

Инструментальные методы контроля состава и свойств полидисперсных сред

77-30569/319511

02, февраль 2012

Григорьянц А. Г., Коротаева М. А., Алехнович В. И., Шиганов И. Н.

УДК.621.373.826

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Marya.Korotaeva@yandex.ru

mt12@bmstu.ru

Введение

Задача экспресс-определения количественного содержания соединений в полидисперсных многокомпонентных жидкостях является важной для таких областей деятельности человека, как машиностроение, нефтяная, пищевая, химическая промышленности, медицина, фармацевтика, экологический мониторинг и др. Решение ее осложняется тем, что каждый компонент многокомпонентной жидкости вносит вклад в результирующий сигнал, что усложняет его анализ. При измерениях необходимо также учитывать воздействие на образец внешней среды, посторонних веществ и т.д. Компенсация возникающих погрешностей требует усложнения оборудования, введения дополнительных операций при пробоподготовке. В результате возрастает стоимость экспериментов, увеличивается их длительность, что недопустимо при экспресс-анализе. Данная статья посвящена обзору методов определения состава и свойств жидких сред, анализу их пригодности для проведения экспресс-измерений.

В качестве примера полидисперсной среды выбрано коровье молоко. В настоящее время в России сложилась тяжелая ситуация в вопросе контроля качества этого продукта. На молочных фермах из-за отсутствия средств, контроль качества продукта ведется с использованием устаревшего оборудования, а зачастую отсутствует совсем. В результате этого для дальнейшей обработки поступает молоко, в котором точно не определен состав, кроме того, в нем могут содержаться посторонние вещества: антибиотики, тяжелые металлы и др. Часты нарушения при переработке молока. Для увеличения веса его разбавляют, для увеличения плотности добавляют сухое молоко, крахмал, растительные жиры. В этом случае продукты утрачивают полезные свойства, иногда даже становятся

опасными для здоровья. Необходимы средства технического контроля качества молока и молочных продуктов, позволяющие определять состав и свойства продукта с высокой точностью, быстро, с минимальными расходами на проведения измерений. Подобные приборы полезны не только в промышленности, но и потребителям, для проверки качества продуктов в домашних условиях.

Согласно стандартам РФ [1], при приемке молока с фермы необходимо контролировать следующие параметры качества: органолептические показатели, температура, кислотность, массовая доля жира, белка, плотность, чистота, бактериальная обсемененность, температура замерзания, термоустойчивость, а так же содержание посторонних веществ (соматических клеток, ингибирующих веществ и пр.). Кроме того, могут проводить измерения содержания сухого молочного остатка (СМО) и сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), лактозы, определение содержания в молоке растительных жиров и тяжелых металлов. Разработан целый ряд методов определения состава молока и молочных продуктов.

Инструментальные методы контроля состава полидисперсных сред

Методы контроля качества молока подразделяют на химические, биологические и физические.

Биологические методы используют для определения пищевой и биологической ценности продукции. Их подразделяют на физиологические и микробиологические. Физиологические применяют для установления степени усвоения и переваривания питательных веществ, безвредности, биологической ценности. Микробиологические методы применяют для определения степени обсемененности продукции различными микроорганизмами [2].

Химические методы применяют для определения состава и количества входящих в продукцию веществ. Они подразделяются на количественные и качественные - это методы аналитической, органической, физической и биологической химии.

Физические методы применяют для определения физических свойств продукции - плотности, коэффициента рефракции, вязкости, липкости и др. К таким методам относятся микроскопия, поляриметрия, колориметрия, рефрактометрия, спектроскопия, реология, люминесцентный анализ и другие.

К биологическим методам относится биокалориметрический метод определения общего количества бактерий в молоке, описанный в [3]. Метод основан на измерении тепловой мощности, выделяемой в процессе жизнедеятельности микрофлоры молока. По этой величине определяется общее количество бактерий. Подготовка пробы

предусматривает ее пастеризацию с последующим охлаждением. Вместе с подготовкой аппаратуры процесс занимает около часа. Измерение теплового потока производится при помощи микрокалориметра.

