

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКОТИНА В ЖИДКОСТЯХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ НИКОТИНА

Д.Ю. Цветков, М.Е. Маркова, А.А. Степачёва

ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь

Информация о содержании никотина в электронных сигаретных жидкостях является важной задачей как для производителей продукции, так и для потребителей. Для первой категории содержание никотина в жидкостях строго регламентируется законодательством. На сегодняшний день максимально разрешенное содержание никотина в жидкостях для розничной продажи не должно превышать 20 мг/мл. Для второй категории лиц знать концентрацию никотина необходимо с целью обеспечения безопасности и предотвращения отравления из-за неправильного дозирования. Целью данного исследования является количественное определение никотина в электронных сигаретных жидкостях с использованием различных химических и физических методов. В рамках исследования проведен анализ пяти образцов жидкостей разных производителей, оценено соответствие содержания никотина требованиям законодательства и информации на упаковке.

Ключевые слова: электронные системы доставки никотина, никотинсодержащие жидкости, никотин, количественное определение.

Введение

В последние годы электронные системы доставки никотина (ЭСДН) стали все более популярны. ЭСДН представляют собой устройства, имитирующие процесс курения путем нагревания специальной жидкости и создания аэрозоля, который затем вдыхается пользователем [1]. Ключевым компонентом жидкостей для электронных сигарет является никотин – алкалоид, пиридинового ряда. Никотин обладает психоактивным действием на организм, вызывает сильную зависимость и относится к токсичным веществам [2].

Первоначально электронные системы доставки никотина разрабатывались как замена сигаретам для облегчения или избавления курильщиков от никотиновой зависимости. Однако в последнее время поступает все больше информации о негативных последствиях курения ЭСДН [3, 4]. В связи с этим исследования состава электронных сигаретных жидкостей (ЭСЖ), определ

© Цветков Д.Ю., Маркова М.Е.,
Степачёва А.А., 2025

компонентов, а также изучение влияния этих компонентов на здоровье человека является актуальной задачей.

Контроль содержания никотина в ЭСЖ является важным фактором их производства и реализации. Во-первых, содержание никотина строго регулируется законодательством Российской Федерации. Во-вторых, определение концентрации никотина необходимо для обеспечения безопасности потребителей [5, 6].

Методы количественного анализа никотина в ЭСЖ представляют собой сложную аналитическую задачу из-за разнообразия составов жидкостей и возможных примесей. Использование современных методов обеспечивает быстроту, точность и воспроизводимость анализа ЭСЖ.

Цель данной работы заключается в количественном определении никотина в электронных сигаретных жидкостях с использованием спектра химических и физических методов анализа. Особое внимание уделяется сравнению различных аналитических подходов, их чувствительности, точности и возможности применения в условиях реальной лабораторной практики.

Экспериментальная часть

Для исследования были выбраны жидкости разных производителей с различным содержанием никотина. Исследуемые образцы пронумерованы и представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Описание исследуемых образцов		
№ образца	Заявленное содержание никотина, мг/мл	Описание образца
1	0	Вязкая прозрачная жидкость с ярким фруктовым ароматом.
2	0	Вязкая прозрачная жидкость с ярким мятно-ягодным ароматом.
3	20	Вязкая прозрачная жидкость с ярким фруктовым ароматом. Содержит солевой тип никотина.
4	20	Вязкая прозрачная жидкость с ярким мятно-ягодным ароматом. Содержит солевой тип никотина.
5	20	Вязкая прозрачная жидкость с ярким кисло-фруктовым ароматом. Содержит солевой тип никотина.

Для количественного определения никотина использовались методы УФ-спектрометрии, хроматомасс-спектрометрии, тонкослойной хроматографии, капиллярного электрофореза, потенциометрического титрования.

