

УДК 637.5; 663.052; 664.5

Поступила в редакцию 08.01.2025
Received 08.01.2025¹О. А. Гмырак, ²Е. Н. Кособуко¹Государственное учреждение «Белорусский институт системного анализа
и информационного обеспечения научно-технической сферы»,
г. Минск, Республика Беларусь²НПРУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации»,
г. Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОСФАТОВ В КОМПЛЕКСНЫХ ПИЩЕВЫХ ДОБАВКАХ

Аннотация. Актуальным является изучение физико-химических показателей комплексных пищевых добавок, применяемых при производстве колбасных изделий. Научная задача — проведение исследований комплексных пищевых добавок (КПД) с целью расширения информационных сведений о их свойствах, а также определение возможности адаптации методики выполнения измерений по определению пищевых фосфатов в КПД. Были исследованы 16 образцов КПД различных товарных форм с использованием стандартизованных и общепринятых методов исследований. При проведении спектрофотометрического исследования по определению содержания фосфатов в КПД было установлено, что используемый метод может быть применим для определения массовой доли общего фосфора в КПД. В ряде образцов выявлено завышенное содержание фосфатов, что повлечет за собой повышенное содержание общего фосфора в готовых колбасных изделиях. При организации входного контроля на мясоперерабатывающих предприятиях целесообразно осуществлять контроль за КПД по показателю массовая доля общего фосфора, т.к. данный показатель является нормируемым и влияет на качество и безопасность колбасных изделий. Необходимо разрабатывать и внедрять методы контроля за нормируемыми показателями качества и безопасности КПД.

Ключевые слова: пищевые фосфаты, комплексные пищевые добавки, спектрофотометрический метод анализа, качество и безопасность продукции.

¹O. A. Gmyrak, ²E. N. Kosobuko¹State Organization «Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere», Minsk, Republic of Belarus²NPRUE «Belarusian State Institute of Standardization and Certification», Minsk, Republic of Belarus

APPLICATION OF SPECTROPHOTOMETRIC ANALYSIS METHOD FOR DETERMINING PHOSPHATES IN COMPLEX FOOD ADDITIVES

Abstract. The study of the physico-chemical indicators of complex food additives used in the production of sausages is relevant. The scientific task — research on complex food additives (CFAs) to expand information about their properties, as well as to determine the possibility of adapting measurement methods for determining food phosphates in CFAs. Sixteen samples of CFAs in various commercial forms were studied using standardized and widely accepted research methods. Spectrophotometric studies conducted to determine the phosphate content in CFAs revealed that the used method could be applied to determine the mass fraction of total phosphorus in CFAs. Several samples showed that excessive phosphate content, which would result in increased total phosphorus content in the sausage products. When organizing incoming control at meat processing plants, it is advisable to monitor CFAs for the indicator of mass fraction of total phosphorus, as this

indicator is regulated and affects the quality and safety of sausage products. Methods for controlling regulated quality and safety indicators in CFAs must be developed and implemented.

Keywords: food phosphates, complex food additives, physicochemical research, product quality and safety.

For citation: Gmyrak, O.A. Application of spectrophotometric analysis method for determining phosphates in complex food additives / O. A. Gmyrak, E.N.Kosobuko // Food industry: science and technology. — 2025. — № . — P. (in Russian)