Большинство методов определения параметров молока, предусмотренных ГОСТами, являются химическими. Так, метод обнаружения растительных жиров жидкостной хроматографией [4] требует выделения из молочного жира стеаринов путем химической обработки рядом реактивов. Этот процесс занимает более 13 часов. Затем содержание растительных стеаринов определяется при помощи хроматографа. Наименьший предел измерений метода 0,5 % массовой доли растительных стеаринов в молочном жире.

Определение наличия бактерий в молоке может производиться люминесцентным методом [5]. Для реализации метода требуется растворить компоненты молока (соматические клетки, белок, жир) реагентом, фильтрации полученного раствора через мембранный фильтр, растворении отфильтрованных микроорганизмов определенным растворителем. В результате выделяется вещество, концентрация которого определяется по интенсивности излучения люминесценции. Подготовка средств измерения к исследованиям занимает более 2 часов. Еще около часа уходит непосредственно на проведение измерений.

Арбитражным методом определения белка в молоке считается метод Кьельдаля. Метод основан на сжигании органических компонентов пробы молока в колбе Кьельдаля в присутствии серной кислоты; освобождающийся при этом азот определяют титрованием и по его количеству вычисляют содержание белка. Абсолютная погрешность метода составляет $\pm 0,06$ % [6].

Колориметрический метод основан на способности белков молока при уровне кислотности ниже изоэлектрической точки связывать кислый краситель, образуя с ним нерастворимый осадок, после удаления которого измеряют оптическую плотность исходного раствора красителя относительно полученного раствора, которая уменьшается пропорционально массовой доле белка. Погрешность определения массовой доли белка составляет не больше 0,1 % [7].

Ввиду своей сложности, стандартизованные методы применяются только в специализированных лабораториях. Измерения в таких лабораториях занимают длительное время и требуют значительных финансовых затрат. Как правило, желательно определять состав продукта в полевых условиях, не тратя время на доставку до лаборатории. Поэтому разрабатываются методы экспресс-анализа молока.

Ультразвуковой метод основан на зависимости скорости распространения или степени поглощения ультразвука молоком от его состава.

Скорость ультразвука в молоке зависит от содержания жира, сухих обезжиренных веществ и температуры продукта.

В [8] установлено, что при $t=14\pm0.2^\circ$ скорость звука в молоке не зависит от содержания жира и характеризуется только содержанием СОМО. При этой температуре определяется содержание СОМО. По скорости ультразвука при температуре 50°C с учетом автоматически вводимой поправки на содержание СОМО определяют содержание жира. Применение ультразвука для анализа свойств и строения вещества ограничивает относительно большая длина волны ультразвука, что приводит к невысокой разрешающей способности и нечувствительности метода к ряду компонентов [9]. Ультразвуковая технология позволяет измерить непосредственно жирность, протеин, лактозу и соли. Содержание других компонентов в молоке необходима калибровка прибора и использование эмпирических формул.

В настоящее время ультразвуковые приборы широко используются. Клевер-1М, Lactoscan и др. позволяют определять массовые доли жира, СОМО, белка, плотности молока. С помощью Lactoscan достигается точность измерения содержания жира – 0.1 %. Для проведения одного измерения требуется 90 секунд.

Кондуктометрический метод основан на определении электрической проводимости веществ в различных растворах. По величине электропроводности можно судить о концентрации растворенного вещества. Электропроводность раствора зависит от его концентрации. По мере возрастания концентрации растворенного электролита увеличивается количество ионов-переносчиков заряда, т. е. растет удельная электропроводность. Большее распространение в аналитической практике получил метод кондуктометрического титрования, основанный на химической реакции, в результате которой заметно изменяется электропроводность раствора.

Кондуктометрическим методом выявляют маститное (полученного от больных животных) молоко. Известно, что в маститном молоке увеличивается содержание ионов хлора и натрия, вследствие чего повышается электропроводность молока. Результаты исследований показали, что в маститном молоке содержание ионов хлора увеличивается в 2,2 раза, а ионов натрия в 2,8 раза по сравнению с их содержанием в молоке здоровых коров. Соответственно удельная электропроводность повышается в среднем на 37 %. По результатам исследований разработана методика контроля определения маститного молока кондуктометрическим методом с пересчетом удельной электропроводности на содержание соматических клеток. Кроме того, во ВНИМИ разработана методика контроля

нейтрализующих веществ (сода, аммиака) в молоке кондуктометрическим методом. Нижний предел определяемых концентраций 10^{-4} моль/л, погрешность определений 2 %.