Приготовление калибровочных растворов

Для построения калибровочных графиков использовался солевой никотиновый бустер, представляющий собой раствор никотина в пропиленгликоле с концентрацией ≥ 9 %. Заявленная производителем концентрация никобустера составляла 450 мг/мл. Предварительно никобустер был проанализирован методом газовой хроматомасс-спектрометрии для определения наличия примесей. На хроматограммах был отмечен только пик никотина, что указывает на чистоту образца. Приготовление калибровочных растворов проводилось методом разбавления из расчета 6, 12, 18, 24 и 32 мг/мл. Для определения точной концентрации никотина в калибровочных растворах проведено потенциометрическое титрование, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Концентрация калибровочных растворов			
№ раствора	Расчетная концентрация никотина, мг/мл	Концентрация никотина согласно данным титрования, мг/мл	Поправочный коэффициент
1	6	3,6	0,6
2	12	7,0	0,58
3	18	9,7	0,54
4	24	13,4	0,56
5	32	16,1	0,50

Определение никотина методом потенциометрического титрования [7]

В коническую колбу вместимостью 150 мл помещали около 75 мг исследуемого образца (точная навеска), прибавляли 150 мл ледяной уксусной кислоты и титровали 0,1 М раствором хлорной кислоты. Конечную точку титрования определяли потенциометрически. Параллельно проводили контрольный опыт. 1 мл 0,1 М хлорной кислоты соответствует 8,11 мг никотина.

Определение никотина методом УФ-спектрофотометрии [7]

Никотин имеет четко выраженный пик поглощения при $\lambda_{\max}$ 259 нм. Для количественного определения в мерную колбу вместимостью 50 мл вносили 100 мг исследуемого образца (точная навеска), растворяли в

воде и доводили объем раствора до метки дистиллированной водой. Для приготовления калибровочных растворов использовали растворы никотина в этиленгликоле, приготовленные из солевого никобустера (см. Табл. 2). Исследование проводили с помощью спектрофотометра UV/VIS Excellence модели UV5Bio (Mettler-Toledo, Швейцария). Оптическую плотность раствора определяли при длине волны 259 нм в кювете с толщиной слоя в 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду. Калибровочная кривая для используемого метода представлена на рисунке 1.

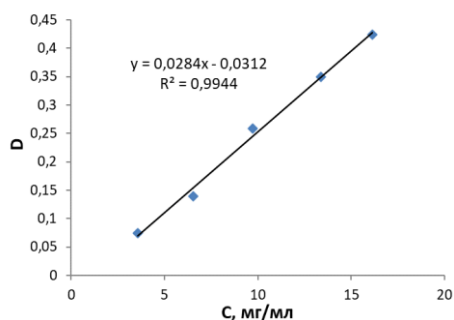


Рис. 1. Калибровочная кривая для УФ-спектрофотометрического определения никотина

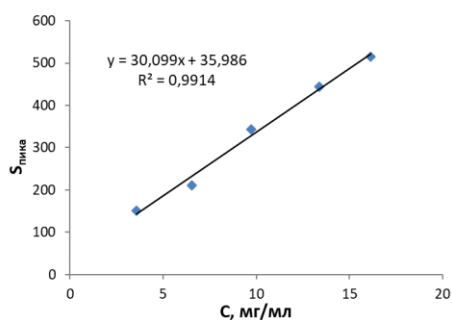


Рис. 2. Калибровочная кривая для определения никотина методом капиллярного электрофореза

Определение никотина методом капиллярного электрофореза [8]

Для определения никотина в жидкостях для электронных сигарет использовали систему капиллярного электрофореза «Капель-103» (НПП АФ «Люмэкс»), снабжённую кварцевым капилляром (внутренний диаметр 75 мкм, внешний 365 мкм, общая длина 68 см, эффективная длина 50 см, наложенное напряжение +20 кВ). Для подготовки к работе капилляр промывали последовательно концентрированной HClO_4 , NaOH (4М), H_2O и рабочим буфером. Ввод пробы осуществляли со стороны катода давлением 30 мбар в течение 10 с. Электрофореграммы регистрировали с помощью косвенного УФ детектирования (259 нм) непосредственно в капилляре. Спектр никотина получали с помощью спектрофотометра СФ-103. В качестве рабочего буфера использовали 0,05 М боратный буфер, приготовленный непосредственно перед опытом. Для приготовления калибровочных растворов использовали растворы никотина, приготовленные из солевого никобустера (см. Табл. 2). Калибровочная кривая для используемого метода представлена на рисунке 2.

Определение никотина методом газовой хроматомасс-спектрометрии [9]

Анализ образцов методом газовой хроматомасс-спектрометрии проводили с использованием хроматографа GC-2010 и масс-спектрометра GCMS-QP2010S (Shimadzu, Япония). Сбор и обработку информации осуществляли с помощью программы GCMS Postrun Analysis, входящей в комплект поставки оборудования.

