– АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ –

УДК 637.073

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА СЕДИМЕНТАЦИИ ЖИРА ЦЕЛЬНОГО МОЛОКА

И.В. Акулинин*, А.М. Осинцев, В.И. Брагинский

ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

**e-mail: iliaakulinin@yandex.ru*

Дата поступления в редакцию: 22.09.2016
Дата принятия в печать: 11.11.2016

Для определения степени гомогенизации, состава молочной эмульсии и расчета размеров частиц дисперсной фазы применяют седиментационные методы анализа. В настоящее время подобные исследования проводятся с использованием инструментальных электронных оптических анализаторов, работающих в инфракрасной области спектра. Целью данной работы является разработка оптической системы турбидиметрического типа для мониторинга отстаивания жировой фазы в цельном и гомогенизированном молоке, а также изучение возможности использования данного устройства в качестве жиромера. Объектом исследования являлись пробы цельного негомогенизированного и гомогенизированного молока различной жирности. Предложен способ анализа отстаивания жира посредством периодического вертикального сканирования пробы с помощью инфракрасного датчика. Для реализации данного способа разработано оптико-механическое устройство собственной конструкции под условным названием «кремограф». В процессе исследований помещенные в плоские кюветы образцы молока различной жирности в течение 90 мин подвергались периодически повторяющемуся с частотой около 0,2 мин$^{-1}$ сканированию на просвет парой синхронно движущихся источника и приемника инфракрасного излучения. При этом наблюдалась явная зависимость между интенсивностью прошедшего через пробу цельного молока излучения и концентрацией жировых шариков в молоке, позволяющая, например, однозначно определить толщину жировой пробки. Результаты исследования представлены в виде графиков-кремограмм. По полученным данным произведен расчет жирности пробы цельного молока и определены радиусы частиц жира. Расчетное значение скорости седиментации частиц составило 0,11 мм/мин. Средний расчетный размер отстаивающихся частиц в слое жира составил 3,8 мкм. Величина слоя жировой пробки при отстаивании цельного молока жирностью 4 % составила 10 мм. Показана практическая возможность использования кремографа для проведения седиментационных анализов и определения степени дисперсности частиц молочного жира, а также определение массовой доли жира в молоке, прошедшем механическую обработку.

Отстаивание жира в молоке, кремограф, инфракрасный датчик

Введение

В упрощенном понимании молоко представляет собой эмульсию жировых шариков в молочной плазме. В цельном не гомогенизированном молоке такая эмульсия не является устойчивой и проявляет тенденцию к отделению жировой фракции от плазмы под действием гравитационных или центробежных сил [1, 2]. Отстаивание жира в молоке проявляется во многих технологических процессах. Оно может играть как положительную роль, например, при производстве сливок или масла, так и отрицательную, например, при хранении цельного молока.

Коллоидные системы по устойчивости занимают промежуточное положение между истинными и грубодисперсными растворами [3–5]. На каждую частицу дисперсной фазы действует 3 силы: сила тяжести F_m, сила Архимеда F_A, сила вязкого трения $F_{тр}$. Сила седиментации выражается соответствующей формулой:

$$F_{сед} = F_T - F_A = V(\rho - \rho_0)g, \qquad (1)$$

где V – объем частицы м^3; ρ – плотность частицы г/м^3; ρ_0 – плотность дисперсной среды, г/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

При $F_{сед} > 0$ идет осаждение частиц, при $F_{сед} < 0$ – всплытие. Результирующая сила, действующая на частицу:

$$F_{рез} = F_{сед} - F_{тр} = V(\rho - \rho_0)g - BU, \qquad (2)$$

где B – коэффициент трения; U – скорость оседания частицы при равновесии.

Чем больше скорость оседания U, тем выше сила трения $F_{тр}$, замедляющая процесс. В результате устанавливается стационарный режим седиментации, которому соответствует $F_{сед} = F_{TP}$, когда частица оседает с постоянной скоростью:

$$U = \frac{V(\rho - \rho_0)g}{B}. \qquad (3)$$

Рассчитать радиус частицы определенной формы можно из соотношения (3). Для частицы сфери-

ческой формы радиус рассчитывается следующим образом:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta U}{2\Delta\rho g}}. \quad (4)$$

В качестве характеристики интенсивности процесса осаждения используют показатель удельного потока седиментации:

$$i_{сед} = \frac{V(\rho - \rho_0)}{S}\upsilon, \quad (5)$$

где S – константа седиментации; v – концентрация частиц в дисперсной системе.

