

# Оптимизация условий инверсии сахарозы и оценка ускоренного феррицианидного метода определения общего сахара

А. Г. Чернобровина, к. т. н.<sup>1, 2</sup>, Н. Е. Куликова, к. т. н.<sup>1</sup>,  
Н. Н. Роева, д. х. н.<sup>1</sup>, О. Ю. Попова<sup>1</sup>

УДК 543.635

Содержание сахара в сырье и пищевых продуктах в значительной мере определяет их полноценность и качество. Поэтому большое внимание уделяется методам контроля содержания этого важного ингредиента. Предложена экспрессная методика определения общего сахара: выбран способ гидролиза сахарозы, уточнены условия (оптимальная температура, время, объем соляной кислоты) полного гидролиза сахарозы без разложения продуктов реакции, а также без гидролиза лактозы, мальтозы и декстрозы. Проведено сравнение двух методик с разными условиями гидролиза: стандартного метода (Бертрана) по ГОСТ 5903-89 (гидролиз сахарозы проводили при температуре 67 °С) и ускоренного феррицианидного метода, включающего гидролиз сахарозы при температуре 100 °С.

Получены достоверные данные при значительном (в 5 раз) сокращении времени гидролиза сахарозы, а следовательно, и длительности всего анализа по сравнению со стандартным способом определения сахара. Ускоренную методику по определению редуцирующих веществ (РВ) и общего сахара в продуктах хлебопекарного и кондитерского производства можно считать приоритетной среди химических методов исследования и рекомендовать ее для поточного аналитического контроля.

**Ключевые слова:** гидролиз сахарозы, мальтоза, лактоза, метод Бертрана, общий сахар, редуцирующие вещества

## Введение

С появлением сахарозы разнообразные кондитерские изделия стали доступными для самых широких слоев населения [1]. В технологиях всех отраслей пищевой промышленности большое значение имеет контроль содержания сахара в сырье, полуфабрикатах и готовых изделиях, так как он в значительной мере определяет их качество и полноценность.

В зависимости от использования в различных методах основных свойств сахаров, а именно их восстанавливающей способности, оптических свойств, способности давать окрашенные растворы с теми или иными соединениями, все методы определения сахаров могут быть разделены на три группы: химические, физические и физико-химические.

Наиболее распространенными являются методы определения сахаров [2-4] при помощи фелинговой жидкости, в которой для связывания двухвалентной меди в комплексное соединение применяют щелочной раствор сегнетовой соли. Фелингову жидкость

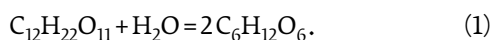
<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет»,  
Москва, Россия.

<sup>2</sup> ag\_61@list.ru.

готовят по методу Бертрана ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 4%) или по методу Сокслета ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 6,925%). Процесс окисления сахаров фелинговой жидкостью сложен и предполагает получение большого числа продуктов окисления, обладающих различной восстанавливающей способностью. То есть при окислении отсутствует полная пропорциональность между количеством окисляющегося сахара и образовавшимся оксидом одновалентной меди [3, 5]. Поэтому при определении сахаров пользуются специальными таблицами, построенными по эмпирическим данным. При изменении качества реактивов необходимо эти таблицы корректировать. Таким образом, методы, при которых определяется титр реактива по раствору химически чистого сахара, имеют преимущества.

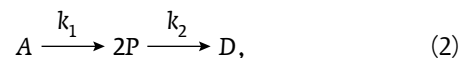
Распространены методы с применением в качестве окислителя трехвалентного железа (гексацианоферратный метод) [2, 6]. Реакция окисления сахаров гексацианоферратом протекает также не стехиометрично, как и реакция окисления сахаров щелочным раствором меди. На окисляющее действие гексацианоферрата калия (III) влияет концентрация щелочи, продолжительность нагревания, индивидуальные способности сахара к окислению и других сопутствующих сахару мешающих компонентов исследуемого раствора. Эти методы имеют значительное преимущество над меднощелочными, так как при проведении анализов не образуется осадка, и конец реакции окисления отличается большей четкостью.

Определению общего сахара всеми методами (кроме метода, где берут в качестве окислителя  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) предшествует гидролиз сахарозы, протекающий по реакции (1):



При этом необходимо, чтобы сахароза гидролизовалась полностью, а полученные продукты гидролиза не подвергались разрушению, и во избежание искажения результатов анализа не должны гидролизиться мальтоза и лактоза. Достаточно точно установлено, что распад углеводов, и в первую очередь сахаров (сахарозы, фруктозы, глюкозы и др.), является каталитическим процессом [7-10]. В качестве катализаторов могут выступать ионы водорода, гидроксила, металлов [9, 10] и ферменты (например, фермент сахараза). Применяв к реакции разложения сахарозы принципы последовательных мономолекулярных реакций и теорию кислотно-основного катализа, профессор А. Р. Сапронов осуществил важный научный и практический этап в исследовании

равновесия в системе "сахароза – вода" [9], рассмотрев систему:



где А – сахароза;

2P – инвертный сахар;

D – продукты распада;

$k_1, k_2$  – константы скорости разложения сахарозы и смеси моносахаров соответственно.