Оптические методы контроля состава полидисперсных сред

Все большее применение находят оптико-электронные анализаторы состава молока. Измерения с помощью оптико-электронных приборов отличаются простотой и быстротой проведения исследований. Они позволяют производить измерения автоматически, с минимальным участием оператора. Оптический сигнал преобразуется детектором в электрический сигнал, что позволяет производить автоматическую обработку данных. На выходе прибора оператор получает непосредственно требуемую количественную характеристику показателя качества, например процентное содержание жира или белка. Современная элементная база позволяет минимизировать габариты приборов и сделать их портативными. Оптическими приборами можно управлять и получать с него данные дистанционно – через ПК, инфракрасный порт, волоконные линии связи.

Многообразие явления, возникающих при взаимодействии оптического излучения с веществом позволило разработать целый ряд методов анализа состава и свойств различных сред. К ним относятся микроскопия, спектральный анализ, люминесцентный анализ, поляриметрия, фотометрия, нефелометрия, рефрактометрия и др.

При взаимодействии с различными веществами поляризация света может изменяться. По повороту излучения можно судить о структуре поверхности, оптических постоянных, толщине образца, а так же концентрации растворов оптически активных веществ, таких как сахар, глюкоза, белок, по углу вращения плоскости поляризации.

Микроскопия изучает объекты, неразличимые или плохо различимые глазом, путем увеличения их с помощью микроскопа. При микроскопическом анализе молока в поле зрения видно большое количество мелких светлых кружков — жировых шариков. По величине и форме жировых шариков можно судить о качестве молока. Жировые шарики диаметром менее 1 мкм преобладают в молоке, полученном от больных коров, а диаметром 10—20 мкм — в молоке, неблагополучном в гигиеническом отношении. В нормальном молоке жировые шарики круглой формы. Деформация их указывает на пороки молока. В мороженом молоке жировые шарики морщинистые. В препаратах молока, полученного от здоровых животных, почти не встречаются эритроциты (красные кровяные тельца). Иногда в препаратах попадаются частицы тканей, эпителиальные клетки. Присутствие их в значительных количествах указывает на неправильности молокоотделения в молочной железе. Механические примеси указывают на

негигиенические условия доения и содержания коров. При значительных отклонениях микроскопической картины препаратов проводят санитарно-гигиеническую оценку молока методом центрифугирования и микроскопическим исследованием осадка.

Для современных оптических микроскопов обычным является увеличение порядка 1500 х. Учитывая, что размеры жировых шариков составляют, как правило, от 1 до 10 мкм, то этого увеличения достаточно для получения изображений пригодных для дальнейшего анализа. Возможно с помощью фото- или видео насадок сохранять изображения на компьютере и, путем обработки изображения, определять не только концентрацию жировых шариков, но и дисперсию их размеров. Метод является прямым, что повышает его достоверность. Однако проведение подобных измерений в полевых условиях в настоящее время ограничено из-за стоимости и габаритов оборудования. Кроме того, обработка изображений «вручную» занимает длительное время. А компьютерная обработка, особенно в режиме реального времени требует высокой производительности вычислительных средств [10].

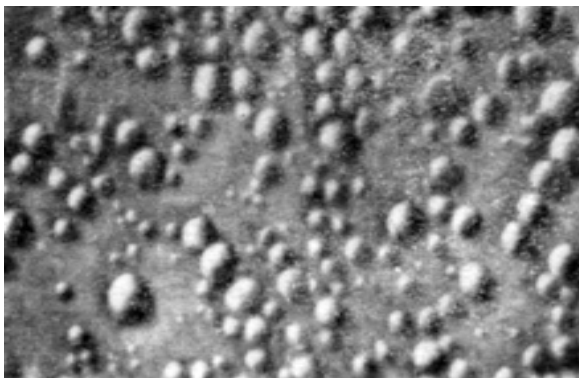


Рис. 1. Жировые шарики молока при увеличении 1000х

Спектральный анализ основан на том, что вещества поглощают излучение строго определенных длин волн. По степени ослабления оптического излучения известного спектрального состава и энергетики судят о содержании поглощающего вещества в пробе. Для количественной оценки используется закон Бугера – Ламберта, устанавливающий зависимость между поглощающей способностью и толщиной контролируемого раствора, вида:

$$F = F_0 \cdot 10^{-KCL}, \quad (1)$$

где F – световой поток, прошедший через контролируемую среду, F_0 – первичный световой поток, падающий на поверхность контролируемого раствора, K – молярный