Введение. Известно, что фосфор — это ключевой элемент, присутствующий в различных видах мяса, и он имеет важное значение для нашего организма. Он является незаменимым питательным веществом, выполняющим важные функции, и служит одним из источников производства энергии в организме. За последние два десятилетия был проведен ряд исследований [1] по физиологической важности фосфора в рамках которых были оценены новые идеи о динамической природе фосфора как о питательном веществе, выполняющем функции фосфатного иона. Фосфор действует как сигнальная молекула и вызывает сложные физиологические реакции. В рамках исследований было установлено, что потребление фосфора населением всего мира почти в два раза превышает необходимое количество для поддержания здоровья. Это объясняется тем, что пищевые добавки, содержащие фосфаты содержатся практически во всех обработанных пищевых продуктах, а также косметических средствах. Результаты исследований оценили влияние чрезмерного потребления фосфора на реакции клеток и органов и выявили потенциальные патогенные последствия. Исследования также выявили новый класс биоактивных фосфатов, состоящих из полимеров молекул фосфата с различной длиной цепи. Эти полимеры участвуют в метаболических реакциях, включая гемостаз, здоровье мозга и костей, через сложный механизм с положительными или отрицательными эффектами на здоровье, в зависимости от длины их цепи.

На основании этого актуально изучение комплексных пищевых добавок (КПД), содержащих в своем составе пищевые фосфаты, которые являются источником поступления в организм человека фосфатов при употреблении в пищу мясных и колбасных изделий.

Содержание фосфора в мясных продуктах является важным количественным показателем, связанным с качеством и безопасностью готовой продукции.

Пищевые фосфаты являются нормируемыми величинами. В законодательстве ЕАЭС установлена величина содержания фосфатов в мясных и колбасных изделиях в количестве 3 г добавленного фосфата на 1 кг мясного сырья и 8 г общего (добавленного + естественного) фосфата на 1 кг мясного сырья [2] ТР ТС 029.

Добавленные фосфаты поступают в мясную продукцию посредством внесения КПД, которые получили на протяжении многих лет широкое распространение.

В таблице 1 представлены данные по содержанию естественного фосфора в различных видах мяса от продуктивных пород животных [3,4] и содержание естественных фосфатов в пересчете на P_2O_5 .

Таблица 1. Содержание фосфора в мясе продуктивных животных
Table 1. Content of phosphorus in meat of productive animals

Наименование продукции	Содержание фосфора в мг на 100 г продукта	Содержание в пересчете на P_2O_5 , г
Свинина	130	2,97
Говядина	188	4,31
Мясо птицы (куриное)	165	3,77
Конина	185	4,24

Согласно данным исследования, проведенного РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» [5], за последние годы в результате использования лекарств, ряда протеиновых и минеральных кормовых средств в кормлении животных, а также скороспелых специализированных пород содержание естественного уровня фосфора в свинине значительно увеличилось. Если в 60–70-е годы, до перевода свиноводства на промышленную свинину, концентрация общего фосфора в свинине колебалась в пределах 0,16–0,18% от массы натурального продукта, то в последние годы этот показатель нередко достигает 0,3 %.

В зависимости от сырьевой зоны уровень общего фосфора в свинине колеблется от 1,7 до 2,4 г/кг.

В работах [6–8] показано, что при использовании кормов с содержанием фосфорита и наноструктурного фосфорита улучшаются функционально-технологические свойства мяса, однако это неизбежно влечет за собой накопление фосфора в тканях животных. Так было установлено, что содержание общего фосфора в различном необработанном мясном сырье существенно варьирует от 1,41 г/кг до 4,22 г/кг.

Основываясь на имеющихся данных, можно сделать вывод, что за последние десятилетия уровень естественных фосфатов в мясном сырье увеличивается, а с учетом добавленных фосфатов, может привести к суммарному повышенному содержанию фосфатов в готовых изделиях из мяса.

Поэтому производителям мясных продуктов необходимо точно знать какое количество естественных фосфатов содержится в мясном сырье, поступающем на промышленную переработку и какое количество добавленных фосфатов нужно для того, чтобы обеспечить выпуск качественной и безопасной продукции.

В большинстве своем при производстве колбасных изделий используются КПД содержащие такие пищевые фосфаты как E450, E451 и E452.

