

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Обзорная статья
УДК 006.91:641.14

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-1-59-84>



Актуальные вопросы определения содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье (обзор)

А. С. Сергеева  

УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», г. Екатеринбург, Россия

 sergeevaas@uniim.ru

Аннотация: В статье поднята проблема несопоставимости результатов измерений, получаемых различными методами измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье. Обозначенная автором проблема может быть решена путем развития метрологического обеспечения измерений в пищевой промышленности. Цель исследования – проведение анализа методов измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье, а также ревизия состояния их метрологического обеспечения. Представлены краткое описание, области применения, преимущества и ограничения экстракционно-гравиметрического, бутирометрического, рефрактометрического, хроматографического, ультразвукового, турбидиметрического, ЯМР, ИК-спектроскопического методов измерений содержания жира. Проанализированы стандартизованные методики измерений, регламентированные в национальных (ГОСТ Р), межгосударственных (ГОСТ) и международных (ISO, AOAC) стандартах, с учетом используемого метода, областей применения и метрологических характеристик. Дан обзор испытательного оборудования, средств измерений для реализации различных методов определения содержания жира. Особое внимание уделено рассмотрению утвержденных типов экспрессных анализаторов пищевых продуктов и продовольственного сырья. Приведен перечень утвержденных типов стандартных образцов состава молочных и зерно-молочных продуктов, рыбной и мясной продукции, масличных культур и продуктов их переработки, комбикормов, яичного порошка и сухарей пшеничных с аттестованным значением массовой доли жира, перечислены их метрологические характеристики и способы аттестации. По результатам исследования сформулированы основные особенности и проблемы обеспечения единства измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье, выявлены перспективные направления развития метрологического обеспечения.

Ключевые слова: пищевые продукты, продовольственное сырье, содержание жира, масличность, методики измерений, стандартные образцы

Принятые сокращения: ГПРМИ – Государственная первичная референтная методика измерений; ГСО – стандартный образец утвержденного типа; ИК спектроскопия – инфракрасная спектроскопия; СО – стандартный образец; ФИФ ОЕИ – Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений; ЯМР – ядерный магнитный резонанс.

Ссылка при цитировании: Сергеева А. С. Актуальные вопросы определения содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье (обзор) // Эталоны. Стандартные образцы. 2024. Т. 20, № 1. С. 59–84. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-1-59-84>.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 09.10.2023; принята к публикации 25.03.2024.

MODERN METHODS OF ANALYSIS OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Review Article

Current Issues in Determining Fat Content in Food Products and Food Raw Materials (Review)

Anna S. Sergeeva  

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology, Yekaterinburg, Russia
 sergeevaas@uniim.ru

Abstract: The article raises the problem of incomparability of measurement results obtained by different methods of measuring fat content in food products and food raw materials. The problem identified by the author can be solved by developing metrological support for measurements in the food industry. The purpose of the study is to analyze methods for measuring fat content in food products and food raw materials, as well as to revise the state of their metrological support. A brief description, applications, advantages and limitations of extraction-gravimetric, butyrometric, refractometric, chromatographic, ultrasonic, turbidimetric, NMR, and IR spectroscopic methods for measuring fat content are presented. Standardized measurement techniques regulated in national (GOST R), interstate (GOST), and international (ISO, AOAC) standards are analyzed, taking into account the method used, areas of application, and metrological characteristics. An overview of testing equipment and measuring instruments for implementing various methods for determining fat content is given. Particular attention is paid to the consideration of certified express analyzers of food products and food raw materials. A list of certified reference materials for the composition of dairy and grain-milk products, fish and meat products, oilseeds and their processed products, compound feed, egg powder and wheat crackers with a certified value of the mass fraction of fat is provided, their metrological characteristics and certification methods are listed. Based on the results of the study, the main features and problems of ensuring the uniformity of measurements of fat content in food products and food raw materials were formulated, and perspective directions for the development of metrological support were identified.

Keywords: food products, food raw materials, fat content, oil content, measurement methods, reference materials

Abbreviations used: SPRMP – State primary reference measurement procedure; GSO – certified reference material; IR spectroscopy – infrared spectroscopy; RM – reference material; FIF EUM – Federal Information Fund for Ensuring the Uniformity of Measurements; NMR – nuclear magnetic resonance.

For citation: Sergeeva A. S. Current issues in determining fat content in food products and food raw materials (review). *Measurement Standards. Reference Materials*. 2024;20(1):59–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-1-59-84>.

The article was submitted 10.07.2023; approved after reviewing 09.10.2023; accepted for publication 25.03.2024.

Введение

Одним из важнейших показателей качества пищевой продукции, определяющим ее пищевую ценность и вкусовые характеристики, является содержание жира. Вместе с белками и углеводами жиры составляют основную массу органических веществ всех живых организмов. В организме человека они выполняют энергетическую, структурную, регуляторную функции, являются

источником синтеза биологически активных веществ, стимулируют образование желчи [1].

Жиры (или липиды) представляют собой сложную смесь органических соединений, разнообразных по химическому составу и структуре, но имеющих ряд близких физико-химических свойств: нерастворимость в воде, способность растворяться в различных органических растворителях, высокий молекулярный вес основных

структурных элементов. Из широкого перечня систем классификации жиров наиболее часто используют разделение жиров по химическому составу и структуре на простые (не содержащие фосфор и азот) и сложные (содержащие фосфор и азот). Ряд исследователей обособляет группу циклических липидов, характеризующихся циклической структурой спиртов или кислот. По химической природе выделяют следующие основные группы жиров: триглицериды, фосфолипиды, алкоксидиглицериды, воски, цереброзиды, нейтральные плазмалогены, углеводороды, стерины и стериды, витамины, каротиноиды и другие. При этом пищевые продукты во всем их многообразии невозможно охарактеризовать однозначным сочетанием и пропорциями соединений, входящих в состав их жира [2–6].

Взаимная растворимость жиров приводит к тому, что глицериды жирных кислот при извлечении из тканей путем прессования, вытапливания или экстракции органическими растворителями увлекают за собой в зависимости от условий большее или меньшее количество различных веществ: свободные жирные кислоты, органические кислоты, такие как янтарная, винная, лимонная, яблочная; фосфатиды, стерины, эфирные масла, воскообразные вещества, смолы, альдегиды, кетоны, красящие вещества. Прочносвязанные липиды при этом не экстрагируются. Как следствие, извлекаемый растворителями продукт не представляет собой чистый жир, поэтому и называется **сырым жиром**. Данный показатель не применяется для продуктов, богатых фосфолипидами, прочносвязанными в клетках. Однако он пригоден для продуктов с преобладающим содержанием

триглицеридов – масляных семян. В этом случае употребляется термин «масличность» [7, 8]. Массовая доля сырого жира является также важным показателем качества кормов и кормовых компонентов [8–11], зерна зерновых и зернобобовых культур [12–14], сырья для производства продуктов питания детей раннего возраста, беременных и кормящих женщин, диетического лечебного и диетического профилактического питания [15].

Общий жир дополнительно включает прочносвязанные липиды, извлечение которых затруднено либо плотными, толстыми оболочками некоторых семян или плодов, либо стенками клеток самих жировых тканей. Поэтому определение содержания общего жира (далее – жира) требует (а) использования для экстракции смеси различных растворителей, или (б) проведения стадии предварительного гидролиза, или (в) комбинации указанных способов [16, 17]. Итак, под **общим жиром** понимается сумма экстрагированных как свободных, так и прочносвязанных липидов.

При определении содержания жира в пищевых продуктах целевым значением является содержание общего жира, поскольку именно его регулируют технические регламенты Таможенного и Евразийского экономического союзов для ряда пищевых продуктов, представленных в табл. 1. Кроме того, содержание жира указывается при маркировке всей пищевой продукции в соответствии с ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» и используется для расчета ее энергетической ценности.

Существует обширный перечень методов измерений содержания жира, основанных на различных

Таблица 1. Пищевая продукция, для которой установлены обязательные требования к содержанию жира
Table 1. Food products for which mandatory requirements for fat content have been established

Технический регламент	Пищевая продукция
ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции	Шоколад молочный, шоколад экстрамолочный, какао-порошок и какао-жмых, какао-порошок обезжиренное, какао-порошок и какао-жмых повышенной жирности
ТР ТС 024/2011 Технический регламент на масложировую продукцию	Масло растительное, маргарин, спред, смеси топленые, жиры специального назначения, заменитель молочного жира, эквиваленты масла какао, улучшители и заменители масла какао, соус на основе растительных масел, майонез, соус майонезный, крем на растительных маслах
ТР ТС 027/2012 О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания	Пищевая продукция низколактозная (безлактозная) для детей первого года жизни, низколактозная продукция переработки молока для детей раннего возраста, смеси на основе изолята соевого белка и смеси на основе гидролизатов белка для детей раннего возраста, смеси без фенилаланина (с низким содержанием фенилаланина) для детей первого года жизни, смеси для питания недоношенных и (или) маловесных детей

Окончание табл. 1
End of Table 1

Технический регламент	Пищевая продукция
ТР ТС 033/2013 О безопасности молока и молочной продукции	Молоко и все группы молочной продукции, в том числе для детского питания
ТР ТС 034/2013 О безопасности мяса и мясной продукции	Мясные, мясорастительные (растительно-мясные) консервы для питания детей раннего возраста, пастеризованные мясные (мясосодержащие) колбаски для питания детей от полутора лет, мясные консервы, колбасные изделия, мясные полуфабрикаты, паштеты и кулинарные изделия для питания детей дошкольного и школьного возраста
ТР ЕАЭС 040/2016 О безопасности рыбы и рыбной продукции	Рыбные, рыбо-растительные консервы для питания детей раннего возраста, полуфабрикаты и кулинарные изделия из пищевой рыбной продукции для питания детей дошкольного и школьного возраста
ТР ЕАЭС 051/2021 О безопасности мяса птицы и продукции его переработки	Консервы из мяса птицы, мясорастительные (растительно-мясные) консервы из мяса птицы для питания детей раннего возраста, пастеризованные мясные (мясосодержащие) колбаски для питания детей с полутора лет, консервы, колбасные изделия, паштеты и другие кулинарные изделия из мяса птицы для питания детей старше 3 лет

физико-химических принципах. Однако часто результаты измерений, получаемые разными методами, являются несопоставимыми друг с другом [18–27], что главным образом обусловлено отсутствием прослеживаемости результатов измерений к определенной основе для сравнения, согласованной на национальном или международном уровне. Данная проблема может быть решена путем развития системы метрологического обеспечения в области измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье.

Вышеперечисленные доводы обуславливают актуальность настоящей статьи и ее цель – проведение анализа методов измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье и состояния их метрологического обеспечения. Достижение поставленной цели предполагает реализацию следующих задач: 1) анализ существующих методов измерений содержания жира, выявление их преимуществ и ограничений; 2) рассмотрение методик измерений, регламентированных в национальных, межгосударственных и международных стандартах; 3) обзор средств измерений, испытательного оборудования, стандартных образцов (СО); 4) выявление перспективных направлений развития метрологического обеспечения в области измерений содержания жира в пищевой продукции.

Анализ существующих методов измерений содержания жира проведен на основе изучения научной литературы, обзорных и оригинальных статей, размещенных

в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU (<https://elibrary.ru>) и международных базах данных (<https://link.springer.com>, www.sciencedirect.com). При обзоре стандартизованных методик измерений использована информация, представленная на сайтах Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский институт стандартизации» (<https://www.standards.ru>), Международной организации по стандартизации (ISO – International Organization for Standardization, <https://www.iso.org>), Ассоциации аналитических сообществ (AOAC International – Association of Analytical Communities, <https://www.aoac.org>). При обзоре утвержденных типов средств измерений и СО использована база данных «Аршин» (<https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry>).

Методы измерений содержания жира

Массив методов определения содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье можно разделить на две группы: 1) методы определения массовой доли жира непосредственно в объекте; 2) методы, связанные с предварительным извлечением жира [28]. К первой группе относятся такие методы, как ядерный магнитный резонанс (ЯМР), инфракрасная (ИК) спектроскопия, турбидиметрия, ультразвук и др. В основу второй группы методов положена способность липидов растворяться в органических растворителях: сначала жир переводят в органическую фазу, затем определяют его количество в экстракте гравиметрическим

или другим способом, например, – бутирометрией, рефрактометрией, хроматографией.