При рассмотрении системы (2) необходимо учесть тот факт, что при разложении сахарозы образуется инвертный сахар, состоящий из глюкозы и фруктозы, деградация которых приводит к образованию конечных продуктов реакции, включая красящие и другие вещества. В связи с этим разложение сахарозы следует рассматривать как необратимую параллельно-последовательную реакцию [10].

Многие авторы [2-6, 11] при определении сахара в исследуемых объектах проводят гидролиз сахарозы, используя разные условия и методики, некоторые из них представлены в табл. 1.

Наличие фона определяет выбор различных условий гидролиза (более жесткие или мягкие) с целью не допустить гидролиза других ди- и полисахаридов, например мальтозы, или лактозы, что завышает содержание контролируемой сахарозы в объекте (табл. 1).

Ряд методов при этом правильно оценивает содержание сахара в объекте лишь при отсутствии других соединений-восстановителей, отличных от редуцирующих сахаров (например, дихроматный метод) [4, 6].

Все методы гидролиза предусматривают значительные затраты времени для их проведения, поэтому необходим ускоренный метод.

Цель настоящего исследования – выбор методики гидролиза сахарозы на фоне различных сопутствующих компонентов объекта (мальтозы, декстрозы, лактозы) и оценка ускоренного феррицианидного метода определения общего сахара.

## Экспериментальная часть

### Применяемые реактивы

Основной реактив 10,0 г калия железосинеродистого [ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ] (ГОСТ 4206-75) растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, отдельно растворяют 88,0 г КОН (ГОСТ 24363-80). Оба полученных раствора сливают в мерную колбу на 1 дм<sup>3</sup> и доводят до метки дистиллированной водой. Гидроксид калия КОН – 2,0 н раствор. Соляная кислота (ГОСТ 3118-77) – 1,0 н раствор. Стандартный

Таблица 1. Методы гидролиза сахарозы, применяемые в пищевой промышленности

Метод определения сахара	Внесение кислоты (соляной), по методике			Условия гидролиза		Производство
	Концентрация, %	V, см <sup>3</sup> (на 100 см <sup>3</sup> )	Концентрация, моль/л	Время, мин	Температура, °С	
Перманганатный (метод Бертрана)	38	7,5	0,78	5	68–70	Спиртовое
	38	10	0,68	8	68–70	Консервное
	20	10	0,55	8	70	Хлебопекарное
	38	10	1,06	8	68–70	Виноделие
ГОСТ 5672-2022 кондитерские производства	38	5	0,52	5	67–70	Мучные кондитерские изделия
Метод, уточненный Смирновым	25	10	0,685	180	Кипящая баня	Крахмало-паточное
Йодометрические методы (метод Шорля)	38	4	0,417	100	67–70	Кондитерское
	38	10	1,06	10	67–68	В объектах с мальтозой
	38	5	0,52	5	67–70	Хлебопекарное
Метод медноцитратный Дурффа	38	7,5	0,78	5	68–70	Спиртовое
	21,5	12,5	0,8	10	70	Сгущенное молоко
	38	10	1,06	8	67–70	При содержании сахара до 10%
	38	4	0,417	5	67–70	Кондитерское
Метод Брукса	38	19	1,06	8	68–70	Консервы
ГОСТ 5903-89 в кондитерском производстве	38	10	1,06	5	67–70	Кондитерские изделия
Метод Офнера	8	60	1,28	5	67–69	Спиртовое и ликеро-водочное производство
	38	7,5	0,78	5	68–70	Спиртовое
Метод титрования сахаром щелочного раствора меди (Метод Лейна и Эйнона)	38	7,5	1,06	5	68–70	Спиртовое
	25	10	0,685	180	Кипящая баня	Крахмало-паточное
	38	10	1,06	8	67–70	Консервное
Метод Сакслета	38	10	1,06	8	67–70	Консервное
Метод Аболова и Батырова	38	10	1,06	8	67–70	Консервное
Эбулиостатический метод	38	10	1,06	5	67–70	Кондитерское производство
Метод ускоренного гидролиза	38	13	0,321	5	67–70	Кондитерское

раствор глюкозы 1 мг/дм<sup>3</sup> (ГОСТ 6038-79). Метиловый синий РТУ 6-89-6045-69 1%-ный водный раствор. Фелинг I – 40 г CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O в 1 дм<sup>3</sup>. Фелинг II – 200 г сегнетовой соли (калий-натрий винно-кислый) и 150 г KOH в 1 дм<sup>3</sup>. Раствор сернокислого окисного железа Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>; серная кислота концентрированная, 1,81 г/см<sup>3</sup>. Титрованный раствор 0,02 моль/дм<sup>3</sup> марганцово-кислого калия (KMnO<sub>4</sub>). 20%-ный раствор HCl. 15%-ный раствор ZnSO<sub>4</sub>. 10% и 0,5%-ный раствор NaOH (ГОСТ 24363-80).