С учетом броуновского движения, в результате которого возникает диффузия, стремящаяся выровнять концентрации частиц по всему объему, мы получаем два противоположных потока: поток седиментации и поток диффузии:

$$i_{диф} = -D\frac{dC}{dh}, \quad (6)$$

где $D = \frac{kT}{B}$ – коэффициент диффузии, м^2/с; k – постоянная Больцмана; C – градиент концентраций.

От соотношения величин диффузионного и седиментационного потоков дисперсная система может находиться в трех состояниях: $i_{сед} >> i_{диф}$ – диффузия незначительна, идет седиментация и система неустойчива; $i_{сед} << i_{диф}$ – дисперсная система является седиментационно устойчивой, в этом случае диффузия приведет к равномерному распределению частиц по всему объему сосуда; $i_{сед} \approx i_{диф}$ – в системе наблюдается диффузионно-седиментационное равновесие. В третьем случае распределение частиц по длине столба будет определяться гипсометрическим законом Лапласа–Перрена:

$$\ln\frac{\upsilon_h}{\upsilon_0} = -\frac{m_{от}gh}{kT} = -\frac{V(\rho - \rho_0)gh}{kT}, \quad (7)$$

где v_h – частичная концентрация на заданной высоте; v_0 – частичная концентрация на нулевой высоте; $m_{от}$ – масса частицы дисперсной фазы; g – ускорение свободного падения; h – высота; T – температура; V – объем частицы дисперсной фазы; ρ – плотность дисперсной фазы; ρ_0 – плотность дисперсионной среды.

По седиментационному анализу дисперсных фаз определяются концентрации и распределение частиц коллоидных систем по размерам. Использование современных оптических инструментальных методов седиментационного анализа [6–8] позволяет существенно ускорить и упростить процесс исследования. Поэтому целью настоящей работы является разработка оптического устройства для анализа седиментационных процессов в молоке с возможностью определения концентрации жировой фазы с помощью сканирующего инфракрасного турбидиметра.

Объекты и методы исследования

Исследования образцов проводили турбидиметрическим методом с применением лазерного источника излучения и детектора, принцип работы которого основан на выполнении закона Бугера–Ламберта–Бера:

$$I = I_0 \cdot e^{-k \cdot d}, \quad (8)$$

где I_0 – интенсивность монохромного входящего излучения; k – показатель поглощения; d – толщина слоя образца;

В свою очередь степень поглощения характеризуют оптической плотностью:

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right). \quad (9)$$

В соответствии с общеизвестной прямо пропорциональной зависимостью оптической плотности от концентрации растворенных веществ в эмульсии при постоянной толщине слоя имеем:

$$D = K \cdot C, \quad (10)$$

где C – концентрация растворенного вещества; K – коэффициент пропорциональности, зависящий от условий среды.

Через кювету с испытуемым образцом пропускали монохромное излучение и измеряли интенсивность проходящего потока. Поскольку сила проходящего сквозь молоко излучения зависит от показателя оптической плотности эмульсии, то в данном случае изменения концентрации жира в одном из слоев фракции при седиментации будет влиять на показания турбидиметрического детектора.

С учетом линейной зависимости выходного сигнала с детектора от интенсивности падающего излучения можно переписать (9) в следующем виде:

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \lg\left(\frac{Y_0}{Y}\right), \quad (11)$$

где Y_0 – сигнал на выходе детектора при падающем потоке излучения I_0; Y – сигнал на выходе детектора при интенсивности I.

Таким образом определяется показатель поглощения для образцов и рассчитывается концентрация сухих веществ в пробе.

Объектами исследования являлись образцы цельного не гомогенизированного и ультрапастеризованного гомогенизированного молока различной жирности. Химический состав представлен в табл. 1. Состав цельного молока устанавливался по

результатам биохимической экспертизы производителя. Состав образцов гомогенизированного молока соответствует заявленному на упаковках.