Анализ проводили при следующих условиях: продолжительность анализа – 48 мин; начальная температура колонки 65 °С выдерживалась в течение 1 мин, затем происходил плавный подъем температуры до 260 °С со скоростью 5 °С/мин, после чего температуры колонки поддерживалась 260 °С в течение 8 минут; температура инжектора 280 °С; сплит автоматический; давление He 53.6 кПа; общий поток He 81.5 мл/мин; линейная скорость потока He 36.3 см/с; колонка HP-1MS: L=30 мм; d=0.25 мм; толщина пленки 0.25 мкм; температура источников ионов 260 °С; температура интерфейса 280 °С; режим сканирования от 10 до 800 m/z; скорость сканирования 1666; ионизация электронным ударом.

Пробы разбавляли этиленгликолем в соотношении 20 мкл жидкости на 1 мл этиленгликоля. После разбавления пробы выдерживали не менее 1 часа перед анализом. Для приготовления калибровочных растворов использовали растворы никотина, приготовленные из солевого никобустера (см. Табл. 2). Калибровочная кривая для используемого метода представлена на рисунке 3.

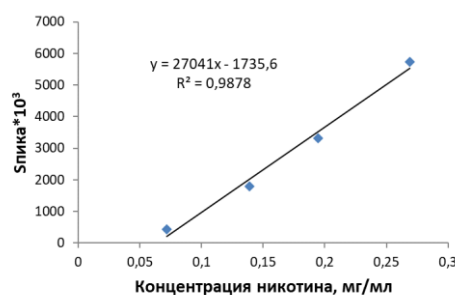


Рис. 3. Калибровочная кривая для определения никотина методом газовой хроматомасс-спектрометрии

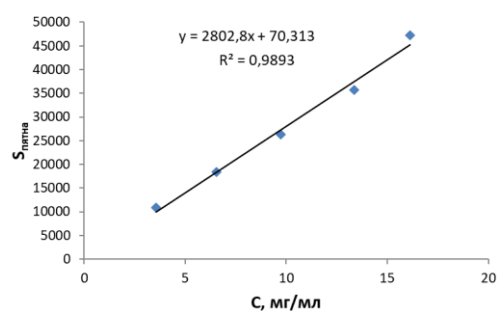


Рис. 4. Калибровочная кривая для определения никотина методом денситометрии

Определение никотина методом тонкослойной хроматографии и денситометрии [7]

Для приготовления испытуемого раствора готовили смешивали исследуемый образец и этиленгликоль в соотношении 1:2. Для

приготовления калибровочных растворов использовали растворы никотина, приготовленные из солевого никобустера (см. Табл. 2). Хроматографирование осуществляли с использованием хроматографической пластинки Sorbfil ПТСХ-АФ-В. Концентрирование пробы проводилось дважды с промежуточным высушиванием пластинки с нанесенным раствором при температуре 100 °С в течении 2-3 минут. Время хроматографирования составляло 40 минут. В качестве элюэнта использовали смесь ацетон – хлороформ – аммиак в соотношении 8:1:1. Зоны адсорбции компонентов жидкостей обнаруживали в УФ свете. Значение R_f фактора каждого компонента пробы и количественное содержание никотина определяли с помощью денситометра Сорбфил (Sorbfil ИМИД, Россия). Калибровочная кривая для используемого метода представлена на рисунке 4.

Результаты и их обсуждение

Результаты потенциометрического титрования образцов исследуемых жидкостей представлены в таблице 3. Содержание никотина рассчитывалось по формуле 1 [7].

$$C = \frac{V \cdot 8,11 \cdot \rho}{m} \quad (1)$$

где C – концентрация никотина в образце, мг/мл; V – объем хлорной кислоты, пошедшей на титрование, мл; 8,11 – коэффициент пересчета объема хлорной кислоты на массу никотина в пробе; ρ – плотность образца ЭСЖ, определенная пикнометрически, г/мл; m – масса пробы образца, г.

В образце №2 наличие никотина не обнаружено, что соответствует информации, заявленной производителем. Для образца №1 содержание никотина не соответствует заявленному, хотя и не превышает требований п. 9 ст. 19 Федерального закона №15-ФЗ от 20.02.2013 (ред. От 28.12.2024) (далее ФЗ) [6]. Содержание никотина в остальных исследуемых образцах превышает максимально разрешенное на 15-20%.

Таблица 3.

Результаты потенциометрического титрования образцов

№ образца	Масса образца, г	Объем хлорной кислоты, пошедшей на титрование, мл	Содержание никотина, мг/мл
1	0,0723±0,0001	0,15±0,01	19,3±0,1
2	0,0733±0,0001	0,00±0,01	0,0±0,1
3	0,0720±0,0001	0,20±0,01	25,8±0,1
4	0,0773±0,0001	0,20±0,01	24,1±0,1
5	0,0726±0,0001	0,20±0,01	25,6±0,1

При определении содержания никотина в образцах ЭСЖ методом УФ-спектрофотометрии при $\lambda = 259$ нм были получены результаты, представленные в таблице 4. Содержание никотина рассчитывалось согласно калибровочному графику (Рис. 1). Как и при потенциометрическом титровании было обнаружено, что содержание никотина в образцах №3, 4, 5 превышает разрешенное ФЗ [6]. Превышение составляет 5-15%. Для образца №1 также отмечено наличие никотина, что не соответствует заявленному производителем.

Таблица 4.

Результаты УФ-спектрофотометрического анализа образцов

№ образца	Оптическая плотность раствора	Содержание никотина, мг/мл
1	0,55±0,005	18,3±0,2
2	0,00±0,005	0,0±0,2
3	0,64±0,005	21,5±0,2
4	0,65±0,005	21,7±0,2
5	0,70±0,005	23,6±0,2

При электрофоретическом исследовании образцов ЭСЖ были получены электрофореграммы, пример которых представлен на рисунке 5. Результаты исследования образцов методом капиллярного электрофореза представлены в таблице 5. Содержание никотина рассчитывалось согласно калибровочному графику (Рис. 2).

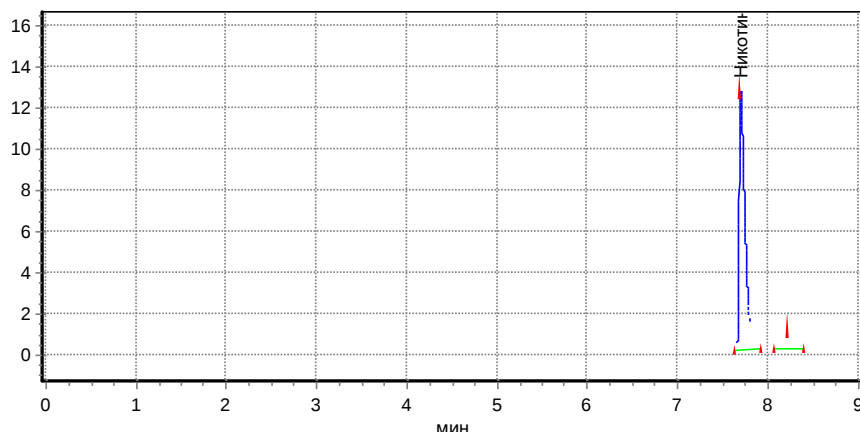


Рис. 5. Электрофореграмма образца электронной сигаретной жидкости

Таблица 5.

Результаты электрофоретического анализа образцов

№ образца	Площадь пика	Содержание никотина, мг/мл
1	545,0±0,1	16,9±0,1
2	67,4±0,1	1,0±0,1
3	630,4±0,1	19,7±0,
4	661,0±0,1	20,8±0,1
5	696,6±0,1	21,9±0,1

Никотин был обнаружен во всех образцах ЭСЖ. В образце №2 наблюдается минимальное содержание никотина, которое может быть следствием загрязнения продукта при его производстве. Для всех образцов, кроме №5, концентрация никотина не превышает разрешенную ФЗ [6].

При хроматомасс-спектрометрическом анализе ЭСЖ на хроматограммах помимо никотина (31,7 мин) были обнаружены пики, отвечающие глицерину (20,4 мин), D-эритриту (29,7 мин) и ароматизаторам (Рисунок 6). Концентрация никотина в пробе рассчитывалась с учетом разбавления по площади пика, согласно калибровочному графику (Рис. 3). Полученные результаты представлены в таблице 6. В образце №2 присутствие никотина не обнаружено. Для образцов №1, 3, 4 содержание никотина превышает допустимое. В образце №5 содержание никотина входит в диапазон, разрешенный ФЗ [6].

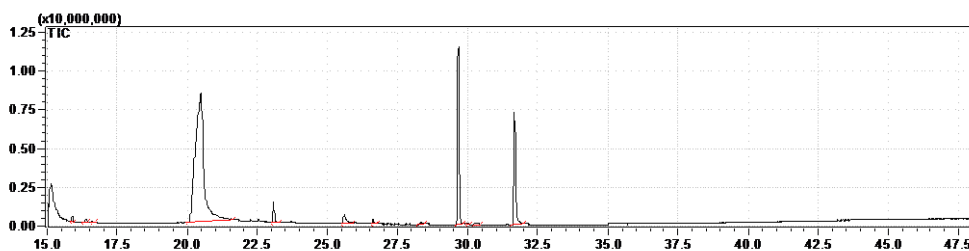


Рис. 6. Пример хроматограммы электронной сигаретной жидкости

Таблица 6.

Результаты хроматомасс-спектрометрического анализа образцов

№ образца	Площадь пика	Содержание никотина, мг/мл
1	31114283 ± 100	$21,7 \pm 0,05$
2	0 ± 100	$0 \pm 0,05$
3	14090860 ± 100	$26,4 \pm 0,05$
4	29951694 ± 100	$20,9 \pm 0,05$
5	22206945 ± 100	$15,1 \pm 0,05$

Исследование образцов ЭСЖ методом тонкослойной хроматографии показало, что для исследуемых образцов в УФ-свете наблюдается 3 пятна, соответствующих глицерину ($R_f = 0,35$), пропиленгликолю ($R_f = 0,69$) и никотину ($R_f = 0,96$) (Рисунок 7а). Размеры пятен пропиленгликоля были схожи для всех исследуемых образцов. Пятна глицерина не наблюдались для образцов № 2 и 3. Для образца №2 также не обнаружено пятно никотина. Количественное определение никотина проводилось денситометрически с использованием калибровочного графика (Рис. 4). Результаты определения представлены в таблице 7.

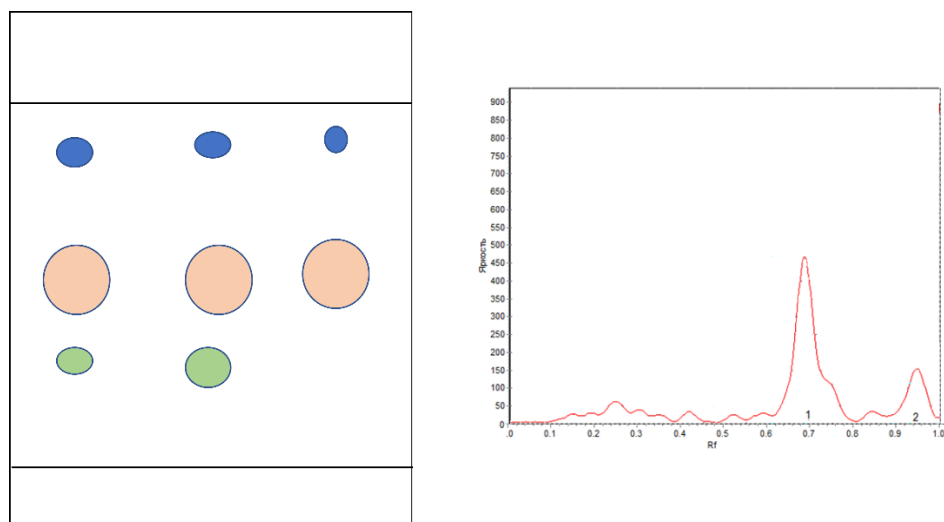


Рис. 7. Схема ТСХ-пластинки и пример денситограммы для образцов электронных сигаретных жидкостей

Таблица 7.

