

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА НИКОТИНСОДЕРЖАЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ НИКОТИНА

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

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

Электронные системы доставки никотина становятся все более популярными, особенно среди молодого поколения. Тем не менее врачи выступают против их широкого применения в связи с развитием заболеваний сердечно-сосудистой системы и дыхательных путей. В первую очередь это связано с отсутствием государственного контроля распространения и регулирования состава электронных сигаретных жидкостей, которые помимо пропиленгликоля, глицерина, никотина и ароматизаторов могут содержать токсичные вещества. Поэтому исследование компонентного состава никотинсодержащих жидкостей является актуальной задачей. В данной работе представлены данные по исследованию состава образцов электронных сигаретных жидкостей с помощью спектральных методов и хроматомасс-спектрометрии.

Ключевые слова: электронные системы доставки никотина, никотинсодержащие жидкости, спектроскопия, хроматомасс-спектрометрия.

Введение

Электронные системы доставки никотина (ЭСДН) были разработаны как альтернатива табачным изделиям [1]. Считается, что ЭСДН менее опасны, чем сигареты за счет отсутствия смол, СО и других компонентов сигаретного дыма [2]. Последние годы число ЭСДН, как и жидкостей для них, неуклонно растет. На сегодняшний день рынок электронных сигаретных жидкостей (ЭСЖ) составляет более 61 млн. долларов США и представлен более чем 500 брендами [3].

Основными компонентами жидкостей для электронных сигарет являются пропилен- или этиленгликоль, глицерин, никотин. Также в состав входят ароматизаторы для придания различного вкуса и запаха [4]. Несмотря на то, что составляющие ЭСЖ считаются безопасными при употреблении в пищу, их действие на организм при длительной ингаляции до конца не изучено. Кроме того, часто сообщается, что в жидкостях могут содержаться канцерогены, ионы тяжелых металлов и диацетил [5].

Исследования влияния ЭСЖ на организм показывают негативное действие, в том числе развитие заболеваний сердечно-сосудистой и нервной системы, тяжелых легочных заболеваний. Также не изученными остаются процессы превращения компонентов ЭСЖ при нагревании и не доказана безопасность продуктов этих превращений [6].

Анализ доступной литературы показывает, что жидкости для электронных сигарет содержат множество потенциально опасных компонентов. Несмотря на маркетинговые заявления о безопасности, исследования указывают на серьезные риски для здоровья. Кроме того, производство и продажа ЭСЖ во многих странах слабо регламентированы. В России существующий ГОСТ устанавливает требования только для содержания никотина и не регламентирует состав жидкостей в целом [7].

В связи с вышеизложенным, исследование состава жидкостей для ЭДСН является актуальной задачей. Поэтому целью настоящей работы является определение качественного состава ЭСЖ с помощью современных методов исследования.

Экспериментальная часть

Состав ЭСЖ определялся с использованием современных методов исследования, позволяющих анализировать пробы с высокой воспроизводимостью при небольших затратах времени. 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	Соотношение Г/ПГ	Описание образца
1	0	50/50	Вязкая прозрачная жидкость с ярким фруктовым ароматом. Содержание ароматизаторов 30-45%.
2	0	50/50	Вязкая прозрачная жидкость с ярким мятно-ягодным ароматом.

3	20	50/50	Вязкая прозрачная жидкость с ярким фруктовым ароматом. Содержит солевой тип никотина.
4	> 20	50/50	Вязкая прозрачная жидкость с ярким мятно-ягодным ароматом. Содержит солевой тип никотина.
5	20	50/50	Вязкая прозрачная жидкость с ярким кисло-фруктовым ароматом. Содержит солевой тип никотина.

Г – глицерин, ПГ – пропиленгликоль

УФ спектры образцов получали с помощью спектрофотометра UV/VIS Excellence модели UV5Bio (Mettler-Toledo, Швейцария). Спектры снимали в кювете с толщиной слоя в 10 мм в диапазоне длин волн 190-1100 нм с шагом 0,2 нм, в качестве раствора сравнения использовали этиленгликоль.

Инфракрасные спектры образцов ЭСЖ получали с помощью инфракрасного спектрометра с Фурье преобразованием IR-Prestige-21 (Shimadzu, Япония). Анализируемый образец помещали в кювету приставки нарушенного отражения. Регистрацию спектров проводили в диапазоне 4200-400 см⁻¹, с шагом 4 см⁻¹. В качестве фона использовали этиленгликоль.

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. Обработку хроматограмм осуществляли методом внутренней нормализации; отношение $S_{\text{пика}}$ к $\sum S_{\text{пиков}}$ принимали в качестве содержания вещества в пробе.