Таблица 1

Химический состав исследуемых образцов

Параметр/ № образца	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Жир	3,8–4 %	1,5 %	3,2 %	6 %
Углеводы	4,7 %	4,7 %	4,7 %	4,7 %
Белки	2,9 %	2,9 %	2,9 %	2,9 %

Образцы распределены по номерам в соответствии с жирностью и термомеханической обработкой: № 1 – молоко цельное не гомогенизированное, № 2–4 – молоко, гомогенизированное ультрапастеризованное.

В данной работе применялся кремограф собственного изготовления на базе интегрируемого микроконтроллера STM32F407V [9, 10] и турбидиметрического сканирующего инфракрасного лазерного детектора. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1. Процесс снятия показаний проводился согласно блок-схеме, представленной на рис. 2.

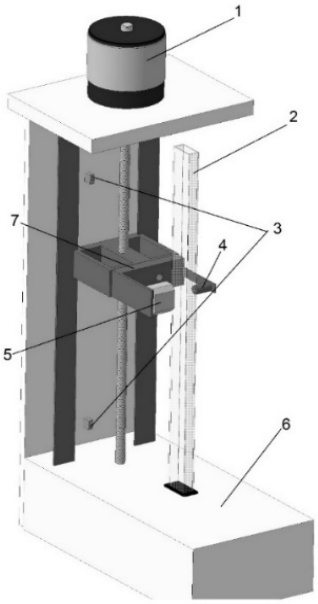

Рис. 1. Схема лабораторного кремографа:
1 – актуатор; 2 – кювета под образец из оптического стекла; 3 – датчики крайних положений;
4 – лазерный источник ИК-излучения; 5 – датчик интенсивности излучения; 6 – станина

Пренебрегая потерями, вызванными отражением части излучения от стеклянных стенок кюветы и принимая, что в начальный момент времени образец является однородной бидисперсной эмульсией, содержащей фракции жира и белка, в первом приближении получаемые данные можно графически изобразить в виде идеальных кремограмм, представленных на рис. 3.

На кремограммах изображены идеальные модели эпюр интенсивности прошедшего излучения по всей длине кюветы с образцом в различные интервалы времени, а также стадии седиментации молочного жира. Эпюра на кремограмме 3а соответствует эмульсии, находящейся в однородном состоянии на начальный момент времени после внесения в пробирку образца. Длина пробирки, заполненная молоком, обозначена как участок L_0.

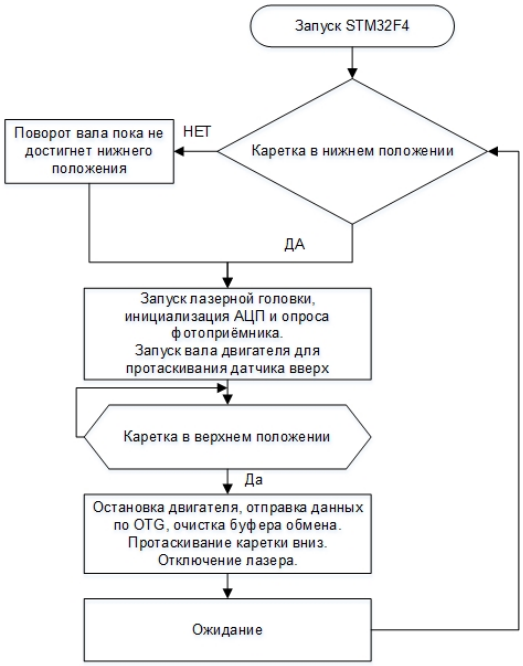

Рис. 2. Блок-схема цикла сканирования кремографа и регистрации показателей

Допуская, что эмульсия не подвергалась глубокой термомеханической обработке, а также при наличии частиц с собственной плотностью ниже, чем плотность дисперсной среды, происходит их всплывание к поверхности с образованием пробки. На кремограмме это отображено в виде уменьшения интенсивности потока излучения по длине участка L_2 (рис. 3б) на величину ΔI_1 и уменьшения на участке длиной L_1 данного показателя также на величину ΔI_1. После длительного процесса отстаивания на участке L_2, будут сконцентрированы частицы жира за исключением частиц с меньшими собственными размерами, т.е. некоторая доля жира и казеин. В конечный момент анализа длина участка L_2 и L_1 будет выглядеть в соответствии с рис. 3в. Зная общую длину столба L_0, заполненного раствором и длину одного из участков L_2 или L_1, можно рассчитать соотношение фракций, входящих в раствор с помощью пропорции:

$$F = \frac{L_2}{L_0} \times 100 + K, \qquad (12)$$

где L_0, L_2 – высоты участков слоя среды в начальный момент времени и высота слоя дисперсной фазы, мм; F – концентрация жира в эмульсии, %; K – поправочный коэффициент, учитывающий не отстоявшийся жир и белок.