Экстракционно-гравиметрическое определение жира основано на экстракции жира органическим растворителем из навески продукта с последующим удалением растворителя и взвешиванием массы выделенного жира или обезжиренного остатка. Существуют различные модификации гравиметрических методов измерений содержания жира: методы Сокслета, Рэндалла, Розе-Готтлиба, Вейбулла-Бернтропа, Шмидта-Бондзински-Рацлава, Фолча, Блайема и Дайера, Можонье, определение жира по обезжиренному остатку, использование фильтрующей делительной воронки, настаивание с растворителем и др. [5, 29–36]. Определяя содержание общего жира, либо используют для экстракции смесь полярного и неполярного растворителей, либо проводят предварительный гидролиз (кислотный, щелочной или кислотно-щелочной). При использовании гидролиза, не позволяющего выделить липиды в нативном состоянии, об их содержании в пищевых продуктах судят по количеству жирных кислот и неомыляемых веществ, выделяемых из гидролизата [16]. К растворителям, применяемым для извлечения жира, относятся гексан, бензин, петролейный эфир, серный эфир, ацетон, хлороформ, монобром- и моноклорнафталин, трикрезилортофосфат и др. [37, 38]. Наиболее перспективным гравиметрическим методом определения содержания жира является метод Рэндалла [30], разработанный путем модификации широко применяемой техники экстракции по Сокслету [29]. Различие между ними заключается в том, что первоначально экстракцию проводят горячим растворителем, что позволяет значительно сократить время анализа. Далее, как в классическом методе Сокслета, отмывают остатки жира из пробы охлажденным растворителем. Преимуществами метода Рэндалла являются сопоставимость получаемых результатов с классическим методом Сокслета, универсальность, сокращение времени анализа, возможность повторного использования растворителя, автоматизация процесса экстракции, позволяющая проводить одновременный анализ серии образцов [39]. Превосходство экстракционно-гравиметрических методов – в отсутствии градуировки, поскольку они относятся к прямым методам, полностью описываемым с помощью уравнения измерений. Вместе с тем следует отметить, что результаты, получаемые разными методами, могут содержать значительные расхождения. На полноту экстракции и, следовательно, – состав извлекаемого жира влияет совокупность факторов: свойства растворителей, температура, продолжительность процесса, степень измельчения

пробы и т. д., поэтому они должны быть оптимизированы в процессе разработки и валидации методики измерений [22–25, 40].

Бутирометрический метод (кислотный метод, метод Гербера) основан на разрушении белков исследуемого продукта концентрированной серной кислотой и растворении жира в изоамиловом спирте. Образующийся в реакции изоамилового спирта с серной кислотой сложный эфир растворяется в ней, что способствует выделению жира. Полученную смесь центрифугируют в жиросемерах (бутирометрах). Отделившийся жировой слой собирается в градуированной части жиросемера, и его определяют количественно. Преимуществами данного метода являются отсутствие необходимости в длительной калибровке измерительного оборудования, низкая стоимость анализа отдельных проб, применимость для различных видов молочных продуктов. К ограничениям относится необходимость использования серной кислоты, узкая область применения, обязательный контроль результатов измерений гравиметрическими методами [41–46].

При реализации **рефрактометрического метода** навеску продукта обрабатывают растворителем с высоким коэффициентом преломления (бромнафталин, хлорнафталин, трикрезилортофосфат и др.) для извлечения из нее жира. Смесь фильтруют, фильтрат наносят на призму рефрактометра и определяют коэффициент преломления раствора жира в растворителе. По разности между коэффициентом преломления чистого растворителя и раствора жира определяют массовую долю последнего. К преимуществам данного метода относятся быстрота и высокая воспроизводимость результатов измерений. Ограничением является резкий запах применяемых растворителей, зависимость показателя преломления от температуры, использование эмпирических таблиц [47–50].

Преимуществом **хроматографических** методов является возможность определения жирнокислотного состава. Для анализа методом газожидкостной хроматографии используют не сами жирные кислоты, а их производные – метиловые (этиловые) эфиры. Это позволяет обеспечить высокую эффективность разделения при сравнительно низких температурах (до 300 °С) и сократить время анализа [51, 52]. Однако при проведении хроматографического разделения возможна существенная потеря веществ на отдельных этапах. По этой причине необходимо проводить сопоставление результатов измерений содержания индивидуальных соединений с суммарным содержанием жира, определенным гравиметрическими методами [17, 53–56]. На результат измерений

оказывают влияние характеристики хроматографа, колонок и детектора, техника обработки хроматограмм, используемый метод количественной оценки [57–59].

Метод ЯМР основан на измерении амплитуд сигналов свободной прецессии и спинового эха, времени спин-спиновой релаксации протонов молекул жира в исследуемой пробе. Главным преимуществом ЯМР является возможность преобразования и видоизменения ядерного спинового гамильтониана по воле экспериментатора практически без каких-либо ограничений и подгонки его под специальные требования решаемой задачи, что позволяет проводить подробный анализ ЯМР-спектра [60]. К преимуществам метода ЯМР относят также неразрушающий характер измерений, быстроту проведения анализа, отсутствие токсичных химических реактивов, простоту либо отсутствие пробоподготовки, высокую воспроизводимость результатов, возможность определения как суммарного содержания жира, так и содержания характеристических кислот (олеиновой, линоленовой, эруковой), а также кислотного числа растительных масел, влажности анализируемой пробы [61–67]. Ограничениями являются зависимость выходного сигнала от химического состава образца, его температуры и аппаратурных факторов, относительно низкая чувствительность по сравнению с другими методами [68, 69].

При применении **ИК спектроскопии** для измерений массовой доли жира используют характерную полосу поглощения 1725 нм, принадлежащую углерод-водородным связям в группах C-H -углеродных цепей жирных кислот (первый обертона). Кроме максимумов при 1734 и 1765 нм, жиры и масла дают очень характерные полосы поглощения с максимумами около 2310 и 2345 нм, соответствующие составным частотам углеродородных связей. Жиры и масла также имеют более слабые полосы поглощения около 1200 (второй обертона), 2140 и 2190 нм (комбинационные частоты) и несколько полос поглощения в коротковолновой части ближней ИК области, которая используется обычно при измерении пропускания (третьи обертоны) [70–72]. В последнее время наибольшее применение получил метод ИК Фурье-спектроскопии [73–75]. Спектры исследуемых веществ получают в результате обратного быстрого Фурье-преобразования интерферограммы прошедшего (или отраженного) через образец излучения. Этот метод дает значительный выигрыш в фотометрической точности и точности отсчета длины волны. К основным преимуществам метода можно отнести неразрушающий характер анализа, оперативность (обычно время анализа не превышает 3 минут), простота пробоподготовки или ее отсутствие, легкость

процесса выполнения измерений, отсутствие необходимости использования дорогостоящих реактивов и расходных материалов, возможность одновременного определения нескольких показателей, в том числе – содержания характеристических кислот в семенах масличных культур [76–78]. Ограничением ИК спектроскопии является необходимость проведения градуировки с использованием большого набора образцов, а также влияние матрицы [79–82].

Ультразвуковой метод основан на измерении скорости распространения, степени поглощения или рассеивания ультразвука в продукте, которые зависят от содержания жира [83–88]. Эта зависимость более резко выражена при температуре 50 °С. В некоторых ультразвуковых анализаторах определение скорости ультразвука проводится при температуре 61 °С, которая превышает температуру плавления молочного жира. Благодаря этому уменьшается погрешность измерений содержания жира за счет устранения помех, связанных с затвердеванием и кристаллизацией жира. Однако в этом случае несколько усложняется схема вычислительного устройства ультразвукового анализатора [83]. Преимущества и ограничения ультразвукового метода такие же, как у ИК спектроскопии [85, 89].

Турбидиметрический метод основан на фотометрическом измерении степени ослабления лучистого потока светорассеяния слоем жировых шариков анализируемой пробы. Преимуществами метода являются сокращение времени анализа по сравнению с гравиметрическими методами, высокая прецизионность. К ограничениям относятся узкая область применения (главным образом сырое и питьевое молоко), использование растворителя, необходимость тщательной гомогенизации и проведения градуировки [90–93]. В настоящее время развитие данного метода связано с применением современных программ обработки изображений [94].

Расчетный метод основан на расчете массовой доли жира по разности «100 минус сумма массовых долей сухого обезжиренного остатка, влаги и летучих веществ» или «100 минус сумма массовых долей влаги и летучих веществ». Применяется при анализе продукции с большим содержанием жира [95].

Стандартизованные методики измерений содержания жира

В Российской Федерации по состоянию на 10.06.2023 действуют 78 стандартизованных методик измерений содержания жира (сырого жира, масличности) в пищевых продуктах и продовольственном сырье, регламентированных в национальных и межгосударственных

стандартах. Стандарты ISO¹ и AOAC² описывают соответственно 30 и 38 методик измерений. Распределение стандартизованных методик в зависимости от используемого метода измерений представлено на рис. 1. Дополнительно на рис. 2 проиллюстрировано распределение стандартизованных методик в зависимости от применяемой модификации гравиметрического метода измерений.

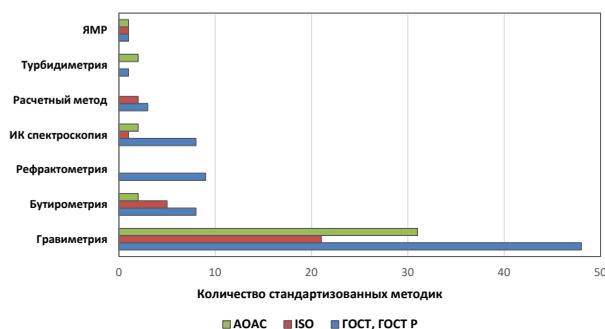


Рис. 1. Распределение стандартизованных методик в зависимости от используемого метода измерений (по состоянию на 10.06.2023)

Fig. 1. Distribution of standardized methods depending on the measurement method used (as of 10.06.2023)

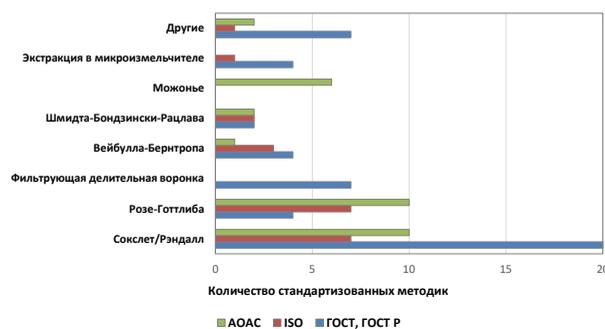


Рис. 2. Распределение стандартизованных методик в зависимости от применяемой модификации гравиметрического метода измерений (по состоянию на 10.06.2023)

Fig. 2. Distribution of standardized methods depending on the applied modification of the gravimetric measurement method (as of 10.06.2023)

Как видно из рис. 1, наибольшее распространение получили методики определения содержания жира, основанные на экстракционно-гравиметрическом методе. В Российской Федерации они составляют более 61 % от общего количества стандартизованных методик.

¹ ISO – International Organization for Standardization, <https://www.iso.org>

² AOAC International – Association of Analytical Communities, <https://www.aoac.org>

Широкое применение также получили методики, основанные на бутирометрическом (более 10 % от общего количества методик) методе и ИК спектроскопии (более 10 %). Среди гравиметрических методик почти половина методик основана на методе Сокслета и его модификации – методе Рэндалла (рис. 2). В стандартах ISO и AOAC также преобладают методики, основанные на применении экстракционно-гравиметрического метода. Их доля для стандартов ISO составляет 70 %, для стандартов AOAC – около 82 %. При этом большинство экстракционно-гравиметрических методик основано на применении методов Сокслета/Рэндалла и Розе-Готтлиба.

Метрологические характеристики стандартизованных методик измерений массовой доли жира (сырого жира, масличности) в пищевых продуктах и продовольственном сырье, регламентированных в национальных и межгосударственных стандартах, представлены в табл. 2.

Как указано в табл. 2, значения абсолютной погрешности результатов измерений в соответствии со стандартизованными методиками измерений (как правило, без учета систематической составляющей), действующими в Российской Федерации, варьируются в широком диапазоне – от 0,005 % (для хлебобулочных изделий) до 6,4 % (для мясных продуктов) – в зависимости от продукта и содержания в нем жиров. Методики измерений, основанные на экстракционно-гравиметрическом методе, применяют для всех групп пищевой продукции в качестве арбитражных методов. Значения абсолютной погрешности результатов измерений составляют от 0,005 до 5,00 %. Бутирометрический метод стандартизован для определения содержания жира в молоке и молочных продуктах, хлебобулочных изделиях, полуфабрикатах. Пределы повторяемости и воспроизводимости в абсолютной форме составляют (0,02–1,5) и (0,05–2,3) % соответственно. Рефрактометрические стандартизованные методики измерений распространяются на рыбу и рыбную продукцию, хлебобулочные, кондитерские изделия, семена масличных культур и продукты их переработки, плодовоовощную продукцию, пищевые концентраты и полуфабрикаты. Абсолютные значения пределов повторяемости для рефрактометрических методик варьируются от 0,03 до 1,5 %. ИК спектрометрия используется для мясных, рыбных, молочных продуктов, хлебобулочных изделий, семян масличных культур и продуктов их переработки, кормов. Относительная погрешность получаемых результатов колеблется в широком диапазоне от 1 до 70 % в зависимости от анализируемого продукта. Стандартизованная методика на основе турбидиметрического метода распространяется на молочные

Таблица 2. Метрологические характеристики стандартизованных методик измерений массовой доли жира (сырого жира, масличности) в пищевых продуктах и продовольственном сырье
 Table 2. Metrological characteristics of standardized methods for measuring the mass fraction of fat (crude fat, oil content) in food products and food raw materials

Нормативный документ	Метод измерений	Метрологические характеристики, %			
		Диапазон измерений	<i>r</i>	<i>R</i>	±Δ
Мясо и мясная продукция, мясо птицы и продукция его переработки					
ГОСТ 23042–2015	Сокслет	0,2–50,0	0,02–2,50	0,05–5,00	0,03–4,00
	Фильтрующая делительная воронка	0,2–50,0	0,03–4,00	0,06–7,50	0,04–5,00
ГОСТ 26183–84	Сокслет	-	0,5–1,0	-	-
ГОСТ 34567–2019	ИК спектроскопия	0,4–80,0	0,02–2,00	0,04–4,00	0,06–6,40
Яйца и продукты их переработки					
ГОСТ 31469–2012	Сокслет	от 3	0,5–1,0	1,1–2,0	0,8–1,4
	Фильтрующая делительная воронка	от 5	0,7–1,0	1,4–2,0	1,1–1,4
Молоко и молочные продукты					
ГОСТ ISO 1736–2014	Розе-Готтлиба	от 40	0,1–0,2	0,2–0,3	-
ГОСТ Р ИСО 2446–2011	Бутирометрия	-	-	-	-
ГОСТ 5867–2023	Бутирометрия	0–100	0,02–1,50	0,04–2,30	0,03–1,60
	Шмидта-Бондзински-Рацлава	1–40	0,20	0,32	0,24
ГОСТ 22760–77	Розе-Готтлиба	0,5–30,0	0,02–0,20	-	0,03–0,30
ГОСТ 29247–91	Бутирометрия	-	-	-	0,1–1,6
ГОСТ 30648.1–99	Бутирометрия	-	0,10–0,50	0,14–1,00	0,07–0,50
	Розе-Готтлиба	0,5–30,0	0,02–0,15	0,06–0,50	0,03–0,25
ГОСТ 32255–2013	ИК спектроскопия	0,5–42,0	0,08–0,30	0,14–0,75	0,10–0,53
ГОСТ 33925–2016	Вейбулла-Бернтропа	от 0,1	0,05–0,15	0,15–0,35	0,10–0,25
ГОСТ 33926–2016	Вейбулла-Бернтропа	от 0,1	0,10–0,30	0,20–0,50	0,14–0,35
ГОСТ 34455–2018	Вейбулла-Бернтропа	от 0,1	0,05–0,15	0,07–0,28	0,05–0,25
ГОСТ Р 51452–99	Розе-Готтлиба	-	0,02–0,15	0,05–0,30	0,03–0,20
ГОСТ Р 51457–99	Шмидта-Бондзински-Рацлава	-	0,15–0,20	0,40–0,50	0,25–0,30
ГОСТ Р 55063–2012	Бутирометрия	7,0–39,0	0,7	1,1	0,8

Продолжение табл. 2
Continuation of Table 2

Нормативный документ	Метод измерений	Метрологические характеристики, %			
		Диапазон измерений	r	R	$\pm\Delta$
ГОСТ Р 55361–2012	Бутирометрия	50,0–75,0	1,2–1,5	1,9–2,3	1,3–1,6
	Расчетный	-	-	-	0,05–2,30
Рыба и рыбная продукция					
ГОСТ 7636–85	Сокслет (по извлеченному жиру)	-	0,5	-	-
	Сокслет (по обезжиренному остатку)	-	0,5	-	-
	Рефрактометрия	-	0,3	-	-
	Отгонка	-	0,3	-	-
	Фильтрующая делительная воронка	-	0,5	-	-
ГОСТ 26829–86	Сокслет	-	0,5–1,0	-	0,1
	Экстракция в микроизмельчителе	-	0,5–1,0	-	0,25
	Капельная экстракция	-	0,5–1,0	-	0,2
	Рефрактометрия	-	1,0	-	0,2
ГОСТ 31795–2012	ИК спектроскопия	2,0–30,0	0,6–1,3	1,1–2,5	-
Зерно, мукомольно-крупяная продукция					
ГОСТ 27670–88	Фильтрующая делительная воронка	-	0,4	0,7	-
ГОСТ 29033–91	Сокслет	-	$0,08 \times x - 0,02$	$0,23 \times X + 0,02$	-
ГОСТ ISO 11085–2016	Рэндалл	0,48–25,77	0,25	0,63	0,40
	Рэндалл с гидролизом	1,07–27,08	0,35	1,10	0,80
Хлебобулочные изделия					
ГОСТ 5668–2022	Экстракционно-гравиметрический	0,1–20,0	0,0045–0,9000	0,0064–1,2800	0,005–1,000
	Вейбулла-Бернтропа	0,1–20,0	0,0045–0,9000	0,0064–1,2800	0,005–1,000
	Рефрактометрия	0,5–20,0	0,032–1,260	0,045–1,780	0,03–1,26
	Бутирометрия	0,5–20,0	0,033–1,300	0,046–1,840	0,03–1,32
	ИК спектроскопия	0,5–20,0	0,029–1,160	0,041–1,640	0,03–1,20

Продолжение табл. 2
Continuation of Table 2

Нормативный документ	Метод измерений	Метрологические характеристики, %			
		Диапазон измерений	<i>r</i>	<i>R</i>	$\pm\Delta$
Кондитерские изделия					
ГОСТ 31902–2012	Экстракционно-гравиметрический	0–60	0,8	1,1	0,8
	Сокслет	0–60	0,8	1,1	0,8
	Сокслет	0–60	0,5	0,7	0,5
	Рефрактометрия	0–60	0,3	0,5	0,4
	Рефрактометрия	0–60	0,5	0,8	0,6
Масложировая продукция					
ГОСТ 32189–2013	Экстракция	от 61	0,4–0,7	0,8–1,3	0,6–0,9
	Экстракция	40–60	0,16–0,24	0,32–0,48	0,28–0,42
	Расчетный	40–85	-	0,7–1,4	0,5–1,0
	Расчетный	95–100	-	0,04	0,02
Семена масличных культур и продукты их переработки					
ГОСТ 8.597-2010	ЯМР	0,5–60,0	0,3–0,4	0,7–0,8	0,5–0,6
ГОСТ ISO 659-2017	Сокслет	19,4–45,5	0,2–0,4	1,1–1,7	-
ГОСТ ISO 734-1-2016	Сокслет	0–5	0,2–0,3	0,7–1,1	-
ГОСТ ISO 734-2-2016	Экстракция в микроизмельчителе	0–5	0,3	0,8	-
ГОСТ 10857–64	Сокслет	-	0,3–0,5	0,6–1,0	-
	Рефрактометрия	-	-	-	-
ГОСТ 13979.2–94	Экстракция в аппарате Зайченко	-	0,4	0,6	-
ГОСТ 30131–96	ИК спектроскопия	1,0–25,0	0,3–0,4	0,6–0,8	-
ГОСТ 32749–2014	ИК спектроскопия	1,0–60,0	0,3–1,4	0,6–2,8	0,4–2,0
Флодоовощная продукция					
ГОСТ 8756.21–89	Фильтрующая делительная воронка	-	0,1–1,5	-	-
	Экстракция в микроизмельчителе	-	0,1–0,7	-	-
	Рефрактометрия	-	0,2–1,5	-	-

Окончание табл. 2
End of Table 2

Нормативный документ	Метод измерений	Метрологические характеристики, %			
		Диапазон измерений	r	R	$\pm\Delta$
Концентраты пищевые, полуфабрикаты, продукция общественного питания					
ГОСТ 15113.9–77	Сокслет	-	0,5	-	-
	Фильтрующая делительная воронка	-	0,3	-	-
	Настаивание с растворителем	-	0,5	-	-
	Рефрактометрия	-	0,3	-	-
ГОСТ Р 54607.5–2015	Сокслет	-	0,5	0,7	0,5
	Экстракция в микроизмельчителе	-	0,6	1,0	0,7
	Бутирометрия	-	0,8	1,5	1,0
ГОСТ Р 54607.8–2016	Рефрактометрия	-	0,5	0,8	0,6
	Фильтрующая делительная воронка	-	0,6	1,2	0,9
Корма, комбикорма, комбикормовое сырье					
ГОСТ 13496.15–2016	Сокслет (по обезжиренному остатку)	-	$0,05 \times x + 0,34$	$0,09 \times X + 0,62$	$0,05 \times x + 0,37$
	Аппарат ЭЖ-101	-	$0,05 \times x + 0,34$	$0,09 \times X + 0,62$	$0,05 \times x + 0,37$
	Сокслет (по извлеченному жиру)	-	-	-	-
ГОСТ 32040–2012	ИК спектроскопия	-	0,3	0,6	-
ГОСТ 32905–2014	Сокслет	-	0,25	0,77	-
	Сокслет с гидролизом	-	0,50	1,20	-
ГОСТ Р 57543–2017	ИК спектроскопия	-	0,3	0,6	-

Примечание. x – среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений, %; X – среднеарифметическое значение результатов испытаний в двух лабораториях, %; r – предел повторяемости, %; R – предел воспроизводимости, %; $\pm\Delta$ – границы абсолютной погрешности при доверительной вероятности $P = 0,95$, %.

продукты. Абсолютное расхождение между двумя результатами измерений, полученных в условиях повторяемости, не должно превышать (0,02–0,05) %, предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности (без учета знака) составляет (0,06–0,10) %. Для стандартизованной методики измерений масличности семян масличных культур и продуктов их переработки методом ЯМР абсолютная погрешность получаемых результатов составляет (0,5–0,6) %.

Данные, представленные в табл. 2, демонстрируют, что у более 60 % стандартизованных методик измерений отсутствует четко установленный диапазон измерений. При этом для 27 стандартизованных методик приведена только информация о повторяемости и/или воспроизводимости получаемых результатов измерений. Для 3 методик отсутствуют сведения о диапазоне и точности измерений.

Приведенные в стандартах значения погрешности измерений в подавляющем большинстве случаев рассчитаны только с учетом прецизионности получаемых результатов без оценки систематической составляющей погрешности измерений. В частности, не учтена составляющая погрешности построения калибровочной (градуировочной) зависимости для косвенных методов измерений, таких как рефрактометрия, бутирометрия, ИК спектроскопия. В результате значения погрешности данных методов оказываются ниже, чем значения погрешности экстракционно-гравиметрических методик измерений, используемых для калибровки. Например, в ГОСТ 31902–2012 значения абсолютной погрешности измерений с использованием экстракционно-гравиметрических методик составляют (0,5–0,8) %, а рефрактометрических (0,4–0,6) %. Выявленные проблемы обуславливают необходимость проведения исследований по оцениванию метрологических характеристик для ряда стандартизованных методик измерений массовой доли жира (сырого жира, масличности) в пищевых продуктах и продовольственном сырье.

Средства измерений и испытательное оборудование

Основным оборудованием при экстракционно-гравиметрическом определении жира являются весы лабораторные и экстракторы жира различного исполнения. Классическое определение содержания жира проводится в аппарате Сокслета [29], состоящем из круглодонной колбы, горелки, насадки, обратного холодильника. В то время как на практике в испытательных лабораториях все активнее применяют автоматизированные установки, использующие различные усовершенствованные

модификации метода Сокслета – по Твиссельману, по Рэндаллу [30]. Автоматические экстракторы жира позволяют не только анализировать сразу несколько проб, но и контролировать процесс и следить за нагревом. В связи с этим применение автоматических экстракторов должно быть учтено при пересмотре существующих стандартизованных экстракционно-гравиметрических методик.

Для измерений массовой доли жира бутирометрическим методом (методом Гербера) используют жирометр (бутирометр), пипетку для отмеривания молока, дозаторы для серной кислоты и изоамилового спирта [96]. В соответствии с ГОСТ 23094–78 для определения жира в молоке и молочных продуктах выпускаются 9 типов жирометров, отличающихся друг от друга областью применения, диапазоном измерений и ценой деления шкалы. Процедура поверки жирометров представлена в ГОСТ 8.482–83. Технические требования к пипеткам для отмеривания молока изложены в ГОСТ 29169–91. Процедура проверки вместимости пипеток для молока описана в ГОСТ Р ИСО 2446–2011.

Основным оборудованием для реализации рефрактометрического метода является рефрактометр с диапазоном измерения коэффициента преломления от 1,3 до 1,7 и разрешением не ниже 0,0001, пикнометр по ГОСТ 22524–77 или ареометр по ГОСТ 18481–81, весы лабораторные с допускаемой погрешностью $\pm 0,001$ г.

Ультразвуковой и инфракрасный методы измерений положены в основу экспрессных анализаторов качества пищевых продуктов и продовольственного сырья, применяемых для оперативного контроля состава и свойств сырья и полуфабрикатов на всех этапах технологического процесса. ЯМР анализаторы используют для экспрессных измерений масличности семян и продуктов их переработки.

