

УДК 543.421/.424:664.66.014

## Разработка градуировочных моделей в спектральном диапазоне от 1400 до 2500 нм для определения массовой доли жира, сахара и влаги в хлебобулочных изделиях БИК-методом

Канд. техн. наук М. Ю. КУКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук М. Н. КОСТЮЧЕНКО<sup>2</sup>, М. А. НУТЧИНА<sup>3</sup>,  
канд. техн. наук О. И. ПАРАХИНА<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности

<sup>2</sup>ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности

E-mail: o.parakhina@gosnihp.ru

*Исследована возможность применения БИК-метода для определения массовой доли жира, сахара и влаги в хлебобулочных изделиях. На основе репрезентативной выборки и результатов химических и физико-химических методов анализа разработаны градуировочные модели для совместного определения этих компонентов БИК-методом в свежих хлебобулочных изделиях с коркой. Проведена серия лабораторных выпечек хлебобулочных изделий с различным содержанием жира и сахара. Отработаны и актуализированы соответствующие арбитражные методы анализа. Для снятия спектров использовали БИК-анализаторы, работающие в диапазоне длин волн от 1400 до 2500 нм. БИК-спектры образцов из репрезентативной выборки сопоставлялись с результатами отработанных химических и физико-химических методов анализа. Проверка арбитражных методов анализа жира, сахара и влаги в хлебе выявила отклонение получаемых результатов от истинных значений. Использование при разработке градуировочных моделей актуализированных арбитражных методов анализа и приборов, способных снимать непрерывный спектр с образца, позволило получить приемлемую точность результатов БИК-анализа после валидации под конкретный прибор. Разработаны градуировочные модели для совместного определения массовой доли жира, сахара и влаги в свежих хлебобулочных изделиях с коркой методом спектроскопии в ближней ИК-области. Проведена актуализация ГОСТов, и БИК-метод включен в ГОСТ 5668–2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира» и ГОСТ 5672–2022 «Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли сахара». Это позволит расширить сферу применения БИК-метода, упростит и ускорит анализ хлебобулочных изделий.*

**Ключевые слова:** спектроскопия, ближняя инфракрасная область, градуировочные модели, хлебобулочные изделия, нормативы, массовая доля жира, сахара, влаги

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 31.10.2022, одобрена после рецензирования 15.11.2022, принята к печати 23.11.2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-45-51

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Кукин М. Ю., Костюченко М. Н., Нутчина М. А., Парахина О. И. Разработка градуировочных моделей в спектральном диапазоне от 1400 до 2500 нм для определения массовой доли жира, сахара и влаги в хлебобулочных изделиях БИК-методом // Вестник Международной академии холода. 2022. № 4. С. 45–51. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-45-51

## Development of calibration models in the spectral range from 1400 to 2500 nm to determine the mass fraction of fat, sugar and moisture in bakery products by the NIR method

Ph. D. M. YU. KUKIN<sup>1</sup>, Ph. D. M. N. KOSTYUCHENKO<sup>2</sup>, M. A. NUTCHINA<sup>3</sup>,

Ph. D. O. I. PARAKHINA<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>St. Petersburg branch for the Scientific Research Institute of the Bakery Industry

<sup>2</sup>Scientific Research Institute for the Baking Industry

E-mail: o.parakhina@gosnihp.ru

*The possibility of using the NIR method to determine of fat, sugar, and moisture mass fraction in bakery products has been studied. Based on a representative sample and the results of chemical and physico-chemical methods of analysis, calibration models have been developed for the joint determination of these components by the NIR method in fresh bakery products with a crust. A series of laboratory baking of bakery products with different fat and sugar content was carried out.*

*Relevant arbitrage methods of analysis have been worked out and updated. The spectra were taken using NIR analyzers operating in the wavelength range from 1400 to 2500 nm. The NIR spectra of samples from a representative sample were compared with the results of proven chemical and physicochemical methods of analysis. The verification of arbitration methods of fat, sugar, and moisture analysis in bread revealed a deviation of the obtained results from the true values. The use in the development of calibrations the proven arbitration methods of analysis and devices capable of recording a continuous spectrum from a sample made it possible to obtain an acceptable accuracy of the NIR analysis results after validation for a specific device. Calibration models have been developed for the joint determination of the fat, sugar and moisture mass fraction in fresh bakery products with a crust by the method of spectroscopy in the near infrared region. GOSTs were updated and the NIR method was included in GOST 5668–2022 «Bakery products. Methods for determination of fat content» and GOST 5672–2022 «Bakery products. Methods for determination of sugar content». This allows expanding the application area of NIR method, simplifying, and accelerating of bakery products analysis.*

**Keywords:** spectroscopy, near-infrared region, calibration models, bakery products, standards, mass fraction of fat, sugar, moisture.