Результаты денситометрического анализа образцов

№ образца	R _f	Площадь пятна	Содержание никотина, мг/мл
1	0,96	53256±10	19,0±0,1
2	-	0±10	0±0,1
3	0,96	62310±10	22,2±0,1
4	0,96	65640±10	23,4±0,1
5	0,96	67964±10	24,1±0,1

Закключение

Сравнение методов определения концентрации никотина в жидкостях для ЭСДН показало, что метод капиллярного электрофореза является наиболее чувствительным, позволяя обнаруживать следовые количества никотина. Наиболее близкие результаты к концентрациям никотина, определенным титриметрическим методом, наблюдались при использовании тонкослойной хроматографии с денситометрической обработкой данных. Использование различных методов показывает расхождения в концентрации никотина от 1 до 5 мг/мл. Для образцов №3, 4, 5, содержащих никотин, наблюдалось завышение концентрации компонента на 3-6 мг/мл по сравнению с предельно допустимым содержанием, установленным законодательством. Содержание никотина

в образце №1 находится в пределах разрешенного, однако не соответствует заявленному производителем.

Список литературы

1. Ткаченко А.В., Слинькова Т.А., Шипкова Л.Н. Новый тренд: электронные системы доставки никотина // Здоровье и образование в XXI веке. - 2023. - №4. – С. 102-107.
2. Тюльганова Д. Никотин как алкалоид. [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://biomolecula.ru/articles/nikotin-kak-alkaloid>
3. Чинчиев Р.Т., Кантемиров А.Х. Компоненты электронных сигарет и их влияние на организм // Молодой ученый. - 2023. - № 27. – Т. 474. - С. 54-56.
4. Electronic Nicotine Delivery Systems and Electronic Non-Nicotine Delivery Systems (ENDS/ENNDS) Report by WHO. FCTC/ COP/7/11August2016 [Электронный ресурс]. Адрес доступа: [https://www.who.int/news/item/25-01-2017-electronic-nicotine-delivery-systems-and-electronic-non-nicotine-delivery-systems-\(ends-ennds\)](https://www.who.int/news/item/25-01-2017-electronic-nicotine-delivery-systems-and-electronic-non-nicotine-delivery-systems-(ends-ennds)).
5. ГОСТ Р 58109-2018. Жидкости для электронных систем доставки никотина. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. – 15 с.
6. Федеральный закон «Об охране здоровья граждан от воздействия окружающего табачного дыма, последствий потребления табака или потребления никотинсодержащей продукции» от 23.02.2013 N 15-ФЗ (последняя редакция).
7. Европейская фармакопея. 8-е изд. / Страсбург: Европейское консульство. – 2017. – 3513 с.
8. Виноградова А.К., Офицеров Е.Н. Определение никотина в растительном сырье при помощи капиллярного электрофореза // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – Т. 24. - № 7. – С. 56-57.
9. Абдуганиев Б., Азимова Н. Определение содержания никотина в различных никотиносодержащих продуктах хромато-масс-спектрометрией // научный вестник ФерГУ. – 2021. – № 5. – С. 186-189.

Об авторах:

ЦВЕТКОВ Дмитрий Юрьевич – студент 4 курса, 04.03.01 Химия, кафедра биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: dm.cwetkow@mail.ru

МАРКОВА Мария Евгеньевна - кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: mashulikmarkova@gmail.com

СТЕПАЧЕВА Антонина Анатольевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, ФГБОУ ВО Тверской государственный технический университет (170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, 22); e-mail: a.a.stepacheva@mail.ru

QUANTIFICATION OF NICOTINE IN LIQUIDS FOR ELECTRONIC NICOTINE DELIVERY SYSTEMS

D.Yu. Tsvetkov, M.E. Markova, A.A. Stepacheva

Tver State Technical University, Tver

Information about the nicotine content in e-cigarette liquids is an important task for both product manufacturers and consumers. For the first category, the nicotine content in liquids is strictly regulated by law. Currently, the maximum allowed nicotine content in retail liquids should not exceed 20 mg/ml. For the second category of people, it is necessary to know the concentration of nicotine in order to ensure safety and prevent poisoning due to improper dosing. The purpose of this study is to quantify nicotine in e-cigarette liquids using various chemical and physical methods. The study analyzed five samples of liquids from different manufacturers, assessed the compliance of nicotine content with legal requirements and information on packaging.

Keywords: *electronic nicotine delivery systems, nicotine-containing liquids, nicotine, quantification.*

Дата поступления в редакцию: 14.07.2025.

Дата принятия в печать: 23.07.2025.