**Методика проведения исследования**

Ускоренный феррицианидный метод для объектов кондитерского производства разработан и включен в государственные стандарты [12, 13]. Согласно методу определения общего содержания сахара проводят гидролиз сахарозы при температуре кипения непосредственно в реакционной колбе. В данном исследовании изучены оптимальные условия проведения гидролиза сахарозы (объем вносимой соляной кислоты, продолжительность гидролиза). При этом полноту гидролиза сахарозы исследовали при внесении 1 н HCl (от 1 до 7 см<sup>3</sup>) и продолжительности реакции (от 0 до 60 с).

Для проведения гидролиза отбирали по 10 см<sup>3</sup> пробы, содержащей 5 мг/см<sup>3</sup> химически чистой сахарозы, переносили в конические колбы на 100 см<sup>3</sup> и последовательно приливали различные объемы 1 н соляной кислоты (табл. 2). Затем доводили общий объем до 25 см<sup>3</sup> дистиллированной водой. Раствор нагревали до кипения на электроплитке за 3 мин и кипятили 30-60 с. Далее быстро охлаждали до 40-50 °С и проводили нейтрализацию

соляной кислоты 2 н раствором KOH. После этого определяли степень гидролиза сахарозы стандартным для большинства пищевых продуктов методом Бертрана [8, 10], рассчитывая ее по формуле (3):

$$Y = \frac{a \cdot v_1 \cdot 100 \cdot 0,95}{v_2 \cdot q} = 1,9 \cdot a, \tag{3}$$

где *a* – количество инвертного сахара, найденное по таблице, мг;  
*v*<sub>1</sub> – объем мерной колбы, в которой растворена навеска сахарозы, см<sup>3</sup> (1000 см<sup>3</sup>);  
*v*<sub>2</sub> – объем раствора сахарозы, см<sup>3</sup> (10 см<sup>3</sup>);  
*q* – навеска сахарозы, мг (5000 мг).

Для обоснования оптимальных параметров гидролиза запланирована матрица эксперимента, представленная в табл. 2. Значения факторов обозначены:

- x*<sub>0</sub> – аддитивная постоянная;
- x*<sub>1</sub> – объем раствора соляной кислоты, введенный в реакционную колбу, см<sup>3</sup>;
- x*<sub>2</sub> – продолжительность гидролиза, с;
- x*<sub>1</sub> и *x*<sub>2</sub> – значение уровней факторов в безразмерном выражении равны +1, 0, -1 (для упрощения (+, 0, -));
- y*<sub>1i</sub>, *y*<sub>2i</sub>, *y*<sub>3i</sub> – степень гидролиза сахарозы, найденная в результате анализа;
- y*<sub>i</sub> – среднее значение, %;
- x*<sub>2i</sub> *x*<sub>1i</sub> – значение *j*-го фактора в *i*-ом опыте;
- x*<sub>1</sub><sup>1</sup>, *x*<sub>1</sub><sup>2</sup> – выходные переменные с скорректированными значениями уровня из двух результатов измерений.

На основании математической обработки практических результатов анализа получено регрессионное

**Таблица 2.** Матрица планирования эксперимента (гидролиз сахарозы при температуре 100 °С)

Значения факторов						Значения факторов в матрице эксперимента									
В натуральном выражении		В безразмерном выражении													
<i>x</i> <sub>1</sub>	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>0</sub>	<i>x</i> <sub>1</sub>	<i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>1</sub> <i>x</i> <sub>2</sub>	<i>x</i> <sub>1</sub> <sup>1</sup>	<i>x</i> <sub>2</sub> <sup>1</sup>	<i>y</i> <sub>1i</sub>	<i>y</i> <sub>2i</sub>	<i>y</i> <sub>3i</sub>	<i>y</i> <sub>i</sub>	<i>x</i> <sub>1</sub> <i>y</i> <sub>i</sub>	<i>x</i> <sub>2i</sub> <i>y</i> <sub>i</sub>	<i>x</i> <sub>1i</sub> <i>x</i> <sub>2i</sub> <i>y</i> <sub>i</sub>	
1	0	+	-	-	+	1/3	1/3	72,1	72,0	72,3	72,1	-72,4	-72,4	72,4	
1	30	+	-	0	0	1/3	-2/3	82,6	83,1	82,1	82,6	-82,6	0	0	
1	60	+	-	+	-	1/3	1/3	91,5	92,0	92,0	92,2	-91,9	91,9	91,9	
4	0	+	0	-	0	-2/3	1/3	92,5	92,7	92,3	92,5	0	-92,5	0	
4	30	+	0	0	0	-2/3	-2/3	99,8	99,1	99,9	99,4	0	0	0	
4	60	+	0	+	0	-2/3	1/3	100,9	100,2	100,1	100,4	0	100,4	0	
7	0	+	+	-	-	1/3	1/3	99,1	98,6	98,7	98,6	98,8	-98,8	-98,8	
7	30	+	+	0	0	1/3	-2/3	96,0	96,2	96,1	96,1	96,1	0	0	
7	60	+	+	+	+	1/3	1/3	93,0	93,1	93,2	93,1	93,1	93,1	93,1	