#### Article info:

Received 31/10/2022, approved after reviewing 15/11/2022, accepted 23/11/2022

DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-45-51

Article in Russian

#### For citation:

Kukin M. Yu., Kostyuchenko M. N., Nutchina M. A., Parakhina O. I. Development of calibration models in the spectral range from 1400 to 2500 nm to determine the mass fraction of fat, sugar and moisture in bakery products by the NIR method. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2022. No 4. p. 45-51. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-4-45-51

### Введение

Пищевые продукты, реализуемые на территории Российской Федерации, должны иметь этикетку с информацией для потребителя. Обязательным условием является указание пищевой ценности, в том числе содержание белков, жиров и углеводов [1]. Определение содержания компонентов химическими и физико-химическими методами является длительным многоэтапным процессом. Оптимальным вариантом является применение экспресс-метода спектроскопии в ближней инфракрасной области (далее БИК-метод).

БИК-спектроскопия основана на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и автоматическом расчете массовой доли определяемого компонента, с помощью заранее созданных градуировочных моделей, разработанных на основе репрезентативной выборки изделий, в которых содержание этого компонента установлено стандартными химическими или физико-химическими методами [2]–[4].

Поглощение в БИК-диапазоне связано, как правило, с обертонами основных колебательных частот связей С–Н, N–H, N–O, O–H и S–H и их комбинациями. При этом сигналы имеют очень небольшую интенсивность (на два-три порядка ниже, чем сигналы в ИК-области), а базовую линию трудно определить из-за большого числа сигналов. Несмотря на этот недостаток, БИК-анализаторы распространены шире, чем ИК-анализаторы (особенно в пищевой промышленности). Это объясняется тем, что для БИК-области спектра можно использовать весьма чувствительные детекторы из сульфида свинца или InGaAs и вольфрамовые лампы накаливания или светодиодные лампы в качестве источников излучения (благодаря этим компонентам есть возможность снимать спектры диффузного отражения). Также можно создавать дешевые спектрометры, поскольку источники, детекторы и оптика из обычного стекла относительно доступны

[2, 4–6]. Полноценные ИК-спектрометры стоят в несколько раз дороже БИК-анализаторов; значительно сложнее и дороже в эксплуатации.

В 1950-х годах появилась большая потребность в количественном определении воды, белков и жиров. Для этих целей сотрудники министерства сельского хозяйства США избрали БИК-спектроскопию и уже в 1970-х годах разработали спектрометры и методики их калибровки для сельскохозяйственных нужд. В 1980-е годы спектрометры стали управляться компьютерами [2, 5].

Сначала применение БИК-метод ограничивалось оценкой качества продуктов с низким содержанием влаги, таких как зерновые (пшеница, кукуруза и соя), из-за интерференции поглощения воды в «длинноволновой» области, особенно в комбинированной области 1900–2500 нм. В гидратированном материале преобладает полоса поглощения связей воды O–H, и если анализируемый образец содержит много воды, а полосы поглощения интересующего компонента перекрываются с полосами поглощения воды, соответствующая длина физического пути будет составлять 0,2 мм для измерения комбинированной области (1800–2100 нм), 1,0 мм для области первого обертона (1400–1500 нм) и 10 мм для области второго обертона (900–1000 нм). В дальнейшем применение кремниевых датчиков позволило проводить сбор данных в «коротковолновом» диапазоне 700–1100 нм, что позволило проводить анализ более толстых и влажных образцов, таких как фрукты, рыба, мясо и неповрежденные зерна, поскольку электромагнитные волны в этой области имеют лучшее проникновение [7].

Влияние температуры часто называют недостатком БИК-измерений. На характеристики градуировочной модели влияет температура анализируемого образца, в первую очередь из-за сильного влияния температуры на N–связь и, следовательно, на полосы поглощения, связанные с O–H. Ожидается, что модели, разработанные для широкого диапазона температур (5,5–23,5 °C), будут

более надежными с точки зрения прогнозирования уровня отклика. Рекомендуется, чтобы образцы, сканированные при различных температурах, были включены в градуировочную совокупность, чтобы итоговая модель была надежной при анализе образцов с различной температурой [8].