коэффициент поглощения, C – концентрация растворенного вещества, L – толщина слоя раствора [11].

При работе с сильно поглощающими средами, к которым относится и молоко, закон не выполняется строго. Это связано с возрастающим влиянием многократного рассеяния излучения частицами. Анализ рассеяния излучения в молоке осложняется еще и тем, что частицы в нем имеют различные размеры. В многокомпонентных средах на поглощение излучения веществом может влиять наличие компонентов имеющих поглощение на близких длинах волн. Поэтому требуется использовать монохроматическое излучение высокой чистоты или устранять посторонние компоненты. В зависимости от спектрального диапазона, в котором производится анализ, выделяют обычно фотометрию (видимая область спектра) и ИК-спектроскопию.

Широкое распространение получил в ближней инфракрасной области (БИК - анализ). Метод основан на сопоставлении спектров поглощения эталонных образцов продукта со спектрами анализируемого вещества. Для его реализации необходимо составление градуировочных характеристик, представляющих собой спектры пропускания образцов молока, состав которых определен стандартизованными методами. Градуировочные характеристики должны охватывать молоко всех возможных составов. В процессе измерений снимается спектр исследуемой пробы, находится ближайший к ней градуировочный спектр, определяется степень отклонения стандартного и измеряемого спектров. Точность метода зависит от точности определения состава стандартного образца, а так же от того, на скольких длинах волн получен градуировочный спектр. Для повышения достоверности измерений, отдельные градуировочные характеристики должны быть сняты для каждого отдельного молочного хозяйства, породы коровы, сезона года. Все эти факторы влияют на состав молока [12].

Разработаны нефелометрические и турбидиметрические методы определения содержания жира в молоке. Турбидиметром называют анализатор мутности, определяющий поглощение в слое анализируемого вещества, при условии, что источник и детектор расположены на одной оси (рис. 2а). В нефелометрах для определения мутности используется принцип светорассеяния, определяемого под различными углами к источнику: 90° (нефелометрический детектор) (рис. 2б), 45° или 135° (детектор прямого рассеяния) (рис. 2в), $260-285^\circ$ (детектор обратного рассеяния) (рис. 2г).

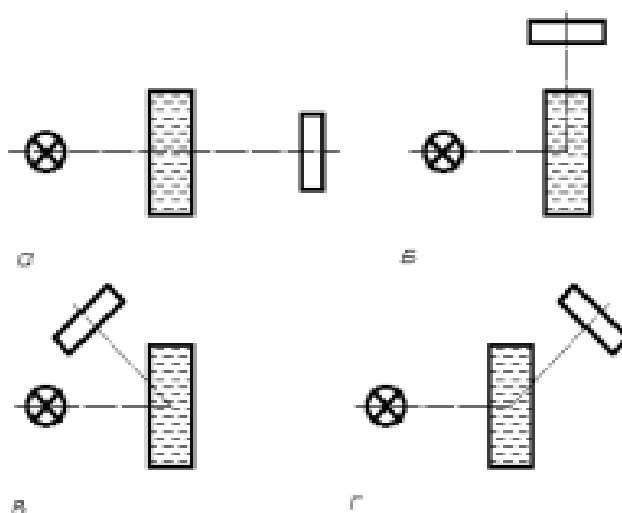


Рис. 2. Типы детекторов: а) турбидиметрический; б) нефелометрический; в) обратного рассеяния; г) прямого рассеяния

В [13] описан прибор измеряющий содержание жира и белка в пробе молока. Измеряется интенсивность излучения двух длин волн, прошедшего сквозь пробу и рассеянного под углом 90° . Одна из длин волн интенсивно поглощается жиром, вторая – белком. На основе анализа этих данных определяют содержание жира и белка. Точность определения параметров составляет $\pm 0,2\%$.