Скорость седиментации в отдельно взятый момент времени будет определяться производной:

$$V(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta L_2}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta I_2}{\Delta t}, \qquad (13)$$

где $V(t)$ – функция скорости оседания (всплытия) частиц по времени мм/с; ΔL_2 – приращение длины участка жировой пробки, мм; Δt – изменение времени, с; ΔI_2 – приращение интенсивности потока излучения в слое L_2.

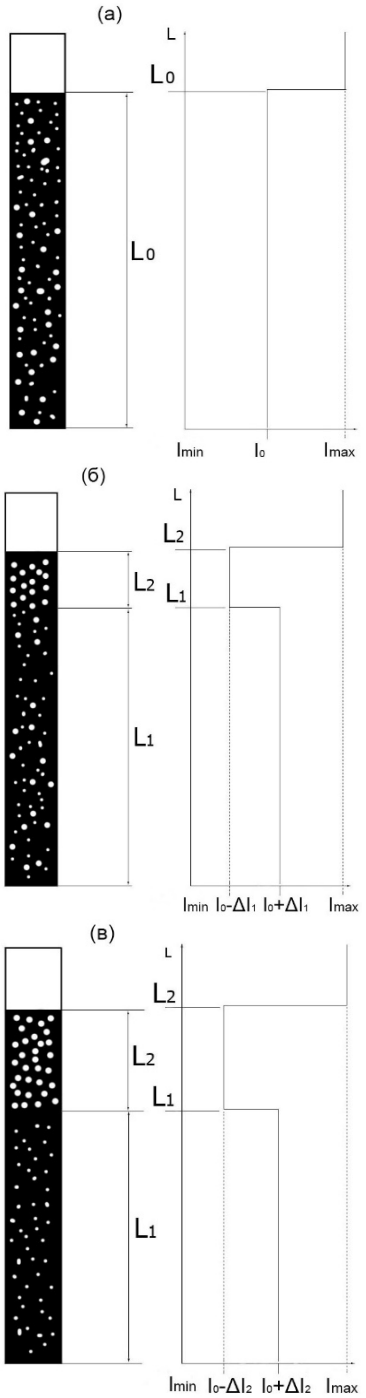

Рис. 3. Идеальные кремограммы для бидисперсной системы: а – состояние однородности системы в начальный момент времени; б – частичное отстаивание жировой фазы в верхней части; в – конечное концентрирование жировой фазы в верхнем слое и уплотнение пробки на конец исследования

В реальных условиях доля не отстоявшихся частиц жира будет равномерно распределена во всем объеме пробы, даже после длительного времени. Таким образом, метод определения концентрации фракций по границе жировой пробки имеет установленную погрешность, выраженную в процентах:

$$\varepsilon_0 = \frac{C_0}{C} \times 100, \qquad (14)$$

где С – концентрация жира в пробе, г/л; C_0 – концентрация не отстоявшегося жира, г/л.

Результаты исследования и обсуждение

Для анализа процесса седиментации молекул жира в цельном молоке было исследовано 10 проб. Сняты кремограммы, характеризующие зависимость интенсивности излучения, прошедшего через пробирку с молоком в процессе периодического вертикального сканирования.

На рис. 4а представлены кремограммы, снятые с образца № 1. График 4а включает в себя совокупность двух основных показателей: интенсивность потока излучения на выходе из образца по участку L_1 и интенсивность проходящего потока излучения через слой L_2.

Аппроксимируя данную характеристику в соответствии с рис. 4а, по кривой 1, мы получаем график, изображенный на рис. 4в, характеризующий нарастание интенсивности потока излучения, проходящего через слой молока L_1. Тем самым можно наблюдать незначительное увеличение интенсивности излучения, что вполне ожидаемо вследствие всплывания частиц жира.

