 508 с.
2. Майоров, А.А. Новые наукоёмкие приемы оценки реологических свойств в сыроделии: изучение процессов свертывания молока и формирования структуры сгустка / А.А.Майоров, Ю.А.Сиденко, О.Н.Мушина // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 45. № 2. С. 55–61.
3. Lu, Y. Investigating rennet coagulation properties of recombinant highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making / Y.Lu, D.J.McMahon, A.H.Vollmer // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100. Issue 2. P. 892–900. DOI 10.3168/jds.2016-11648.
4. Budelli, E. Use of shear wave elastography for monitoring enzymatic milk coagulation / E.Budelli [et al.] // Journal of Food Engineering. 2014. Vol. 136. P. 73–79. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2014.03.026.
5. Feunteun, S. The rennet coagulation mechanisms of a concentrated casein suspension as observed by PFG-NMR diffusion measurements / S.Feunteun, M.Ouethrani, F.Mariette // Food Hydrocolloids. 2012. Vol. 27. Issue 2. P. 456–463. DOI 10.1016/j.foodhyd.2011.09.008.
6. Мушина, О.Н. Процессы и оборудование в производстве натуральных сыров: монография / О.Н.Мушина, А.А.Майоров. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2019. – 176 с.
7. Брусилковский, Л.П. Приборы технологического контроля в молочной промышленности: Справочник / Л.П.Брусилковский, А.Я.Вайнберг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
8. Майоров, А.А. Шариковый вискозиметр для молока / А.А.Майоров, О.Н.Мушина // Патент № 2769878 (заявка № 202113433) МПК G01N 11/12. Заявл. 11.05.2021, опублик. 07.04.2022. Бюллетень изобретений. 2022. № 10.
9. Майоров, А.А. Устройство для исследования процесса свертывания молока / А.А.Майоров, А.Н.Архипов, А.В.Позднякова // Патент № 121933 (заявка № 2011151008) МПК G01N 11/00. Заявл. 14.12.2011, опублик. 10.11.2012. Бюллетень изобретений. 2012. № 31.