Поляриметр (рис. 3) предназначен для измерения угла поворота плоскости поляризации [14]. Поляриметры применяются в различных отраслях техники: для определения двойного лучепреломления, остаточных внутренних напряжений, толщин, в поляризационных микроскопах.

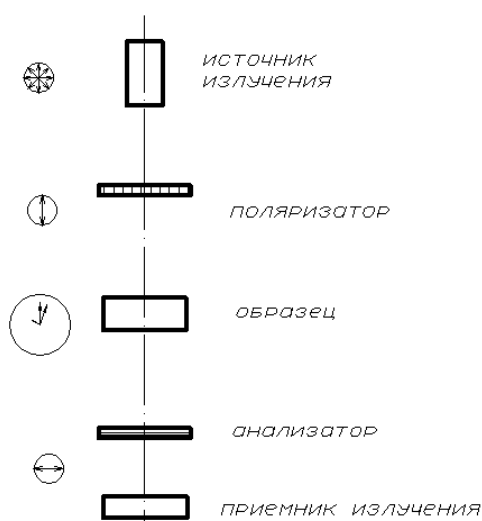


Рис. 3. Схема поляриметра

Излучение от источника проходит через поляризатор и становится линейно поляризованным. При прохождении излучения сквозь образец, обладающий оптической активностью, происходит вращение вектора поляризации.

Это излучение только частично пропускается анализатором. По тому, какая часть излучения пропущена, судят о содержании в образце оптически активных веществ. Из компонентов молока на состояние поляризации влияют лактоза, белки.

Серийно выпускается целый ряд подобных приборов, например, поляриметр круговой СМ-3, поляриметр портативный П161-М. Но большинство из них не адаптированы для молочной промышленности.

Метод анализа, основанный на измерении интенсивности флуоресценции, называется флуориметрией. Флуоресценция обусловлена поглощением веществом света определенной длины волны. Поглощение ультрафиолетового света определенными молекулами с легковозбуждаемыми электронами приводит к флуоресценции в видимой спектральной флуоресценции области.

Флуоресценция свойственна относительно небольшому числу соединений (прежде всего ароматическим соединениям и порфиринам). Ряд соединений можно перевести во флуоресцирующие, введя в молекулу флуоресцирующую группу, т. е. флуорофор (люминофор). Основным преимуществом флуориметрии по сравнению с другими абсорбционными методами является высокая селективность, так как флуоресценцией обладает значительно меньшее число веществ. Флуориметрия обладает крайне высокой чувствительностью. Предел обнаружения метода составляет 10^{-8} %. Приборы для реализации флуоресцентного метода анализа могут быть портативными, что делает его пригодным для экспресс-анализа.

Однако имеется ряд факторов, затрудняющих проведение измерений и интерпретацию результатов флуоресцентного анализа в биологических средах. Одним из главных недостатков флуоресцентного метода для определения массовой доли жира в молоке является необходимость применения химических реактивов для проведения измерений. Имеется ряд других затруднений, свойственных флуоресцентным измерениям любой биологической среды. Это перекрытие спектров флуоресценции от различных веществ, влияние на интенсивность флуоресценции температуры, уровня кислотности, свойств растворителя и примесей, явление тушения флуоресценции при повышении концентрации люминофора и мутности пробы. В настоящее время отсутствует аппаратная база, позволяющая преодолеть эти трудности. Поэтому флуоресцентный метод контроля массовой доли жира пока не получил применения. Большинство флуоресцентных приборов для молочной промышленности предназначено для определения бактериальной

обсемененности и измерения массовой доли СОМО («Фоссоматик 180/215» фирмы (Foss-Electric, Дания), Anadis Anadis фирмы Instruments (Франция)) [15].

Рефрактометрический анализ основан на зависимости показателя преломления молока от содержания в нем белка. Показатель преломления оценивается по изменению угла полного внутреннего отражения света в оптической призме, находящейся в контакте с жидкостью (рис. 4).