Существует ряд аналитических методов по определению массовой доли общего фосфора в мясной продукции. Данные методы разработаны для определения суммарного содержания естественного и добавленного фосфатов. На сегодняшний день отсутствуют методики по определению добавленного фосфата в колбасных изделиях. Данную информацию можно получить из спецификации производителя на КПД или с использованием аналитических методов контроля. Зачастую производители не указывают содержание фосфатов в спецификациях или такая информация является не достоверной. В связи с этим есть необходимость по определению добавленного фосфата и разработке методов контроля.

В данной работе была проведена апробация метода СТБ ГОСТ Р 51482-2001 (ИСО 13730-96)[9] с целью установления возможности его применения на КПД по определению массовой доли фосфора, по результатам которой можно косвенно судить о наличии добавленных фосфатов в готовых колбасных изделиях. Данный метод был выбран с точки зрения его широкого применения в производственных лабораториях отечественных мясокомбинатов.

Материалы и методы исследований. Объектами исследования служили 16 образцов КПД, содержащих в своем составе пищевые фосфаты. Исследуемые КПД были произведены в Республике Беларусь, Германии, Российской Федерации. Перечень и условные обозначения объектов исследования приведены в таблице 2.

Таблица 2. Перечень и условные обозначения объектов исследования
Table 2. List and symbols of research objects

№ п/п (код образца)	Наименование добавки	Фосфаты согласно спецификации	№ п/п (код образца)	Наименование добавки	Фосфаты согласно спецификации
1	КПД «KVR Прима»	E451i	9	ИнгриСол 4	E 451
2	КПД «Комбифуд Экстра CIS»	E450, E451	10	КПД «Гамма К с нотой карда- мона»	E450, E451
3	КПД «Время ком- плекс Р 014 класси- ческий»	E450i, E451i	11	Московская муса	E450i, E451i,
4	КПД «ЭКО комби Смак 4»	E450i, E451i, E452i (40 %)	12	КПД «Профикс 45»	E450i, E451i,
5	ИнгриСол 12	E451	13	КПД «Венская Комби 610»	E450i, E451i,
6	КПД «ЭКО комби Смак 13»	E450i, E451i, E452i (40 %)	14	КПД «Цитрим 43»	E451
7	КПД «KVR Гель- комплекс 4»	E451i,	15	КПД «Грильфикс 20 «Мясо-гриль»	E450, E451
8	КПД «Эмульмикс Мит»	E451iii (<2%)	16	КПД «Вареная сливочная комби»	E450, E451, E452

Отбор проб проводили в соответствии с действующими ТНПА [10,11]. Измерения массовой доли общего фосфора проводили на спектрофотометре PV 1251B в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51482-2001 (ИСО 13730-96).

Основные технические и метрологические характеристики спектрофотометра PV 1251B:
Рабочий спектральный диапазон — от 325 до 999 нм;

Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки заданной длины волны составляют ± 2 нм.

Так как КПД являются концентрированными компонентами, то для проведения исследований в методику были внесены изменения. Для проведения анализа использовалась навеска массой 1 грамм. Пробы образцов озоляли в муфельной печи при температуре 550°C до получения золы серого цвета. Полученную золу растворяли в азотной кислоте и кипятили на водяной бане 30 минут, переносили в мерную колбу и доводили полученный объем водой до 100 см³. В мерную колбу вносили 10 см³ фильтрата, добавляли окрашивающий реактив, доводили до метки водой и выдерживали не менее 15 минут. Измерение оптической плотности раствора проводили при длине волны (430 $\pm$ 2) нм.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные данные по определению массовой доли общего фосфора представлены в табл. 3.

Таблица 3. Исходные данные и результаты по определению массовой доли общего фосфора.
Table 3. Information and results for determining the mass fraction of total phosphorus.

