На правах рукописи

ЗАЙЦЕВА Татьяна Александровна

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ТВЕРДО-ЖИДКОЙ ФАЗЫ АЭРОЗОЛЯ ИННОВАЦИОННОЙ НИКОТИНСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОДУКЦИИ

05.18.05 - Технология сахара и сахаристых продуктов,
чая, табака и субтропических культур

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий» (ФГБНУ ВНИИТТИ)

Научный руководитель: доктор технических наук,
Гнучих Евгения Вадимовна

Официальные оппоненты: **Кульнева Надежда Григорьевна**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств
Семенихин Семен Олегович,
кандидат технических наук,
ФГБНУ «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции» - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия»,
заведующий отделом технологии сахара и сахаристых продуктов

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»

Защита состоится 1 июля 2021 г. в 10^{00} на заседании диссертационного совета Д 212.100.05 в ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» по адресу: 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2, ауд. Г-248.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «КубГТУ», на сайтах КубГТУ (https://kubstu.ru) и ВАК при Министерстве науки и высшего образования России (https://vak.minobrnauki.gov.ru).

Автореферат разослан 31 мая 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент Гончар Виктория Викторовна

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1 Актуальность работы. В Российской Федерации и странах Евразийского экономического союза инновационная никотинсодержащая продукция получает всё большее распространение. В настоящее время в мире широко используются различные виды инновационной никотинсодержащей продукции (НСП) – изделия из нагреваемого табака для электрических систем нагревания табака (ЭСНТ), жидкости для электронных систем доставки никотина (ЭСДН), используемые с различными видами устройств. Можно охарактеризовать следующие общие принципы, которые позволяют классифицировать данную продукцию как отдельную категорию: наличие никотина, образование аэрозоля, вдыхаемого потребителем, отсутствие горения (тления) табака, использование со специальными устройствами – электронными системами доставки никотина (ЭСДН) или электрическими системами нагревания табака (ЭСНТ).

От традиционных курительных табачных изделий эта продукция отличается тем, что она потребляется путем вдыхания аэрозоля, образующегося не в результате горения и тления, а вследствие нагревания табачной смеси или никотинсодержащей жидкости.

В отличие от сигарет для никотинсодежащей продукции в настоящее время отсутствуют обязательные требования по содержанию токсичных компонентов в аэрозоле. Выполненных исследований по теме качества и безопасности НСП пока недостаточно. Поэтому проведение исследований по содержанию токсичных компонентов в аэрозоле НСП и установление критериев оценки токсичности данной продукции является актуальной задачей.

Актуальность темы подтверждена включением ее в госбюджетную тематику НИР ФГБНУ ВНИИТТИ на 2019-2021 гг. «Разработать методологию комплексной оценки табачных и инновационных никотинсодержащих изделий на основе современных методов контроля безопасности и качества продукции» (рег. №АААА-А19-119081390020-4) в соответствии с пунктом 164 Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 3

декабря 2012 года № 2237-р).

1.2 Цель и задачи исследований. Целью исследований явилось проведение исследований по содержанию токсичных компонентов в аэрозоле НСП и разработка критериев оценки токсичности твердо-жидкой фазы аэрозоля инновационной никотинсодержащей продукции. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- исследовать содержание никотина в различных видах жидкости для электронных систем доставки никотина;

- исследовать содержание никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля электрических систем нагревания табака различных конструкций и провести сравнительный анализ по содержанию данных компонентов в дыме сигарет;

- исследовать влияние работы электронных систем доставки никотина на выход (баланс) аэрозоля при тестировании устройств на лабораторной курительной машине;

- установить влияние режимов тестирования и различных конструкций никотинсодежащей продукции на содержание никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля;

- разработать методики сбора аэрозоля твердо-жидкой фазы аэрозоля никотинсодежащей продукции и определения содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля ЭСНТ и ЭСДН;

- разработать критерии оценки токсичности никотинсодержащей продукции на основе анализа содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля;

- провести опытно-промышленную апробацию разработанных методических решений и определить ожидаемый экономический эффект от использования предложенных решений.

1.3 Научная новизна. Теоретически и экспериментально разработаны критерии оценки токсичности на основе анализа химического состава твердо-жидкой фазы аэрозоля никотинсодежащей продукции.

- впервые установлено содержание токсичных веществ, таких как 3,4-бензпирен и никотин в твердо-жидкой фазе аэрозоля различных видов инновационной никотинсодежащей продукции: изделий из табака

нагреваемого (стиков) для электрических систем нагревания табака (ЭСНТ) и жидкостей для электронных систем доставки никотина (ЭСДН) различных конструкций, проведено сравнение с дымом сигарет;

- впервые определен баланс расходования жидкости для ЭСДН при работе устройств и установлено, что баланс расходования жидкости является показателем стабильности (надежности) работы устройств;

- впервые установлено влияние массы твердо-жидкой фазы аэрозоля НСП и содержания никотина в нём; режима сбора твердо-жидкой фазы аэрозоля на массу аэрозоля.

- впервые разработаны критерии оценки токсичности НСП на основе анализа химического состава твердо-жидкой фазы её аэрозоля.

Новизна исследований подтверждена патентом РФ на полезную модель № 197817 «Устройство для сопряжения электрических систем нагревания табака GLO с лабораторной курительной машиной линейного типа».

1.4 Практическая значимость. Разработаны новые методики сбора аэрозоля НСП и определения в нем различных веществ: «Сбор аэрозоля и определение содержания влажного конденсата в аэрозоле жидкостей для систем доставки никотина (СДН)»; «Сбор аэрозоля и определение содержания влажного конденсата в аэрозоле изделий с нагреваемым табаком (табака нагреваемого), определение содержания монооксида углерода в газовой фазе аэрозоля»; «Определение содержания никотина, глицерина и пропиленгликоля в аэрозоле никотинсодежащей продукции (НСП)»; «Определение содержания никотина, глицерина и пропиленгликоля в жидкости для систем доставки никотина (СДН)»; «Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (бенз[а]пирена) в аэрозоле никотинсодержащей продукции (НСП)»; «Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (бенз[а]пирена) в жидкостях для систем доставки никотина (СДН)». Проведены производственные испытания методик и получены 10 актов о внедрении методик.

Экономический эффект от внедрения методики определения 3,4-бензпирена составит 2635000 рублей / 100 образцов в год.

1.5 Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на Всероссийских и

Международных научно-практических конференциях: «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции» (г. Краснодар, 2017 г., 2019 г.); «Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы» (г. Москва, 2018 г.); «General question of world science" (Brussels, 2018 г.); «Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции» (г. Краснодар, 2018 г.); «Естественные и технические науки в современном мире» (г. Москва, 2019 г.), «Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции» (г. Краснодар, 2020 г.).

1.6 Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 18 научных работах, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации для публикации основных результатов диссертационных исследований и 12 статей в сборниках материалов конференций; получен патент Российской Федерации на полезную модель.

1.7 Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, аналитического обзора отечественной и зарубежной научно-технической литературы и патентной информации, методической части, экспериментальной части, расчета экономической эффективности, выводов и использованных литературных источников и приложений. Основная часть работы изложена на 148 страницах компьютерного текста, включает 27 таблиц и 58 рисунков. Список литературных источников включает 127 наименований, в том числе - 84 зарубежных авторов.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объекты и методы исследований. Для исследования были отобраны пять образцов наиболее популярных коммерческих марок сигарет, контрольный образец сигарет 3R4F; изделия из нагреваемого табака (стики) и

комплекты устройств ЭСНТ марок IQOS^{tm} 2.4P и Glo (таблица 1); жидкости для ЭСДН и устройства ЭСДН (таблица 2).

Таблица 1 - Виды устройств ЭСНТ и стиков к ним

Наименование Устройств ЭСНТ	Шифр образца	Наименование стиков
IQOS 2.4P	A1	HEETS Amber Label HEETS from Parliament
	A2	HEETS Yellow Label (Tobacco) HEETS from Parliament
	A3	HEETS Turquoise Label (Menthol) HEETS from Parliament
	A4	HEETS Purple Label (Fruit) HEETS from Parliament
	P1	Parliament Fresh (с ментолом)
	P2	Parliament Blue (без ментола)
Glo	B1	Kent Neosticks Классический табак
	B2	Kent Neosticks Цитрик микс Fruit
	B3	Kent Neosticks Дарк Фреш Menthol

Таблица 2 – Характеристика жидкостей для ЭСДН

Вид жидкости для ЭСДН	Шифр образца	Наименование	Вкус
Жидкость в одноразовых ЭСДН LUXLITE	C1	American Blend Full	табачный
	C2	American Blend Light	табачный
	C3	Aroma Cherry	фруктовый
	C4	Breeze Menthol + Grape	ментоловый
Жидкость картриджах ЭСДН VON ERL My	E1	Raw Tobacco классик	табачный
	E2	Lolly Drop мята	мятный
	E3	Turbo малина-клубника	ягодный
	E4	Kuurada манго-гуава	фруктовый
Жидкость в сменных капсулах ЭСДН LOGIC PRO	D1	Классика 12	табачный
	D2	Классика 6	табачный
	D3	Вишня	фрукты
	D4	Крем-ментол	ментол
Жидкость для eGo AIO и ЭСДН iKuu i200	F1	Tobacco	табачный
	F2	Cherry	фруктовый
	G1	Tabakum extra	табачный
	G2	Monster 6 Vapor лайм, черника, лимон	фруктово-ягодный

При выполнении диссертации использовали стандартные методы исследований, принятые в табачной отрасли и методики, разработанные в результате проведенных исследований.

Сбор твердо-жидкой фазы аэрозоля на линейной курительной машине

проводили при различных режимах (таблица 3).

Исследования проводили в соответствии с разработанной структурной схемой (рисунок 1).

<table>
<tr><td colspan="6">ОБЗОР РОССИЙСКОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</td></tr>
<tr><td colspan="2">Характеристика токсичных веществ твердо-жидкой фазы табачного дыма и аэрозоля электрических систем нагревания табака (ЭСНТ), электрических систем доставки никотина (ЭСДН)</td><td colspan="2">Режимы тестирования электрических систем нагревания табака, электрических систем доставки никотина на курительной машине линейного типа</td><td colspan="2">Обзор и анализ методов определения химического состава и измерения содержания отдельных веществ в дыме сигарет, аэрозоле систем нагревания табака и электронных систем доставки никотина</td><td>Исследование содержания никотина, 3,4-бензпирена в аэрозоле электрических системах доставки никотина, электрических системах нагревания табака и дыма сигарет</td></tr>
<tr><td colspan="6">ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ</td></tr>
<tr><td>Исследование содержания никотина и 3,4-бензпирена в жидкостях для ЭСДН</td><td>Сравнительный анализ содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля дыма сигарет и аэрозоля твердо-жидкой фазы стиков, используемых с ЭСНТ</td><td>Анализ сбора твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН различных конструкций</td><td>Исследование содержания никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля ЭСДН</td><td>Разработка критериев оценки токсичности на основе анализа твердо-жидкой фазы НСП</td><td>Сравнительная оценка содержания никотина в твердожидкой фазе аэрозоля различных видах НСП</td></tr>
<tr><td colspan="6">РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТВЕРДО-ЖИДКОЙ ФАЗЫ НСП</td></tr>
</table>

Рисунок 1 - Структурная схема проведения исследований

Установлено, что исчерпывающий сбор аэрозоля для ЭСДН LUXLITE может быть произведен за 250-300 затяжек, для Von Erl My – за 300-350 затяжек, а для ЭСДН eGO AIO от 160 до 200 затяжек, Logic Pro – 500, iKuu i200 - 50-60 затяжек. Каждый цикл сбора аэрозоля 40 или 50 затяжек, в зависимости от используемого вида ЭСДН, назвали блоком сбора аэрозоля.