На диаграмме 4б представлен график полиноминальной аппроксимации изменения интенсивности излучения, прошедшего через слой с жировой пробкой L_2 за период 90 минут. Характеристику получают, аппроксимируя рис. 4а по кривой 2. Данный график наглядно демонстрирует динамику изменения потока излучения, прошедшего через слой жировой пробки L_2 в процессе отстаивания молочного жира. В соответствии с приведенной зависимостью интенсивность уменьшается вследствие концентрирования частиц жира в данном слое, что ведет к росту показателя оптической плотности.

Зависимости, представленные на диаграммах 4б и 4в, вытекают из выражения (10) и наглядно демонстрируют верность утверждения, что увеличение потока излучения, прошедшего через слой L_1, на определенную величину приведет к приращению показателя оптической плотности в слое L_2.

Диаграмма 4г характеризует скорость и характер нарастания толщины слоя жира L_2, а также величину данного слоя на начальный и конечный период времени. Данная характеристика берет свою основу из графика 4д, на котором приведены отмасштабированные участки с кремограммы 4а для слоя L_2. Графики, представленные на рис. 4, позволяют определять скорость протекания седиментации молочного жира в пробе.

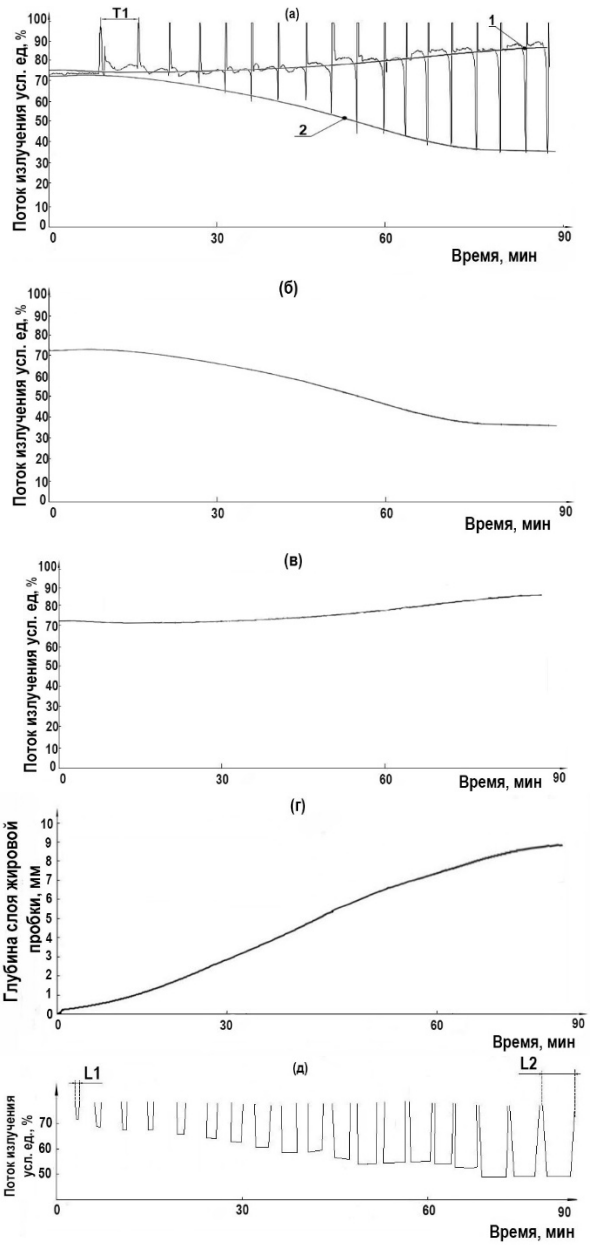

Рис. 4. Графики изменения интенсивности проходящего излучения через пробу цельного молока и показатели толщины слоя жировой пробки: а – кремограммы интенсивности излучения, полученные с кремографа; T1 – время прохода датчика от нижней до верхней точки кюветы; б – полиноминальная аппроксимация изменения интенсивности излучения, прошедшего сквозь верхний слой жировой пробки L_2; в – полиноминальная аппроксимация интенсивности прошедшего излучения сквозь слой с молоком L_1; г – динамика изменения толщины жировой пробки в образце; д – отмасштабированные и усеченные части кремограмм (а) при переходе через границу раздела слоев L_1 и L_2; L1, L2 – время прохода датчиком слоя жировой пробки в начальный и конечный моменты исследования, пропорциональное толщине слоя

Как видно из графика 4д, на момент начала эксперимента толщина слоя $L_1 = L1 \approx 0{,}5$ мм, а на конец эксперимента толщина слоя $L_2 = L2$ и составляет порядка 10 мм.

