

## ВЕРИФИКАЦИЯ СТАНДАРТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДИК НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗОТА (БЕЛКА) В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Ю.Н. Архангелова, М. В. Петровичева,  
М.А. Феофанова, М.И. Скобин

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

В представленной статье предложена универсальная методика определения азота, с дальнейшим расчетом белка в различных пищевых продуктах. Проведены сравнительные исследования методик определения азота (белка) методом Кельдаля по стандартизованным методикам в различных пищевых продуктах, выполнены соответствующие вычисления с расчетом метрологических характеристик и произведена верификация предложенной методики определения азота (белка) в пищевых продуктах по методу Кельдаля.

**Ключевые слова:** метод Кельдаля, верификация, определение азота (белка).

### Введение

Питание – одно из основных условий жизни человека. Оно играет решающую роль во всех аспектах человеческой жизни и требует своевременного и регулярного приема пищи в достаточном количестве и правильном качестве. Правильное питание оказывает влияние на работоспособность и жизнедеятельность человека, а также определяет продолжительность жизни, замедляя или ускоряя процесс старения. Питание является ключевым фактором для нормального роста и развития организма, его способности к труду и приспособления к воздействию внешней среды.

Пищевые продукты должны удовлетворять физиологические потребности человека в необходимых веществах и энергии, соответствовать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию химических, радиоактивных, биологически активных веществ и их соединений, микроорганизмов и других биологических организмов. Пищевую же ценность в продуктах питания определяет содержание белков, жиров, углеводов, минеральных веществ, а также других биологически активных соединений. А для выявления пищевого достоинства и безвредности продукта должны

проводиться исследования, позволяющие контролировать качество и безопасность получаемых продуктов питания.

Белок – является важной составляющей для нашего организма. Из-за его нарушения могут появиться проблемы со здоровьем. Необходимость постоянного получения белковой пищи человеком вызвана наличием у белка определённых функций, которые необходимы живому организму для его развития, размножения и осуществления жизнедеятельности.

Как правило, при определении белка, его содержание в пищевых продуктах определяется не напрямую, а исходя из концентрации азота. Для этого, в зависимости от выбранной методики, при расчете белка, используются определенные для разных продуктов коэффициенты для пересчета азота на белок или выполняют построение градуировочных кривых при использовании спектрофотометрических методов. Таким образом, о количестве белка в объекте можно судить по количеству определяемого азота [1].

На протяжении более ста лет для пищевых лабораторий самым распространенным, простым и удобным в реализации и проведении исследований по определению азота (белка) в пищевых продуктах и с небольшими затратами продолжает оставаться метод Кельдаля. Который и сегодня остаётся единственным общепризнанным арбитражным методом определения белка и продолжает демонстрировать свою эффективность, надежность и гарантирует достоверность результатов.

Кроме того, метод Кельдаля используется в качестве эталонного (арбитражного) метода для калибровки и настройки другого оборудования и валидации для других методик при определении азота (белка) в пищевых продуктах.

На сегодняшний день существует огромное количество стандартизованных методик определения азота (белка) по методу Кельдаля в различных пищевых продуктах. Но при поступлении большого объема разнообразных проб пищевых продуктов в лаборатории, использование разных методик становится неудобным в реализации и появляется необходимость в создании одной универсальной методики определения азота (белка) для быстроты, облегчения проведения исследований и увеличения производительности труда [2].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью подбора универсальной методики определения азота для различных категорий пищевых продуктов, что позволит специалистам в области

пищевой аналитики более эффективно и быстро проводить исследования, а также обеспечивать контроль качества.

Цель работы: верификация выбранного метода определения азота, с дальнейшим расчетом белка в продуктах питания.

На основании известных, стандартизованных методик по определению азота (белка) в различных пищевых продуктах по методу Кельдаля, в экспериментальной части будут проведены исследования по определению азота (белка) методом Кельдаля в различных пищевых продуктах, и произведены соответствующие вычисления. Важным аспектом работы станет сравнительный анализ использованных методик, который позволит оценить эффективность и точность методик, а также выбор одной универсальной методики для определения азота (белка) в разных продуктах питания. Будет проведена верификация выбранного метода с другими стандартизованными методами для возможности подтверждения получения достоверных результатов и ее использования в пищевых лабораториях.