Таблица 3 – Характеристика режимов сбора аэрозоля сигарет и никотинсодежащей продукции

Параметры процесса	Режим ISO 20778 Intense (ISO-I)	Режим ISO 20778 Intense эксп. (ISO-Iэксп.)	Режим ISO 3308	Режим ISO 20768	Режим ISO 20768эксп.
Продолжительность затяжки, сек	2,00±0,02	3,00 ± 0,03	2,00±0,02	3,00 ± 0,03	4,00 ± 0,03
Объем затяжки, мл	55±0,3	55±0,3	35±0,3	55 ± 0,3	55 ± 0,3
Пауза между затяжками, сек	30 ± 0,5	30 ± 0,5	60±0,5	30 ± 0,5	30 ± 0,5
Скорость воздуха в зоне тестирования, мл/мин	200	200	200	-	-
Блокировка вентиляции, %	100	100	-	-	-

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Исследование содержания никотина и 3,4-бензпирена в жидкостях для электронных систем доставки никотина. В результате исследования установлено содержание никотина в жидкостях для ЭСДН и соответствие информации о содержании на упаковке (таблица 4).

Анализ данных, приведенных в таблице 4, показал, что у 79 % образцов жидкостей содержание никотина отличалась более чем на 20 % от заявленной на упаковке. Таким образом, установлено несоответствие по содержанию никотина. Содержание 3,4-бензпирена в жидкостях для ЭСДН не обнаружено.

Таблица 4 – Содержание никотина и соответствие информации на упаковке

Содержание никотина на упаковке	20% от содержания никотина на упаковке, мг/мл	Фактическое содержание никотина, мг/мл	Интервал содержания с учетом ± 20 %, мг/мл	% несоответствия содержанию никотина на упаковке
Одноразовые ЭСДН LUXLITE				
24	± 5	13	19-29	46
9	± 2	10	7-11	0
9	± 2	11	7-11	0
9	± 2	11	7-11	0
ЭСДН Logic Pro с капсулами				
12	± 2	8	10-14	33
6	± 1	4	5-7	33
6	± 1	5	5-7	17
6	± 1	4	5-7	33
ЭСДН Von Erl My с картриджами				
24	± 5	15	19-29	38
24	± 5	7	19-29	71
24	± 5	11	19-29	54
24	± 5	9	19-29	63
Жидкость JOYETECH для перезаправляемых ЭСДН eGo AIO и ЭСДН iKuu i200				
14	± 3	12	12-16	0
14	± 3	7	12-16	50
Жидкость ООО "Основа" для перезаправляемых ЭСДН eGo AIO и ЭСДН iKuu i200				
6	± 1	3	5-7	50
Жидкость ООО "БИОФОРМАТ" для перезаправляемых ЭСДН eGo AIO и ЭСДН iKuu i200				
6	± 1	5	5-7	0

3.2 Сравнительный анализ содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе дыма сигарет и аэрозоля твердо-жидкой фазы стиков, используемых с электрическими системами нагревания табака. Проведены исследования содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля стиков для электрических систем нагревания табака (ЭСНТ), дыма коммерческих марок сигарет и контрольного образца 3R4F (рисунки 2, 3).

По результатам проведенных исследований установлено, что при прокуривании сигарет в интенсивном режиме ISO 20778 (ISO Intense) по сравнению с прокуриванием по стандартному режиму ISO 3308 содержание никотина увеличивается в 2,4-3,14 раза, 3,4-бензпирена в 2,4-3,68 раз.

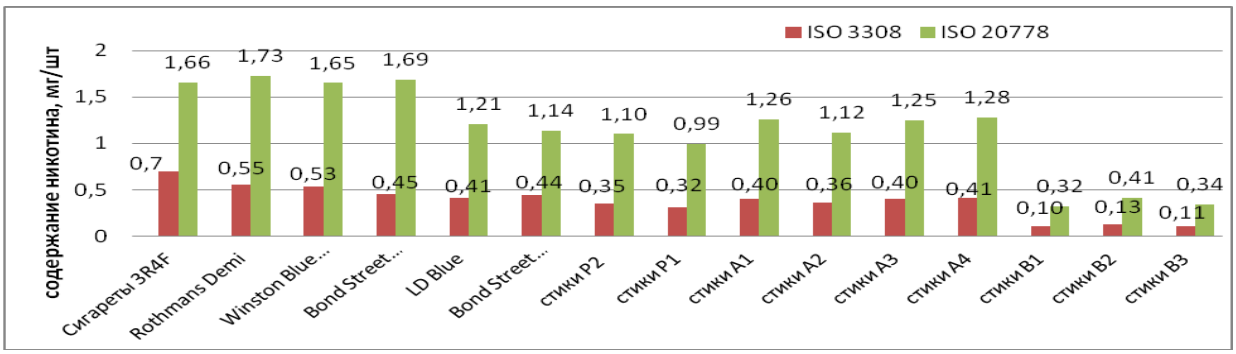


Рисунок 2 - Содержание никотина в твердо-жидкой фазе коммерческих марок сигарет, 3R4F и стиков для ЭСНТ при сборе аэрозоля по методам ISO 3308 и ISO 20778 (ISO Intense)

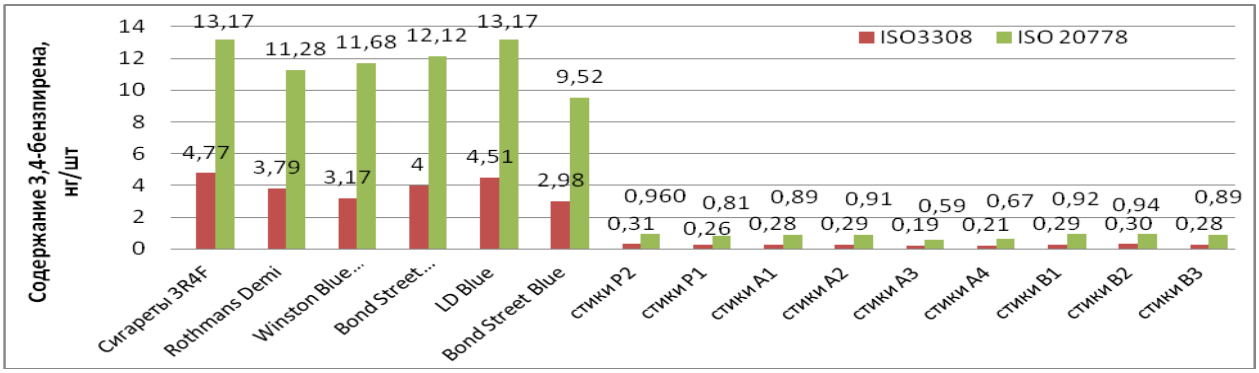


Рисунок 3 - Содержание 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе коммерческих марок сигарет, 3R4F и стиков для ЭСНТ при сборе аэрозоля по методам ISO 3308 и ISO 20778 (ISO Intense)

Установлено снижение содержания никотина в аэрозоле стиков для ЭСНТ на 3,5-42,7 % по сравнению с коммерческими марками сигарет; снижение 3,4-бензпирена в аэрозоле стиков для ЭСНТ на 90-95 %, по сравнению с контрольным образцом сигарет 3R4F и коммерческими марками сигарет при тестировании в режиме ISO Intense.

По результатам исследований можно сделать вывод, что аэрозоль стиков для ЭСНТ содержит достаточное количество никотина (0,96 – 1,10 мг/шт.) для удовлетворения физиологической потребности курильщика, а содержание 3,4-бензпирена ниже на 90-94%, чем в дыме сигарет. Для оценки содержания токсичных веществ в аэрозоле стиков рекомендуется использовать интенсивный режим сбора аэрозоля ISO 20778 (ISO Intense).

3.3 Анализ сбора твердо-жидкой фазы аэрозоля электронных систем доставки никотина различных конструкций. Установлено, что полноту сбора аэрозоля целесообразно выявлять по балансу расходования

жидкости для ЭСДН, который необходимо определять при исчерпывающем прокуривании, т.е. до полного расхода жидкости. Баланс расходования жидкости – это отношение израсходованной массы жидкости к массе собранного аэрозоля.

При сборе твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН LUXLITE по режиму ISO 20768 баланс расходования жидкости составил 95-98%, что является высоким значением и свидетельствует о полноте сбора аэрозоля, продуцируемого данными ЭСДН. Выявлено, что все ЭСДН продуцировали аэрозоль равномерно, что подтверждает стабильность работы и надежность устройств этой марки. При сборе аэрозоля жидкости для ЭСДН Logic Pro баланс расходования жидкости по режиму ISO 20768 составляет 87-97%, что также свидетельствует о надежности устройств. Следует отметить снижение баланса расходования жидкости до 85% при тестировании по экспериментальному режиму ISO $20768_{эксп}$. Баланс расходования жидкости при сборе аэрозоля ЭСДН Von Erl My составил 87-91%, наблюдалась неравномерность работы ЭСДН и протечки картриджей при длительной работе устройств. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что продолжительное использование устройства этого типа приводит к увеличению потерь жидкости до 10%. Установлена неравномерность работы и образования аэрозоля ЭСДН eGo AIO не только по циклам заправки баков, но и отдельным устройствам. Баланс расходования жидкости составил от 50% до 93%, что указывает на нестабильность работы устройств этой модели в процессе эксплуатации. Выявлены протечки жидкости и потери образующегося аэрозоля. При сборе аэрозоля ЭСДН iKuu i200 баланс жидкости составил от 49 до 69 %, процент потерь жидкости составил 31-54%. Устройства не могут обеспечить равномерную работу и показали себя как ненадежные в процессе эксплуатации.

3.4 Исследование работы электронных систем доставки никотина различных конструкций при сборе твердо-жидкой фазы аэрозоля. В настоящее время не выработан единый подход к регулированию никотинсодежащей продукции (НСП) и контролю содержания токсичных веществ в аэрозоле, что приводит к использованию различных режимов сбора аэрозоля на лабораторных курительных машинах. Проведены

исследования по работе различных видов электронных систем доставки никотина при сборе твердо-жидкой фазы аэрозоля в двух режимах: ISO 20768 и ISO 20768$_{эксп.}$, отличающихся продолжительностью затяжки.

На рисунках 4, 5 приведены диаграммы, наглядно отражающие процесс сбора аэрозоля различных электронных системам доставки никотина (ЭСДН) LUXLITE с табачным вкусом при разных режимах. Установлено, что при изменении продолжительности затяжки увеличилось количество испаренной жидкости, собранного аэрозоля и уменьшилась количество затяжек. Устройства 1 и 2 при режиме ISO 20768$_{эксп.}$ (рисунок 5) выработали свой ресурс на третьем блоке затяжек, а 3 и 4 продолжали работу до пятого блока.

Определено, что независимо от используемого режима прокуривания количество аэрозоля, продуцируемого ЭСДН LUXLITE, уменьшается от блока к блоку. При этом по режиму ISO 20768$_{эксп.}$ (рисунок 5) при увеличении продолжительности затяжки до 4 секунд аэрозоль продуцируется за 5 блоков затяжек, в отличие от режима ISO 20768 (рисунок 4) при продолжительности затяжки 3 сек. аэрозоль продуцируется за 6 блоков затяжек.

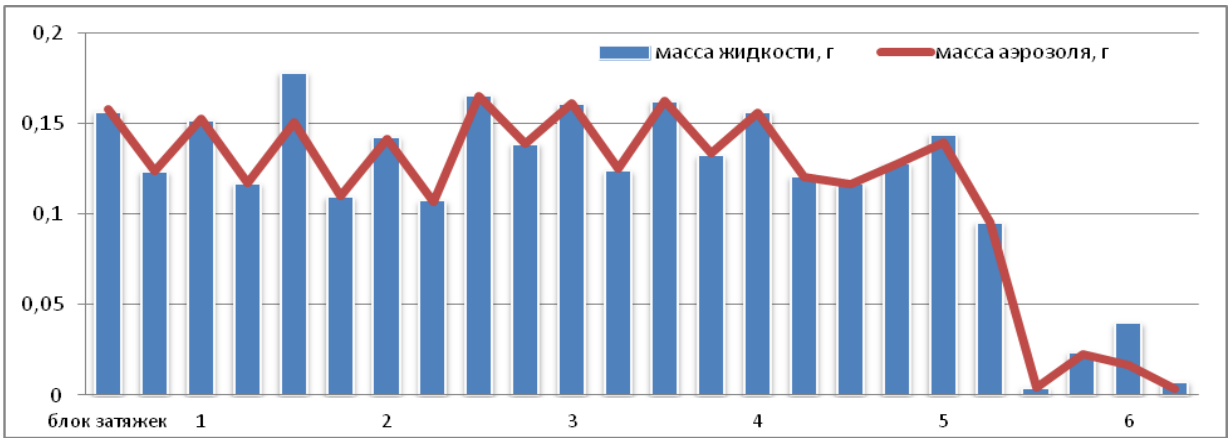


Рисунок 4 – Сбор твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН LUXLITE с жидкостью для ЭСДН с табачным вкусом (С1) по режиму ISO 20768

При исследовании работы устройств ЭСДН Von Erl My определено постепенное снижение массы собранного аэрозоля до 7-го блока (рисунок 6). В шестом блоке сбора аэрозоля третье устройство выработало свой ресурс. Следует отметить, что от цикла к циклу масса аэрозоля и масса жидкости уменьшались.

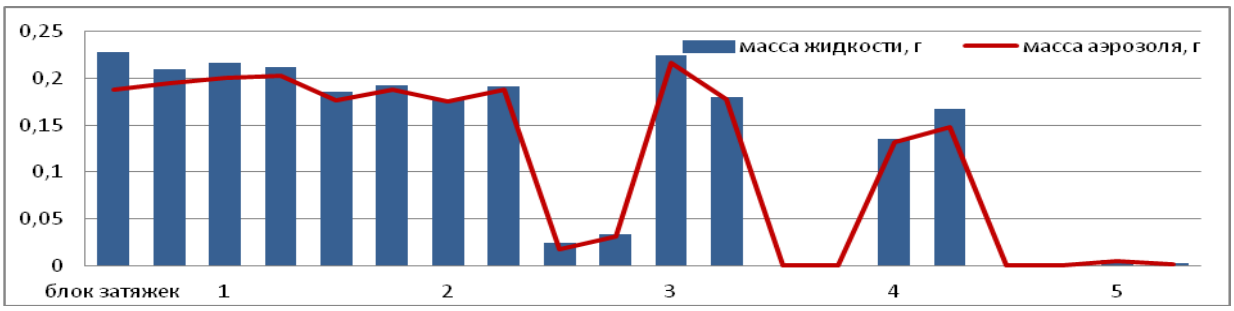


Рисунок 5 – Сбор твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН LUXLITE; табачный вкус (С1); режим ISO 20768 $_{эксп.}$

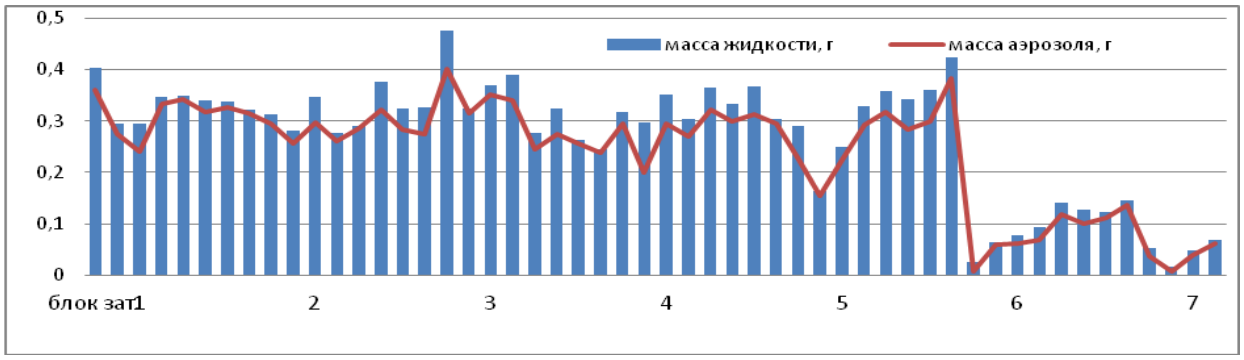


Рисунок 6 – Сбор твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН Von Erl My № 1-8; табачный вкус Е1 (Raw Tobacco классик) на по режиму ISO 20768

Независимо от используемого режима прокуривания количество аэрозоля, продуцируемого ЭСДН Von Erl My уменьшается от блока к блоку (рисунок 7).

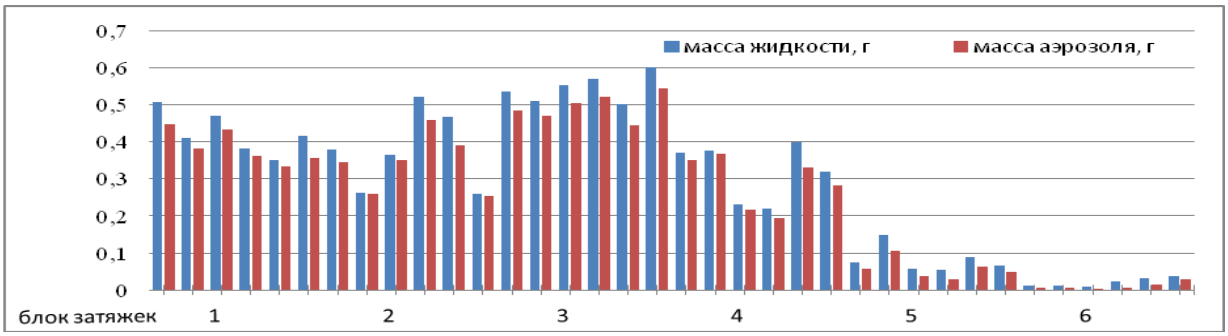


Рисунок 7 – Сбор аэрозоля с картриджами Е1(Raw Tobacco классик) на ЭСДН Von Erl My № 9-14 по режиму ISO 20768$_{эксп}$

При этом по режиму ISO 20768$_{эксп}$. при увеличении продолжительности затяжки до 4 секунд аэрозоль продуцируется за 6 блоков затяжек, в отличие от режима ISO 20768 при продолжительности затяжки 3 сек. аэрозоль продуцируется за 7 блоков затяжек.

При исследовании работы устройств ЭСДН eGo AIO установлено, что наиболее активно генерирование аэрозоля проходило в первых двух блоках

первого цикла, а максимальное количество испаренной жидкости и собранного аэрозоля приходится на первые 40 затяжек (блок 1). Баланс расходования жидкости в первом блоке составил 96 % (рисунок 8).

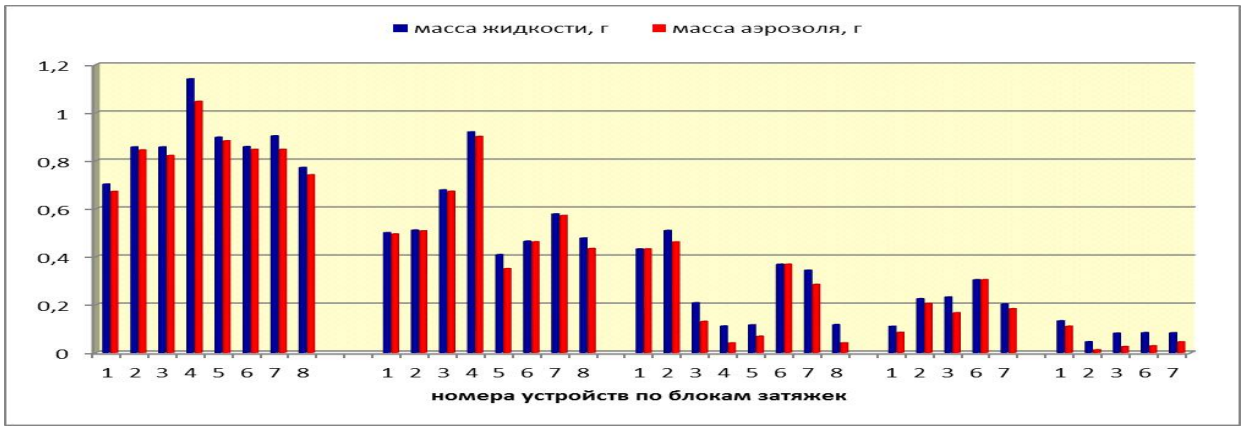


Рисунок 8 – Динамика образования аэрозоля ЭСДН eGo AIO в первом цикле по режиму ISO 20768 с жидкостью F1

Для проведения четвертого цикла сбора аэрозоля на курительной машине установлен режим сбора аэрозоля ISO $20768_{эксп}$ с продолжительностью затяжки 4 секунды (рисунок 9). Аэрозоль собирали в течение четырех блоков затяжек. Выявлено, что нормально работали только ЭСДН eGo AIO № 9, 13. Из полученных данных хорошо видна нестабильность работы ЭСДН eGo AIO от цикла к циклу и от блока к блоку затяжек. Установлено, что независимо от используемого режима количество аэрозоля, продуцируемого ЭСДН eGo AIO уменьшается от блока к блоку.

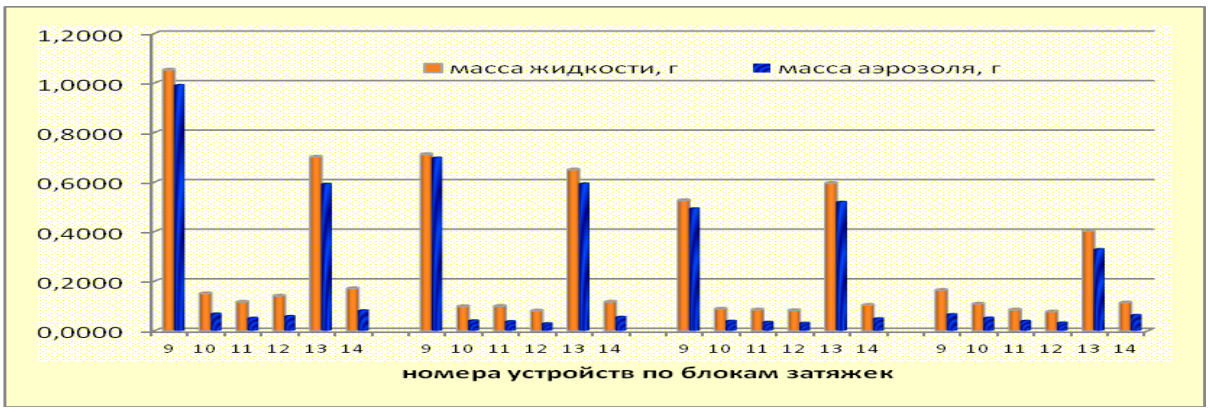


Рисунок 9 – Динамика образования аэрозоля в четвертом цикле на ЭСДН eGo AIO 9-14 по режиму ISO 20768 эксп с жидкостью F1

При этом по режиму ISO $20768_{эксп}$. при увеличении продолжительности

затяжки до 4 секунд аэрозоль продуцируется за 4 блока затяжек, в отличие от режима ISO 20768 при продолжительности затяжки 3 сек. аэрозоль продуцируется за 5 блоков затяжек.

В ходе проведенных исследований установлено, что вкусы всех жидкостей для ЭСДН, которые использовались совместно с испытуемыми ЭСДН не влияли на работу устройств и на динамику сбора аэрозоля. Оценке необходимо подвергать только те устройства, которые стабильно работают.

3.5 Исследование содержания никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля электронных систем доставки никотина. На содержание никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля электронных систем доставки никотина (ЭСДН) оказывает влияние продолжительность затяжки и индивидуальные особенности работы устройств. Определение содержания никотина и массы аэрозоля ЭСДН проводили в твердо-жидкой фазе аэрозоля первого, среднего и последнего блоков затяжек. В ходе исследований установлено, что содержание никотина и массы аэрозоля уменьшается от блока к блоку на протяжении всего процесса сбора аэрозоля. Содержание никотина зависит от массы собранного аэрозоля: чем больше масса собранного аэрозоля, тем больше содержание никотина.

При исследовании работы устройств ЭСДН LUXLITE и ЭСДН Logic Pro выявлено, что содержание никотина в аэрозоле зависит от продуцирования аэрозоля устройствами, а устройства продуцируют аэрозоль не стабильно, что наглядно представлено на рисунках 10-12.

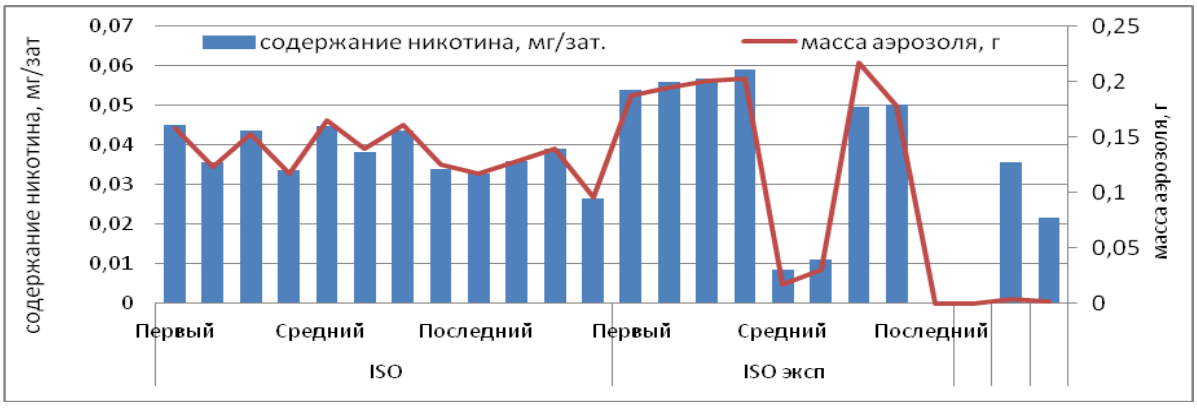


Рисунок 10 - Зависимость содержания никотина от массы аэрозоля ЭСДН LUXLITE по блокам сбора аэрозоля по режиму ISO 20768 и ISO 20768 $_{эксп}$ с табачным вкусом вкусом С1

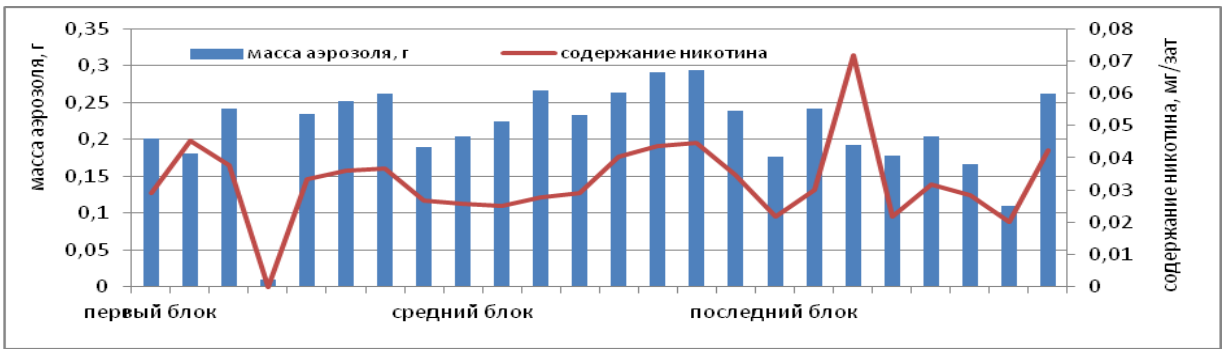


Рисунок 11 - Зависимость содержания никотина от массы аэрозоля ЭСДН Logic Pro (устройства 1-8) по блокам сбора аэрозоля (1-ая заправка устройств картриджами вкус D1) по режиму ISO 20768

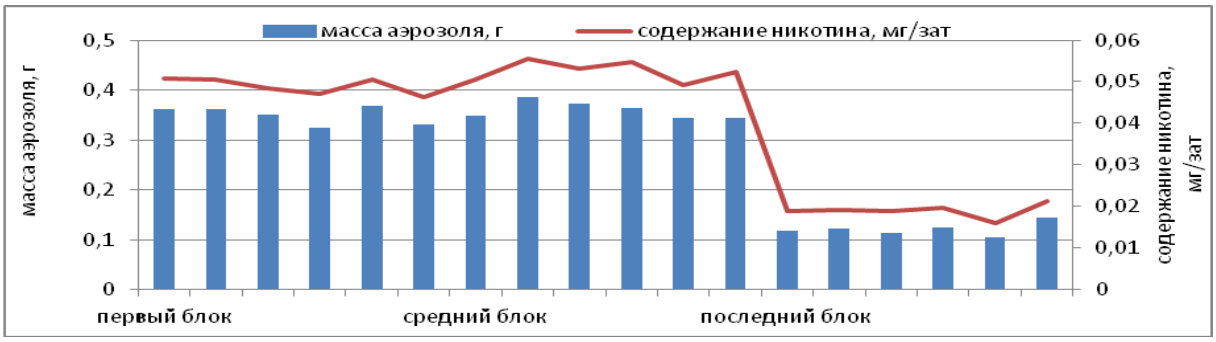


Рисунок 12 - Зависимость содержания никотина от массы аэрозоля ЭСДН Logic Pro (устройства 9-14) по блокам сбора аэрозоля (4-ая заправка устройств картриджами вкус D1) по режиму ISO 20768$_{эксп}$

Как видно из диаграмм, приведенных на рисунках 10-12, чем больше масса собранного аэрозоля, тем выше содержание никотина.

При исследовании работы устройств ЭСДН eGo AIO проведено сравнение результатов, полученных при определении содержания никотина (рисунок 13) в аэрозоле первых, средних и последних блоках сбора аэрозоля по режимам ISO 20768 и ISO 20768$_{эксп}$ позволяет судить о том, что при увеличении длительности затяжки на одну секунду, содержание никотина возрастает в 3 раза. Устройства ЭСДН eGo AIO не зарекомендовали себя как надежные и стабильно работающие. Чем больше ЭСДН вырабатывает аэрозоля, тем выше содержание никотина в аэрозоле.

При исследовании работы устройств ЭСДН iKuu i200 определено, что в первом и среднем блоках масса собранного аэрозоля и содержание никотина больше на 25% чем в последнем блоке (рисунок 14).