Результаты и их обсуждение

На рисунке представлены УФ-спектры образцов ЭСЖ, не содержащих никотина (а) и содержащих солевую форму никотина (б), полученных в диапазоне длин волн 190-1100 нм. Известно, что пик поглощения никотина имеет λ_{max} при 260 нм. Данный пик обнаруживается на спектрах всех образцов, кроме №2. Образец №1, в котором производителем не заявлено содержание никотина, имеет четко выраженный соответствующий пик. Помимо пиков никотина УФ-спектры образцов ЭСЖ характеризуются наличием дополнительных пиков поглощения, которые могут соответствовать хромофорным группам ароматизаторов. Так, УФ-спектр образца 2 имеет слабо выраженный пик поглощения при 274 нм, и выраженный пик при 330 нм, которые, вероятно принадлежат структурам, содержащим бензольное кольцо. Для образца 1 помимо пика никотина наблюдаются пики поглощения при λ_{max} 230 и 293 нм, которые могут принадлежать компонентам, содержащим альдегидную группу. В УФ-спектрах образцов 3 и 4 наблюдается только пик поглощения, соответствующий никотину. Спектр образца 5 характеризуется наличием пиков при 230, 260 и 295 нм и схож со спектром образца 1.

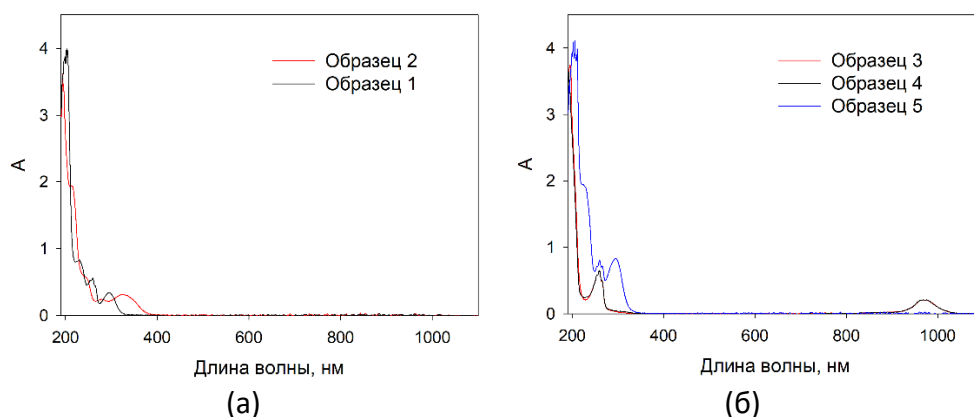
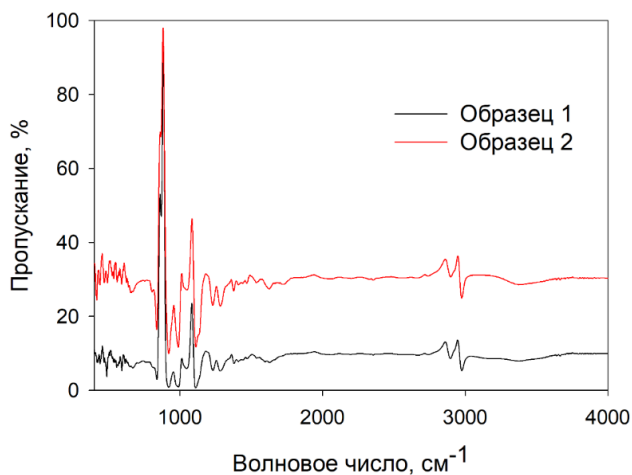


Рис. 1. УФ-спектры образцов ЭСЖ, не содержащих никотина (а) и содержащих солевую форму никотина (б)

На рисунке 2 представлены ИК-спектры пропускания образцов жидкостей. Можно отметить схожесть полученных спектров как для безникотиновых образцов (Рис. 2а), так и для никотинсодержащих жидкостей (Рис. 2б). При этом спектры по основным характеристическим полосам поглощения соответствуют спиртам, в том числе многоатомным: широкая полоса при $3000\text{--}3500\text{ см}^{-1}$ (колебания ОН-групп, сопряженных водородными связями), полосы при 1077 и 1252 см^{-1} (колебания ОН-групп первичных и вторичных спиртов), 950 и 880 см^{-1} (деформационные колебания ОН-группы), широкая полоса при $650\text{--}800\text{ см}^{-1}$ (деформационные колебания ОН-группы, связанной с алифатическим радикалом). Кроме того, отмечены полосы поглощения, соответствующие колебаниям С-Н-связей и $\text{-CH}_2\text{-}$ групп (2855 см^{-1} , 1008 см^{-1}). Отсутствуют полосы поглощения, характерные для азотсодержащих соединений (к которым относится никотин), а также полосы, относящиеся к колебаниям C=O -группы, C-O-C связей, ароматического кольца. Таким образом, можно заключить, что ИК-спектры образцов жидкостей отражают только основные компоненты – пропиленгликоль и глицерин, а никотин и ароматизаторы не регистрируются в виду их малого содержания.