В последние годы БИК-спектроскопия получила широкое распространение в различных областях благодаря своим преимуществам перед другими аналитическими методами [2, 7, 9], такими как:

- одновременное определение всех анализируемых показателей за 1,5 мин;
- простая пробоподготовка;
- проведение анализа без использования реактивов и других расходных материалов;
- низкие требования к квалификации оператора;
- прибор занимает мало места, легко транспортируется и неприхотлив в эксплуатации.

В России до настоящего времени БИК-метод не применялся для анализа хлебобулочных изделий, хотя известно, что в других странах он применяется с этой целью [3, 4, 6]. В России БИК-метод используют для анализа зерна и продуктов его переработки, молока и продуктов его переработки, масличных культур и комбикормов. Причиной того, что БИК-метод не используют для анализа хлебобулочных изделий, является отсутствие соответствующей нормативной базы. Введение БИК-метода в ГОСТы на определение массовой доли жира, сахара и влаги в хлебобулочных изделиях [10]–[12] позволит использовать его на хлебозаводах для анализа готовой продукции.

Известно, что молекулярное поглощение хлебом света в ближней инфракрасной области дает характерные широкие и перекрывающиеся пики в спектральной области между 1100 и 2400 нм, соответствующей основным полосам поглощения воды, белка и жира. Около 1450 и 1940 нм наблюдаются резонансные полосы связей O–H, обусловленные водой и крахмалом, а около 1500–1570 нм и 2050–2070 нм наблюдается присутствие N–H и N–O связей, характерных для белков. Пики поглощения при 1730, 1770 и 2310 нм соответствуют липидам и могут быть отнесены к первому обертому отрезку C–H и к CH<sub>2</sub>-группе [13]. Согласно источнику [14], в диапазоне 1000–2500 нм был подтвержден успешный анализ содержания жира, белка и влаги в пищевых продуктах с помощью БИК-анализатора.

В большинстве современных исследований по использованию БИК-метода для оценки неповрежденных плодов используется геометрия отражения и «длинноволновая» БИК-область спектра (1100–2500 нм). Эта область в большинстве случаев обеспечивает лучшие результаты в сравнении с «коротковолновой» (менее 1200 нм) областью. Эффективная глубина проникновения зависит от диапазонов длин волн. В «ближней» области глубина больше, чем в «дальней» области, но при длине волны 1100–2500 нм для измельченного продукта глубина проникновения светового излучения вполне достаточна [15]. Наиболее информативным диапазоном при анализе хлебобулочных изделий является область от 1150 до 2500 нм (от 8700 до 4000 см<sup>-1</sup>) [2, 5, 6].

Когда образец подвергается воздействию БИК-излучения, изменяется энергия химических связей. Из-

за очень сложного состава пищевых продуктов различные водородсодержащие связи вносят вклад в поглощение БИК-излучения. В результате этого видимые в БИК-области спектра полосы являются очень широкими, перекрываются, и их трудно отнести к конкретным химическим компонентам. Следовательно, полезную спектральную информацию можно извлечь только путем применения современных математических методов в процессе разработки градуировок. В связи с этим градуировочная модель определяет взаимосвязь между спектральными данными и содержанием интересующего соединения или его свойством, полученными выбранным эталонным методом. БИК-метод является косвенным методом, и его достоверность сильно зависит от эталонного метода, используемого в качестве основы в процессе разработки градуировочной модели. Следовательно, процесс валидации должен быть как можно более всеобъемлющим [16, 17].

Качество градуировочного уравнения может сильно зависеть от количества образцов, используемых для количественного анализа. Прогностическая ценность полученного уравнения обычно увеличивается с ростом количества образцов, используемых для построения градуировочной модели. Чтобы получить градуировочную модель, способную удовлетворительно предсказывать целевые параметры в неизвестных образцах, градуировочные и анализируемые образцы должны быть частью одной и той же совокупности. Градуировочные образцы должны быть репрезентативными и с максимальной возможной вариацией, но ограничены интересующей областью. Должен быть охвачен весь естественный диапазон [14].

Анализ литературы показал возможность использования БИК-метода для одновременного определения массовой доли влаги, белков, жиров и простых сахаров в хлебобулочных изделиях из пшеничной и/или ржаной муки. Установлено, что при анализе хлебобулочных изделий целесообразно использовать спектральный диапазон от 1150 до 2500 нм.