В Государственный реестр средств измерений с конца 80-х годов XX века внесено более 100 типов экспрессных анализаторов пищевых продуктов и продовольственного сырья, предназначенных, в том числе, для измерения содержания жира. Из них 33 % являются средствами измерений отечественного производства, остальные 67 % выпускаются иностранными производителями. Распределение экспрессных анализаторов утвержденных типов в зависимости от применяемого метода и анализируемых объектов представлено на рис. 3.

Как видно на рис. 3, наибольшее распространение получили анализаторы молока и молочных продуктов (более 50 %), основанные либо на измерении интенсивности ИК излучения, поглощенного или диффузно

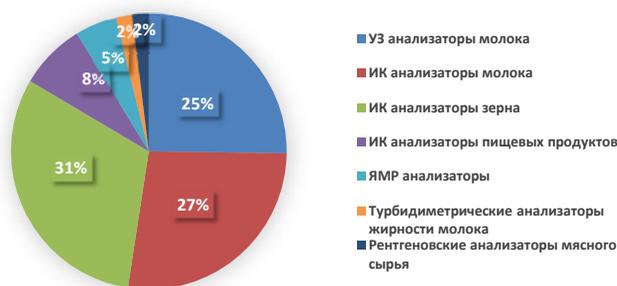


Рис. 3. Распределение экспрессных анализаторов утвержденных типов в зависимости от применяемого метода и анализируемых объектов (по состоянию на 10.06.2023)

Fig. 3. Distribution of certified express analyzers depending on the method used and the objects analyzed (as of 10.06.2023)

отраженного от исследуемой пробы, либо на измерении скорости и степени затухания ультразвуковых колебаний при прохождении их в молоке при двух различных температурах. На втором месте (около 40 %) находятся инфракрасные и ЯМР анализаторы зерновых, бобовых, масличных культур и продуктов их переработки. В реестр также внесены универсальные инфракрасные анализаторы пищевых продуктов, турбидиметрические анализаторы жирности молока и анализаторы мясного сырья, основанные на измерении интенсивности рентгеновского излучения, прошедшего через исследуемый образец.

Как правило, изготовители анализаторов заносят в программное обеспечение базовые наборы градуировочных коэффициентов для определенных продуктов и измеряемых показателей. Базовые градуировки для измерений содержания жира получают путем набора статистических данных по измерениям большого количества образцов продуктов (обычно 40–90 образцов) с использованием референтных экстракционно-гравиметрических методов. От пользователей требуется провести проверку имеющейся градуировки и в случае необходимости выполнить ее коррекцию с применением относительно небольшого количества образцов (как правило, 10 образцов) с известными значениями показателей.

Для установления и контроля стабильности градуировочной (калибровочной) характеристики, поверки (калибровки), испытаний в целях утверждения типа экспрессных анализаторов пищевых продуктов, а также аттестации методик измерений и контроля точности результатов измерений массовой доли жира необходимо применение стандартных образцов состава пищевых продуктов и продовольственного сырья.

Стандартные образцы

В настоящее время в Российской Федерации выпускается 38 утвержденных типов стандартных образцов с аттестованными значениями массовой доли жира (сырого жира, масличности), указанных в табл. 3.

Таблица 3. Стандартные образцы состава пищевых продуктов и продовольственного сырья (СО) с аттестованным значением массовой доли жира (сырого жира, масличности) (по состоянию на 10.06.2023)

Table 3. Reference materials for the composition of food products and food raw materials (RMs) with a certified value of the mass fraction of fat (crude fat, oil content) (as of 10.06.2023)

Индекс СО	Материал СО	A, %	± Δ, %
ГСО 10891–2017	молоко сухое	1–45	2,5 отн.
ГСО 10899–2017	семена подсолнечника	30–65	0,2 абс.
ГСО 11086–2018	молоко сухое обезжиренное	0,1–10	0,10 абс.
ГСО 11087–2018	молоко сухое цельное	20–45	0,25 абс.
ГСО 11088–2018	смесь молочная сухая для детского питания	10–40	0,25 абс.
ГСО 11089–2018	сметана с/с	10–80	0,25 абс.
ГСО 11090–2018	творог с/с	10–50	0,12 абс.
ГСО 11091–2018	сыр сухой	10–80	0,12 абс.
ГСО 11127–2018 / ГСО 11130–2018	каша молочная сухая быстрорастворимая для детского питания рисовая, гречневая, кукурузная, мультизлаковая	5–20	0,25 абс.

Окончание табл. 3
End of Table 3

Индекс СО	Материал СО	<i>A</i> , %	± Δ, %
ГСО 11144–2018 / ГСО 11147–2018	каша безмолочная сухая быстрорастворимая для детского питания рисовая, гречневая, кукурузная, мультизлаковая	0,5–12	0,25 абс.
ГСО 11268–2019 / ГСО 11270–2019	комбикорм для сельскохозяйственной птицы, комбикорм для свиней, комбикорм для крупного рогатого скота	1–10	0,2 абс.
ГСО 11271–2019	яичный порошок	35–60	0,7 абс.
ГСО 11274–2019 / ГСО 11276–2019	мясо вареное сублимационной сушки свинины, говядины, птицы (куриное белое)	5–15 15–40	0,7 абс. 1,0 абс.
ГСО 11279–2019 / ГСО 11283–2019	шрот подсолнечный, шрот соевый, шрот рапсовый, жмых подсолнечный, жмых соевый	0,5–30	0,2 абс.
ГСО 11284–2019 / ГСО 11289–2019	семена подсолнечника, сои, горчицы, рапса, льна, хлопчатника	13–60	0,2 абс.
ГСО 11504–2020	молоко питьевое	0,5–6	0,05 абс.
ГСО 11505–2020	сливки питьевые	9–42	0,06 абс.
ГСО 11687–2021	филе минтая с/с	1–15	0,4 абс.
ГСО 11962–2022	сухари пшеничные	1,5–15	0,2 абс.

Примечание. *A* – аттестованное значение массовой доли жира; ± Δ – границы допускаемых значений погрешности аттестованного значения при доверительной вероятности $P = 0,95$; с/с – сублимационной сушки.

Как свидетельствует табл. 3, наиболее широко представлена категория стандартных образцов состава молочных и зерно-молочных продуктов (17 типов), предназначенных, в том числе, для контроля точности результатов измерений при подтверждении соответствия продукции обязательным требованиям ТР ТС 033/2013 и ТР ТС 027/2012 (табл. 1). Аттестованное значение массовой доли жира в ГСО 10891–2017 установлено по результатам межлабораторного эксперимента, в ГСО 11504–2020/ГСО 11505–2020 – с использованием аттестованной методики измерений [97], в ГСО 11086–2018/ГСО 11091–2018, ГСО 11127–2018/ГСО 11130–2018, ГСО 11144–2018/ГСО 11147–2018 – с применением Государственной первичной референтной методики измерений (далее – ГПРМИ) массовой доли жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье [98]. Данная ГПРМИ также была использована для характеристики стандартных образцов состава яичного порошка ГСО 11271–2019, мясных продуктов сублимационной сушки ГСО 11274–2019/ГСО 11276–2019.

На втором месте по количеству утвержденных типов находятся стандартные образцы состава масличных культур и продуктов их переработки (12 типов). Аттестованное значение масличности в ГСО 10899–2017 установлено по результатам межлабораторного эксперимента, в ГСО 11279–2019/ГСО 11283–2019, ГСО 11284–2019/ГСО 11289–2019 – с применением ГПРМИ массовой доли сырого жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе [99]. Данная методика также была использована для характеристики стандартных образцов состава комбикормов ГСО 11268–2019/ГСО 11270–2019.

Однако, как следует из табл. 3, на данный момент отсутствуют стандартные образцы состава кондитерских, макаронных изделий, плодоовощной продукции. Не представлены также стандартные образцы состава масложировой продукции, рыбных, мясных, мясорастительных консервов, необходимые для метрологического обеспечения измерений при оценке соответствия продукции обязательным требованиям ТР ТС 021/2011, ТР ТС 024/2011, ТР ТС 034/2013, ТР ЕАЭС 040/2016 и ТР ЕАЭС 051/2021.

Перспективы развития метрологического обеспечения в области измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье

В период с 2016 по 2019 гг. были разработаны и утверждены в качестве государственных следующие ПРМИ:

– ГПРМИ массовой доли жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье М.241.01/RA.RU.311866/2018 (Номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (ФИФ) – ФР.ПР1.31.2019.00001);

– ГПРМИ массовой доли сырого жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе (ФР.ПР1.31.2019.00009).

Область применения первой ГПРМИ – молочные, зерно-молочные, зерновые, мясные, сухие яичные продукты, в том числе для детского питания; второй – зерно зерновых и зернобобовых культур, семена масличных культур и продукты на их основе, комбикорма и кормовые компоненты. ГПРМИ предназначены для проведения высокоточных измерений, оценки правильности результатов измерений, полученных с использованием других методик (методов) измерений, калибровки средств измерений и определения характеристик стандартных образцов.

ГПРМИ были использованы для характеристики более 30 утвержденных типов стандартных образцов состава пищевых продуктов и продовольственного сырья [100]. В результате была построена система передачи единицы массовой доли жира от ГПРМИ, обеспечивающих наивысшую точность и подтвердивших эквивалентность аналогичным методикам иностранных государств, к результатам рутинных измерений путем использования для аттестации методик измерений и калибровки средств измерений упорядоченной системы новых типов стандартных образцов [101].

Очевидна необходимость решения ряда задач в интересах развития метрологического обеспечения в области измерений содержания жира в пищевой и сельскохозяйственной продукции:

– пересмотр отдельных действующих стандартизованных методик в части уточнения параметров измерений, для обеспечения согласованности результатов, получаемых различными физико-химическими методами, а также включения современного аналитического оборудования;

– оценивание метрологических характеристик отдельных стандартизованных методик измерений, включающее установление значений неисключенной систематической погрешности измерений;

– разработка ГПРМИ и стандартных образцов состава кондитерских, макаронных изделий, плодоовощной, масложировой продукции, рыбных, мясных, мясорастительных консервов;

– разработка и аттестация экспрессных методик измерений, позволяющих осуществлять оперативный контроль состава и свойств сырья и полуфабрикатов на всех этапах технологического процесса;

– создание метрологического обеспечения для определения жирнокислотного состава молочных и масложировых продуктов, продукции специализированного и детского питания.

Заключение

Проведенный анализ выявил следующие особенности и проблемы обеспечения единства измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье:

– разнообразная пищевая и сельскохозяйственная продукция не может быть охарактеризована однозначным сочетанием и пропорциями соединений, входящих в состав ее жира, вследствие чего данный показатель является обобщенным, «трудноформализуемым» и зависимым от применяемого метода;

– существует большое количество методов измерений содержания жира (сырого жира, масличности), основанных на различных физико-химических принципах, применение которых для одних и тех же проб может приводить к получению несопоставимых результатов измерений;

– наибольшее распространение получили стандартизованные методики измерений содержания жира, основанные на экстракционно-гравиметрическом методе, который выступает в качестве арбитражного;

– характеристики погрешности стандартизованных методик, как правило, учитывают только данные по прецизионности получаемых результатов без оценки систематической составляющей погрешности измерений, в ряде методик приведена информация только о повторяемости результатов измерений;

– рост парка экспрессных анализаторов, используемых для оперативной оценки качества в пищевой промышленности, приводит к увеличению потребности в стандартных образцах состава пищевых продуктов и продовольственного сырья.

Разработанные ГПРМИ массовой доли жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье и ГПРМИ массовой доли сырого жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе в комплексе с новыми типами СО, охарактеризованными с применением данных ГПРМИ, позволяют обеспечить

единство измерений содержания жира в пищевых продуктах и продовольственном сырье.

Вместе с тем, по результатам обзора выявлена необходимость дальнейшего развития метрологического обеспечения измерений содержания жира, включающего проведение работ по актуализации приборной базы, уточнению параметров измерений, оцениванию метрологических характеристик для ряда стандартизованных методик измерений, разработку ГПРМИ и новых типов СО для неохваченных групп продукции, разработку и аттестацию экспрессных методик измерений, создание метрологического обеспечения для определения жирнокислотного состава.

Благодарности: Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

Acknowledgments: This research did not receive financial support in the form of a grant from any governmental, for-profit, or non-profit organizations.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена в рамках диссертационного исследования «Разработка комплекса метрологического обеспечения измерений показателей пищевой ценности пищевой продукции». Научный консультант: Собина Е. П., д-р техн. наук, директор УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», член редакционной коллегии журнала «Эталоны. Стандартные образцы».