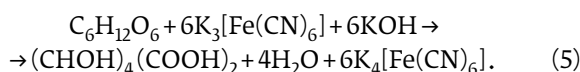
уравнение (4), описывающее зависимость  $Y$  от исследуемых факторов  $x_1$  и  $x_2$ :

$$Y = 99,4 + 6,9x_1 + 8,6x_2 - 6,3x_1x_2 - 8,4x_1^2 - 1,3x_2^2. \quad (4)$$

По данным, представленным в табл. 2, установлено, что при введении в реакционную колбу 1,0 см<sup>3</sup> 1 н соляной кислоты не достигается 100% степень гидролиза сахарозы; при введении в реакционную колбу 4,0 см<sup>3</sup> полнота гидролиза достигается при продолжительности кипячения 30 и 60 с. При нагревании раствора только до кипячения ( $x_2 = 0$ ) сахароза полностью не гидролизуется. При введении в реакционную колбу 7,0 см<sup>3</sup> 1 н раствора HCl сахароза гидролизуется полностью при температуре раствора меньше 100 °С. При большей продолжительности гидролиза сахароза, очевидно, разлагается, образуя продукты гидролиза с большим количеством карбонильных групп. Это свидетельствует о том, что гидролиз сахарозы без разложения продуктов гидролиза можно проводить в интервале изменения первого фактора от 3,0 до 6,0 см<sup>3</sup> и второго фактора от 30 до 60 с за исключением 3,0 см<sup>3</sup> и продолжительности 30 с, когда полнота гидролиза не достигается. Уточнение оптимальных условий гидролиза сахарозы, с целью определения граничных условий полного гидролиза сахарозы без деградации продуктов реакции дало следующие результаты: полнота гидролиза при введении 4,0; 5,0 и 6,0 см<sup>3</sup> 1 н соляной кислоты достигается при продолжительности кипячения 30 с и в том числе 3,0 см<sup>3</sup> при кипячении 60 с.

Следовательно, сахароза гидролизуется полностью без разложения продуктов гидролиза при введении 1 н соляной кислоты от 4–6 см<sup>3</sup> на 10 см<sup>3</sup> раствора, при продолжительности кипения 30–60 с. В пищевых объектах, кроме сахарозы, могут присутствовать также лактоза, мальтоза и декстрины, которые при определении общего сахара не должны гидролизироваться, поэтому уточняли условия, исключая возможность такого гидролиза.

Для исследования были взяты модельные растворы, содержащие лактозу и мальтозу, а также патоку, качество которой контролировалось по ГОСТ 33917-2016 [14]. Содержание общего сахара и редуцирующих веществ определяли феррицианидным методом. Метод основан на восстановлении избыточного гексацианоферрата (III) калия стандартным раствором инвертного сахара или глюкозы (5) в присутствии метиленового синего до полного обесцвечивания:



Метод может быть применен для определения редуцирующих веществ и общего сахара во всех видах пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов питания.

Массу навесок всех объектов рассчитывали по формуле (6) [12, 13]:

$$m = a \cdot V / p, \quad (6)$$

где  $V$  – объем мерной колбы, см<sup>3</sup>;

$p$  – предполагаемое содержание редуцирующих веществ в объекте исследования, %;

$a$  – оптимальная концентрация редуцирующих веществ в водной вытяжке на 100 см<sup>3</sup>, г (для используемого раствора феррицианида 0,16 г).

Масса навесок исследуемых объектов составила: 2,7 – для патоки; 1,23 – для мальтозы и лактозы.

В ряд конических колб вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносили пипеткой по 10 см<sup>3</sup> исходного раствора содержащего лактозу, мальтозу и патоку. Затем в этот раствор приливали по 4 см<sup>3</sup> 1 н раствора HCl, доводили до кипения и кипятили 0; 0,5; 1,0; 2,0 мин, затем быстро охлаждали. После этого вносили 2 см<sup>3</sup> 2 н раствора KOH, 25 см<sup>3</sup> гексацианоферрата калия (пипеткой), доводили до кипения и кипятили 1 мин. В конце кипячения добавляли 3–4 капли раствора метиленового синего и титровали стандартным раствором глюкозы до обесцвечивания.

## Результаты и обсуждение

Данные исследований представлены в табл. 3. Средние значения и величины доверительных интервалов определяли по результатам анализа шести параллельных образцов ( $P = 0,95$ ).