## Материалы и методы

Объектами исследований являлись готовые хлебобулочные изделия, а также полуфабрикаты и основное сырье для хлебопекарного производства. Исследовали модельные образцы, выпеченные в лабораторных условиях по стандартным и по модифицированным рецептурам, а также изделия крупных хлебозаводов. Данная работа проводилась в рамках актуализации ГОСТов на определение массовой доли жира и сахара в хлебобулочных изделиях [10, 11], поэтому изначально были проверены и оптимизированы арбитражные методы анализа. Затем результаты отработанных арбитражных методов анализа использовали при разработке градуировочных моделей для БИК-метода.

На российских хлебозаводах для определения содержания жира преимущественно используется арбитражный «экстракционный метод с предварительным гидролизом навески» [10] и нередко возникают ситуации, когда для обеспечения (по результатам анализа) нормативного содержания жира в готовом изделии, приходится вносить при замесе теста большее количество жира,

чем должно быть по рецептуре. Эксперименты показали, что причиной заниженных результатов анализов является недостаточно глубокий гидролиз пробы и неполное извлечение жира в процессе экстракции. Актуализированный метод анализа обеспечивает получение точных и воспроизводимых результатов для широкого ассортимента хлебобулочных, в том числе безглютеновых изделий. Показано, что гидролиз следует проводить путем кипячения пробы с раствором серной кислоты массовой долей 5% в течение 60 мин. Продолжительность экстракции хлороформом должна составлять от 15 до 20 мин.

При определении массовой доли сахара арбитражным является перманганатный метод Бертрана [11]. При актуализации этого метода был изменен процесс экстракции сахаров из навески, что позволило увеличить степень их извлечения. Введено предварительное кипячение используемой для промывки дистиллированной воды и прописана возможность контроля полноты промывки, поскольку неполная промывка приводила к постепенному исчезновению слабо-розового окрашивания при титровании и получению завышенных результатов анализа. Первоначальные данные Бертрана были пересчитаны из мг инвертного сахара и мг меди на мг сахарозы и см<sup>3</sup> 0,1 н раствора перманганата калия. Для удобства вычислений выведена формула, позволяющая без использования громоздких таблиц сразу пересчитывать объем перманганата в миллиграммы сахарозы и, следовательно, дающая возможность автоматизировать процесс расчета.

Массовую долю влаги определяли путем сушки навесок хлеба при температуре 130 °С [12] до постоянной массы в сушильных шкафах «СЭШ-3М» и «АСЭШ 8–2», а также в автоматическом ИК-влагоанализаторе «AND MX-50».

С целью получения данных для построения градуировок была проведена серия лабораторных выпечек хлебобулочных изделий с различным содержанием жира и сахара. Дозировки жира и сахара в % на 100 кг муки представлены в (табл. 1).

Выпекали по две буханки каждого наименования. Одну буханку оставляли в СПБФ ФГАНУ НИИХП и анализировали отработанными арбитражными методами, а вторую буханку отправляли для снятия соответствующих спектров в ООО «ЭКАН». Анализы проводили на следующий день после выпечки.

Для снятия спектров использовали БИК-анализатор «ИНФРАСКАН-3150» фирмы ЭКАН, работающий в спектральном диапазоне от 1400 до 2500 нм. Часть исследований была проведена на приборе «ИНФРАСКАН-1050».

Предварительный размол образцов осуществлялся на мельнице «Вьюга-3М» в течение 20 с (нож № 1). Соотношение корки и мякиша в анализируемой пробе соответствовало соотношению корки и мякиша в целом изделии. Промежуточные помолы ссыпались в одну емкость и затем перемешивались. Для создания градуировок так же использовались промышленные образцы хлеба (хлеб ржаной, батон городской, армянский лаваш).

Хлебобулочные изделия в размолотом состоянии быстро высыхают (особенно быстро в процессе измерения, поскольку БИК-анализатор при работе нагревается). Влажность образца после промера может отличаться от влажности в начале эксперимента на 2%. В связи с этим, образцы, используемые при наборе основной базы, предварительно подсушивали при температуре 90 °С в течение 30 мин.

Анализируемые образцы были подвергнуты небольшим изменениям (например, прибавление воды). Делалось это для того, чтобы выйти за пределы диапазонов, определить реакцию градуировок на внесение посторонних компонентов. Определить влияние помола и устойчивость к заведомо высоким и низким содержаниям влаги.