Верификация [verification] – это процесс подтверждения того, что методика соответствует установленным к ней требованиям, в первую очередь требованиям к получению по ней результатов требуемого уровня качества [3].

Кроме этого, одним из факторов, влияющих на выбор методики, будет являться скорость получения результатов. В условиях быстроразвивающихся поставок и требований к качеству пищевых продуктов важным становится и возможность оперативного анализа. В таких случаях предпочтение может быть отдано методике, которая требует меньшего времени на подготовку образцов и непосредственно на сам анализ, что и будет являться критерием для выбора универсальной методики для всех видов пищевых продуктов.

### **Экспериментальная часть**

Для проведения экспериментов были отобраны образцы различных пищевых продуктов, включая мясные продукты (сосиски), молочные продукты (сметана), овощное пюре. Продукция была заранее подготовлена для анализа и прошла необходимую пробоподготовку. Для этого, пробу мясного продукта измельчали, дважды пропустив через мясорубку и тщательно перемешивали. При этом температура пробы должна была быть не более 25°C. Пробу молочного продукта (сметаны) и овощного пюре тщательно перемешали, добиваясь однородности. Все исследования проводились в параллелях для получения более достоверного и правильного результата.

При использовании метода Кельдаля во всех описанных ниже методиках строго соблюдались технологические этапы: сжигание пробы (минерализация), дистилляция (отгонка) и титрование.

Результаты по всем методикам определялись в процентном содержании азота с последующим пересчетом на белок (таблица 1), при использовании соответствующего коэффициента в зависимости от вида продукции, что позволило сопоставить полученные по разным методикам данные, которые дали возможность провести сравнительный анализ.

Таблица 1  
Коэффициенты пересчета азота на белок

Наименование	Коэффициент пересчета $K$	Массовая доля белка $B, \%$
Молоко	6,38	2,8
Творог обезжиренный	6,38	18,0
Творог с массовой долей жира 18 %	6,38	16,0
Отруби	6,31	14,1
Рис	5,95	7,4
Ячмень	5,83	11,5
Овес	5,83	10,1
Рожь	5,83	10,1
Орехи: арахис	5,41	29,2
миндаль	5,18	18,6
фундук	5,30	16,1
все другие орехи	5,30	-
Желатин	5,55	87,2
Все другие продукты	6,25	-

**Определение азота (белка) в мясном продукте было проведено на основании ГОСТа 25011-2017 «Межгосударственный стандарт. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка».**

Для проведения исследования использовали пробу сосиски «молочной».

Для определения точности методики анализ проводился в 10 параллелях.  
**Ход анализа:**

**1) Сжигание (минерализация):**

В необходимое количество колб Кильдаля поместили примерно по 15 г безводного сульфата калия и 0,5 г сульфата меди;

На беззольные фильтровальные бумаги отвесили около 2 г подготовленной мясной пробы (сосиски), осторожно поместили в колбы Кильдаля. Так же в колбы Кильдаля добавили по 25 см<sup>3</sup> серной кислоты. Содержимое колб осторожно перемешали.

Колбы поместили на нагревательное устройство (плитка), осторожно нагрели до появления пенообразования и продолжили сжигание при энергичном кипении до полного растворения проб, пока жидкости в колбах не стали абсолютно прозрачными и не приобрели светлые зелено-голубые окраски. Общая продолжительность минерализации составляла 2 часа.

### 2) Дистилляция (перегонка):

Все колбы Кильдаля с содержимым после сжигания охладили до температуры 40°C, осторожно добавили по 50 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, перемешали и охладили до комнатной температуры. После охлаждения провели дистилляцию водяным паром для чего монтировали соответствующую установку.