Код образца	Оптическая плотность раствора		Концентрация P ₂ O ₅ , мкг/см ³	p*	Массовая доля общего фосфора, %	Массовая доля общего фосфора, % из спецификации
	D ₀ *	D _n *				
1	1,071	0,536	32,14	2	6,43	14,4
2	1,774	0,887	52,32	2	10,46	-
3	0,953	0,476	28,69	2	5,78	13,5
4	2,668	0,639	38,06	3	11,42	-
5	1,073	0,536	32,17	2	6,43	≤ 6,4
6	2,558	0,639	38,06	3	11,42	-
7	0,917	0,458	27,77	2	5,55	6,6
8	0,729	-	43,24	1	4,32	<2
9	3,672	0,458	27,66	3	8,29	≤ 6,4
10	2,372	0,593	35,42	3	10,63	11,2-16,8
11	3,341	0,835	49,34	3	14,80	-
12	2,793	0,981	57,66	4	22,84	58 $\pm$ 1
13	3,301	0,735	43,58	3	12,94	13
14	3,672	0,918	54,09	3	16,07	13
15	3,381	0,251	15,76	3	4,68	3
16	3,525	0,735	43,58	3	12,94	10

*D₀ — первоначальная оптическая плотность; D_n — конечная оптическая плотность, после разбавления; p-коэффициент разбавления.

Из табл. 1 видно, что оптическая плотность D₀ некоторых исследуемых растворов выходит за рабочий спектральный диапазон в 999 нм. Для измерений в рабочих диапазонах пробы исследуемых образцов были разбавлены в 2-4 раза. Градуировочный график для спектрофотометра PV 1251 представлен на рисунке 1.

Как известно, при построении градуировочного графика должна соблюдаться прямая зависимость между оптической плотностью и концентрацией [12]. Прямолинейность графика сохраняется только в интервале концентраций, указанных в методике выполнения измерений, т.к. продлевать градуировочную прямую выше последней указанной в методике точки не допустимо, было проведено разбавление исследуемых растворов.

Точная зависимость между концентрацией определяемого ингредиента (x) и оптической плотностью (Y) выражается уравнением регрессии:

$$y=a+bx, \quad (1)$$

где x концентрация определяемого вещества, мкг/см³; y — наблюдаемое поглощение, A; b — коэффициент наклона прямой; a-свободный коэффициент.

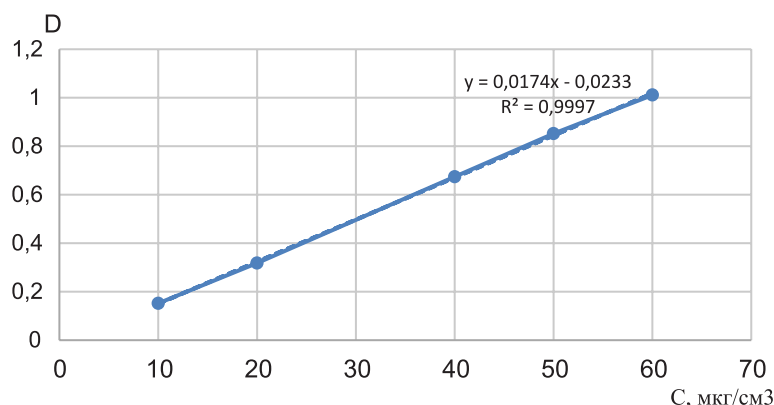


Рис. 1. Зависимость оптической плотности (D) от концентрации раствора (C)
Fig. 1. Dependence of optical (D) on solution concentration (C)

При построении графика в данных исследованиях уравнение регрессии выражено формулой

$$y = 0,0174x - 0,0233, \quad (2)$$

при $R^2 = 0,9997$

Концентрацию исследуемых растворов комплексных пищевых добавок вычисляли, используя уравнение регрессии.

Массовую долю общего фосфора X, %, выраженную в виде массовой доли пентоксида фосфора (пятиоксида фосфора), вычисляли по формуле

$$X = \frac{C}{10 \cdot m}, \quad (3)$$

где C — концентрация пятиоксида фосфора, мкг/см³; 10 — объем фильтрата, взятого на анализ, см³; m — масса навески, г.

За окончательный результат были приняты данные с учетом коэффициентов разбавления (p). Для каждого из исследуемых образцов коэффициент разбавления указан в табл. 3.