Численные данные по толщине слоя жировой пробки приведены в табл. 2. В данной работе исходная длина пробирки заполненной молоком, составляла 290 мм. Подставляя эти значения в (2), жирность будет составлять 3,44 %. Жирность, заявленная производителем, составляла около 3,8–4 %. Как указывалось выше, часть жировой фракции не может полностью осаждаться под действием сил гравитации, в результате чего заранее необходимо вводить поправочный коэффициент ε_0.

Таблица 2

Изменение толщины слоя жировой пробки с течением времени

Время эксперимента, мин	Толщина слоя жировой пробки, мм	Показатель оптической плотности, *D*
0	0,5	0,14
30	3,5	0,18
60	7	0,34
90	10	0,45

В соответствии с утверждением (9) приближенная расчетная скорость седиментации по полученным данным составляет 0,11 мм/мин. Размер частиц жира можно рассчитать по формуле (4), приняв основные параметры следующими: $\rho = 1034$ кг/м^3, $\rho_0 = 931$ кг/м^3 – плотность молочной плазмы и жира; ˜ = 0,0018 – вязкость молочной плазмы:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta U}{2\Delta\rho g}} = \sqrt{\frac{9\times1{,}8\times10^{-6}\times0{,}0018}{2\times103\times9{,}8}} \text{»} 3{,}8\times10^{-6}\text{м}.$$

Рассчитанное значение размеров частиц жира является усредненным и не определяет точно распределение частиц по размерам в объеме пробирки. В первую очередь это связано с тем, что на падающий инфракрасный поток при длине волны 900–1000 нм будут оказывать влияние частицы с размерами от 1 мкм и выше, а также конгломераты, образованные в результате флокуляции или коалесценции.

Рис. 5. Кремограммы гомогенизированного молока различной жирности: а – 1,5 %; б – 3,2%; в – 6 %

Данный показатель учитывает нормальное распределение частиц по размерам и определяет, что

65–80 % отстоявшейся фракции имеют расчетный размер, а оставшаяся доля частиц будет лежать в диапазоне от 1 до 10 мкм с определенной долей вероятности.

В дополнение были сняты кремограммы для 10 проб гомогенизированного молока различной жирности, которые представлены на рис. 5. Для полученных данных рассчитан показатель оптической плотности в соответствии с (11) при длине волны 980 нм, мощности источника 1 мВт и толщине слоя пробы 10 мм.

Таблица 3

Показатели оптической плотности, рассчитанные для гомогенизированных образцов

№ образца	Расчетная оптическая плотность образца, *D*	Содержание жира, %
2	0,09	1,5
3	0,28	3,2
4	0,65	6

Из кремограмм видно, что детектор выдает различные показания интенсивности потока излучения, зависящие от концентрации жира. Через 60 мин наблюдений показания не изменяются, что указывает на устойчивое состояние системы. Данный факт демонстрирует потенциальную возможность использования устройства при анализе обработанного молока на содержание жира, а также других не молочных коллоидных систем. Благодаря снятию проб с гомогенизированного молока можно провести градуировку устройства на разные концентрации сухих веществ. Резкие всплески уровня сигнала на рис. 5 являются индикаторами выхода луча лазера за кромку кюветы и не несут полезной информации.

Точно рассчитать концентрацию жира в образцах на данном этапе затруднительно, поскольку не проводилась градуировка устройства по эталонным пробам. Процедуры отладки, нормирования, градуировки и калибровки позволят проводить аналитические исследования на концентрацию жира в молоке.