Оптические характеристики хлебобулочных изделий сопоставляли с результатами химических анализов. На основе этого были разработаны градуировочные модели для определения массовой доли жира и сахара в хлебобулочных изделиях БИК-методом.

### Результаты и их обсуждение

Первоначально для снятия спектров использовали прибор «ИНФРАСКАН-1050». Размер базы для расчетов составил приблизительно 300 замеров. Использовали длины волн 1650, 1680, 1722, 1778, 1982, 1940, 2100, 2139, 2180, 2230, 2310 нм. Для влаги и жира в хлебе были получены приемлемые результаты (табл. 2), но для сахара получить устойчивую градуировочную модель не удалось. Даже линейная регрессия по стандартному набору из двадцати длин волн давала большую погрешность, и уравнение характеризовалось неустойчивостью. Свя-

Таблица 1

Дозировка сахара и жира, кг на 100 кг муки

Table 1

Dosage of sugar and fat, kg per 100 kg of flour

№ выпечки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сахар, % к массе муки	0,0	1,4	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,6	10,9	12,3	13,7	15,1	16,4	17,8	19,2	20,5	21,9	23,3	24,6	26,0
Масло растительное, % к массе муки	11,1	12,2	13,3	14,4	15,5	16,6	17,7	18,8	19,9	21,0	0,0	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9
Общее содержание сахара и жира, % к массе муки	11,1	13,5	16,0	18,5	20,9	23,4	25,9	28,4	30,8	33,3	13,7	16,2	18,6	21,1	23,6	26,1	28,5	31,0	33,5	35,9

зано это с большой суммой коэффициентов и наличием длин волн, отвечающих за содержание прочих компонентов.

Было принято решение использовать для разработки градуировок приборы, работающие по другому принципу и способные снимать непрерывный спектр с образца — модель «ИНФРАСКАН-3150». Также учтено, что хлебобулочные изделия имеют высокую (по меркам БИК-метода) влажность и быстро высыхают. Чтобы исключить эту нестабильность, образцы подсушивали до остаточной влажности от 9% до 12%. Скорость работы приборов была уменьшена в 4 раза. Это позволило получить более стабильные результаты при измерении базы. К стандартному набору длин волн были добавлены длины волн, характерные для полос поглощения сахаразы и крахмала [17].

Работа градуировок при определении жира и сахара в подсушенных образцах хлеба после валидации под конкретный прибор из серии «ИНФРАСКАН-3150» представлена на (рис. 1) и в (табл. 3).

После получения положительных результатов при анализе подсушенных образцов хлебобулочных изделий, попытались перенести эти градуировочные уравнения на изделия в нативном состоянии. Замеры производились на приборе 3150. Выявлена зависимость калибровок от содержания воды и, следовательно, от высыхания образцов при анализе. Данные рис. 1 и табл. 3 показывают, что для жира и сахара видна разница между несколькими последовательными замерами одного и того же образца. Работа калибровок для свежих хлебобулочных изделий с коркой после валидации на конкретном приборе показана в (табл. 4).

**Работа градуировок после валидации под конкретный прибор (1050)**

Таблица 2

**Working of calibrations after validation for a specific device (1050)**

Table 2

Показатель	Диапазон, %	КК	СКО	Ошибка «+», %	Ошибка «-», %	Сумма коэффициентов
Влага	25,0–40,0	0,96	0,65	1,29	1,13	1271
Жир	1,0–20,0	1,0	0,41	0,82	1,0	1135

**Работа градуировок после валидации под конкретный прибор (3150)**

Таблица 3

**Working of calibrations after validation for a specific device (3150)**

Table 3

Показатель	Диапазон, %	КК	СКО	Ошибка «+», %	Ошибка «-», %	Сумма коэффициентов
Жир	1,0–20,0	1,0	0,36	0,61	0,72	627,3
Сахар	1,0–23,0	1,0	0,56	1,04	1,26	3271,0

