$$E_{ik} = U_0 + \frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\mu_i^2}{R^2} + \frac{k^2}{L^2}\right), \quad (4)$$

где $\mu^2 = [2m(E - U_0)/h^2] - \frac{k^2}{L^2}$, $J_n(x)$ – функция Бесселя целого индекса, μ_i – действительные корни уравнения $J_n(\mu_i R) = 0$, n,m,k =0,1,2,3 ……., R – радиус УНТ, L – её длина.

Если определить частоту для разности состояний с большими индексами, то из-за перемежаемости корней функций Бесселя, можно найти состояния с частотами порядка нескольких терагерц. Этот факт позволяет высказать предположение, что состояния УНТ как цилиндрического барьера определяют квантовые индуктивность и ёмкость УНТ.

Кроме того, движения тока через состояния с большими значениями n и **m** , из-за свойства перемежаемости корней уравнения $J_n(kR) = 0$, дает возможность управления частотной зависимостью тока от внешнего поля. Действительно, разность величин $\mathbf{E_{nm}}$ для различных значений n и m, неявно, через зависимость корней от высоты потенциального барьера, определяется и величиной приложенного поля. Это даёт возможность дополнительной настройки в резонанс, которая может быть осуществлена подстройкой «продольной» составляющей тока, зависящей от длины нанотрубки.

Заключение. Предложенная интерпретация появления квантовых индуктивности и ёмкости УНТ носит качественный характер. С другой стороны, она позволяет высказать соображения о физическом механизме появления таких свойств УНТ.

1. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П.Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 488с.

2. Handbook of Carbon Nanotubes. / Ed. Jiji Abraham, Sabu Thomas, Nandakumar Kalarikkal / Springer Nature. Switzerland AG. 2022. 2112 P./DOI:10.1007/978-3-030-91346-5

3. Hans G. Schants The Art and Science of Ultrawideband Antennas / Artech House. London. 2015. 593 p.

4. Семененко В.Л., Лейман В.Г., Арсенин А.В., Стебунов Ю.В., Рыжий В.И. Система из двух углеродных нанотрубок как антенна и детектор терагерцевого излучения//Журнал радиоэлектроники. – 2012. – № 6.– с. 2–15.

5. Burke P.J., Li S., Yu Z. Quantitative Theory of Nanowire fnd Nanotube Antenna Perfomance / arXiv: cond – mat/0408418v1. 2004. P. 15.

6. Monsen Razavy Quantum theory of tunnrling / 2nd Edition. World Scientific Publishing Co. – 2014. – 792 p.

7. Бохан Ю.И. Особенности протекания тока в цилиндрическом барьере // Материалы 76-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. / Витеб. гос. ун-т; ред-кол.: Е.Я. Аршанский (гл. ред.) [и др.]. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. с. 19–21.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ СЫРОЙ КЛЕТЧАТКИ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

А.Э. Буевич, Т.В. Буевич
Витебск, ВГУ имени П.М. Машерова

Интеграционные процессы в экономике и науке требуют согласования требований стандартов, что особенно актуально в области метрологии. В соответствии с национальным стандартом СТБ ИСО/МЭК 17025–2007 [1], базирующемся на международном стандарте ISO/IEC 17025, при аккредитации испытательных и калибровочных лабораторий обязательным условием является представление оценки неопределенности при определении содержания веществ.

Цель исследования – разработать алгоритм определения массовой доли сырой клетчатки по ГОСТ 31675-2012 [2] с учетом неопределенности измерений.

Материал и методы. Разработан и реализован алгоритм определения массовой доли сырой клетчатки согласно пункту 7 [2]. Методика основана на последовательной обработке навески испытуемой пробы растворами кислоты и щелочи, озолении вещества и количественном определении органического остатка весовым методом, который

и дает основной вклад в неопределенность. Содержание сырой клетчатки выражают в виде массовой доли в процентах или в граммах на 1 килограмм сухого вещества. Использованы теоретические методы: анализ, синтез, контент-анализ, сопоставительный анализ и моделирование. Работа выполнялась по заказу ООО «ВиннерАгро», г. Гродно.

Результаты и их обсуждение. Неопределенность измерения, в отличие от погрешности, представляет собой количественную характеристику рассеяния результатов измерений, учитывая все возможные источники влияния. Неопределенность выражается не просто как числовое значение, а как диапазон значений, с определенной вероятностью покрывающий истинное значение измеряемой величины. Такой подход значительно повышает достоверность результатов измерений, позволяя более точно оценить доверительные интервалы и границы допустимых отклонений [3].

Измерительная задача заключается в определении содержания вещества, сырой клетчатки с использованием полуавтоматической экстрагирующей системы типа «Фибертек» (далее полуавтоматической системы). Для измерения навесок используются весы лабораторные с пределом допускаемой абсолютной погрешности однократного взвешивания не более ± 0,001 грамм. Отбор и подготовка проб, приготовление растворов и материалов осуществляются по [2] согласно пунктам 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3. Навеску испытуемой пробы взвешивают на весах с погрешностью ± 0,001 грамма и помещают в стеклянном фильтрующем тигле со слоем кварцевого песка толщиной 5 мм в полуавтоматическую систему. В «горячем» экстракторе под воздействием реактивов неизмеряемые вещества удаляются, в пробе остается клетчатка. После в «холодном» экстракторе тигли промывают три раза ацетоном, каждый раз отсасывая ацетон под вакуумом. Затем тигли сушат в сушильном шкафу, взвешивают на весах, озоляют в муфельной печи и вновь взвешивают.

Математическая модель определения массовой доли сырой клетчатки Y (%) в сухом веществе пробы строится на основании формулы, представленной в пункте 7 [2]:

$$Y = 100 \cdot \frac{m1-m2}{m3} \cdot \frac{100}{100-m4}, \quad (1)$$

где m_1 – масса нутч-фильтра с клетчаткой после высушивания, в граммах; m_2 – масса нутч-фильтра после озоления, в граммах; m_3 – масса навески, в граммах; m_4 – массовая доля гигроскопической влаги, в %; (100 - m4) – массовая доля сухого вещества в %.

Основной вклад в суммарную стандартную неопределенность вносит процесс взвешивания навесок. Стандартная неопределенность взвешивания имеет треугольный закон распределения [4] и определяется по формуле:

$$um_i = \frac{\Delta m}{\sqrt{6}}, \quad (2)$$

где Δm – абсолютная погрешность однократного взвешивания на весах, ± 0,0001 грамм; $\sqrt{6}$ – признак треугольного распределения абсолютной погрешности.

Стандартная неопределенность взвешивания m_3 и m_4 определяется по формулам:

$$um_3 = \frac{\Delta m}{\sqrt{6}}, \quad (3)$$

$$um_4 = \frac{\Delta m}{\sqrt{6}}. \quad (4)$$

Значение вклада в неопределенность полуавтоматической системы по паспорту составляет 5 % от полученного значения и описывается по формуле:

$$um_i = um_i + um_i * uf, \quad (5)$$

где uf – вклад в неопределенность полуавтоматической системы; m_i – неопределенность взвешивания веществ после обработки полуавтоматической системой.

Стандартная неопределенность взвешивания m_1 и m_2 определяется по формулам:

$$um_1 = \frac{\Delta m}{\sqrt{6}} + \frac{\Delta m}{\sqrt{6}} * 0,05, \quad (6)$$

$$um_2 = \frac{\Delta m}{\sqrt{6}} + \frac{\Delta m}{\sqrt{6}} * 0,05, \quad (7)$$

где m_1 – масса нутч-фильтра с клетчаткой после высушивания; $\frac{\Delta m}{\sqrt{6}} * 0,05$ – вклад в стандартную неопределенность полуавтоматической системы при взвешивании навески m_1; m_2 – масса нутч-фильтра после озоления.

Для определения доли вклада (весового коэффициента) в суммарную стандартную неопределенность вычислим частные производные навесок m_1, m_2, m_3, m_4:

$$\Delta m_1 = \frac{\partial y}{\partial m_1} = \frac{10000}{m_3(100 - m_4)}, \quad (8)$$

$$\Delta m_2 = \frac{\partial y}{\partial m_2} = -\frac{10000}{m_3(100 - m_4)}, \quad (9)$$

$$\Delta m_3 = \frac{\partial y}{\partial m_3} = -\frac{10000(m_1 - m_2)}{m_3^2(100 - m_4)}, \quad (10)$$

$$\Delta m_4 = \frac{\partial y}{\partial m_4} = \frac{10000(m_1 - m_2)}{m_3(100 - m_4)^2}. \quad (11)$$

При расчете суммарной стандартной неопределенности за окончательный результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных определений массовой доли сырой клетчатки, полученных в условиях повторяемости. Значения Y1 и Y2 являются независимыми друг от друга, то есть не являются коррелированными. Мерой корреляции двух случайных величин является ковариация. Ковариация, связанная с оценками двух величин Y1 и Y2, устанавливается равной нулю, так как обе величины независимы друг от друга на основании [1]. Среднее арифметическое:

$$Y = y_{sr} = \frac{y_1 + y_2}{n}, \quad (12)$$

где: n – количество определений, в нашем случае два наблюдения. После подстановки в формулу (12) значений Y1 и Y2 (1) получаем:

$$y_{sr} := 20000 \frac{m_1 - m_2}{m_3(100 - m_4)n}, \quad (13)$$

где: n – количество определений, в нашем случае два наблюдения.

Стандартная неопределенность повторяемости Uysr оценивается на обоснованных методах статистической обработки данных, таких как «расчет стандартного отклонения и среднего значения на основании серии наблюдений», является экспериментальным стандартным отклонением среднего значения и вычисляется по формуле:

$$Uysr = \sqrt{\left(\frac{\left(y_{sr} - y_1\right)^2 + \left(ysr - y_2\right)^2}{n\left(n-1\right)}\right)}, \tag{14}$$

где: n – количество определений, в нашем случае два наблюдения. После подстановки в формулу (14) Y1, Y2 (1) и значения Ysr (13) получим:

$$Uy = \left(\sqrt{2}\right)\sqrt{\left(\frac{\left(20000\frac{m_1 - m_2}{m_3\left(100 - m_4\right)n} - 10000\frac{m_1 - m_2}{m_3\left(100 - m_4\right)}\right)^2}{n\left(n-1\right)}\right)} \quad . \tag{15}$$

Таким образом, суммарная стандартная неопределенность вычисляется:

$$U = \sqrt{\left(\Delta m_1^2 um_1^2 + \Delta m_2^2 um_2^2 + \Delta m_3^2 um_3^2 + \Delta m_4^2 um_4^2 + Uy^2\right)}. \tag{16}$$

Подставив в формулу (16) выражения (8-11) для Δm_1, Δm_1, Δm_1, Δm_1, выражение (15) для Uy, вычисляем суммарную стандартную неопределенность:

$$U = \frac{\sqrt{\frac{900000000\left(\frac{\Delta m}{\sqrt{6}} + \frac{m_1}{200}\right)^2}{m_3^2\left(100 - m_4\right)^2} + \frac{900000000\left(\frac{\Delta m}{\sqrt{6}} + \frac{m_2}{200}\right)^2}{m_3^2\left(100 - m_4\right)^2}} +}{3}$$

$$+ \frac{\sqrt{\frac{150000000\left(m_1 - m_2\right)^2 \Delta m^2}{m_3^4\left(100 - m_4\right)^2} + \frac{150000000\left(m_1 - m_2\right)^2 \Delta m^2}{m_3^2\left(100 - m_4\right)^4}}}{3} + \tag{17}$$

$$+ \sqrt{\frac{18\left(\frac{20000\left(m_1 - m_2\right)}{m3\left(100 - m_4\right)n} - \frac{10000\left(m_1 - m_2\right)}{m3\left(100 - m_4\right)}\right)^2}{n\left(n-1\right)}}$$

Расширенная неопределенность с вероятностью охвата 95% вычисляется умножением на коэффициент 2 значения U (17) и вычисляется по формуле $U_{95} := 2U$. Расширенная неопределенность с вероятностью охвата 99% вычисляется умножением на коэффициент 3 значения U (17) и вычисляется по формуле $U_{99} = 3U$.

Заключение. Полный результат измерения состоит из оценки измеряемой величины Y и расширенной неопределенности U с требуемым коэффициентом охвата измеряемой величины в форме $Y = y_{sr} \pm U_{95}$ с указанием единиц измерений.

1. СТБ ИСО/МЭК 17025–2007 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий, 42 с.

2. ГОСТ 31675-2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации = Feeds. Methods for determination of crude fibre content with intermediate filtration: межгосударственный стандарт: изд. офиц.: введен впервые: введен 2013-07-01 / Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Всерос. научно-исследоват. ин-т кормов им. В.Р. Вильямса. — Москва: Стандартинформ, 2014. – II, 9 с.: 29 см.

3. Буевич, А.Э. Методика определения содержания нейтрально-детергентной клетчатки в кормах с применением амилазы с учетом неопределенности измерений / А.Э. Буевич, Т.В. Буевич // Наука - образованию, производству, экономике [Электронный ресурс]: материалы 76-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. – С. 21–24. URL: https://rep.vsu.by/handle/123456789/42076 (дата обращения: 20.01.2025).

4. Буевич, А.Э. Разработка программ для автоматизации расчетов содержания веществ с учетом неопределенности измерений / А.Э. Буевич, Т.В. Буевич // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 364–367.