Conflict of interests: The author declares no conflict of interest. The research was performed as part of the dissertation research «Development of a complex of metrological support for measuring indicators of the nutritional value of food products.» Scientific consultant: Egor P. Sobina, Dr. Sci. (Eng.), Branch Director, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology, member of the Editorial Board of the journal «Measurement Standards. Reference Materials».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горшков А. И., Липатова О. В. Гигиена питания. М.: Медицина, 1987. 416 с.
2. Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А. Пищевая химия. СПб.: ГИОРД, 2003. 640 с.
3. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников [и др.]. М.: Колос, 1992. 448 с.
4. Rajah K. K. Fats in food technology. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2014. 369 p.
5. Christie W. W., Han X. Lipid Analysis (Fourth edition) Isolation, Separation, Identification and Lipidomic Analysis. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. 448 p.
6. Ржавская Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность, 1976. 473 с.
7. Перестова Т. А. Морфолого-анатомическая характеристика семян отдельных сортов и гибридов подсолнечника. Сборник научно-исследовательских работ по масличным культурам. Майкоп, 1968. С. 58–65.
8. Наумович И. М. Изменение содержания сырого жира и белка в маслосеменах рапса ярового в зависимости от приемов агротехники // Земледеліе і селекція в Білорусі. 2020. № 56. С. 244–251.
9. Лаврова Г. П., Машкина Е. И. Зоотехнический анализ кормов. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. 30 с.
10. Мунгин В. В., Арюкова Е. А., Гибалкина Н. И. Влияние сырого жира в продукционных комбикормах на продуктивность и убойные качества товарного карпа // Аграрный научный журнал. 2018. № 3. С. 25–27. <https://doi.org/10.28983/asj.v0i3.405>
11. Осепчук Д. В., Свистунов А. А., Агаркова Н. В. Применение полнорационных комбикормов с различным уровнем сырого жира в кормлении молодняка гусей и их влияние на ростовые показатели птицы // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. 2020. Т. 9, № 2. С. 115–119. <https://doi.org/10.34617/3f9f-be05>
12. Delcour, Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality / B. Pareyt [et al.] // Journal of Cereal Science. 2011. Vol. 54, № 3. P. 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>
13. Role of fat on the quality and shelf-life of gluten-free bread baked by Ohmic heating and conventional deck oven / E. Waziroh [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2023. Vol. 86. 103348. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103348>
14. Роль липидов и каротиноидов в адаптации проростков пшеницы к холодному шоку / В. В. Нохсоров [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2014. № 5(28). С. 79–86.
15. Жиры. Химический состав и экспертиза качества / О. Б. Рудаков [и др.]. М.: ООО «ДеЛи принт», 2005. 312 с.
16. Вострикова Н. Л., Кузнецова О. А., Куликовский А. В. Методические аспекты извлечения липидов из биологических матриц // Теория и практика переработки мяса. 2018. Т. 3, № 2. С. 4–21. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-2-4-21>
17. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review / G. G. Hewavitharana [et al.] // Arabian Journal of Chemistry. 2020. Vol. 13, № 8. P. 6865–6875. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>
18. Shin J.-M., Park S.-K. Comparison of fat determination methods depending on fat definition in bakery products // LWT – Food Science and Technology. 2015. Vol. 63, № 2. P. 972–977. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.011>
19. Comparison of gravimetric, creamatocrit and esterified fatty acid methods for determination of total fat content in human milk / J. Du [et al.] // Food Chemistry. 2017. Vol. 217. P. 505–510. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.114>

20. Comparison of different methods for total lipid quantification in meat and meat products / *T. Pérez-Palacios* [et al.] // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 110, № 4. P. 1025–1029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.026>
21. A Comparison of selected rapid methods for fat measurement in fresh herring (*Clupea harengus*) / *A. Vogt* [et al.] // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2002. Vol. 15, № 2. P. 205–215. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1049>
22. *Manirakiza P., Covaci A., Schepens P.* Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & Dyer, and modified Bligh & Dyer extraction methods // *Journal of food Composition and Analysis*. 2001. Vol. 14, № 1. P. 93–100. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0972>
23. *Кобзева Т. В., Юрова Е. А.* Контроль качества молочносодержащих продуктов // *Молочная промышленность*. 2011. № 2. С. 48–49.
24. *Курцова А. А., Князева А. С., Вострикова Н. Л.* Сравнительная оценка различных методов извлечения жира из многокомпонентных мясных систем // *Все о мясе*. 2018. № 3. С. 28–31. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-28-31>
25. Fat Contents of Cereal Foods: Comparison of classical with recently developed extraction techniques / *W. Zou* [et al.] // *Journal of AOAC International*. 1999. Vol. 82, № 1. P. 141–150.
26. *Barthel V. J., Chornick T., Daun J. K.* Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds // *Journal of Oleo Science*. 2002. Vol. 51, № 9. P. 589–597.
27. *Matthäus B., Brühl L.* Comparison of different methods for the determination of the oil content in oilseeds // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2001. Vol. 78, Iss. 1. P. 95–102. <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0226-y>
28. *Лакиза Н. В., Неудачина Л. К.* Пищевая химия: учебное пособие для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2019. 185 с.
29. *Soxhlet F.* Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes // *Dinglers Polytechnisches Journal*. 1879. Vol. 232. P. 461–465.
30. *Randall E. L.* Improved method for fat and oil analysis by a new process of extraction // *Journal of AOAC International*. 1974. Vol. 57, № 5. P. 1165–1168. <https://doi.org/10.1093/jaoac/57.5.1165>
31. *Heinrich C.* Use of the Rose-Gottlieb method for rapid gravimetric fat determination with the Heraeus apparatus // *Deutsche Milchwirtschaft*. 1970. Vol. 21, № 20. P. 797–798.
32. *Droop R. H.* The Röse-Gottlieb method of milk analysis // *The Lancet*. 1927. Vol. 209, № 5412. P. 1107. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)75802-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)75802-8)
33. *Luque de Castro M. D., Garcia-Ayuso L. E.* Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future // *Analytica Chimica Acta*. 1998. Vol. 369, № 1–2. P. 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(98\)00233-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00233-5)
34. *Folch J., Lees M., Sloane Stanley G. H.* A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // *The Journal of Biological Chemistry*. 1957. Vol. 226. P. 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
35. *Bligh E. G., Dyer W. J.* A rapid method of total lipid extraction and purification // *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 1959. Vol. 37. P. 911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
36. Simplified gravimetric determination of total fat in food composites after chloroform methanol extraction / *K. M. Phillips* [et al.] // *Journal of the American Chemical Society*. 1997. Vol. 74, № 2. P. 137–142. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0158-1>
37. *Яновская С. М.* Химия жиров. М.: НОПМА, 2002. 240 с.
38. *Овчинникова С. И.* Качественный и количественный анализ липидов, углеводов, витаминов. 2-е изд. Мурманск: МГТУ, 2010. 125 с.
39. *Берестов И. И., Петрович А. К.* Результаты определения содержания сырого жира в кормах на экстракционном устройстве SER148/6 // *Земледелие и селекция в Беларуси*, 2011. № 47. С. 182–187.
40. *Luthria D. L., Noel K., Vinjamoori D.* Impact of sample preparation on the determination of crude fat content in corn // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2004. Vol. 81. P. 999–1004. <https://doi.org/10.1007/s11746-004-1013-5>
41. *Moore H. C., Morse P. A.* A Babcock-Gerber method for determining the percentage of fat in ice cream // *Journal of Dairy Science*. 1926. Vol. 9, № 3. P. 276–285. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(26\)93898-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(26)93898-8)
42. A comparison of the Gerber and Röse Gottlieb methods for the determination of fat in milk / *W. P. Crocker* [et al.] // *Journal of Dairy Research*. 1955. Vol. 22, № 3. P. 336–339. <https://doi.org/10.1017/S0022029900007871>
43. *De Langen H.* Determination of fat in meat and separable fat by the Gerber test // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 1963. Vol. 5, № 3. P. 452–456. <https://doi.org/10.1080/00288233.1963.10423288>
44. *Germs A. C.* The gerber method: Its suitability for determining the fat content of egg products // *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. 1973. Vol. 151. P. 95–102. <https://doi.org/10.1007/BF01842918>
45. *Kleyn D. H., Trout J. R., Weber M.* Determination of Fat in Raw Milk: Comparison of Mojonnier (Ether Extraction) and Gerber Method // *Journal of AOAC International*. 1988. Vol. 71, № 3. P. 851–853. <https://doi.org/10.1093/jaoac/71.4.851>
46. Determination of fat in raw and processed milks by the Gerber method: collaborative study / *D. H. Kleyn* [et al.] // *Journal of AOAC International*. 2001. Vol. 84, № 5. P. 1499–1508. <https://doi.org/10.1093/jaoac/84.5.1499>
47. *Stanley J.* Refractometric determination of fat in chocolate // *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 1937. Vol. 9, № 3. P. 132–135. <https://doi.org/10.1021/ac50107a010>
48. *Kaloyereas S. A., Cruess W. V.* Improvements in the rapid refractometric method of determining the oil content of olives // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1953. Vol. 30, № 8. P. 339–341. <https://doi.org/10.1007/BF02636949>
49. *Nadj L. J., Weeden D. G.* Refractometric estimation of total fat in chocolate-type products // *Analytical Chemistry*. 1966. Vol. 38, № 1. P. 125–126. <https://doi.org/10.1021/ac60233a034>

50. Головин А. Н., Кириченко С. Г. Модификация рефрактометрического метода определения содержания жира в рыбе и рыбных продуктах // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), 1974. Т. XCV. С. 125–128.
51. Metcalfe L. D., Schmitz A. A. The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis // Analytical Chemistry. 1961. Vol. 33, № 3. P. 363–364. <https://doi.org/10.1021/ac60171a016>
52. Stoffel W., Chu F., Ahrens E. H. Analysis of long-chain fatty acid by gas-liquid chromatography. Micromethod for preparation of methyl esters // Analytical Chemistry. 1959. Vol. 31, № 2. P. 307–308. <https://doi.org/10.1021/ac60146a047>
53. Comparison of gas chromatographic and gravimetric methods for quantization of total fat and fatty acids in foodstuffs / S. Aued-Pimentel [et al.] // Quimica Nova. 2010. Vol. 33, № 1. P. 76–84. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100015>
54. Gas chromatographic determination of total fat extracted from food samples using hydrolysis in the presence of antioxidant // S. D. House [et al.] // Journal of AOAC International. 1994. Vol. 77, № 4. P. 960–965.
55. Barthelet V. J., Chornick T., Daun J. K. Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds // Journal of Oleo Science. 2002. Vol. 51, № 9. P. 589–597. <https://doi.org/10.5650/jos.51.589>
56. Comparison of gravimetry and hydrolysis/derivatization/gas chromatography-mass spectrometry for quantitative analysis of fat from standard reference infant formula powder using supercritical fluid extraction / M. Ashraf-Khorassani [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50, № 7. P. 1822–1826. <https://doi.org/10.1021/jf011389s>
57. Нифталиев С. И., Мельникова Е. И., Селиванова А. А. Газохроматографическое определение жирнокислотного состава заменителей молочного жира и других специализированных жиров // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9, № 4. С. 574–581.
58. Определение жирнокислотного состава для оценки качества молочной продукции / С. П. Афонькина [и др.] // Медицина труда и экология человека. 2020. № 4 (24). С. 100–105. <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2020-10414>
59. Comparison of six methylation methods for fatty acid determination in yak bone using gas chromatography / W. Jia [et al.] // Food Anal. Methods. 2017. Vol. 10. P. 3496–3507. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0881-7>
60. Эрнст Р., Боденхаузен Дж., Вокаун А. ЯМР в одном и двух измерениях / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 711 с.
61. Прудников С. М., Витюк Б. Я., Зверев Л. В. Метод ЯМР для определения влажности и масличности сельскохозяйственных материалов // Методы оценки соответствия. 2009. № 9. С. 18–19.
62. Агафонов О. С., Прудников С. М. Определение масличности семян подсолнечника по натуральным образцам подсолнечного масла: на примере градуировки импульсного ЯМР-анализатора // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 2. С. 61–71. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-2-61-71>
63. Оценка содержания олеиновой кислоты в семенах подсолнечника методом ядерной магнитной релаксации / Л. В. Зверев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2000. № 2–3 (255–256). С. 85–86.
64. Rapid determination of moisture and fat in meats by microwave and nuclear magnetic resonance analysis / J. T. Keeton [et al.] // Journal of AOAC International. 2003 Vol. 86, № 6. P. 1193–1202. <https://doi.org/10.1093/jaoac/86.6.1193>
65. Simultaneous quantification of fat and water content in cheese by TD-NMR / A. Castell-Palou [et al.] // Food Bioprocess Technol. 2013. Vol. 6. P. 2685–2694. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0912-8>
66. Nakashima Y. Non-destructive quantification of lipid and water in fresh tuna meat by a single-sided nuclear magnetic resonance scanner // Journal of Aquatic Food Product Technology. 2019. Vol. 28, № 2. P. 241–252. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1569742>
67. Fan K., Zhang M. Recent developments in the food quality detected by non-invasive nuclear magnetic resonance technology // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. Vol. 59, № 14. P. 2202–2213. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1441124>
68. Совершенствование способа определения масличности и влажности семян подсолнечника на основе метода ЯМР / О. С. Агафонов [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2015. № 4(8). С. 60–63.
69. Прудников С. М., Агафонов О. С., Зверев Л. В. Влияние аппаратных факторов на результаты измерения масличности, влажности и массовой доли олеиновой кислоты в семенах подсолнечника методом ЯМР // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. № 4(168). С. 31–35.
70. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / пер. с англ. Б. Н. Тарасевича. М.: Мир, 1982. 327 с.
71. Крищенко В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия. М.: КРОН-ПРЕСС, 1997. 638 с.
72. Посудин Ю. И., Костенко В. И. Определение состава молока на основе инфракрасной спектрофотометрии // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 1992. № 3–4. С. 64–66.
73. Белл Р. Дж. Введение в Фурье-спектроскопию / пер. с англ. М.: Мир, 1975. 382 с.
74. Determination of essential nutrients in raw milk / R. Kittivachra [et al.] // Songklanakarin Journal of Science and Technology. 2006. Vol. 28. P. 115–120.
75. Вытовтов А. А., Мешалкина М. Н. Применение инфракрасной Фурье-спектроскопии для определения подлинности и качества молочных продуктов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика, телекоммуникации и управление. 2011. Т. 138, № 6–1. С. 226–232.
76. Ефименко С. Г., Ефименко С. К. Определение содержания масла и влаги в семенах горчицы с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. 2019. № 4 (180). С. 36–44. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-36-44>

77. Ефименко С. Г., Ефименко С. К. Определение содержания масла, линоленовой и эруковой жирных кислот в семенах рыжика с помощью ИК-спектроскопии // Масличные культуры. 2021. № 2(186). С. 50–59. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-2-186-50-59>
78. Применение ИК спектроскопии и метода теории функционала плотности для оценки относительного содержания триглицеридов олеиновой и линолевой кислот в смеси оливкового масла и масла семян подсолнечника / К. В. Березин [и др.] // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 127, № 6. С. 883–889. <https://doi.org/10.21883/OS.2019.12.48680.127-19>
79. Кохова Л. В., Воронин М. В. Измерительные методы в оценке потребительских свойств и выявлении фальсификации молока питьевого // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2014. Т. 38, № 2. С. 103–107.
80. Precalibration evaluation procedures for mid-infrared milk analyzers / J. M. Linch [et al.] // Journal of Dairy Science. 2006. Vol. 89. P. 2761–2774. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72353-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72353-0)
81. Запорожец А. С., Петров Г. П. Метрологическое обеспечение средств измерений на основе ИК-спектроскопии // Методы оценки соответствия. 2009. № 9. С. 12–14.
82. Bales K. L., Meyer R. G., Piltz J. W. Prediction of the intramuscular fat and protein content of freeze-dried ground meat from cattle and sheep using near-infrared spectroscopy (NIRS) // International Journal of Food Science & Technology. 2022. № 57(4). P. 2249–2256. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15571>
83. Буклагин Д. С. Ультразвуковые приборы контроля качества молока и молочной продукции // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 1(33). С. 63–70.
84. Ultrasound spectroscopy as an alternative method to measure the physical-chemical constituents of buffalo milk / W. O. Melo [et al.] // Ciencia Rural. 2018. Vol. 48. P. 26–31. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170447>
85. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review / T. S. Awad [et al.] // Food Research International. 2012. Vol. 48, № 2. P. 410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
86. McClements D. J., Gunasekaran S. Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 1997. Vol. 37, № 1. P. 1–46. <https://doi.org/10.1080/10408399709527766>
87. Ultrasonic determination of fish composition / R. Ghaedian [et al.] // Journal of Food Engineering. 1998. Vol. 35, № 3. P. 323–337. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00027-2)
88. Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product / S. Simal [et al.] // Journal of Food Engineering. 2003. Vol. 58, № 3. P. 253–257. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00375-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00375-8)
89. An overview of determination of milk fat: development, quality control measures, and application / R. Kala [et al.] // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2018. Vol. 66. P. 1055–1064. <https://doi.org/10.11118/actaun201866041055>
90. Walstra P. Turbidimetric method for milk fat determination // Journal of Dairy Science. 1967. Vol. 50, № 11. P. 1839–1840. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(67\)87725-7](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(67)87725-7)
91. Ashworth U. S. Turbidimetric methods for measuring fat content of homogenized milk // Journal of Dairy Science. 1969. Vol. 52, № 2. P. 262–263. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86542-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86542-2)
92. Турбидиметрические методы определения состава молока / А. Д. Алехин [и др.] // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 1993. № 3–4. С. 85–87.
93. Drochioiu G. Turbidimetric lipid assay in seed flours // Journal of Food Lipids. 2005. Vol. 12. P. 12–22. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2005.00002.x>
94. Kucheryavskiy S., Melenteva A., Bogomolov A. Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging // Talanta. 2014. Vol. 121. P. 144–152. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.12.055>
95. Технохимический контроль жиров и жирозаменителей: Учебное пособие / Под ред. проф. О. Б. Рудакова. Спб.: Издательство Лань, 2021. 576 с.
96. Лепилкина О. В. Руководителям лабораторий. Жир по Герберу: средства измерения // Молочная промышленность. 2020. № 4. С. 34–35.
97. Стандартные образцы состава молочных продуктов для поверки ИК-анализаторов молока / М. Ю. Медведевских [и др.] // Пищевая промышленность. 2021. № 1. С. 16–19. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10003>
98. Reference measurement procedure for the determination of mass fraction of fat content in food / S. V. Medvedevskikh [et al.] // Accreditation and Quality Assurance. 2021. Vol. 26. P. 165–175. <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01472-w>
99. Сергеева А. С., Парфенова Е. Г., Гольнец О. С. Разработка первичной референтной методики измерений и стандартных образцов массовой доли сырого жира (масличности) в семенах масличных культур и продуктах на их основе // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16, № 3. С. 37–51. <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-3-37-51>
100. Сергеева А. С., Вострикова Н. Л., Медведевских М. Ю. Разработка комплекса метрологического обеспечения пищевой промышленности // Эталоны. Стандартные образцы. 2021. Т. 17, № 1. С. 21–33. <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2021-17-1-21-33>
101. Медведевских М. Ю., Сергеева А. С. Вопросы обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений показателей качества пищевых продуктов и продовольственного сырья // Измерительная техника. 2020. № 3. С. 64–70. <https://doi.org/10.32446/0132-4713.2020-3-64-70>

REFERENCES

- Gorshkov A. I., Lipatova O. V. *Gigiena questions*. Moscow: Medicine; 1987. 416 p. (In Russ.).
- Nechaev A. P., Traubenberg S. E., Kochetkova A. A. It's all about chemistry. Saint Petersburg: GIOR; 2003. 640 p. (In Russ.).
- Tyutyunnikov B. N., Bukhshtab Z. I., Gladkiy F. F. *Chemistry of fats*. Moscow: Kolos; 1992. 448 p. (In Russ.).
- Rajah K. K. *Fats in food technology*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd; 2014. 369 p.
- Christie W. W., Han X. *Lipid Analysis (Fourth edition) Isolation, Separation, Identification and Lipidomic Analysis*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; 2012. 448 p.
- Rzhavskaya F. M. *Fats of fish and marine mammals*. Moscow: Food Industry; 1976. 473 p. (In Russ.).
- Perestova T. A. Morphological and anatomical characteristics of sunflower seeds of individual varieties and hybrids. *Collection of scientific research papers on oilseeds*. Maykop; 1968. p. 58–65. (In Russ.).
- Naumovich I. M. Changes in the content of crude fat and protein in oilseeds of spring rapeseed depending on agricultural techniques. *Agriculture and breeding in Belarus*. 2020;56:244–251. (In Russ.).
- Lavrova G. P., Mashkina E. I. *Zootechnical analysis of feed*. Barnaul: AGAU Publishing House; 2006. 30 p. (In Russ.).
- Mungin V. V., Arykova E. A., Gibalkina N. I. Influence of crude fat in productional feed-stuff on productivity and slaughter of marketable carp. *Agricultural Scientific Journal*. 2018;3:25–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.v0i3.405>
- Osepchuk D. V., Svistunov A. A., Agarkova N. V. Application of complete feeds with different levels of raw fat in feeding Young geese and their influence on growth rates of birds. *Collection of scientific papers of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*. 2020;9(2):115–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.34617/3f9f-be05>
- Pareyt B., Finnie S. M., Putseys J. A. Delcour, Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*. 2011;54(3):266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>
- Waziirroh E., Bender D., Faieta M., Jaeger H., Schreiner M., Schoenlechner R. Role of fat on the quality and shelf-life of gluten-free bread baked by Ohmic heating and conventional deck oven. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023;86:103348. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103348>
- Nohsorov V. V., Dudareva L. V., Perk A. A., Chepalov V. A., Sofronova V. E., Verhoturov V. et al. The role of lipids and carotenoids in the adaptation of wheat seedlings to cold shock. *Technology and commodity science of innovative food products*. 2014;5(28):79–86. (In Russ.).
- Rudakov O. B., Ponomarev A. N., Polyansky K. K., Lyubar A. V. *Fats. Chemical composition and quality expertise*. Moscow: Delhi Print LLC; 2005. 312 p. (In Russ.).
- Vostrikova N. L., Kuznetsova O. A., Kulikovskii A. V. Methodological aspects of lipid extraction from biological matrices. *Theory and practice of meat processing*. 2018;3(2):4–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-2-4-21>
- Hewavitharana G. G., Perera D. N., Navaratne S. B., Wickramasinghe I. Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian Journal of Chemistry*. 2020;13(8):6865–6875. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>
- Shin J.-M., Park S.-K. Comparison of fat determination methods depending on fat definition in bakery products. *LWT – Food Science and Technology*. 2015;63(2):972–977. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.011>
- Du J., Gay M. C. L., Lai C. T., Trengove R. D., Hartmann P. E., Geddes D. T. Comparison of gravimetric, creamatocrit and esterified fatty acid methods for determination of total fat content in human milk. *Food Chemistry*. 2017;217:505–510. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.114>
- Pérez-Palacios T., Ruiz J., Martín D., Muriel E., Antequera T. Comparison of different methods for total lipid quantification in meat and meat products. *Food Chemistry*. 2008;110(4):1025–1029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.026>
- Vogt A., Gormley T. R., Downey G., Somers J. A Comparison of selected rapid methods for fat measurement in fresh herring (*Clupea harengus*). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2002;15(2):205–215. <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1049>
- Manirakiza P., Covaci A., Schepens P. Comparative study on total lipid determination using Soxhlet, Roese-Gottlieb, Bligh & Dyer, and modified Bligh & Dyer extraction methods. *Journal of food Composition and Analysis*. 2001;14(1):93–100. <https://doi.org/10.1006/jfca.2000.0972>
- Kobzeva T. V., Yurova E. A. Quality control of dairy products. *Dairy industry*. 2011;2:48–49. (In Russ.).
- Kurzova A. A., Knyazeva A. S., Vostrikova N. L. Comparative evaluation of different methods of fat extraction from multicomponent meat systems. *Vsyo o myase*. 2018;3:28–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-28-31>
- Zou W., Lusk C., Messer D., Lane R. Fat Contents of Cereal Foods: Comparison of classical with recently developed extraction techniques. *Journal of AOAC International*. 1999;82(1):141–150. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10028683/>
- Barthet V. J., Chornick T., Daun J. K. Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds. *Journal of Oleo Science*. 2002;51(9):589–597. https://www.researchgate.net/publication/208349086_Comparison_of_Methods_to_Measure_the_Oil_Contents_in_Oilseeds
- Matthäus B., Brühl L. Comparison of different methods for the determination of the oil content in oilseeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2001;78:95–102. <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0226-y>
- Lakiza N. V., Neudachina L. K. *Food chemistry: a textbook for universities*. Moscow: Yurait Publishing House; 2019. 185 p. (In Russ.).
- Soxhlet F. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Dinglers Polytechnisches Journal*. 1879;232:461–465.
- Randall E. L. Improved method for fat and oil analysis by a new process of extraction. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*. 1974;57(5):1165–1168. <https://doi.org/10.1093/jaoac/57.5.1165>