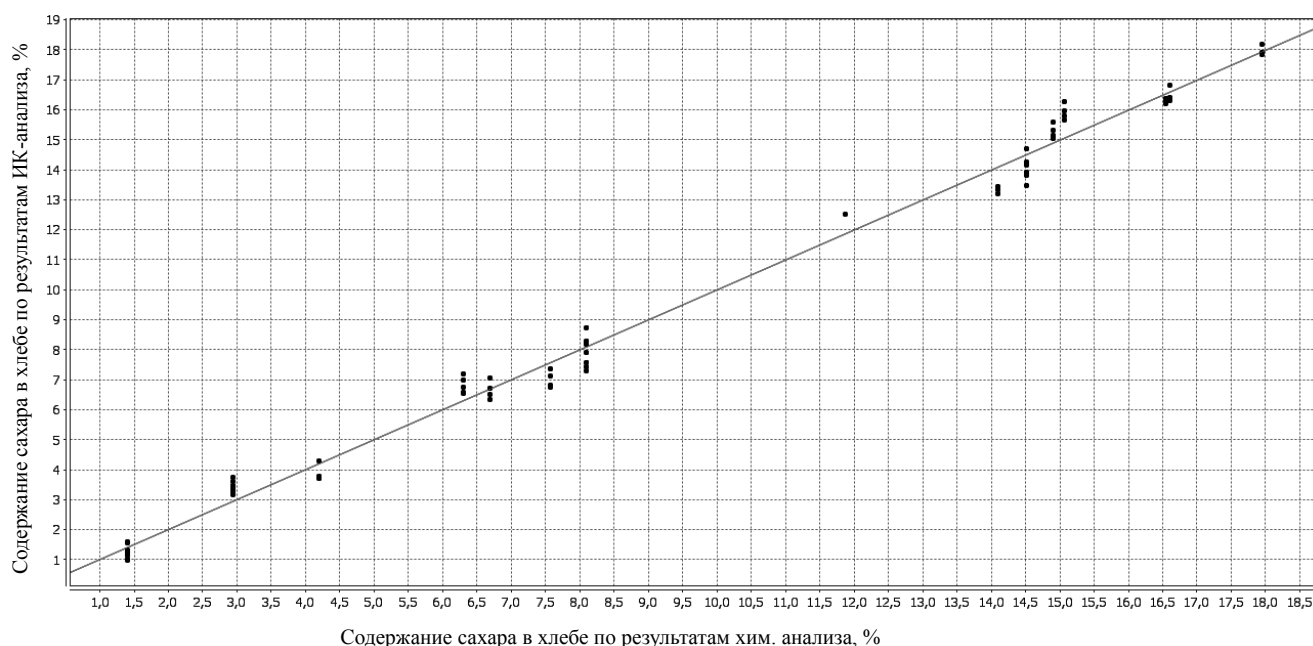


Рис. 1. Сопоставление результатов БИК-анализа на приборе «ИНФРАСКАН-3150» с фактическим содержанием сахара в подсушенном хлебе

Fig. 1. Comparison of the NIR analysis results on the INFRASCAN-3150 device with the actual sugar content in dried bread

Таблица 4

Погрешность БИК-метода для хлебобулочных изделий из пшеничной и/или ржаной муки  
(с учетом проведенной валидации)

Table 4

The error of the NIR-method for bakery products made from wheat and / or rye flour  
(taking into account the validation)

Диапазон, %	КК	СКО	Ошибка «+», %	Ошибка «-», %
При определении массовой доли жира				
от 0,1 до 4,0	0,95	0,36	0,57	0,75
от 4,0 до 9,0	0,98	0,28	0,68	0,34
от 9,0 до 15,0	0,98	0,42	0,72	0,85
от 15,0 до 20,0	0,96	0,41	1,09	0,66
При определении массовой доли сахара				
от 0,1 до 4,0	0,8	0,54	1,17	1,08
от 4,0 до 10,0	0,7	0,8	1,55	1,02
от 10,0 до 18,0	0,9	1	1,99	1,72
При определении массовой доли влаги				
от 25,0 до 40,0	0,96	0,65	1,29	1,33

### Заключение

На основе проведенных исследований разработаны градуировочные модели для совместного определения массовой доли жира, сахара и влаги в свежих хлебобулочных изделиях с коркой методом спектроскопии в ближней ИК-области (при длине волны от 1400 до 2500 нм). Показано, что БИК-метод позволяет обеспечить приемлемую точность результатов при анализе хлебобулочных изделий из пшеничной и/или ржаной муки. Проведена актуализация ГОСТов и БИК-метод включен в ГОСТ 5668 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли жира» и ГОСТ 5672 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли сахара». Вторые

редакции этих ГОСТов прошли голосование во ФГИС и выставлены на межгосударственное голосование. Ожидаемая дата их введения в действие — 2023 г. Включение БИК-метода в ГОСТы позволит расширить сферу его применения, упростит и ускорит анализ хлебобулочных изделий.