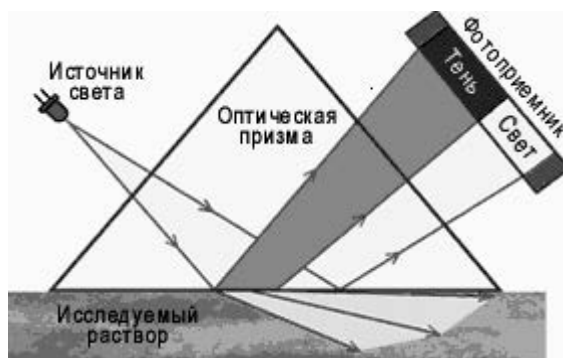


Рис. 4. Схема рефрактометра

На показатель преломления обезжиренного молока влияет вода и составные части обезжиренного остатка молока (лактозы, казеина, сывороточных белков, солей, небелковых азотистых соединений и пр.). Поэтому по величине показателя преломления молока и молочной сыворотки с помощью специальных рефрактометров можно контролировать содержание в молоке СОМО, белков, лактозы. Например, количество белков определяют по разности между показателями преломления исследуемого молока и его сыворотке после осаждения белков химическими реагентами при кипячении, а содержание СОМО по разности между показателями преломления молока и дистиллированной воды [16].

В качестве примера прибора, реализующего данный метод, можно привести молочный рефрактометр ИРФ-464. Он служит для определения процентного содержания белка в молоке по разности показаний для молока и сыворотки по шкале «белок», а также других нежировых компонентов молока и жидких молочных продуктов. Измерения производятся с точностью 0,1 %.

Выводы

Основные недостатки применяемых в настоящее время аналитических методов контроля качества молока – это их сложность, большая длительность измерения, высокие требования к квалификации персонала. Их выполнение возможно только в

специализированной лаборатории, что связано с финансовыми и временными затратами. Оптико-электронные методы анализа молока выгодно отличаются малым временем анализа, возможностью проведения экспресс-анализа и полной автоматизации измерений. Оснащение предприятий оптико-электронными приборами контроля качества позволило бы производить экспресс-контроль параметров продукта без финансовых и временных затрат, связанных с доставкой в аналитическую лабораторию.

Отсутствие в настоящее время приборов экспресс-анализа состава полидисперсных сред связано в первую очередь с тем, что необходимость в них появилась недавно. В СССР контроль качества продуктов проводился лабораторных условиях. В настоящее время организация лабораторий и закупка дорогостоящего оборудования для большинства организаций недоступна по экономическим соображениям. Поэтому актуальна разработка экспресс - приборов, ориентированных на применение на небольших предприятиях, таких как молочные фермы, пункты приема молока, организации общественного питания, а также для индивидуального использования.

Современные приборы лабораторного класса направлены на анализ большого набора компонентов, что не всегда нужно на малых предприятиях. Кроме того, это стремление к созданию универсального прибора ведет к усложнению конструкции и некоторому снижению точности измерений. В то же время из приведенного выше обзора видно, в различных веществах разные оптические свойства выражены в разной степени. Поэтому предпочтительно определять их состав различными методами. В частности, как следует из приведенного выше обзора для определения содержания жиров в большей степени подходят нефелометрия и спектральный анализ, белков – рефрактометрия и флуоресценция, лактозы – поляризационный метод. Разработка таких методов, а также оборудования для их реализации позволит повысить точность определения параметров молока, сделать подобный анализ доступным для большинства потребителей, заинтересованных в контроле качества молочных продуктов.

Это подход может быть применен для определения состава и свойств различных многокомпонентных сред, таких как различные виды топлива, лекарственных веществ, продуктов питания, воды.

Список литературы

1. ГОСТ 52054-2003. Молоко натуральное коровье - сырье. Технические условия. Стандартиформ. М., 2008. 9 с.
2. Подлегаева Т.В., Просеков А.Ю. Методы исследования свойств сырья и продуктов питания. Кемерово, 2004. 102 с.

3. ГОСТ 27930-88. Молоко и молочные продукты. Биокалориметрический метод определения общего количества бактерий. Стандартиформ. М., 2009. 5 с.
4. ГОСТ 51471-99. Жир молочный. Метод обнаружения растительных жиров газофазной хроматографией стерильных. Госстандарт России. М, 2008 г. 9 с.
5. ГОСТ Р 52415-2005. Молоко натуральное коровье - сырье. Люминесцентный метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Стандартиформ. М, 2006 г. 13 с.
6. ГОСТ 23327-98. Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск, 1999 г. 11 с.
7. ГОСТ 5867-90 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. Стандартиформ, 2006 г. 15 с.
8. Брусиловский Л.П., Вайнберг А.Я., Тоншев Ю. В. Новые приборы автоматического контроля состава и качества молока и молочных продуктов. М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1983. 55 с.
9. Акопян В.Б., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с веществом. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 223 с.
10. Пантелеев В.Г., Егорова О.В., Клыкова Е.И. Компьютерная микроскопия. М.: Техносфера, 2005. 303 с.
11. Шмидт В. «Оптическая спектроскопия для химиков и биологов». М.: Техносфера, 2007. 363 с.
12. Зинченко В., Богомолов В. БИК-анализ в определении качества // Комбикорма. 2002. № 6.
13. Курочкин И.Е., Коротаева М.А., Пырикова С.И., Шиганов И.Н., Григорьянц А.Г. Лазерный экспресс-анализ состава жидких сред // Технологии машиностроения. 2011 г., № 11, с. 62 – 65.
14. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
15. Г.Н, Крусь, А.М. Шалыгина, Э.В, Волокитина Методы исследования молока и молочных продуктов М.: Колос, 2000. 367 с.
16. ГОСТ 25179-90 Молоко. Методы определения белка. Стандартиформ. М, 1991 г.

Instrumental methods of control over content and properties of polydisperse medium

77-30569/319511

02, February 2012

Grigor'yanc A.G., Korotaeva M.A., Alehnovich V.I., Shiganov I.N.

Bauman Moscow State Technical University

Marya.Korotaeva@yandex.ru

mt12@bmstu.ru

Different methods of quality control of multicomponent mediums were reviewed in this article by the example of cow's milk. Chemical, biological and instrumental methods were considered. Brief theoretical information, required equipment, achieved precision, advantages and disadvantages, ability of quantitative measurement of main components of the product were included. Particular attention was paid to optical – electronic methods as to the most promising for quality control both in laboratory and field conditions. Their application for determination of product's components in various enterprises was considered. The development of new methods of analysis of the content of polydisperse mediums was planned on the basis of conducted survey.

Publications with keywords: [quality control](#), [spectral analysis](#), [polydisperse liquid](#), [milk](#), [opto-electronic analysis](#), [refractometry](#)

Publications with words: [quality control](#), [spectral analysis](#), [polydisperse liquid](#), [milk](#), [opto-electronic analysis](#), [refractometry](#)

Reference

1. Brusilovskii L.P., Vainberg A.Ia., Tonshev Iu.V., New devices for automatic control of composition and quality of milk and milk products, Moscow, TsNIITEImiasomolprom, 1983, 55 p.
2. Akopian V.B., Ershov Iu.A., Fundamentals of the interaction of ultrasound with matter, Moscow, Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana - BMSTU Press, 2005, 223 p.
3. Pantelev V.G., Egorova O.V., Klykova E.I., Computer microscopy, Moscow, Tekhnosfera, 2005, 303 p.
4. Shmidt V., Optical spectroscopy for chemists and biologists, Moscow, Tekhnosfera, 2007, 363 p.

5. Zinchenko V., Bogomolov V., The analysis in the near infrared region in determining the quality, *Kombikorma* 6 (2002).
6. Kurochkin I.E., Korotaeva M.A., Pyrikova S.I., Shiganov I.N., Grigor'iants A.G., Laser rapid analysis of liquids, *Tekhnologii mashinostroeniia* 11 (2011) 62 – 65.
7. Born M., Vol'f E., Fundamentals of optics, Moscow, Nauka, 1973, 720 p.
8. G.N. Krus', A.M. Shalygina, E.V. Volokitina, Methods of investigation of milk and milk products, Moscow, Kolos, 2000, 367 p.