Из данных, представленных в табл. 3, видно, что массовая доля общего сахара во всех модельных образцах незначительно увеличивается (на 0,5%) при кипячении в течение 30 с. При увеличении времени кипячения до 1 мин происходит увеличение общего содержания сахара (до 2%) за счет гидролиза дисахаридов лактозы и мальтозы, а также декстринов, содержащихся в патоке. В связи с этим был проведен гидролиз исследуемых растворов мальтозы, лактозы и декстринов с уменьшением вводимого объема соляной кислоты до 3 см<sup>3</sup> и проведены повторные исследования определения общего сахара в модельных образцах при тех же условиях. В результате исследований были получены абсолютные результаты анализа, которые соответствуют данным, представленным в табл. 3, при кипячении 0 мин.

Проверку титриметрического метода определения общего сахара с использованием



**Таблица 3.** Массовая доля редуцирующих веществ (РВ) и общего сахара в исследуемых образцах

Время кипячения (гидролиза), мин	Лактоза		Мальтоза		Патока	
	РВ, %	общий сахар, % сахарозы	РВ, %	общий сахар, % сахарозы	РВ, %	общий сахар, % сахарозы
0	64,0±0,08	63,9±0,11	61,1±0,06	61,2±0,07	38,0±0,05	38,1±0,11
0,5	64,1±0,11	64,3±0,14	61,2±0,08	61,6±0,12	38,2±0,07	38,7±0,18
1,0	64,2±0,09	65,4±0,11	62,3±0,07	63,0±0,17	38,3±0,09	39,4±0,21
2,0	64,2±0,09	65,4±0,10	62,3±0,09	63,0±0,13	38,3±0,11	39,4±0,18

гексацианоферрата (III) калия, включающим гидролиз сахарозы при температуре 100 °С, проводили в лабораторных условиях. Массовую долю общего сахара в кондитерских изделиях определяли стандартным методом Бертрана (гидролиз сахарозы при температуре 67 °С) и ускоренным (феррицианидным) методом.

Содержание общего сахара в объекте исследования, в % масс. (x) в пересчете на сахарозу рассчитывали по формуле (7), (ГОСТ 5903-89):

$$x = \frac{(n - \rho) \cdot 0,95 \cdot 100}{m}, \quad (7)$$

где *n* – объем стандартного раствора глюкозы, израсходованный на восстановление 10 см<sup>3</sup> раствора основного реактива (холостой опыт), см<sup>3</sup>; *ρ* – объем стандартного раствора глюкозы, израсходованный на дотитрование пробы, см<sup>3</sup>; *m* – навеска объекта исследования, мг.

Результаты исследований по содержанию сахара в анализируемых объектах и величины доверительных интервалов (табл. 4) получены путем анализа шести параллельных проб (P=0,95).

Результаты анализа, полученные двумя методами: ускоренным феррицианидным и классическим (по ГОСТ), показывают, что различия в содержании общего сахара для одних и тех же вытяжек объектов кондитерского производства не наблюдаются.

Оценку правильности результатов определения общего сахара, полученных с использованием гексацианоферратного (титриметрического) метода, проводили методом добавок (введено найдено), который заключался

в том, что к определенному объему водной вытяжки объекта с точно известным содержанием общего сахара отмеряли точный объем стандартного раствора сахарозы. Соотношение этих растворов варьировали так, чтобы в реакционную колбу всегда вводить стабильное для данного метода количество общего сахара. Таким образом, в мерные колбы на 100 см<sup>3</sup> вносили 50 см<sup>3</sup> пробы, состоящей из разных соотношений объемов сахарозы и водной вытяжки исследуемого объекта (табл. 5). Доводили растворы до метки дистиллированной водой. Проводили гидролиз сахарозы при температуре 100 °С (методика проведения гидролиза описана выше). После гидролиза в колбу, содержащую гидролизат объекта, вносили 10 см<sup>3</sup> основного реактива гексацианоферрата калия. Полученный раствор доводили до кипения и кипятили 1 мин, прибавляли три капли индикатора – метиленового синего, и, не прекращая кипячение, титровали стандартным раствором глюкозы до исчезновения синей окраски. Содержание

**Таблица 4.** Содержание массовой доли сахара в кондитерских изделиях

№ п/п	Объект исследования	Массовая доля общего сахара, % сахарозы	
		стандартный метод	ускоренный метод
1	Конфеты «Вечерний звон»	42,0±0,18	42,0±0,14
2	Конфеты «Осенний вальс»	43,0±0,22	43,0±0,18
3	Конфеты «Мишка косолапый»	53,1±0,24	53,1±0,21
4	Конфеты «Огни Москвы»	50,0±0,22	49,8±0,18
5	Конфеты «Замоскворечье»	54,3±0,17	54,5±0,13
6	Шоколад «Аленка»	41,6±0,19	41,6±0,17
7	Шоколад «Бабаевский»	46,5±0,21	46,4±0,14
8	Шоколад «Вдохновенье»	46,1±0,22	46,0±0,19

Таблица 5. Содержание сахарозы в кондитерских изделиях и полуфабрикатах (введено – найдено)

Сахароза		Введено в колбу на 100 см <sup>3</sup>					Найдено			
№ п/п колбы	мг в пробе	см <sup>3</sup>	Объект (вытяжка)				Общий сахар		Сахароза введенная	
			мг в пробе	Общий сахар, мг	Объем вытяжки, см <sup>3</sup>	Объем на дотитрование пробы, см <sup>3</sup>	мг	%	мг	%
<b>Шоколад «Аленка»</b>										
1	16	50	—	—	—	0,4	16,1	100,5	16,1	100,5
2	12,8	40	0,066	3,64	10	0,7	16,19	85,2	12,75	99,5
3	9,6	30	0,128	7,2	20	1,3	16,58	75,4	9,7	101
4	6,4	20	0,192	10,8	30	2,2	16,65	64,04	6,35	99,3
5	3,2	10	0,256	14,4	40	2,4	16,95	58,4	10,1	101
6	0	0	0,52	18,1	50	2,5	17,2	53,9	0	0
<b>Вафли фруктовые</b>										
1	16	50	—	—	—	0,8	15,9	99,4	15,9	99,4
2	12,8	40	0,064	3,22	10	0,7	15,78	82,1	12,72	99,5
3	9,6	30	0,128	6,44	20	0,6	16,66	70,0	9,54	99,5
4	6,4	20	0,192	9,67	30	0,5	15,38	60,0	6,3	98,4
5	3,2	10	0,256	12,9	40	0,45	15,34	54,4	3,15	98,4
6	0	0	0,32	16,1	50	0,4	15,3	47,8	0	0
<b>Конфета «Ну-ка отними!»</b>										
1	16	50	—	—	—	0,9	16	100	16	100
2	12,8	40	0,05	3,7	10	1,1	16,38	91	12,86	100,5
3	9,6	30	0,12	7,4	20	1,2	16,5	82,5	9,45	98,5
4	6,4	20	0,174	11,1	30	1,3	16,9	71,1	6,3	98,5
5	3,2	10	0,232	14,8	40	1,4	17,2	65,0	3,1	98,0
6	0	0	0,288	18,5	50	1,6	17,6	61,1	0	0
<b>Печенье сдобное «Ягодное»</b>										
1	16	50	—	—	—	0,5	16,00	100	16	100
2	12,8	40	0,16	3,33	10	0,6	16,24	56,6	12,7	99,2
3	9,6	30	0,32	7,45	20	0,7	16,69	40,0	9,61	100
4	6,4	20	0,48	11,15	30	0,8	16,90	31,1	6,3	98,5
5	3,2	10	0,64	14,96	40	1,0	17,30	25,1	3,1	98,0
6	0	0	0,8	18,6	50	1,2	17,70	22,1	0	0
<b>Патока кукурузная</b>										
1	16	50	—	—	—	0,4	16,1	100,5	16,1	100,5
2	12,8	40	0,06	6,32	10	0,7	18,4	87,7	12,1	100,5
3	9,6	30	0,12	9,47	20	1,4	17,3	76,7	12,1	100,5
4	6,4	20	0,18	12,6	30	2,3	16,6	59,3	6,4	98,0
5	3,2	10	0,24	15,8	40	2,6	15,8	56,1	4,0	100
6	0	0	0,30	19,0	50	2,6	15,8	52,7	0	0

общего сахара (в %) рассчитывали по формуле (8), (ГОСТ 5903-89):

$$x = \frac{1,6(n-p) \cdot 0,95 \cdot V_1 \cdot 100}{V_2 \cdot m}, \quad (8)$$

где  $n$  – объем стандартного раствора глюкозы, израсходованный на восстановление 10 см<sup>3</sup> раствора основного реактива (холостой опыт), см<sup>3</sup>;  $p$  – объем стандартного раствора глюкозы, израсходованный на дотитрование пробы, мл;  $m$  – навеска объекта исследования, мг;  $V_1$  – объем мерной колбы, используемой для приготовления водной вытяжки, см<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем водной вытяжки, взятой на анализ, см<sup>3</sup>.

Для снижения погрешности каждый эксперимент повторяли три раза, с отбраковкой статистически недостоверных данных. Результаты анализа приведены в табл. 5.

Представленные в таблице результаты показывают, что процент обнаружения сахарозы, вводимой с учетом исходного содержания сахара в пробе, достаточно высок. Полученная погрешность определений не превышает 2%. Эти данные указывают на то, что ускоренный феррицианидный метод анализа позволяет определить сахар в образцах хлеба, кондитерских изделий и полуфабрикатов с достаточной достоверностью, при этом следует отметить, что и компоненты фона исследуемых объектов не искажают результаты определения содержания сахарозы, то есть при выбранных параметрах гидролиза сахарозы отсутствует гидролиз мальтозы, лактозы, декстринов.