а



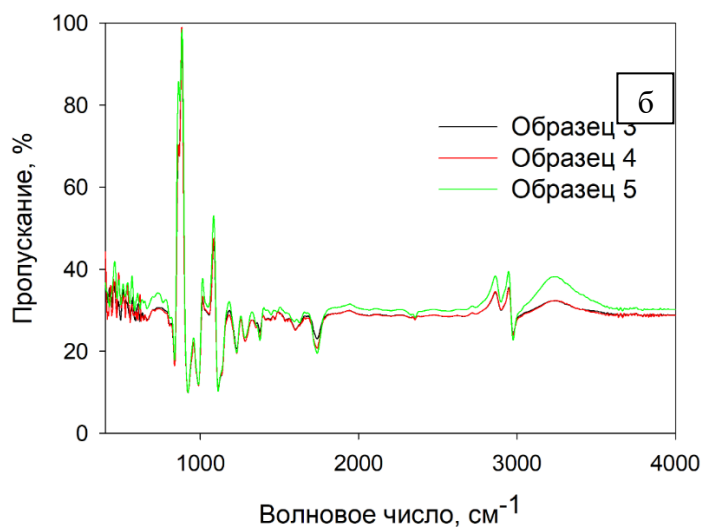
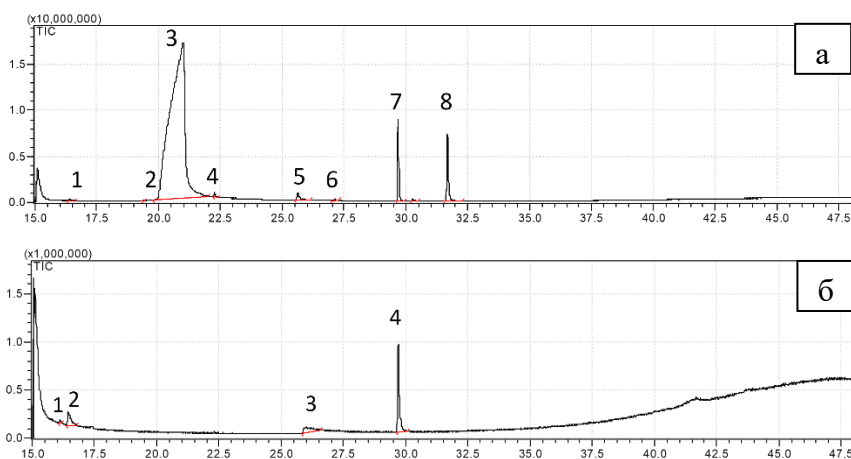


Рис. 2. ИК-спектры образцов ЭСЖ, не содержащих никотина (а) и содержащих солевую форму никотина (б)

Хроматомасс-спектрометрическое исследование позволяет с большей информативностью определить состав ЭСЖ. На рисунке 3 представлены хроматограммы образцов жидкостей, разбавленных этиленгликолем в соотношении 20 мкл : 1 мл. Пики, соответствующие этиленгликолю и пропиленгликолю на хроматограммах не отображаются, так как высокое содержание этих компонентов приводит к насыщению детектора.