Результаты содержания массовой доли общего фосфора в исследуемых КПД представлены в табл. 3.

Имея данные массовой доли общего фосфора в % и нормы внесения КПД, можно рассчитать добавленное содержание фосфатов в граммах на 1 кг мясного сырья в соответствии с ТР ТС 029.

Полученные расчеты по содержанию общих фосфатов в КПД представлены в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 4 показывает, что 50% исследуемых образцов согласуются с данными производителей КПД по содержанию в них массовой доли общего фосфора.

Образцы под номером 6 и 10 содержат 5,25 г и 4,98 г соответственно добавленного фосфата на 1 кг мясного сырья, а образцы под номером 3 и 11 — предельное содержание фосфатов. А образец под номером 12 содержит в 2,6 раза меньше фосфатов, чем заявлено в спецификации производителя.

Таблица 4. Расчетные значения содержания пищевых фосфатов в КПД
Table 4. The calculated values of food phosphates in complex food additives

Код образца	Массовая доля общего фосфора, %	Дозировка КПД согласно спецификации	Количество добавленного фосфата на 1 кг мясного сырья, г
1	6,43	10-11 г/кг массы фарша, но не более 20,8 г на 1 кг	0,64 или 1,34
2	10,46	7-12 г/кг	0,73-1,26
3	5,78	2,6 кг/100 кг	2,94
4	11,42	1,0-1,5 кг/100 кг сырья	1,13-1,71
5	6,43	0,7 кг-1,2 кг/100 кг	0,44-0,76

Окончание табл. 4.

Код образца	Массовая доля общего фосфора, %	Дозировка КПД согласно спецификации	Количество добавленного фосфата на 1 кг мясного сырья, г
6	11,42	46,8 г/кг мясного сырья	5,25
7	5,55	0,7 кг-1,0 кг/100 кг	0,39-0,55
8	4,32	45 г/кг	1,95
9	8,29	20 г/кг	1,73
10	10,63	46,8 г/кг мясного сырья	4,98
11	14,80	2 кг/100 кг	2,96
12	22,84	0,2-0,5% к массе готового продукта	0,45-1,14
13	12,94	6-10 г/кг массы	0,77-1,29
14	16,07	0,3-0,5 кг/100 кг мясного сырья	0,52-0,80
15	4,68	4,5 кг/100 кг	2,10
16	12,94	12,0 г/кг массы	1,55

Заключение. Проведенное исследование обосновывает необходимость совершенствования нормативно-методической базы в области контроля пищевых фосфатов, применяемых в мясной промышленности. Установлено, что стандарт СТБ ГОСТ Р 51482-2001 (ИСО 13730-96) может быть адаптирован для оценки содержания добавленных фосфатов в комплексных пищевых добавках, используемых при производстве мясных и колбасных изделий. Это позволит унифицировать подходы к анализу и снизить риски превышения допустимых норм фосфатов в готовой продукции.

Систематический мониторинг содержания фосфатов в КПД и готовых изделиях является критически важным для обеспечения безопасности потребителей, так как выявлены случаи превышения установленных нормативов. Для минимизации рисков на мясоперерабатывающих предприятиях рекомендовано внедрение стандартизированных методов анализа, таких как спектрофотометрия или ВЭЖХ, что повысит точность контроля и предотвратит фальсификацию сырья.

Реализация предложенных мер будет способствовать соблюдению требований технических регламентов и стандартов качества; снижению рисков для здоровья населения, связанных с избыточным потреблением фосфатов; повышению доверия к продукции мясной отрасли на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, интеграция научно обоснованных методов контроля в производственные процессы является необходимым условием для обеспечения безопасности и конкурентоспособности мясной продукции в рамках глобальной продовольственной системы.