Выводы

В результате проделанной работы разработано устройство для наблюдения за процессами седиментации частиц жира в цельном молоке. Проведен анализ процесса отстаивания молочного жира на пробах цельного молока. Получены и представлены данные по седиментации жировой фазы в цельном молоке, а также получены кремограммы, характеризующие интенсивность потока излучения, прошедшего через образец с гомогенизированным молоком при различной жирности. Представлена принципиальная схема лабораторного оптического инфракрасного кремографа и алгоритм отбора проб. Разработана схема управления лабораторным кремографом на базе встраиваемого микроконтроллера. Показана эффективность и работоспособность оптического метода сканирования по всей длине кюветы. Продемонстрирована перспектива применения инфракрасного сканирующего кремографа для анализа жирности в гомогенизированном молоке. Получены численные данные по изменению толщины слоя жировой пробки в цельном молоке с течением времени. Рассчитан приблизительный размер частиц жира, находящихся в слое жировой пробки. Рассчитана приблизительная скорость отстаивания жира в цельном молоке

Список литературы

1. Вышемирский, Ф.А. Маслоделие в России / Ф.А. Вышемирский. – Углич, 1998. – 590 с.

2. Ma Y., Barbano D. M. Gravity separation of raw bovine milk: fat globule size distribution and fat content of milk fractions / Y. Ma, D. M. Barbano // Journalof Dairy Science, 2000 – V.83 – pp.1719–1727.

3. Остроумов, Л.А. Численное моделирование процесса отстаивания молочного жира. Хранение и переработка сельхозсырья / Остроумов Л.А. [и др.]. – 2000. – № 12. – С. 11–15.

4. Гарькина, И.А. Эволюция дисперсных систем: флокуляция и седиментация / И.А. Гарькина [и др.]. НиКа. – 2009. – С. 56–59.

5. Farah Z., Rüegg M., The Creaming Properties and Size Distribution of Fat Globules in Camel Milk Original Research Article Journal of Dairy Science, Volume 74, 1991, pp. 2901–2904.

6. Домкин, К.И. Оптические методы определения размеров мелкодисперсных материалов / К.И. Домкин, В.А. Трусов, В.Г. Недорезов. – НиКа. 2011. С.154–158.

7. Kaylegian, K.E. Calibration of Infrared Milk Analyzers: Modified Milk Versus Producer Milk / K.E. Kaylegian, G.E. Houghton, J.M. Lynch, J.R. Fleming, D.M. Barbano // Journal of Dairy Science Vol. 89 No. 8, 2006, pp. 2817–2832.

8. Дорофеев, К. Отладка микроконтроллеров на базе процессоров Cortex-M3 / К. Дорофеев, С. Копытин // Компоненты и технологии. – 2009. – № 93. – С. 58–60.

9. Бродин, В.Б. Идентификация и продвижение инновационных электронных компонентов / В.Б. Бродин, Н.В. Варламов // Инновации. – 2011. – № 8. – С. 92–94.

DEVELOPMENT OF OPTICAL DEVICE FOR SEDIMENTATION ANALYSIS OF WHOLE MILK FAT

I.V. Akulinin*, A.M. Osintsev, V.I. Braginskiy

Kemerovo Institute of Food Science and Technology(University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia

**e-mail: liaakulinin@yandex.ru*

Received: 22.09.2016
Accepted: 11.11.2016

Methods of sedimentation analysis are used to determine the degree of homogenization and milk emulsion composition, and to calculate the dispersed phase particle sizes. At present, such studies are conducted using instrumental electronic optical analyzers operating in the infrared spectrum range. The aim of this research is to develop optical turbidimetry system for monitoring fat settling in whole and homogenized milk and identification of opportunities to use this device as a butyrometer. The objects of this study were whole and homogenized milk samples with different fat content. A method for the analysis of fat setting through periodic vertical scanning of the sample with an infrared sensor is proposed. To implement this method optical-mechanical device named "kremograph" has been developed. During 90 minutes milk samples with different fat content were exposed to periodically repeating scanning with the frequency of about 0.2 min^{-1} with a synchronously moving infrared radiation source and receiver. In this case, there was a clear relationship between the intensity of radiation passing through the whole milk sample and fat globule concentration in milk allowing the thickness of the cream plug to be uniquely determined. The study results are presented in the form of graphs - kremograms. The data obtained have promoted the calculation of fat content of whole milk samples, and the radii of fat particles have been determined. Estimated value of the particle sedimentation rate is 0.11 mm/min. The average size of particles settled in a cream layer is 3.8 microns. The thickness of cream plug on whole milk settling with fat content of 4% is 10 mm. The feasibility of using kremographs for sedimentation analysis and the establishment of the dispersion degree of milk fat particles as well as the determination of the mass fraction of fat in milk after mechanical processing is demonstrated.