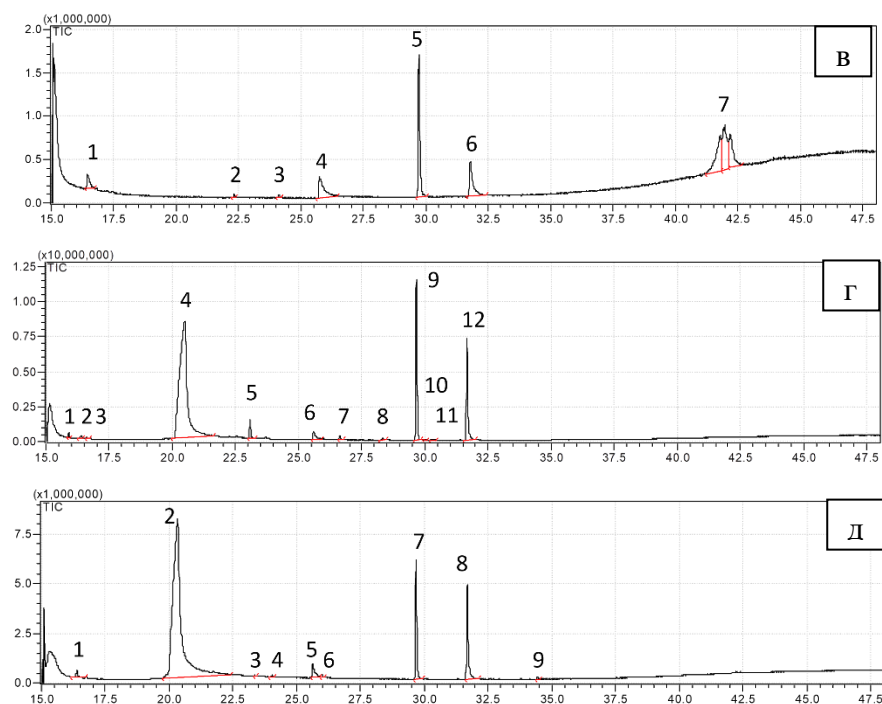


Рис. 3. Хроматограммы образцов ЭСЖ: (а) – образец №1, (б) – образец №2, (в) – образец №3, (г) – образец №4, (д) – образец №5

Наименьшее число входящих в состав ЭСЖ соединений имеет образец 2, наибольшее – образец 4. При этом можно отметить, что для всех исследуемых образцов характерно наличие пиков со временами удерживания 16,4 мин, 25,6 мин, 29,7 мин, соответствующие 2-метокси-1,3-диоксолану, 12-краун-4-эфиру и D-эритриту. На хроматограммах образцов 1, 3, 4, 5 отмечен пик со временем удерживания 31,7 мин, отвечающий никотину. Для образцов 1, 4, 5 на хроматограммах имеется пик со временем удерживания 20,4 мин, соответствующий глицерину. Процентное содержание обнаруженных веществ и их времена удерживания для исследуемых образцов представлены в таблицах 2-6. Приведенное содержание отражает лишь соотношение компонентов в пробе и не может использоваться для количественной оценки.

Таблица 2.
Расшифровка пиков хроматограммы и процентное содержание компонентов в образце №1

№ пика	Компонент	Время удерживания, мин	Содержание, %
1	2-метокси-1,3-диоксолан	16,4	0,13
2	бутантетраол	19,4	0,02
3	глицерин	20,4	90,50
4	п-ментен-1-ол-8-ацетат	22,3	0,23
5	12-краун-4-эфир	25,6	0,75
6	п-ментен-1-ол-8	27,1	0,10
7	D-эритрит	29,7	4,26
8	никотин	31,7	4,01

Таблица 3.
Расшифровка пиков хроматограммы и процентное содержание компонентов в образце №2

№ пика	Компонент	Время удерживания, мин	Содержание, %
1	этилизобутират	15,9	1,71
2	2-метокси-1,3-диоксолан	16,4	17,17
3	12-краун-4-эфир	25,6	20,14
4	D-эритрит	29,7	60,98

Таблица 4.
Расшифровка пиков хроматограммы и процентное содержание компонентов в образце №3

№ пика	Компонент	Время удерживания, мин	Содержание, %
1	2-метокси-1,3-диоксолан	16,4	3,56
2	п-ментен-1-ол-8-ацетат	22,3	0,37
3	метил-3-гидрокси-4-метилпентаноат	24,1	0,30
4	12-краун-4-эфир	25,6	10,55
5	D-эритрит	29,7	21,39
6	никотин	31,7	10,55
7	2-[3-кето-1-гидроксибутил] хинолин	42,0	53,28

Таблица 5.
Расшифровка пиков хроматограммы и процентное содержание компонентов в образце №4

№ пика	Компонент	Время удерживания, мин	Содержание, %
1	этилизобутират	15,9	0,34
2	2-метокси-1,3-диоксолан	16,4	0,36
3	пентилацетат	16,6	0,09
4	глицерин	20,4	68,73
5	пропениловый эфир капроновой кислоты	23,1	1,59
6	12-краун-4-эфир	25,6	1,38
7	ментол	26,6	0,45
8	5-бутилгидрофуранон-2	28,3	0,2
9	D-эритрит	29,7	15,04
10	ментилацетат	30,0	0,07
11	триацетил	30,3	0,20
12	никотин	31,7	11,55

Таблица 6.
Расшифровка пиков хроматограммы и процентное содержание компонентов в образце №5