После подключения колбы Кильдаля с пробой после сжигания к установке, в колбу добавили 100 см<sup>3</sup> раствора гидроокиси натрия. В качестве приемника применили химический стакан вместимостью 500 см<sup>3</sup>, в который налили 50 см<sup>3</sup> раствора борной кислоты и четыре капли индикатора Таширо. Колбу поместили под холодильник установки для перегонки таким образом, чтобы нижний конец холодильника был полностью погружен в жидкость. С момента кипения содержимого колбы, обогрев продолжили еще в течение 20 мин., после получения не менее 150 см<sup>3</sup> дистиллята перегонку закончили, а конец холодильника сполоснули водой и проверили изменение окраски конденсата, стекающего из холодильника при помощи лакмусовой бумажки. Отсутствие изменений окраски свидетельствовало о завершении перегонки. Тоже самое провели со всеми колбами мясного продукта.

### 3) Титрование

Содержимое стакана после дистилляции титровали раствором соляной кислоты молярной концентрации 0,1 моль/дм<sup>3</sup> с помощью бюретки. Полученные результаты титрования использовали для вычисления массовой доли общего азота и последующего пересчета на белок.

Также, провели контрольный опыт, поместив в контрольную колбу Кильдаля вместо испытуемой пробы кусочек беззольной фильтровальной бумаги.

Массовую долю белка X, %, вычислили по формуле:

$$X = \frac{0,0014 \cdot (V_1 - V_2) \cdot K \cdot 100}{m} \cdot 6,25$$

где 0,0014 - количество азота, эквивалентное 1 см<sup>3</sup> 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора соляной кислоты

V1 - объем 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора соляной кислоты или объем 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование исследуемой пробы, см<sup>3</sup>;

V2 - объем 0,1 моль/дм<sup>3</sup> раствора соляной кислоты или объем 0,05 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованный на титрование контрольной пробы, см<sup>3</sup>;

K - коэффициент поправки к номинальной концентрации раствора соляной кислоты;

100 - коэффициент пересчета в проценты;

m - масса пробы, г;

6,25 - коэффициент пересчета на белок.

Таблица 2  
Результаты обсчета проведенных исследований мясного продукта по ГОСТ  
25011-2017

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
1	2	2,0001	31,747	31,747	0,2	13,802	13,801
2	2	2	31,743	31,746	0,2	13,800	13,801
3	2,0001	2	31,747	31,743	0,2	13,801	13,800
4	2	2	31,746	31,75	0,2	13,801	13,803
5	2	2	31,749	31,745	0,2	13,803	13,801
6	2	2	31,765	31,753	0,2	13,810	13,804
7	2	2	31,763	31,748	0,2	13,809	13,802
8	2	2	31,754	31,749	0,2	13,805	13,803
9	2	2	31,761	31,745	0,2	13,808	13,801
10	2	2	31,755	31,754	0,2	13,805	13,805

Далее был произведен обсчет точности методики ГОСТ 25011-2017 по Р 50.2.060-2008, сравнены метрологические характеристики методики ГОСТ 25011-2017 и метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по этому же ГОСТу.

Таблица 3  
Значения по методике ГОСТ 25011-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)
0,10	0,20	0,15

Таблица 4  
Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 25011-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,02	0,02	0,08	0,09

**Вывод:** Значения повторяемости, промежуточной прецизионности, точности в лаборатории не превышают значения аттестованной методики.

**Определение азота (белка) в молочном продукте (сметана) провели по ГОСТ 34454-2018 «Межгосударственный стандарт. Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кельдаля»**

В стаканчики с крышками и вложенными в них стеклянными палочками, не выступающими за его края, поместили и взвесили необходимое количество пробы сметаны. С помощью палочек, перенесли пробы в колбы Кельдаля, а пустые стаканчики (без продукта) с крышками и палочками вновь взвесили и по разнице между первым и вторым взвешиваниями установили массу анализируемых проб продуктов.

Для определения точности методики анализ проводился в 10 параллелях.

**Ход анализа:**

**1) Сжигание**

В колбы Кельдаля с навесками добавили по 1,50 - 2,00 г смешанного катализатора, затем осторожно прилили 10 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты и 10 см<sup>3</sup> 30%-ного раствора перекиси водорода. Колбы прикрыли и приступили к нагреванию при температуре 450 - 500 °С. В процессе нагревания следили, чтобы жидкость в колбах непрерывно кипела и на стенках колб не оставалось черных несгоревших частиц, смывая их легкими круговыми движениями. После того, как жидкости в колбах обесцветились, нагрев продолжили еще в течение 30 мин. Дали колбам остывть до температуры 20°C, и к содержимому колб прилили от 20 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и приступили к отгонке аммиака.

## 2) Дистилляция

Подготовили прибор для отгонки аммиака (такой же, что и при исследовании мясного продукта) под холодильник подставили стакан вместимостью 250 см<sup>3</sup> с 25 см<sup>3</sup> раствора борной кислоты массовой концентрации 40 г/дм<sup>3</sup> и четырьмя каплями смешанного индикатора так, чтобы кончик холодильника был погружен в раствор. Присоединили колбу Кельдаля с минерализованной пробой. В колбу Кельдаля добавили раствор гидроокиси натрия. Перегонку проводили 10 мин, считая с того момента, когда раствор борной кислоты в приемной колбе приобрел зеленое окрашивание. После окончания отгонки конец трубки холодильника ополоснули дистиллированной водой и продолжили процесс перегонки еще 2 мин. Тоже самое провели со всеми колбами молочного продукта.

## 3) Титрование

Содержимое приемного стакана после дистилляции титровали раствором соляной кислоты молярной концентрации  $c$  (HCl) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup> до перехода окраски индикатора от зеленого до слабого серо-фиолетового окрашивания.

### Обработка результатов измерений

Массовую долю белка  $X$ , %, в анализируемой пробе вычислили по формуле

$$X = \frac{(V - V_1) \cdot n \cdot 14,0067 \cdot K \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

где  $V$  - объем раствора соляной кислоты молярной концентрации  $c$  (HCl) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованной на титрование испытуемого раствора, см<sup>3</sup>;

$V_1$  - объем раствора соляной кислоты молярной концентрации  $c$  (HCl) = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, израсходованной на титрование в контрольной пробе, см<sup>3</sup>;

$n$  - фактическая молярная концентрация соляной кислоты, моль/дм<sup>3</sup>,

14,0067 - масса азота, эквивалентная 1 дм<sup>3</sup> раствора соляной кислоты молярной концентрации  $c$  (HCl) = 1 моль/дм<sup>3</sup>, г;

$K$  - коэффициент пересчета массовой доли общего азота на массовую долю общего белка;

100 - коэффициент пересчета результатов в проценты;

$m$  - масса анализируемой пробы, г;

1000 - коэффициент пересчета см<sup>3</sup> в дм<sup>3</sup>.

Таблица 5

Результаты обсчета проведенных исследований по ГОСТ 34454-2018

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
1	0,46	0,42	1,646	1,511	0,1	3,003	3,002
2	0,47	0,43	1,679	1,546	0,1	3,002	3,005
3	0,46	0,46	1,645	1,646	0,1	3,001	3,003
4	0,46	0,47	1,647	1,679	0,1	3,005	3,002
5	0,46	0,46	1,647	1,646	0,1	3,005	3,003
6	0,48	0,46	1,712	1,646	0,1	3,001	3,003
7	0,46	0,43	1,646	1,547	0,1	3,003	3,007
8	0,42	0,41	1,512	1,477	0,1	3,004	3,001
9	0,46	0,42	1,646	1,511	0,1	3,003	3,002
10	0,42	0,46	1,511	1,645	0,1	3,002	3,001

Далее был произведен обсчет точности методики ГОСТ 34454-2018 по Р 50.2.060-2008, сравнеены метрологические характеристики методики ГОСТ 25011-2017 и метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по этому же ГОСТу.

Таблица 6

Значения по методике ГОСТ 34454-2018

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)
0,12	0,20	0,14

Таблица 7

Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 34454-2018

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,06	0,04	0,12	0,14

**Вывод:** Значения повторяемости, промежуточной прецизионности, точности в лаборатории не превысили значения аттестованной методики.

**По ГОСТ 34111-2017 «Межгосударственный стандарт. Продукция соковая. Определение содержания азота методом Кельдаля» был определен азот (белок) в овощном пюре.**

Для проведения сравнительного анализа был взят аттестованный образец овощного пюре с известной массовой долей белка -1,403%. Было проведено 10 серий параллельных исследований этого образца.

**Ход анализа:**

### 1) Сжигание

Подготовленные пробы овощного пюре с необходимой массой около 10 г, поместили в пробирки для сжигания, так же в пробирки внесли по две таблетки катализатора, и добавили по 10 см<sup>3</sup> пероксида водорода. После прекращения бурной реакции осторожно прилили в каждую пробирку серную кислоту, перемешивая содержимое пробирок для сжигания легкими круговыми движениями после каждого добавления, добиваясь полного растворения продукта.

В гнезда блочного минерализатора поместили пробирки для сжигания, установили вытяжную насадку, которую подключили к скрубберу (водяному насосу), и нагрели до температуры 250 °C, не допуская сильного вспенивания содержимого.

После выдерживания в течение 15 мин установили температуру (420 +/- 10) °C и продолжили минерализацию до образования прозрачного раствора (минерализата) светло-синего или синевато-зеленого цвета, после чего пробирки с полученным минерализатом охладили на воздухе.

### 2) Дистилляция

Пробирку с минерализатом охладили и осторожно добавили в нее по 20 см<sup>3</sup> воды тщательно перемешали круговыми движениями.

В приемный стакан налили 50 см<sup>3</sup> раствора борной кислоты, и установили приемный стакан в установке так, чтобы конец выходной трубы холодильника был погружен в раствор борной кислоты. Пробирку с минерализатом присоединили к установке для перегонки, добавили 50 см<sup>3</sup> раствора гидроокиси натрия, и провели дистилляцию. Тоже самое провели с другими пробирками.

### 3) Титрование

Провели титрование полученного дистиллята в конической колбе раствором соляной кислоты до приобретения красного или розового цвета. Так же провели холостой опыт для учета поправки на содержание азота, только вместо овощного пюре взяли 1 г сахара. Массовую концентрацию азота в овощном пюре, %, вычислили по формуле

$$X = \frac{1,4 \cdot (V - V_0) \cdot K \cdot 1000}{m}$$

где 1,4 - масса азота, эквивалентная 1 см<sup>3</sup> соляной кислоты, концентрацией точно 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, мг/см<sup>3</sup>;

$V$  - объем раствора соляной кислоты, концентрации точно 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, пошедший на титрование, см<sup>3</sup>;

$V_0$  - объем раствора соляной кислоты, концентрации точно 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, пошедший на титрование в холостом определении, см<sup>3</sup>;

$K$  - коэффициент поправки к концентрации раствора соляной кислоты;

1000 - коэффициент пересчета  $\text{см}^3$  в  $\text{дм}^3$ ;

$m$ -масса пробы, г.

Таблица 8.

Результаты обсчета проведенных исследований по ГОСТ 34111-2017

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
	9,95	9,97	0,116	0,11599	0,1	1,407	1,403
	9,5	10,002	0,11527	0,11613	0,1	1,406	1,411
	9,9	10	0,11596	0,11615	0,1	1,410	1,413
	9,8	10,008	0,11574	0,11614	0,1	1,405	1,411
	9,31	10,004	0,11496	0,11602	0,1	1,406	1,401
	10,008	10,008	0,11614	0,11612	0,1	1,411	1,409
	9,72	10,005	0,11569	0,11617	0,1	1,412	1,410
	9,11	10,002	0,11467	0,1161	0,1	1,409	1,408
	10,009	10	0,1161	0,11613	0,1	1,407	1,411
	10,2	10,006	0,11643	0,11609	0,1	1,409	1,407

Далее был произведен обсчет точности методики ГОСТ 34111-2017 по Р 50.2.060-2008, сравнены метрологические характеристики методики ГОСТ 25011-2017 и метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по этому же ГОСТу.

Таблица 9.

Значения по методике ГОСТ 34111-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)
3,00	8,30	6,00

Таблица 10.

Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 34111-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,19	0,18	0,81	0,88

**Вывод:** Значения повторяемости, промежуточной прецизионности, точности в лаборатории не превышают значения аттестованной методики.

### **Методика фирмы BUCHI**

Было проведено определение азота (белка) в выбранных выше пищевых продуктах по методике к прибору, разработанной фирмой BUCHI, которая является простой, быстрой и используется в комбинации с приборами этой же фирмы. Эта методика может использоваться для анализа различных видов пищевой продукции. Проведение анализа в данной методике не зависит от вида продуктов, что отличает ее от других стандартизованных методик на конкретные виды продукции.

Для определения азота (белка) в различных пищевых продуктах использовали Диджестер BUCHI-Digestion-Systems, Скруббер, в комбинации с дистиллятором BUCHI-Kjeldahl-Systems, и автотитратором. Температура кипения в методике BUCHI достигла 370<sup>0</sup>С. Данная методика позволяет проводить сжигание нескольких проб одновременно (до 12 проб включительно).

#### **Ход анализа:**

##### **1) Сжигание**

В колбы Кельдаля с заранее подготовленными пробами и навесками около 1 г добавили по 20 см<sup>3</sup> серной кислоты (конц.) и по 10 г (2 таблетки) катализатора Кельдаля. Аккуратно перемешали содержимое колб.

Заранее произвели предварительный прогрев Диджестера в течение 15 мин на максимальной мощности и провели сжигание проб в течение 90 мин. После сжигания колбы Кельдаля с содержимым охладили до комнатной температуры.

##### **2) Дистилляция**

Для проведения дистилляции использовали прибор BUCHI-Kjeldahl-Systems.

Для получения точных результатов при поглощении аммиака использовали раствор борной кислоты 2%.

Таким же образом была проведена аттестация метода по стандартному образцу.

Для аттестации метода провели сжигание и определение азота на эталонных образцах. Для этого использовали образец фенилаланина. Общее содержание азота в фенилаланине равно w=0,0847 (8,47%). Для получения более значимых результатов проанализировали данным образом 3 эталонных образца.

Для этого взяли точную навеску 1 г сухого органического вещества. Приготовили 3 холостых опыта в параллелях, для этого использовали только колбы Кельдаля с реагентами, без пробы, в которые было помещено по 10 г (2 таблетки) смеси катализатора и по 20

см<sup>3</sup> серной кислоты (конц.). после чего смесь в колбе перемешивали и производили сжигание в Диджестере, в течение 90 мин. После сжигания образцам дали остыть до комнатной температуры. Сначала определили содержание в 3-х холостых опытах в параллелях. Затем произвели определение в неизвестной пробе и рассчитали среднее значение холостой пробы для получения конечного результата содержания общего азота.

### 3) Титрование

Для удобства и точности при использовании данной методики использовали автотитратор. Титрование было проведено соляной кислотой 0,1 н., без добавления индикатора, до конечной точки pH=4,65. По достижении точки эквивалентности титрование автоматически прекращалось.

По полученным данным автотитратора, исходя из израсходованного объема соляной кислоты, пошедшей на титрование, произвели расчет общего содержания азота, с дальнейшим пересчетом на белок при использовании необходимого коэффициента в зависимости от вида пищевой продукции.

Расчет общего содержания азота:

$$X = ((V_1 - V_0) * c * 1,4) / m$$

где, X-содержание белка в пробе

V<sub>1</sub>-объем титранта, мл

V<sub>0</sub>-объем титранта для холостого опыта

c-концентрация титранта

1,4-масса азота, эквивалентная 1 см<sup>3</sup> соляной кислоты, концентрацией точно 0,1 моль/дм<sup>3</sup>

m-навеска пробы

Таблица 11

Обсчет аттестации метода и определение азота на эталонных образцах  
(фенилаланин)

Наименование пробы	Масса навеска	Объем, пошедший на титрование, мл	Массовая доля азота, %	Среднее значение
фенилаланин 1	0,400 г	3,963	8,45	

фенилаланин 2	0,400 г	3,967	8,46	8,46
фенилаланин 3	0,400 г	3,963	8,45	
фенилаланин 4	0,400 г	3,963	8,45	
фенилаланин 5	0,400 г	3,967	8,46	
фенилаланин 6	0,400 г	3,972	8,47	

Таблица 12

Результаты определения содержания общего азота в фенилаланине

Стандартный образец	N, №	Воспроизводимость методики	Выход (%)
фенилаланин	8,46	0,43	99,9

Среднее определений для шести образцов фенилаланина 8,46% (теоретическое содержание азота 8,47%). Следовательно, расчетный выход для данного метода равен 99,9%, а воспроизводимость равна 0,43%.

Далее были проведены исследования по методике BUCHI с выбранными образцами, а именно образец сосисок, сметаны и овощного пюре. Расчеты воспроизводимости и точности данной методики приведены ниже.

Таблица 13.

Обсчет, проведенных исследований для мясной продукции по методике BUCHI

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
1	1,004	1,004	15,937	15,936	0,1	13,802	13,801
2	1,001	1,003	15,891	15,92	0,1	13,803	13,801
3	1,002	1,002	15,904	15,903	0,1	13,801	13,800
4	1,004	1,003	15,937	15,922	0,1	13,802	13,803
5	1,003	1,001	15,922	15,888	0,1	13,803	13,801
6	1,001	1,004	15,888	15,939	0,1	13,801	13,804
7	1,003	1,003	15,921	15,921	0,1	13,802	13,802
8	1,003	1,002	15,92	15,906	0,1	13,801	13,803
9	1,002	1,001	15,903	15,888	0,1	13,800	13,801
10	1,001	1,002	15,891	15,904	0,1	13,803	13,801

Таблица 14

Обсчет, проведенных исследований для молочной продукции (сметана) по методике BUCHI

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
1	1,004	1,001	3,476	3,464	0,1	3,003	3,002
2	1,003	1,003	3,471	3,47	0,1	3,002	3,001
3	1,002	1,004	3,467	3,475	0,1	3,001	3,003
4	1,003	1,002	3,469	3,468	0,1	3,000	3,002
5	1,003	1,002	3,472	3,469	0,1	3,003	3,003
6	1,003	1,003	3,47	3,472	0,1	3,001	3,003
7	1,002	1,004	3,469	3,473	0,1	3,003	3,001
8	1,002	1,003	3,47	3,47	0,1	3,004	3,001
9	1,002	1,002	3,469	3,468	0,1	3,003	3,002
10	1,003	1,003	3,471	3,47	0,1	3,002	3,001

Таблица 15

Обсчет, проведенных исследований для овощного пюре по методике BUCHI

№ п/п	m1	m2	V1	V2	V0	X1	X2
1	1,002	1,003	1,708	1,706	0,1	1,404	1,401
2	1,002	1,002	1,709	1,706	0,1	1,405	1,402
3	1,001	1,002	1,706	1,706	0,1	1,404	1,402
4	1,002	1,004	1,709	1,71	0,1	1,405	1,403
5	1,003	1,003	1,706	1,706	0,1	1,401	1,401
6	1,004	1,002	1,71	1,709	0,1	1,403	1,405
7	1,003	1,002	1,711	1,707	0,1	1,405	1,403
8	1,003	1,001	1,705	1,702	0,1	1,400	1,400
9	1,002	1,003	1,706	1,705	0,1	1,402	1,400
10	1,003	1,004	1,708	1,708	0,1	1,403	1,401

### Результаты и их обсуждение

Метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по ГОСТ 25011-2017 и метрологические характеристики методики BUCHI в мясном продукте (сосиски) представляют следующее:

Таблица 16

Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 25011-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm \Delta_c$ (отн)	$\pm \Delta$ (отн)
0,02	0,02	0,08	0,09

Таблица 17

Лабораторные значения по методике BUCHI

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,01	0,01	0,08	0,08

Вывод: По результатам исследования следует, что лабораторные значения по методике BUCHI не выходят за рамки значений по ГОСТ 25011-2017

Метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по ГОСТ 34454-2018 и метрологические характеристики методики BUCHI в молочном продукте (сметана) представляют следующее:

Таблица 18

Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 34454-2018

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,06	0,04	0,12	0,14

Таблица 19

Лабораторные значения по методике BUCHI

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,04	0,02	0,11	0,12

Вывод: По результатам исследования следует, что лабораторные значения по методике BUCHI не выходят за рамки значений по ГОСТ 34454-2018

Метрологические характеристики, полученные в ходе эксперимента в лаборатории по ГОСТ 34111-2017 и метрологические характеристики методики BUCHI представляют следующее:

Таблица 20

Значения, полученные при эксперименте по ГОСТ 34111-2017

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,19	0,18	0,81	0,88

Таблица 21

Лабораторные значения по методике BUCHI

$\sigma_r$ (отн)	$\sigma_R$ (отн)	$\pm\Delta_c$ (отн)	$\pm\Delta$ (отн)
0,10	0,10	0,81	0,83

Вывод: По результатам исследования следует, что лабораторные значения по методике BUCHI не выходят за рамки значений по ГОСТ 34111-2017

### **Заключение**

В данной статье были проведены исследования и осуществлен анализ стандартизованных методик определения азота (белка) в различных пищевых продуктах. Результаты, полученные в ходе эксперимента по методике BUCHI, позволяют сделать выводы о хорошей воспроизводимости этой методики с другими рассмотренными стандартизованными методиками. Статистический расчет полученных результатов по пищевым продуктам, показал, что значения метрологических характеристик, по методике BUCHI, не выходят за рамки и не превышают значения метрологических характеристик по рассмотренным ГОСТам. Полученные значения позволяют сделать вывод о том, что методика BUCHI является точной, эффективной, обладает хорошей воспроизводимостью и может быть использована в качестве универсальной при определении белка в различных пищевых продуктах. Также она оказалась удобной при исполнении, так как одинаковое выполнение действий при анализе и одинаковое количество используемых реагентов и навесок, дает возможность проводить анализ быстрее, благодаря чему данная методика может быть верифицирована и иметь практическое применение в сфере пищевой промышленности.

### **Список литературы:**

1. Джэйкоб М. Определение азота (белка) в пищевых продуктах и кормах / М. Джэйкоб // Научно-технический журнал «Аналитика». Выпуск №3-2016.
2. Зауэр Е.А., Ершов А.Б. Современные анализаторы для определения азота методом Кельдаля / Е.А. Зауэр, А.Б. Ершов // ж-л «Аналитика и контроль» Т. 23. № 2. Волгоградский государственный технический университет. Волгоград, 2019. – с. 168-192.
3. Киричевский М., Комарова С. Верификация методики измерений в химической лаборатории / М. Киричевский, С. Комарова // ж-л «Роль технического регулирования и стандартизации в эпоху цифровой экономики» РХТУ им. Д.И. Менделеева. г. Москва. – с. 262-268.

### *Об авторах:*

АРХАНГЕЛОВА Юлия Николаевна – магистр химико-технологического факультета, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35); e-mail: yuliaarhal1@mail.ru

ПЕТРОВИЧЕВА Марина Владимировна – магистр химико-технологического факультета, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35); e-mail: marina-sd@mail.ru

ФЕОФАНОВА Мариана Александровна – кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35); e-mail: m000371@mail.ru

СКОБИН Михаил Игоревич – кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д.35); e-mail: Skobin.MI@tversu.ru

**VERIFICATION OF STANDARDIZED METHODS  
FOR THE DETERMINATION OF NITROGEN (PROTEIN)  
IN FOOD PRODUCTS**

**Y. N. Arkhangelova, M. V. Petrovicheva,  
M.A. Feofanova, M.I. Skobin**

*Tver State University, Tver*

In the presented article, a universal method for determining nitrogen is proposed, with further calculation of protein in various food products. Comparative studies of methods for determining nitrogen (protein) by the Kjeldahl method according to standardized methods in various food products have been carried out, appropriate calculations have been performed with the calculation of metrological characteristics, and verification of the proposed method for determining nitrogen (protein) in food products using the Kjeldahl method has been performed.

**Keywords:** *Kjeldahl method, verification, determination of nitrogen (protein).*

Дата поступления в редакцию: 08.10.2025.  
Дата принятия в печать: 13.10.2025.