Fat settling in milk, "kremograph", infrared sensor

References

1. Vyshemirskiy F.A. *Maslodelie v Rossii* [Dairies in Russia]. Uglich, 1998. 590 p.
2. Ma Y., Barbano D.M. Gravity separation of raw bovine milk: fat globule size distribution and fat content of milk fractions. *Journalof Dairy Science*, 2000, vol. 83, no.8, pp.1719-1727. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75041-7.
3. Ostroumov L.A., Braginskiy V.I., Osintsev A.M., Borovaya E.A. Chislennoe modelirovanie protsessa otstaivaniya molochnogo zhira [Numerical simulation of sedimentation of milk fat]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of farm products], 2000, no. 12, pp. 11–15.
4. Gar'kina I.A., Danilov A.M., Smirnov V.A., Lapshin E.V., Yurkov N.K. Evolyutsiya dispersnykh sistem: flokulyatsiya i sedimentatsiya [Evolution of disperse systems: flocculation and sedimentation]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [International Symposium "Reliability and Quality"], 2009, vol. 1, pp. 56–59.
5. Farah Z., Rüegg M. The Creaming Properties and Size Distribution of Fat Globules in Camel Milk Journal of Dairy Science, 1991, vol. 74, pp. 2901-2904. DOI: http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78472-5.
6. Domkin K. I., Trusov V. A., Nedorezov V. G. Opticheskie metody opredeleniya razmerov melkodispersnykh materialov [Optical methods for determining the size of fine materials]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [International Symposium "Reliability and Quality"], 2011, vol. 2, pp. 154–158.
7. Kaylegian K. E., Houghton G. E., Lynch J. M., Fleming J. R., Barbano D. M.. Calibration of Infrared Milk Analyzers: Modified Milk Versus Producer Milk. *Journal of Dairy Science*, 2006, vol. 89, no. 8, pp. 2817–2832. DOI: http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72555-3.
8. Dorofeev K., Kopytin S. Otladka mikrokontrollerov na baze protsessorov Cortex-M3 [Debugging Microcontroller-based Cortex-M3 processors]. *Komponenty i Tekhnologii* [Components and Technologies], 2009, no. 93, pp. 58–60.
9. Brodin V.B., Varlamov N.V. Identifikatsiya i prodvizhenie innovatsionnykh elektronnykh komponentov [Identification and promotion of innovative electronic components]. *Innovatsii* [Innovations], 2011, no. 8, pp. 92–94.

Дополнительная информация / Additional Information

Акулинин, И.В. Разработка оптического устройства для анализа седиментации жира цельного молока / И.В. Акулинин, А.М. Осинцев, В.И. Брагинский // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 43. – № 4. – С. 212–219.

Akulinin I.V., Osintsev A.M., Braginskiy V.I. Development of optical device for sedimentation analysis of whole milk fat. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2016, vol. 43, no. 4, pp. 212–219 (In Russ.).

Акулинин Илья Владимирович
аспирант кафедры физики, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, e-mail: liaakulinin@yandex.ru

Осинцев Алексей Михайлович
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой физики, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, тел. (3842) 39-68-32,
e-mail: osintsev@kemtipp.ru

Брагиснкий Владимир Ильич
канд. техн. наук, профессор, и. о. проректора по учебной работе, ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», 650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47

Ilya V. Akulinin
Postgraduate Student of the Department of Physics, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia,
e-mail: liaakulinin@yandex.ru

Aleksey M. Osintsev
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Physics, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia, phone (3842) 39-68-32, e-mail: osintsev@kemtipp.ru

Vladimir I. Braginskiy
Cand.Sci.(Eng.), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Kemerovo Institute of Food Science and Technology (University), 47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia