

Входные величины некоррелированные. Суммарная стандартная неопределенность с учетом коэффициентов чувствительности, представляет собой частные производные выходной величины от входной [4]. Расширенную неопределенность U рассчитывают путем умножения суммарной стандартной неопределенности U_1 на коэффициент охвата k , равный 2 в предположении нормального распределения с вероятностью охвата 0,95. $U = 2 \cdot U_1$ или на коэффициент охвата k , равный 3 в предположении нормального распределения с вероятностью охвата 0,99. $U = 3 \cdot U_1$. Полный результат измерения записывается в следующем виде: $(X \pm U)$, где цифра, следующая за знаком $\pm$ стандартная неопределенность: $X \pm 0.01742336003$.

Далее величина U является расширенной неопределенностью, рассчитанной при коэффициенте охвата $k = 2$ и вероятности охвата 0,95: $X \pm 0.03484672006$ и при коэффициенте охвата $k = 3$ и вероятности охвата 0,95: $X \pm 0.05227008009$.

Заключение. Разработана методика определения массовой доли протеина в кормах, комбикормах, сырье с учётом неопределённости измерений. Определены влияющие факторы, найдены стандартные, расширенные неопределенности и их процентный вклад в суммарную неопределенность.

1. СТБ ИСО/МЭК 17025–2007 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий, 42 с.
2. Бувич, А. Э. Методика определения содержания нейтрально-детергентной клетчатки в кормах с применением амилазы с учетом неопределенности измерений / А. Э. Бувич, Т. В. Бувич // 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.
3. Бувич, А. Э. Разработка программ для автоматизации расчетов содержания веществ с учетом неопределенности измерений / А. Э. Бувич, Т. В. Бувич // Материалы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2024. – Т. 2. – С. 364–367.

МЕТОДИКА ВАЛИДАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА МАССОВОЙ ДОЛИ ПРОТЕИНА

Ерощенко А.С.¹, Шелестюкович Е.Г.²,

*¹студент 2 курса, ²магистрант ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научные руководители – Бувич А.Э., канд. техн. наук, доцент,
Бувич Т.В., канд. техн. наук, доцент*

Ключевые слова. Компьютерная программа, валидация, верификация, неопределенность измерений.

Keywords. Computer program, validation, verification, measurement uncertainty.

Актуальность темы исследования. Установка нового программного обеспечения заканчивается после обязательной валидации, мониторинг.

Цель работы – разработать методику валидации программного обеспечения для определения содержания азота и сырого протеина по ГОСТ 13496.4-2019 п.8. с учетом неопределенности измерений. Данная цель является актуальной.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1 представлено окно программы для автоматизированного определения массовой доли сырого протеина в кормах.

На рисунке 1, кремовые поля (обведенные прямоугольной областью) заполняются известными числовыми данными являются единственными, которые могут быть изменены оператором. Значения остальных полей вычисляемые и не могут быть изменены оператором. Для проверки работы программного обеспечения далее представлены фрагменты алгоритма, включая формулы для расчета промежуточных данных и вычисляемых полей программы. Все расчеты разработанного программного обеспечения проверяются вычислениями вручную с помощью независимого программного обеспечения. Расчеты также проверяются при помощи калькулятора.

Определение содержания сырого протеина. ГОСТ 13496.4-2019. п.8.

Источники неопределенностей: отклонение бюретки, $\alpha =$ 0,1

влияние температуры от 20 до 25 градусов цельсия * 2,1 *E-4

избыточный объем титранта $\pm$ 0,05 весы с погрешностью $\pm$ 0,001

Цена наименьшего деления бюретки = 0,05

Измерение №1	Измерение №2	Неопределенность	Вклад (%) в
масса навески	масса навески	взвешивания	неопределенность
m1= 0,7359	m2= 0,7255	um= 0,00040825	dum= 0,26899
объемы титрантов	объемы титрантов	объема титранта	объема титранта
V01= 0,353	V02= 0,353	uV0= 0,07071084	duV0= 46,59009
V11= 19,251	V12= 19,082	uV1= 0,07119057	duV1= 46,90618
X1= 3,59522	X2= 3,61414	uXcp= 0,00946261	duXcp= 6,23475
0,0014	масса азота, эквивалентная массе серной кислоты		
1,0	'K' поправка к титру раствора серной кислоты		
Расхождение двух параллельных определений		Посмотреть отчет	
при P=0,95. r=	0,0189	<=	0,1281
Результат $\pm$ расширенная неопределенность (k=2)		Посмотреть статистику	
X =	3,6047	$\pm$	0,20157211
Суммарная стандартная неопределенность измерения =		0,10078605	
Расширенная неопределенность с вероятностью охвата 0,95 =		0,20157211	
Расширенная неопределенность с вероятностью охвата 0,99 =		0,30235816	

Рисунок 1 – Окно программы

Стандартная неопределенность взвешивания для навесок m1 для первого и второго определений имеет треугольный закон распределения и вычисляется по формуле: $u_m := \Delta_m / \sqrt{6}$, где Δ_m – точность взвешивания (0,001 г.); $\sqrt{6}$ – квадратный корень из 6. После подстановки значения переменной $\Delta_m = 0,001$, получим число 0,0004082482906г, которое является стандартной неопределенностью взвешивания. Таким образом $u_m = 0,0004082482906$ г. В окне программы указывается точность взвешивания 0,001 и вычислена стандартная неопределенность взвешивания 0,00040825, значение округлено.

Эквивалентный объем титранта (жидкости), пошедшей на титрование, подвержен влиянию трех основных источников неопределенности: калибровка, воздействие температуры и смещение в результате визуального установления конечной точки титрования. Калибровка: стандартная неопределенность эквивалентного объема титранта, возникающая из-за отклонения бюретки от номинальной вместимости ($\alpha = 0,1$ мл) при ее изготовлении: $u_{V1b} := \alpha / \sqrt{3}$, где α – переменная величина, которая может быть изменена в зависимости от требований в нашем случае 0,1; $\sqrt{3}$ – квадратный корень из 3. Окно программы с переменными величинами показано на рисунке 2.

Влияние температуры, возможные колебания эквивалентного объема титранта, а из-за отличия температуры, при которой проводятся испытания, от температуры, при которой калибруется бюретка, определяют по формуле:

$$\alpha_{t_t} := (2,1 * V_1 * 10^{(-4)}) * \Delta_{t_t}$$

где V_1 – эквивалентного объем титранта; Δ_{t_t} – допустимый температурный диапазон (разница между максимальной и минимальной температурами, при которых допустимо проводить испытания) в нашем случае $25 - 20 = 5$ градусов.

×

Определение содержания сырого протеина. ГОСТ 13496.4-2019. п.8.

Источники неопределенностей:		отклонение бюретки, alpha=		0,1	
влияние температуры от	20	до	25	градусов цельсия *	2,1 *E-4
избыточный объем титранта ±		0,05		весы с погрешностью ±	0,001
Цена наименьшего деления бюретки =		0,05			

Измерение №1	Измерение №2	Неопределенность	Вклад (%) в
масса навески	масса навески	взвешивания	неопределенность
m1= 0,7359	m2= 0,7255	um= 0,00040825	dum= 0,26899
объемы титрантов	объемы титрантов	объема титранта	объема титранта
V01= 0,353	V02= 0,353	uV0= 0,07071084	duV0= 46,59009
V11= 19,251	V12= 19,082	uV1= 0,07119057	duV1= 46,90618
X1= 3,59522	X2= 3,61414	uXcp= 0,00946261	duXcp= 6,23475

Рисунок 2 – Фрагмент окна программы

Исходя из равномерного распределения вероятностей значений эквивалентного объема титранта в указанном интервале стандартная неопределенность $u_{v1t} := \alpha_t / \sqrt{3}$, где $\sqrt{3}$ – квадратный корень из 3.

Визуальное установление конечной точки титрования определяется по изменению цвета индикатора происходит в некотором диапазоне pH, что приводит к избыточному объему титранта и смещению результата титрования, при этом избыточный объем титранта равен объему одной капли и для бюретки составляет 0,05 мл. Исходя из равномерного распределения вероятностей значений избыточного объема титранта в указанном интервале стандартная неопределенность определяется по формуле:

$$u_{v1k} := \delta / \sqrt{3},$$

где δ – избыточный объем титранта равен объему одной капли (0,05).

Визуальное установление объема титранта выполняется по цене деления бюретки $\delta = 0,05$ мл. Объем титранта определяется исходя из равномерного распределения вероятностей значений эквивалентного объема титранта определенного по шкале бюретки и определяется по формуле: $u_{v1c} := \delta / \sqrt{3}$, где δ – цена деления бюретки.

Вклады рассчитывают, суммируют и получают стандартную неопределенность эквивалентного объема титранта израсходованного на титрование, которую рассчитывают по формуле: $uv1 := \sqrt{u_{v1b}^2 + u_{v1c}^2 + u_{v1k}^2 + u_{v1t}^2}$.

После подстановки получим: $uv1 := \sqrt{0.0050000000001 + 1.837500000*10^{(-7)}*V1^2}$, где V1 – объем титранта израсходованного на титрование.

Массовая доля сырого протеина по ГОСТ 13496.4-2019 п.8 вычисляется соответственно для параллельных определений, находится среднее значение:

$$\begin{aligned} X_1 &:= (0.0014*(V1 - V0)*K)*100/m, \\ X_2 &:= (0.0014*(V1 - V0)*K)*100/m, \\ X_{cp} &:= (X_1 + X_2)/n, \end{aligned}$$

где: K1 = 1 – поправка к титру раствора гидроокиси натрия молярной концентрации (см. рис. 2.5); 0,0014 – масса азота, эквивалентная массе серной кислоты (см. рис. 2.5); V1 – объем раствора серной кислоты, израсходованный на титрование испытуемого раствора; V0 – объем раствора серной кислоты, израсходованный на титрование в контрольном опыте; m – масса навески. Для m := 0.7359; V0 := 0.353; V1 := 19.251: X₁ := 3.595216741. Для m := 0.7255; V0 := 0.353; V1 := 19.082: X₂ := 3.614141972. Фрагмент окна программы с расчетами представлен на рисунке 3.

V01=	0,353	V02=	0,353	uV0=	0,07071084	duV0=	46,59009
V11=	19,251	V12=	19,082	uV1=	0,07119057	duV1=	46,90618
X1=	3,59522	X2=	3,61414	uXcp=	0,00946261	duXcp=	6,23475
0,0014		масса азота, эквивалентная массе серной кислоты					
1,0		K' поправка к титру раствора серной кислоты					
Расхождение двух параллельных определений							
при P=0,95. t=		0,0189		<=		0,1281	
Посмотреть отчет							
Результат ± расширенная неопределенность (k=2)							
X =	3,6047	±	0,20157211				
Посмотреть статистику							
Суммарная стандартная неопределенность измерения =						0,10078605	
Расширенная неопределенность с вероятностью охвата 0,95 =						0,20157211	

Рисунок 3 – Фрагмент окна программы

Заключение. Поскольку не было выявлено никаких расхождений, валидация расчетов считается выполненной. Мониторинг проводится лицом ответственным за верификацию и регистрируется в журнале верификации программного обеспечения. Верификация проводится путем подстановки данных из проверенного шаблона в рабочий, на момент верификации, файл программы. В случае совпадения результатов верификация считается успешной.

1. Бувич, А. Э. Методика определения содержания нейтрально-детергентной клетчатки в кормах с применением амилазы с учетом неопределенности измерений / А. Э. Бувич, Т. В. Бувич // 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.

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

3. Бувич, А. Э. Алгоритм определения массовой доли сырой клетчатки с учетом неопределенности измерений / А. Э. Бувич, Т. В. Бувич // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 77-й Региональной научно-практической конференции преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 28 февраля 2025 г. – Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2025. – С. 15-18. – Библиогр.: с. 18 (4 назв.).

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА КОРМОВ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Жаворонкова М.Л., Журавлёва К.Ю.,

студенты 3 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

Научные руководители – Бувич А.Э., канд. техн. наук, доцент,

Бувич Т.В., канд. техн. наук, доцент

Ключевые слова. Неопределенность измерений, автоматизированный анализ, аккредитованная лаборатория, массовая доля, обменная энергия, кормовые единицы.

Keywords. Measurement uncertainty, automated analysis, accredited laboratory, mass fraction, exchange energy, feed units.

Современные стандарты (ГОСТ ISO/IEC 17025:2019 (ISO/IEC 17025:2017)) требуют обязательной оценки неопределенности измерений в аккредитованных лабораториях, однако в области производства кормов до сих пор широко применяются традиционные методы, не учитывающие неопределённости измерений, что приводит к снижению достоверности результатов анализа питательной ценности кормов. Отсутствие единой методики комплексного анализа кормов с учетом неопределенности измерений создает серьезный пробел в обеспечении качества контроля кормов. Тема работы соответствует