Список использованных источников

1. Ranjana P. Bird, N.A. Michael Eskin. The emerging role of phosphorus in human health. *Advances in Food and Nutrition Research*. Academic Press, 2021, vol. 96, pp 27-88, doi: 10.1016/bs.afnr.2021.02.001.
2. ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. [Электронный ресурс]: нормативный документ / Евразийская экономическая комиссия // ИПС СТАНДАРТ. — Минск: БелГИСС, 2022. — (дата доступа: 04.10.2023).
3. Окусханова, Э. К. Макро- и микроэлементный состав мяса марала / Э. К. Окусханова, Б. К. Асенова, С. Т. Дюсембаев, Ж. С. Есимбеков // «Молодой ученый». — июль 2014. — № 11 (70) — С. 90-93.
4. Драгич О. А., Сидорова К. А., Куликова Ю. Е. Значение витаминов мяса для организма [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36659988_74806649.pdf (дата доступа: 22.10.2024).
5. Хоченков А. А., Шамонина А. И., Джумкова М. В. Параметры качества и безопасности свинины, произведенной в условиях промышленной технологии [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-kachestva-i-bezopasnosti-svininy-proizvedennoy-v-usloviyah-promyshlennoy-tehnologii/>. (дата доступа: 22.10.2024).
6. Герасимов А. П. Качество мяса пекинских уток при использовании в их рационах агроминеральных фосфорсодержащих кормовых добавок [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kachestvo-myasa-pekinskih-utok-pri-ispolzovanii-v-ih-ratsionah-agromineralnyh-fosforsoderzhaschih-kormovyh-dobavok>. (дата доступа: 20.10.2024).

7. Шошина Ю. В. Особенности формирования мясной продуктивности симментальских бычков в условиях различных технологий выращивания и откорма. Дисс. канд. с-х наук. Москва, 2023. 157 с.
8. Nadezda Prica, Milica Zivkov-Balos, Sandra Jaksic, Zeljko Mihaljev, Brankica Kartalovic, Dragana Ljubojevic, Sara Savic, Nadezda Prica. Total Phosphorus Content in Technologically Unprocessed Meat. *Procedia Food Science*, 2015, vol. 5, pp 243-246. doi:10.1016/j.profoo.2015.09.062.
9. СТБ ГОСТ Р 51482-2001 (ИСО 13730-96) Мясо и мясные продукты. Спектрофотометрический метод определения массовой доли общего фосфора. — Минск: Госстандарт, 2001. — С. 8.
10. ГОСТ Р 54980-2012 Добавки пищевые. Методы идентификации и определения массовой доли кальцийсодержащего ингредиента в лактатсодержащих пищевых добавках. — М.: Стандартинформ, 2019. — С. 11.
11. ГОСТ 28876-90 (ИСО 948-80) Пряности и приправы. Отбор проб. — М: Стандартинформ, 2019. — С. 4
12. Дорогова, В. Б. Методы фотометрического анализа в санитарно-гигиенических исследованиях / В. Б. Дорогова, Л. П. Игнатъева. М: Академия Естествознания, 2013. — С. 102.

Информация об авторах

Гмырак Ольга Александровна, аспирант, Белорусский государственный технологический университет, старший научный сотрудник ГУ «Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы» (пр-т. Победителей 7а, 220004, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pola11222@rambler.ru

Кособуко Елизавета Николаевна, инженер, НПРУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (ул. Наватарская 2а, 220053, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: lisswemyrr04@gmail.com

Information about authors

Gmyrak Olga Alexandrovna, post-graduate student, Belarusian State Technological University, senior researcher of the State Organization «Belarusian Institute of System Analysis and Information Support for Scientific and Technical Sphere» (7a, Pobediteley Ave., Minsk 220004, Republic of Belarus).

E-mail: pola11222@rambler.ru

Kosobuko Elizaveta Nikolaevna, engineer, NPRUE «Belarusian State Institute of Standardization and Certification» (2a, Navatarskaya str., Minsk 220053, Republic of Belarus).

E-mail: lisswemyrr04@gmail.com