31. Heinrich C. Use of the Rose-Gottlieb method for rapid gravimetric fat determination with the Heraeus apparatus. *Deutsche Milchwirtschaft*. 1970;21(20):797–798.
32. Droop R. H. The Röse-Gottlieb method of milk analysis. *The Lancet*. 1927;209(5412):1107. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)75802-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)75802-8)
33. Luque de Castro M. D., García-Ayuso L. E. Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*. 1998;369(1–2):1–10. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(98\)00233-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(98)00233-5)
34. Folch J., Lees M., Sloane Stanley G. H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *The Journal of Biological Chemistry*. 1957;226:497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
35. Bligh E. G., Dyer W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 1959;37:911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>
36. Phillips K. M., Tarragó-Trani M. T., Grove T. M., Grün I, Lugogo R., Harris R. F. et al. Simplified gravimetric determination of total fat in food composites after chloroform methanol extraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society Volume*. 1997;74(2):137–142. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0158-1>
37. Yanova S. M. Chemistry of fats. Moscow: NORMA; 2002. 240 p. (In Russ.).
38. Ovchinnikova S. I. Qualitative and quantitative analysis of lipids, carbohydrates, vitamins. 2nd ed. Murmansk: MSTU; 2010. 125 p. (In Russ.).
39. Berestov I. I., Petrovich A. K. Results of determination of crude fat content in feed on the extraction device SER148/6. *Agriculture and breeding in Belarus*. 2011;47:182–187. (In Russ.).
40. Luthria D. L., Noel K., Vinjamoori D. Impact of sample preparation on the determination of crude fat content in corn. *Journal of the American Oil Chemists' Society Volume*. 2004;81:999–1004. <https://doi.org/10.1007/s11746-004-1013-5>
41. Moore H. C., Morse P. A. A Babcock-Gerber method for determining the percentage of fat in ice cream. *Journal of Dairy Science*. 1926;9(3):276–285. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(26\)93898-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(26)93898-8)
42. Crocker W. P., Jenkins D. I., Provan A. L., Macdonald S. J. Rowland, White J. C. D. A comparison of the Gerber and Röse Gottlieb methods for the F. J. determination of fat in milk. *Journal of Dairy Research*. 1955;22(3):336–339. <https://doi.org/10.1017/S0022029900007871>
43. De Langen H. Determination of fat in meat and separable fat by the Gerber test. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 1963;5(3):452–456. <https://doi.org/10.1080/00288233.1963.10423288>
44. Germs A. C. The gerber method: Its suitability for determining the fat content of egg products. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. 1973;151:95–102. <https://doi.org/10.1007/BF01842918>
45. Kleyn D. H., Trout J. R., Weber M. Determination of Fat in Raw Milk: Comparison of Mojonier (Ether Extraction) and Gerber Method. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*. 1988;71(3):851–853. <https://doi.org/10.1093/jaoac/71.4.851>
46. Kleyn D. H., Lynch J. M., Barbano D. M., Bloom M. J., Mitchell M. W. Determination of fat in raw and processed milks by the Gerber method: collaborative study. *Journal of AOAC International*. 2001;84(5):1499–1508. <https://doi.org/10.1093/jaoac/84.5.1499>
47. Stanley J. Refractometric determination of fat in chocolate. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 1937;9(3):132–135. <https://doi.org/10.1021/ac50107a010>
48. Kaloyereas S. A., Cruess W. V. Improvements in the rapid refractometric method of determining the oil content of olives. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1953;30(8):339–341. <https://doi.org/10.1007/BF02636949>
49. Nadj L. J., Weeden D. G. Refractometric estimation of total fat in chocolate-type products. *Analytical Chemistry*. 1966;38(1):125–126. <https://doi.org/10.1021/ac60233a034>
50. Golovin A. N., Kirichenko S. G. Modification of the refractometric method for determining the fat content in fish and fish products. *Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (VNIRO)*. 1974; XCV:125–128. (In Russ.).
51. Metcalfe L. D., Schmitz A. A. The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis. *Analytical Chemistry*. 1961;33(3):363–364. <https://doi.org/10.1021/ac60171a016>
52. Stoffel W., Chu F., Ahrens E. H. Analysis of long-chain fatty acid by gas-liquid chromatography. Micromethod for preparation of methyl esters. *Analytical Chemistry*. 1959;31(2):307–308. <https://doi.org/10.1021/ac60146a047>
53. Aued-Pimentel S., Kus M. M. M., Kumagai E. E., Ruvieri V., Zenebon O. Comparison of gas chromatographic and gravimetric methods for quantization of total fat and fatty acids in foodstuffs. *Química Nova*. 2010;33(1):76–84. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100015>
54. House S. D., Larson P. A., Johnson R. R., DeVries J. W., Martin D. L. Gaschromatographic determination of total fat extracted from food samples using hydrolysis in the presence of antioxidant. *Journal of AOAC International*. 1994;77(4):960–965.
55. Barthet V. J., Chornick T., Daun J. K. Comparison of methods to measure the oil contents in oilseeds. *Journal of Oleo Science*. 2002;51(9):589–597. <https://doi.org/10.5650/jos.51.589>
56. Ashraf-Khorassani M., Ude M., Doane-Weideman T., Tomczak J., Taylor L. T. Comparison of gravimetry and hydrolysis/derivatization/gas chromatography-mass spectrometry for quantitative analysis of fat from standard reference infant formula powder using supercritical fluid extraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002;50(7):1822–1826. <https://doi.org/10.1021/jf011389s>
57. Niftaliev S. I., Melnikova E. I., Selivanova A. A. Gas chromatographic determination of the fatty acid composition of milk fat substitutes and other specialized fats. *Sorption and chromatographic processes*. 2009;9(4):574–581. (In Russ.).
58. Afonkina S. R., Larionova T. K., Allayarova G. R., Zelenkovskaya E. E., Musabirov D. E., Fazlyeva A. S. et al. Definition of fatty acid composition for assessing the quality of dairy products. *Occupational medicine and human ecology*. 2020;4(24):100–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2411-3794-2020-10414>

59. Jia W., Liu W., Mi S., Zhang C., Li X., Wu T. et al. Comparison of six methylation methods for fatty acid determination in yak bone using gas chromatography. *Food Analytical Methods*. 2017;10:3496–3507. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0881-7>
60. Ernst R., Bodenhausen J., Vocaun A. NMR in one and two dimensions. Translated from English. Moscow: Mir; 1990. 711 p.
61. Prudnikov S. M., Vityuk B. Ya., Zverev L. V. NMR method for determining moisture and oil content of agricultural materials. *Methods of conformity assessment*. 2009;9:18–19. (In Russ.).
62. Agafonov O. S., Prudnikov S. M. Determination of the Oil Content of Sunflower Seeds Using Natural Samples of Sunflower Oil: on the Example of the Calibration of a Pulsed NMR Analyzer. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(2):61–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-2-61-71>
63. Zverev L. V., Dzhioyev T. Ye., Prudnikov S. M., Panyushkin B. T. Assessment of oleic acid content in sunflower seeds by nuclear magnetic relaxation method. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2000;2–3(255–256):85–86. (In Russ.).
64. Keeton J. T., Hafley B. S., Eddy S. M., Moser C. R., McManus B. J., Leffler T. P. Rapid determination of moisture and fat in meats by microwave and nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of AOAC International*. 2003;86(6):1193–1202. <https://doi.org/10.1093/jaoac/86.6.1193>
65. Castell-Palou A., Rosselló C., Femenia A., Simal S. Simultaneous quantification of fat and water content in cheese by TD-NMR. *Food Bioprocess Technol*. 2013;6:2685–2694. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0912-8>
66. Nakashima Y. Non-destructive quantification of lipid and water in fresh tuna meat by a single-sided nuclear magnetic resonance scanner. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2019;28(2):241–252. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1569742>
67. Fan K., Zhang M. Recent developments in the food quality detected by non-invasive nuclear magnetic resonance technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(14):2202–2213. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1441124>
68. Agafonov O. S., Lisovaya Ye. V., Vereshchagina A. P., Rusnak G. V. Improvement of the method for determining the oil content and moisture content of sunflower seeds based on the NMR method. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex – healthy food products*. 2015;4(8):60–63. (In Russ.).
69. Prudnikov S. M., Agafonov O. S., Zverev L. V. The influence of hardware factors on the results of measuring oil content, humidity and mass fraction of oleic acid in sunflower seeds by NMR. *Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds*. 2016;4(168):31–35. (In Russ.).
70. Smith A. Applied infrared spectroscopy. New York Toronto, 1979. 344 p. (Russ. ed.: Smit A. Prikladnaya IR-spektroskopiya. Moscow: Mir; 1982. 327 p.). (In Russ.).
71. Kryshchenko V. P. Near infrared spectroscopy. Moscow: KRON-PRESS; 1997. 638 p. (In Russ.).
72. Suddin Yu. I., Kostenko V. I. Determination of milk composition based on infrared spectrophotometry. *News of universities. Food technology*. 1992;3–4:64–66. (In Russ.).
73. Bell R. J. Introductory fourier transform spectroscopy. New York and London, 1972. 382 p. (Russ. ed.: Bell R. Vvedeniye v Fur'ye-spektroskopiya. Moscow: Mir; 1975. 382 p. (In Russ.).
74. Kittivachra R., Sanguandeeul R., Sakulbumrungsil R., Phongphanphanee P., Srisomboon J. Determination of essential nutrients in raw milk. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2006;28:115–120.
75. Vytovtov A. A., Meshalkina M. N. The use of infrared Fourier spectroscopy to determine the authenticity and quality of dairy products. *Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Computer science, telecommunications and management*. 2011;138(6–1):226–232. (In Russ.).
76. Efimenko S. G., Efimenko S. K. Determination of oil and moisture content in mustard seeds using IR spectrometry. *Oilseeds*. 2019;4(180):36–44. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-36-44>
77. Efimenko S. G., Efimenko S. K. Determination of the content of oil, linolenic and erucic fatty acids in ginger seeds using IR spectrometry. *Oilseeds*. 2021;2(186):50–59. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2021-2-186-50-59>
78. Berezin K. V., Dvoretzkii K. N., Chernavina M. L., Novoselova A. V., Nechaev V. V., Likhter A. M. et al. The Use of IR Spectroscopy and Density Functional Theory for Estimating the Relative Concentration of Triglycerides of Oleic and Linoleic Acids in a Mixture of Olive and Sunflower Seed Oils. *Optika i spektroskopiya*. 2019;127(6):883–889. <https://doi.org/10.21883/OS.2019.12.48680.127-19>
79. Kochova L. V., Voronin M. V. Measuring methods in assessing consumer properties and detecting adulteration of drinking milk. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2014;38(2):103–107. (In Russ.).
80. Linch J. M., Barbano D. M., Schweisthal M., Fleming J. R. Precalibration evaluation procedures for mid-infrared milk analyzers. *Journal of Dairy Science*. 2006;89:2761–2774. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72353-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72353-0)
81. Zaporozhets A. S., Petrov G. P. Metrological support of measuring instruments based on IR spectroscopy. *Methods of conformity assessment*. 2009;9:12–14. (In Russ.).
82. Bailes K. L., Meyer R. G., Piltz J. W. Prediction of the intramuscular fat and protein content of freeze-dried ground meat from cattle and sheep using near-infrared spectroscopy (NIRS). *International Journal of Food Science & Technology*. 2022;57(4):2249–2256. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15571>
83. Buklagin D. S. Ultrasonic devices for quality control of milk and dairy products. *Vestnik VNIIMZH*. 2019;1(33):63–70. (In Russ.).
84. Melo W. O., Monteiro B. M., Chaves L. C. S., Santos E. R. D., Souza D. C., Amorim B. S. et al. Ultrasound spectroscopy as an alternative method to measure the physical-chemical constituents of buffalo milk. *Ciencia Rural*. 2018;48:26–31. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170447>

85. Awad T. S., Moharram H. A., Shaltout O. E., Asker D., Youssef M. M. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*. 2012;48(2):410–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.004>
86. McClements D. J., Gunasekaran S. Ultrasonic characterization of foods and drinks: Principles, methods, and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1997;37(1):1–46. <https://doi.org/10.1080/10408399709527766>
87. Ghaedian R., Coupland J. N., Decker E. A., McClements D. J. Ultrasonic determination of fish composition. *Journal of Food Engineering*. 1998;35(3):323–337. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00027-2)
88. Simal S., Benedito J., Clemente G., Femenia A., Rosselló C. Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product. *Journal of Food Engineering*. 2003;58(3):253–257. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00375-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00375-8)
89. Kala R., Samková E., Pecová L., Hanuš O., Sekmokas K., Riaukienė D. An overview of determination of milk fat: development, quality control measures, and application. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 2018;66:1055–1064. <https://doi.org/10.11118/actaun201866041055>
90. Walstra P. Turbidimetric method for milk fat determination. *J. Dairy Science*. 1967;50(11):1839–1840. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(67\)87725-7](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(67)87725-7)
91. Ashworth U. S. Turbidimetric methods for measuring fat content of homogenized milk. *Journal of Dairy Science*. 1969;52(2):262–263. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(69\)86542-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(69)86542-2)
92. Alyokhin A. D., Bulavin L. A., Kostenko V. I., Ostapchenko S. D., Suddin Yu. I. Turbidimetric methods for determining the composition of milk. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya*. 1993;3–4:85–87. (In Russ.).
93. Drochioiu G. Turbidimetric lipid assay in seed flours. *Journal of Food Lipids*. 2005;12:12–22. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2005.00002.x>
94. Kucheryavskiy S., Melenteva A., Bogomolov A. Determination of fat and total protein content in milk using conventional digital imaging. *Talanta*. 2014;121:144–152. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.12.055>
95. Technochemical control of fats and fat substitutes: A textbook edited by Professor O. B. Rudakov. Saint Petersburg: Publishing House Lan'; 2021. 576 p. (In Russ.).
96. Lepilkina O. V. Heads of laboratories. Gerber fat: measuring instruments. *Dairy industry*. 2020;4:34–35. (In Russ.).
97. Medvedevskikh M. Yu., Sergeeva A. S., Kasilyunas A. V., Shatskikh E. V., Kolberg N. A. Certified reference materials of dairy products composition for ir milk analyzers verification. *Food industry*. 2021;1:16–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2021-10003>
98. Medvedevskikh S. V., Baranovskaya V. B., Medvedevskikh M. Yu., Krasheninina M. P., Sergeeva A. S. Reference measurement procedure for the determination of mass fraction of fat content in food. *Accreditation and Quality Assurance*. 2021;26:165–175. <https://doi.org/10.1007/s00769-021-01472-w>
99. Sergeeva A. S., Parfenova E. G., Golynets O. S. Development of primary reference measurement procedure and reference materials for mass fraction of crude fat (oil content) in oilseeds and other products on their base. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2020;16(3):37–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2020-16-3-37-51>
100. Sergeeva A. S., Vostrikova N. L., Medvedevskikh M. Yu. Development of food industry metrological assurance complex. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2021;17(1):21–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2687-0886-2021-17-1-21-33>
101. Medvedevskikh M. Y., Sergeeva A. S. Problems of ensuring metrological traceability of quality control measurement results for food products and food raw materials. *Measurement Techniques*. 2020;63(3):242–248. (In Russ.). <https://doi.org/10.32446/0132-4713.2020-3-64-70>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции: Технический регламент Таможенного Союза от 9 декабря 2011 г. № 880 (с изменениями на 25 ноября 2022 года) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 10.07.2023).
- ТР ТС 022/2011 Пищевая продукция в части ее маркировки: Технический регламент Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881 // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. URL: <https://legalacts.ru/doc/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n-881-o/> (дата обращения: 10.07.2023).
- ТР ТС 024/2011 Технический регламент на масложировую продукцию: Технический регламент Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 883 (с изменениями на 23 апреля 2015 года) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320571> (дата обращения: 10.07.2023).
- ТР ТС 027/2012 О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания: Технический регламент Таможенного союза от 15 июня 2012 г. № 34 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902352823> (дата обращения: 10.07.2023).
- ТР ТС 033/2013 О безопасности молока и молочной продукции: Технический регламент Таможенного союза от 9 октября 2012 г. № 67 (с изменениями на 23 сентября 2022 года) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050562>. (дата обращения: 10.07.2023).