№ пика	Компонент	Время удерживания, мин	Содержание, %
1	2-метокси-1,3-диоксолан	16,4	0,54
2	глицерин	20,4	77,72
3	2 гептил-4-метил-диоксолан-1,3	23,3	0,06
4	метил-3-гидрокси-4-метилпентаноат	24,0	0,08
5	12-краун-4-эфир	25,6	2,05
6	изопропоксиэтилпропионат	25,9	0,22
7	D-эритрит	29,7	9,64
8	никотин	31,7	9,56
9	4,11,11-триметил-8-метиленбицикло[7,2,0]ундец-ен-4	34,4	0,13

По данным хроматомасс-спектрометрии основными компонентами исследуемых образцов ЭСЖ являются глицерин, D-эритрит и никотин. Содержание веществ, выступающих в качестве ароматизаторов (как правило, сложные эфиры, производные ментола и 2-

метокси-1,3-диоксолан), составляет от 0,5 до 20%. Также в образцах присутствуют 12-краун-4-эфир и 4,11,11-триметил-8-метиленибицикло[7,2,0]ундецен-4 (суммарное содержание от 1 до 20% относительно других компонентов). Указанные компоненты оказывают токсическое действие на организм при ингаляции или являются сильными аллергенами [8, 9].

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее информативным методом для определения компонентов жидкостей для ЭСДН является хроматомасс-спектрометрия.
2. ИК-спектрометрия позволяет обнаружить только основные компоненты (пропиленгликоль и глицерин).
3. Состав ЭСЖ не всегда соответствует заявленному производителем. Так для образца №1, в котором не было заявлено содержание никотина, соответствующий компонент обнаружен двумя методами. В образцах №2 и №3 не обнаружен глицерин, хотя его наличие заявлено производителем.
4. Исследуемые образцы содержат в основном глицерин и пропиленгликоль, никотин и ароматизаторы. Однако во всех ЭСЖ обнаружен 12-краун-4-эфир, обладающий токсичностью. В образце №5 также обнаружен 4,11,11-триметил-8-метиленибицикло[7,2,0]ундецен-4, являющийся сильным аллергеном.

Список литературы

1. Glasser A.M., Collins L., Pearson J.L., Abudayyeh H., Niaura R.S., Abrams D.B., Villanti A.C. Overview of Electronic Nicotine Delivery Systems: A Systematic Review // American Journal of Preventive Medicine. – 2017. – Vol. 52. – Is. 2. – P. 33-66.
2. E-Cigarette Use Among Youth and Young Adults: A Report of the Surgeon General. National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. Centers for Disease Control and Prevention, 2016. - 295 с.
3. E-cigarette and Vaporizer Market Size. Global Growth Insights, 2024. - 117 с.
4. Чинчиев Р.Т., Кантемиров А.Х. Компоненты электронных сигарет и их влияние на организм // Молодой ученый. - 2023. - № 27. – Т. 474. - С. 54-56.
5. Медведева С.Н., Пережогина Т.А., Еремина И.М., Глухов Д.К. Исследование газовой фазы аэрозоля электронных систем доставки

- никотина различных типов // Новые технологии. – 2021. – Т. 17. - № 1. – С. 46-55
6. 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)).
7. ГОСТ Р 58109-2018. Жидкости для электронных систем доставки никотина. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. – 15 с.
8. 12-CROWN 4-ETHER [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://www.chembk.com/en/chem/12-CROWN%204-ETHER>
9. Caryophyllene. Summary of Classification and Labelling [Электронный ресурс]. Адрес доступа: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/107662>

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

STUDY OF THE COMPOSITION OF NICOTINE-CONTAINING LIQUIDS FOR ELECTRONIC NICOTINE DELIVERY SYSTEMS

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

Tver State Technical University

Electronic nicotine delivery systems are becoming increasingly popular, especially among the younger generation. Nevertheless, doctors oppose their widespread use in connection with the development of diseases of the cardiovascular system and respiratory tract. This is primarily due to the lack of government control over the distribution and regulation of the composition of electronic cigarette liquids, which, in addition to propylene glycol, glycerin, nicotine and flavorings, may contain toxic substances. Therefore, the study of the component composition of nicotine-containing liquids is an urgent task. This paper presents data on the study of the composition of samples of electronic cigarette liquids using spectral methods and chromatomass spectrometry.

Keywords: *electronic nicotine delivery systems, nicotine-containing liquids, spectroscopy, chromatomass spectrometry.*

Дата поступления в редакцию: 08.09.2025.

Дата принятия в печать: 17.09.2025.