Работа будет продолжена по направлению определения массовой доли белка и влаги в хлебобулочных, в том числе безглютеновых изделиях БИК-методом.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание № 0593-2019-0005.

### Литература

- ГОСТ Р 51074–2003. Продукты пищевые. Информация для потребителей. Общие требования.
- Беккер Ю. Спектроскопия: пер. с нем. Л. Н. Казанцевой под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. М.: Техносфера, 2009. 527 с.
- Vigni M. L. et al. Near infrared spectroscopy and multivariate analysis methods for monitoring flour performance in an industrial bread-making process // *Analytica chimica acta*. 2009. V. 642. N 1–2. P. 69–76. doi: 10.1016/j. aca. 2009.01.046
- Sørensen L. K. Application of reflectance near infrared spectroscopy for bread analyses // *Food Chemistry*. 2009. V. 113. N 4. P. 1318–1322. doi: 10.1016/j. foodchem. 2008.08.065
- Pasquini C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives — A review // *Analytica chimica acta*. 2018. V. 1026. P. 8–36. doi: 10.1016/j. aca. 2018.04.004
- Szigedi T., Dernovics M., Fodor M. Determination of protein, lipid and sugar contents of bakery products by using fourier-transform near infrared spectroscopy // *Acta alimentaria*. 2011. V. 40. N 1. P. 222–229. doi: 10.1556/aalim. 40.2011. suppl. 21
- Alander J. T. et al. A review of optical nondestructive visual and near-infrared methods for food quality and safety // *Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Spectroscopy*. 2013. P. 1–36. doi: 10.1155/2013/341402

### References

- State standard R 51074–2003. Food products. Information for consumers. General requirements. (in Russian)
- Becker Yu. Spectroscopy: translated from German by L. N. Kazantseva, edited by A. A. Pupyshev, M. V. Polyakova. M.: Technosphere, 2009. 527 p. (in Russian)
- Vigni M. L. et al. Near infrared spectroscopy and multivariate analysis methods for monitoring flour performance in an industrial bread-making process. *Analytica chimica acta*. 2009. V. 642. N 1–2. P. 69–76. doi: 10.1016/j. aca. 2009.01.046
- Sørensen L. K. Application of reflectance near infrared spectroscopy for bread analyses. *Food Chemistry*. 2009. V. 113. N 4. P. 1318–1322. doi: 10.1016/j. foodchem. 2008.08.065
- Pasquini C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives — A review. *Analytica chimica acta*. 2018. V. 1026. P. 8–36. doi: 10.1016/j. aca. 2018.04.004
- Szigedi T., Dernovics M., Fodor M. Determination of protein, lipid and sugar contents of bakery products by using fourier-transform near infrared spectroscopy. *Acta alimentaria*. 2011. V. 40. N 1. P. 222–229. doi: 10.1556/aalim. 40.2011. suppl. 21
- Alander J. T. et al. A review of optical nondestructive visual and near-infrared methods for food quality and safety. *Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Spectroscopy*. 2013. P. 1–36. doi: 10.1155/2013/341402

8. Magwaza L. S. et al. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit — a review // *Food and Bioprocess Technology*. 2012. V. 5. N 2. P. 425–444. doi: 10.1007/s11947-011-0697-1
9. Blanco M., Villarroya I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2002. V. 21. N 4. P. 240–250.
10. ГОСТ 5668–68. Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли жира. М.: Стандартинформ, 2006. 11 с.
11. ГОСТ 5672–68. Хлеб и хлебобулочные изделия. Методы определения массовой доли сахара. М.: Стандартинформ, 2006. 11 с.
12. ГОСТ 21094–75. Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.
13. Chakravartula S. S. N. et al. Evaluation of drying of edible coating on bread using NIR spectroscopy // *Journal of Food Engineering*. 2019. V. 240. P. 29–37. doi: 10.1016/j.jfoodeng. 2018.07.009
14. Porep J. U., Kammerer D. R., Carle R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production // *Trends in Food Science & Technology*. 2015. V. 46. N 2. P. 211–230. doi: 10.1016/j.tifs. 2015.10.002
15. Walsh K. B. et al. Visible-NIR 'point'spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: the science behind three decades of commercial use // *Postharvest Biology and Technology*. 2020. V. 168. P. 1–17. doi: 10.1016/j.postharvbio. 2020.111246
16. Pojic M. M., Mastilovic J. S. Near infrared spectroscopy — advanced analytical tool in wheat breeding, trade, and processing // *Food and Bioprocess Technology*. 2013. V. 6. N 2. P. 330–352. doi: 10.1007/s11947-012-0917-3
17. Крищенко В. П. Ближняя инфракрасная спектроскопия: Науч.-метод. центр по инфракрасной спектроскопии, АО «Интеррагротех». М.: КРОН-пресс, 1997. 638 с.
8. Magwaza L. S. et al. NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit — a review. *Food and Bioprocess Technology*. 2012. V. 5. N 2. P. 425–444. doi: 10.1007/s11947-011-0697-1
9. Blanco M., Villarroya I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2002. V. 21. N 4. P. 240–250.
10. State standard 5668–68. Bread and bakery products. Methods for determining the mass fraction of fat. Moscow: Standartinform, 2006. 11 p. (in Russian)
11. State standard 5672–68. Bread and bakery products. Methods for determining the mass fraction of sugar. Moscow: Standartinform, 2006. 11 p. (in Russian)
12. State standard 21094–75. Bread and bakery products. Method for determining humidity. Moscow: Standartinform, 2006. 4 p. (in Russian)
13. Chakravartula S. S. N. et al. Evaluation of drying of edible coating on bread using NIR spectroscopy // *Journal of Food Engineering*. 2019. V. 240. P. 29–37. doi: 10.1016/j.jfoodeng. 2018.07.009
14. Porep J. U., Kammerer D. R., Carle R. On-line application of near infrared (NIR) spectroscopy in food production. *Trends in Food Science & Technology*. 2015. V. 46. N 2. P. 211–230. doi: 10.1016/j.tifs. 2015.10.002
15. Walsh K. B. et al. Visible-NIR 'point'spectroscopy in postharvest fruit and vegetable assessment: the science behind three decades of commercial use. *Postharvest Biology and Technology*. 2020. V. 168. P. 1–17. doi: 10.1016/j.postharvbio. 2020.111246
16. Pojic M. M., Mastilovic J. S. Near infrared spectroscopy — advanced analytical tool in wheat breeding, trade, and processing // *Food and Bioprocess Technology*. 2013. V. 6. N 2. P. 330–352. doi: 10.1007/s11947-012-0917-3
17. Krishchenko V. P. Near infrared spectroscopy: Scientific method. Center for Infrared Spectroscopy, JSC «Interagrotech». Moscow: KRON-press, 1997. 638 p. (in Russian)

### Сведения об авторах

#### Кукин Михаил Юрьевич

К. т. н., ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7, литер А, m.kukin@gosnihp.ru, ORCID 0000-0003-1722-4644

#### Костюченко Марина Николаевна

К. т. н., директор, ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, 107553, Москва, ул. Б. Черкизовская, 26А, m.kostyuchenko@gosnihp.ru, ORCID 0000-0001-7854-3513

#### Нутчина Мария Арнольдовна

Младший научный сотрудник, Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7, литер А, m.nutchina@gosnihp.ru, ORCID 0000-0002-9637-0756

#### Парахина Ольга Ивановна

К. т. н., директор, ведущий научный сотрудник, Санкт-Петербургский филиал ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности, 196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, 7, литер А, o.parakhina@gosnihp.ru, ORCID 0000-0002-0508-2813

### Information about authors

#### Kukin Mikhail Yu.

Ph. D, Leading Researcher, St. Petersburg branch for the Scientific Research Institute of the Bakery Industry, 199608, Russia, St. Petersburg, Pushkin, sh. Podbelsky, 7, Liter A, m.kukin@gosnihp.ru, ORCID 0000-0003-1722-4644

#### Kostyuchenko Marina N.

Ph. D, Director, Scientific Research Institute for the Baking Industry, 107553, Russia, Moscow, B. Cherkizovskaya str., 26A, m.kostyuchenko@gosnihp.ru, ORCID 0000-0001-7854-3513

#### Nutchina Maria A.

Junior researcher, St. Petersburg branch for the Scientific Research Institute of the Bakery Industry, 199608, Russia, St. Petersburg, Pushkin, sh. Podbelsky, 7, Liter A, m.nutchina@gosnihp.ru, ORCID 0000-0002-9637-0756

#### Parakhina Olga I.

Ph. D, Director, Leading Researcher, St. Petersburg branch for the Scientific Research Institute of the Bakery Industry, 199608, Russia, St. Petersburg, Pushkin, sh. Podbelsky, 7, Liter A, o.parakhina@gosnihp.ru, ORCID 0000-0002-0508-2813