ТР ТС 034/2013 О безопасности мяса и мясной продукции: Технический регламент Таможенного союза от 9 октября 2012 г. № 68) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050564>. (дата обращения: 10.07.2023).

ТР ЕАЭС 040/2016 О безопасности рыбы и рыбной продукции: Технический регламент Евразийского экономического союза от 18 октября 2016 г. № 162 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420394425>. (дата обращения: 10.07.2023).

ТР ЕАЭС 051/2021 О безопасности мяса птицы и продукции его переработки: Технический регламент Евразийского экономического союза от 29 октября 2021 г. № 110 (с изменениями на 15 февраля 2023 года) // Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/726913772>. (дата обращения: 10.07.2023).

ГОСТ 5668–2022 Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира = Bakery products. Methods for determination of fat content. М.: Российский институт стандартизации, 2022. 28 с.

ГОСТ 5867–2023 Молоко и молочные продукты. Методы определения жира = Milk and dairy products. Method of determination of fat. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 24 с.

ГОСТ 7636–85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа = Fish, marine mammals, invertebrates and products of their processing. Methods of analysis. М.: Стандартинформ, 2010. 86 с.

ГОСТ 8756.21–89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира = Products of fruits and vegetables processing. Methods for determination of fat. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.

ГОСТ 10857–64 Семена масличные. Методы определения масличности = Oil seeds. Methods for determination of oil content. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.

ГОСТ 13496.15–2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира = Feeds, mixed feeds, feed raw material. Methods for determining the raw fat content. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

ГОСТ 13979.2–94 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения массовой доли жира и экстрактивных веществ = Oilcakes, oilmeals and powdered mustard seed cake. Method for determination of oil and extractive substances mass fraction. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 6 с.

ГОСТ 15113.9–77 Концентраты пищевые. Методы определения жира = Food concentrates. Methods for determination of fat. М.: Издательство стандартов, 1984. 9 с.

ГОСТ 18481–81 Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия = Glass hydrometers and cylinders. General specifications. М.: Стандартинформ, 2007. 23 с.

ГОСТ 22524–77 Пикнометры стеклянные. Технические условия = Glass density bottles. Specifications. М.: Издательство стандартов, 1985. 22 с.

ГОСТ 22760–77 Молочные продукты. Гравиметрический метод определения жира = Milk products. Gravimetric method for determination of fat content. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.

ГОСТ 23042–2015 Мясо и мясные продукты. Методы определения жира = Meat and meat products. Methods of fat determination. М.: Стандартинформ, 2016. 13 с.

ГОСТ 23094–78 Жиромеры стеклянные. Общие технические условия = Glass butyrometers. General specifications. М.: Издательство стандартов, 1991. 14 с.

ГОСТ 26183–84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения жира = Fruit and vegetable processed products, canned meat and meat-vegetable mixtures. Method for determination of fat. М.: Издательство стандартов, 1984. 7 с.

ГОСТ 26829–86 Консервы и пресервы из рыбы. Методы определения жира = Canned and preserved fish. Methods of fat determination. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 11 с.

ГОСТ 27670–88 Мука кукурузная. Метод определения жира = Corn flour. Method for determination of fat. М.: Стандартинформ, 2007. 4 с.

ГОСТ 29033–91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира = Grain and derived products. Determination of fat content. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 6 с.

ГОСТ 29169–91 Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки с одной отметкой = Laboratory glassware. One-mark pipettes. М.: Стандартинформ, 2008. 9 с.

- ГОСТ 29247–91 Консервы молочные. Методы определения жира = Canned milk. Methods for determination of fat. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.
- ГОСТ 30131–96 Жмыхи и шроты. Определение влаги, жира и протеина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области = Oil-cake and ground oil-cake. Determination of moisture, oil and protein by infrared reflectance. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. 20 с.
- ГОСТ 30648.1–99 Продукты молочные для детского питания. Методы определения жира = Infant milk products. Methods for determination of fat. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 11 с.
- ГОСТ 31469–2012 Пищевые продукты переработки яиц сельскохозяйственной птицы. Методы физико-химического анализа = Foodstuffs of processed domestic poultry eggs. Methods for physicochemical analysis. М.: Стандартинформ, 2014. 45 с.
- ГОСТ 31795–2012 Рыба, морепродукты и продукция из них. Метод определения массовой доли белка, жира, воды, фосфора, кальция и золы спектроскопией в ближней инфракрасной области = Fish, marine products and products of them. Method of determining the fraction of total mass of protein, fat, water, phosphorus, calcium and ash by the near-infra-red spectrometry. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
- ГОСТ 31902–2012 Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли жира = Confectionery. Methods of determination of fat weight fraction. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
- ГОСТ 32040–2012 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области = Fodder, mixed and animal feed raw stuff. Spectroscopy in near infra-red region method for determination of crude protein, crude fibre, crude fat and moisture. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с.
- ГОСТ 32189–2013 Маргарины, жиры для кулинарии, кондитерской, хлебопекарной и молочной промышленности. Правила приемки и методы контроля = Margarines, cooking fats, fats for confectionery, baking and dairy industry. Sampling rules and methods of control. М.: Стандартинформ, 2014. 40 с.
- ГОСТ 32255–2013 Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора = Milk and milk products. Instrumental express-method for determination of physic-chemical identification parameters by infrared analyzer. М.: Стандартинформ, 2014. 29 с.
- ГОСТ 32749–2014 Семена масличные, жмыхи и шроты. Определение влаги, жира, протеина и клетчатки методом спектроскопии в ближней инфракрасной области = Oilseeds, oilcakes and oilmeals. Determination of moisture, oil, protein and fiber by Near-Infrared Reflectance. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
- ГОСТ 32905–2014 (ISO 6492:1999) Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого жира = Feeds, mixed feeds and raw material. Method for determination of fat content. М.: Стандартинформ, 2015. 17 с.
- ГОСТ 33925–2016 Продукты детского питания. Определение массовой доли жира методом Вейбулла-Бернтропа = Infant foods. Determination of fat content by the Weibull-Berntrop method. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
- ГОСТ 33926–2016 Продукты молочные составные и молокосодержащие. Мороженое и смеси для мороженого. Определение массовой доли жира методом Вейбулла-Бернтропа = Milk products and milk-based foods. Edible ices and ice-mixes. Determination of fat content by the Weibull-Berntrop method. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
- ГОСТ 34455–2018 Продукция молочная. Определение массовой доли жира методом Вейбулла-Бернтропа = Dairy products. Determination of fat content by the Weibull-Berntrop method. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.
- ГОСТ 34567–2019 Мясо и мясные продукты. Метод определения влаги, жира, белка, хлористого натрия и золы с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области = Meat and meat products. Method for determination of moisture, fat, protein, sodium chloride and ash using near infrared spectroscopy. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
- ГОСТ 8.482–83 Государственная система обеспечения единства измерений. Жироскопы стеклянные. Методы и средства проверки = State system for ensuring the uniformity of measurements. Glass butyrometers. Methods and means of verification. М.: Издательство стандартов, 1983. 12 с.
- ГОСТ 8.597-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Семена масличных культур и продукты их переработки. Методика измерений масличности и влажности методом импульсного ядерного магнитного резонанса = State system for ensuring the uniformity of measurements. Oilseeds and oilseeds residues. Determination of oiliness and moisture content using pulsed nuclear magnetic resonance spectrometry. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.
- ГОСТ Р 51452–99 Консервы молочные сгущенные. Гравиметрический метод определения массовой доли жира = Evaporated and sweetened condensed milk. Gravimetric method for determination of fat content. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с.

ГОСТ Р 51457–99 Сыр и сыр плавленый. Гравиметрический метод определения массовой доли жира = Cheese and processed cheese products. Gravimetric method for determination of fat content. М.: Стандартинформ, 2011. 10 с.

ГОСТ Р 54607.5–2015 Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 5. Методы определения жира = Public catering services. Methods of laboratory quality control of products of public catering. Part 5. Methods for determination of fat. М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.

ГОСТ Р 54607.8–2016 Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 8. Ускоренные методы контроля = Public catering services. Methods of laboratory quality control of products catering. Part 8. Rapid-methods of control. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

ГОСТ Р 55063–2012 Сыры и сыры плавленые. Правила приемки, отбор проб и методы контроля = Kinds of cheese and processed cheese. The rules of test acceptance, sampling and control methods. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

ГОСТ Р 55361–2012 Жир молочный, масло и паста масляная из коровьего молока. Правила приемки, отбор проб и методы контроля = Milk fat, butter and butter paste made from cow milk. Acceptance rules, sampling and control methods. М.: Стандартинформ, 2014. 89 с.

ГОСТ Р 57543–2017 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и влаги с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области в режиме измерения спектров пропускания = Feedstuffs, compound feeds, feed raw materials. Method for determination of crude protein, crude fiber, crude fat and moisture using spectroscopy in the near-infrared region measurement mode transmission spectra. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.

ГОСТ Р ИСО 2446–2011 Молоко. Метод определения содержания жира = Milk. Method for determination of fat content. М.: Стандартинформ, 2012. 17 с.

ГОСТ ISO 659–2017 Семена масличных культур. Определение содержания масла (Контрольный метод) = Oilseeds. Determination of oil content (Reference method). М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.

ГОСТ ISO 734-1-2016 Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. Часть 1. Метод экстракции гексаном (или легким петролевым эфиром) = Oilseed residues. Determination of oil content. Part 1. Extraction method with hexane (or light petroleum). М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

ГОСТ ISO 734-2-2016 Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. Часть 2. Метод ускоренной экстракции = Oilseed residues. Determination of oil content. Part 2. Extraction method with hexane (or light petroleum). М.: Стандартинформ, 2016. 11 с.

ГОСТ ISO 1736–2014 Молоко сухое и сухие молочные продукты. Определение содержания жира. Гравиметрический метод (контрольный метод) = Dried milk and dried milk products. Determination of fat content. Gravimetric method (reference method). М.: Стандартинформ, 2016. 15 с.

ГОСТ ISO 11085–2016 Корма, зерно и продукты его переработки. Определение содержания сырого и общего жира методом экстракции Рэндалла = Feeds, cereals and cereals-based products. Determination of crude fat and total fat content by the Randall extraction method. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергеева Анна Сергеевна – канд. хим. наук, старший научный сотрудник лаборатории метрологии влагометрии и стандартных образцов УНИИМ – филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»
620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, д. 4
e-mail: sergeevaas@uniim.ru
Researcher ID: AAE-7942–2021
<https://orcid.org/0000-0001-8347-2633>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna S. Sergeeva – Cand. Sci. (Chem.), senior researcher, laboratory for metrological support of moisture measurement and reference materials, UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology
4 Krasnoarmeyskaya str., Yekaterinburg, 620075, Russia
e-mail: sergeevaas@uniim.ru
Researcher ID: AAE-7942–2021
<https://orcid.org/0000-0001-8347-2633>