Для оценки точности результатов анализа, полученных методом титрования стандартным раствором глюкозы в присутствии метиленового синего, была проведена статистическая обработка результатов определения сахарозы (%) в объектах хлебопекарного и кондитерского производства. Для расчета

метрологических характеристик получили результаты анализа пяти параллельных образцов из отдельных навесок для каждого объекта. И затем рассчитывали значения стандартного отклонения повторяемости  $S_r$  и доверительного интервала  $\pm\Delta$  (при  $P=0,95$ ,  $f=4$ ,  $t(P, f)=2,78$ ), который с заданной доверительной вероятностью показывает, в каких пределах находится истинное значение определяемой величины. Данные исследований объектов кондитерского и хлебопекарного производства, выполненных титриметрическим (феррицианидным) методом, с метрологическими характеристиками представлены в табл. 6.

Результаты исследований, приведенные в табл. 4–6, убедительно доказывают, что применение ускоренного феррицианидного метода позволяет получить сходимые результаты, при этом значительно (в 5 раз, по сравнению со стандартным методом определения сахара по ГОСТ 5903-89) сокращается время проведения анализа за счет уменьшения длительности гидролиза сахарозы.

## Заключение

В результате проведенных исследований подтверждены оптимальные условия гидролиза сахарозы в реакционной колбе (на 10 см<sup>3</sup> пробы необходимо добавлять 4 см<sup>3</sup> 1 н раствора HCl, температура – 100 °С, длительность кипячения – 60 с) при этом может наблюдаться незначительный рост редуцирующих веществ (около 2% при кипячении в течение 60 с) за счет гидролиза лактозы и мальтозы. Кроме того, установлено, что при уменьшении объема 1 н раствора HCl до 3 см<sup>3</sup> на 10 см<sup>3</sup> пробы и кипячении в течение 1 мин лактоза, мальтоза и декстрины не гидролизуются, а поэтому результаты определений не искажаются.

Результаты определения общего сахара в одних и тех же объектах, полученные двумя методами (ускоренным и по ГОСТ), подтверждают возможность применения ускоренного феррицианидного метода и получения с его помощью достоверных данных.

Результаты определения введенной сахарозы в вытяжку, содержащую исследуемую пробу продуктов хлебопекарного и кондитерского производства, и метрологическая обработка результатов анализа позволили дать оценку точности ускоренного феррицианидного метода, включающего выбранные условия гидролиза сахарозы. Таким образом, можно рекомендовать применение ускоренного феррицианидного метода, отличающегося достаточной простотой и высокой сходимостью результатов, для определения редуцирующих веществ и общего сахара во всех видах пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов питания.

**Таблица 6.** Метрологическая оценка результатов содержания общего сахара (% сахарозы) в объектах кондитерского производства

Объект исследования	Среднее содержание сахарозы, % масс.	Метрологические характеристики, % масс.	
		$S_r$	$\pm\Delta$
Конфеты «Ну-ка отними!»	60,20	0,045	0,12
Шоколад «Аленка»	51,02	0,094	0,24
Печенье Юбилейное	22,15	0,057	0,15



## Литература

1. Тужилкин В. И., Штерман С. В., Бодин А. Б. О роли сахара в современном мире. Часть II. Пищевая промышленность. 2012. 8:68–71.
2. Богданова В. В. Определение массовой доли общего сахара ускоренным фотоэлектроколориметрическим методом с раствором бихромата калия. Наука молодых. Сборник трудов межвузовской научно-практической конференции, Орел. Издательство Картуш (Москва). 2021. 50–54.
3. Церен-Убушиева Д. В., Дербетова Н. Б. Перманганатометрическое определение сахарозы в растительном материале по Берtrandу. Актуальные проблемы химии и методики преподавания химии. 2012. 160–163.
4. Кульнева Н. Г. Использование современных методов при оценке качества сахаров. Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов. 2022. 356.
5. Вешняков В. А., Хабаров Ю. Г., Камакина Н. Д. Сравнение методов определения редуцирующих веществ: метод Берtrand, эбулиостатический и фотометрический методы. Химия растительного сырья. 2008. 4: 47–50.
6. Карабанова А. Г., Мицуля Т. П. Сравнительная характеристика методов определения инвертированного сахара в меде. Безопасность городской среды. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. 2018. 54–59.
7. Гончарук В. В. и др. Катализ. Механизмы гомогенного и гетерогенного катализа, кластерные подходы. Киев: Наук. Думка, 2002. 541 с.
8. Чесноков Н. В. и др. Изучение реакции кислотно-каталитического гидролиза сахарозы. Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2012. 5.3: 311–319.
9. Сапронов А. Р., Колчева Р. А. Красящие вещества и их влияние на качество сахара. Сахар. 1974.
10. Мишук Р. Ц. Кинетика разложения сахарозы в концентрированном растворе. Сахар. 2017. 5:24–28.
11. Атабаева З. Сравнительная характеристика методов определения сахара в булочных и мучных кондитерских изделиях. Innovations in Technology and Science Education. 2023. 2(6): 49–52.
12. ГОСТ 5903-89. Изделия кондитерские. Методы определения сахара. М.: Стандартинформ, 2012. 25 с.
13. ГОСТ 5672-2022. Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли сахара. М.: Стандартинформ, 2022. 24 с.
14. ГОСТ 33917-2016. Патока крахмальная. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 52 с.

## References

1. Tuzhilkin V. I., Shterman S. V., Bodin A. B. About the role of sugar in the modern world. Chast' II. Pishhevaya promyshlennost' = Food industry. 2012. 8: 68–71.
2. Bogdanova V. V. Determination of the mass fraction of total sugar by accelerated photoelectrocolorimetric method with a solution of potassium bichromate. Nauka molodyx = Science of the Young. Proceedings of the interuniversity scientific-practical conference, Orel. Kartush Publ. (Moscow). 2021. 50–54.
3. Ceren-Ubushieva D. V., Derbetova N. B. Permanganatometric determination of sucrose in plant material by Bertrand. Aktual'ny'e problemy' khimii i metodiki prepodavaniya khimii = Actual problems of chemistry and methods of teaching chemistry. 2012. 160–163.
4. Kul'neva N. G. The use of modern methods in assessing the quality of sugars. Problemy' i perspektivy' nauchno-innovacionnogo obespecheniya agropro = Problems and prospects of scientific and innovative support of agro-industrial. 2022. 356.
5. Veshnyakov V. A., Xabarov Yu. G., Kamakina N. D. Comparison of methods for determining reducing substances: Bertrand method, ebullioscopic and photometric methods. Khimiya rastitel'nogo syrya = Chemistry of Plant Raw Material. 2008. 4: 47–50.
6. Karabanova A. G., Micyulya T. P. Comparative characteristics of methods for determining inverted sugar in honey. Bezopasnost' gorodskoj sredy' = Safety of the urban environment. Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference. 2018. 54–59.
7. Goncharuk V. V. i dr. Kataliz. Catalysis. Mechanisms of homogeneous and heterogeneous catalysis, cluster approaches. Kiev: Nauk. Dumka Publ., 2002. 541.
8. Chesnokov N. V. i dr. The study of the reaction of acid-catalytic hydrolysis of sucrose. Zhurnal Sibirskogo federal' nogo universiteta. Khimiya = Journal of the Siberian Federal University. Chemistry. 2012. 5.3: 311–319.
9. Sapronov A. R., Kolcheva R. A. Coloring substances and their effect on the quality of sugar. Sahar = Sugar. 1974.
10. Mishhuk R. Cz. Kinetics of decomposition of sucrose in a concentrated solution. Sahar = Sugar. 2017. 5:24–28.
11. Atabaeva Zebo. Comparative characteristics of methods for determining sugar in bakery and flour confectionery products. Innovations in Technology and Science Education. 2023. 2(6): 49–52.
12. GOST 5903-89. Confectionery. Methods for determination of sugar. M.: Standartinform Publ., 2012. 25 p.
13. GOST 5672-2022. Bakery products. Methods for determination of sugar content. M.: Standartinform Publ., 2022. 24 p.
14. GOST 33917-2016. Starch syrup. General specifications. M.: Standartinform Publ., 2017. 52 p.

Статья поступила в редакцию 06.03.2023

Принята к публикации 06.06.2023



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



1090 руб.

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

коллективная монография

под ред. Карнова Ю.А., Барановской В.Б., Житенко Л.П.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 400 с. ISBN 978-5-94836-554-1

Благородные (драгоценные) металлы относятся к важнейшим видам современных материалов. Они являются валютными ценностями, широко применяются в ювелирном деле, в электронной, химической, машиностроительной промышленности, в медицине и многих других областях человеческой деятельности. Функциональные свойства этих материалов неразрывно связаны с их химическим составом, который устанавливают с помощью аналитического контроля. В настоящей монографии рассмотрены современные методы анализа (атомно-спектральные, рентгеноспектральные, физико-химические и другие), методы пробирного концентрирования, методики аналитического контроля конкретных объектов, стандарты на методы анализа и проблемы развития аналитической химии благородных металлов. Эта информация представляет интерес для работников аналитических лабораторий, научно-исследовательских организаций и многочисленных потребителей материалов и изделий, содержащих благородные металлы.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, в/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosphere.ru; sales@technosphere.ru

# 3-6 ОКТЯБРЯ 2023



## XII ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ СПОНСОР



ПАРТНЕРЫ



КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
**ЭКСПОФОРУМ**  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1  
+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2626), GF@EXPOFORUM.RU

18+



@GASFORUMSPB

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ  
НА НАШ TELEGRAM-КАНАЛ  
И ЧИТАЙТЕ НОВОСТИ  
РАНЬШЕ ВСЕХ!

[GAS-FORUM.RU](http://GAS-FORUM.RU)