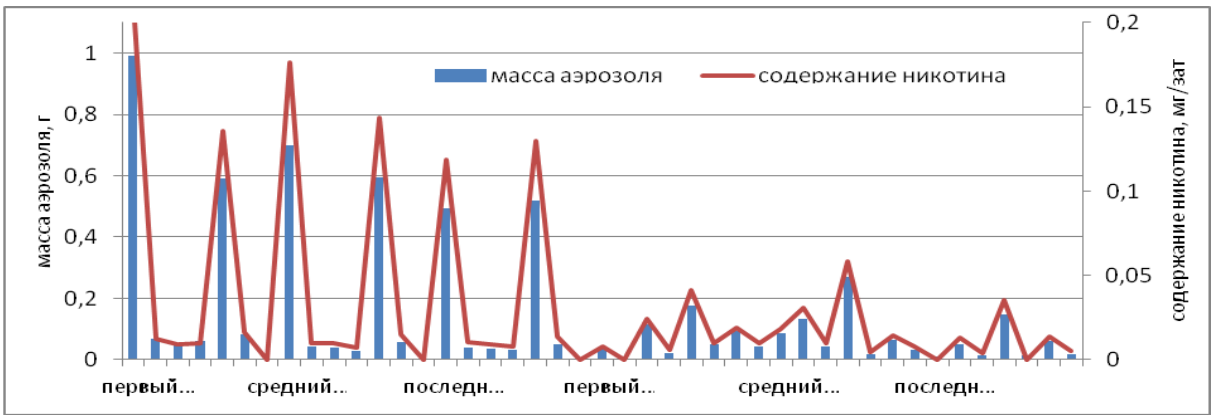


Рисунок 13 – Сравнение содержания никотина в первых, средних и последних блоках сбора аэрозоля по режимам ISO 20768$_{эксп}$ и ISO 20768 с использованием ЭСДН eGo AIO № 1-8 и ЭСДН eGo AIO № 9-14 при заправке баков ЭСДН жидкостью F1

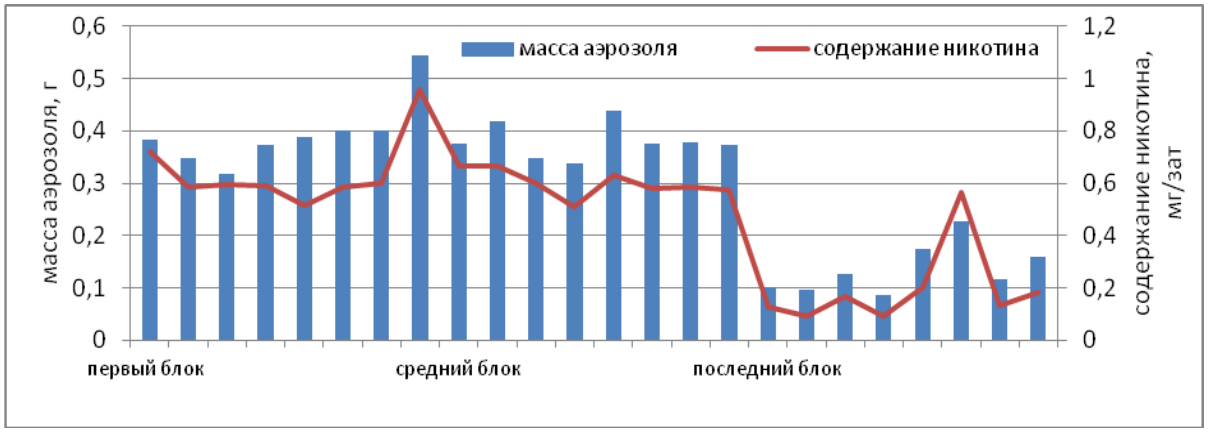


Рисунок 14 - Зависимость содержания никотина от массы аэрозоля ЭСДН iKuu i200 (устройства 1-8) по блокам сбора аэрозоля (1-ая заправка устройств жидкостью вида F1) по режиму ISO 20768

Сравнение результатов, полученных при определении содержания никотина (рисунок 15) в аэрозоле первых, средних и последних блоках, сбора аэрозоля по режимам ISO 20768 и ISO 20768$_{эксп}$ позволяет судить о том, что при увеличении длительности затяжки на одну секунду содержание никотина уменьшилось на 20%, в то время как устройство под номером 12 продуцировало аэрозоль в первом и среднем блоках в 1,75 раза больше. Результаты, приведенные на графиках, подтверждают крайне неравномерную работу ЭСДН iKuu i200.

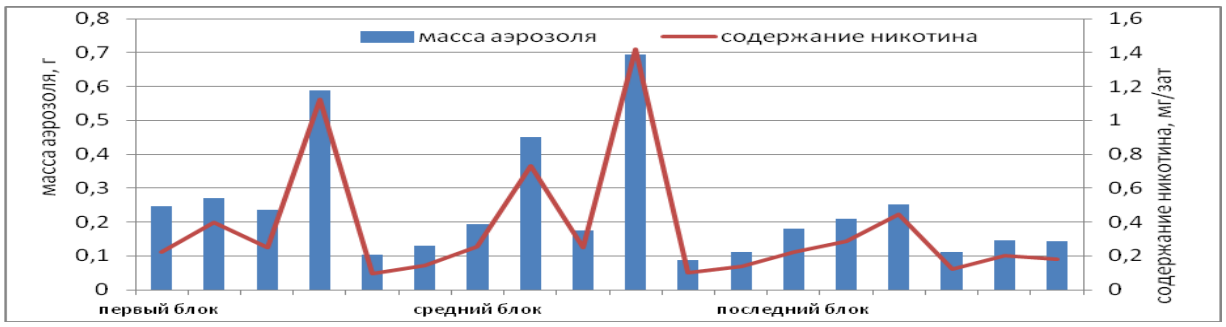


Рисунок 15 - Зависимость содержания никотина от массы аэрозоля ЭСДН iKuu i200 (устройства 9-14) по блокам сбора аэрозоля (4-ая заправка устройств жидкостью вида F1 по режиму ISO 20768$_{эксп}$)

3.6 Сравнительная оценка содержания никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля различных видов никотинсодержащей продукции. Для разработки критериев оценки токсичности никотинсодержащей продукции (НСП) проведена сравнительная оценка содержания никотина и 3,4-бензпирена в дыме сигарет и аэрозоле различных видов НСП, показавших стабильную работу устройств. Определено, что наибольшее содержание никотина на одну затяжку в контрольных сигаретах 3R4F (0,13 мг); наименьшее содержание - в ЭСДН Logic Pro (0,025мг); наибольшее содержание 3,4-бензпирена на одну затяжку в контрольных сигаретах 3R4F (1,3 нг), наименьшее содержание в ЭСНТ IQOS (0,06нг) (рисунок 16).

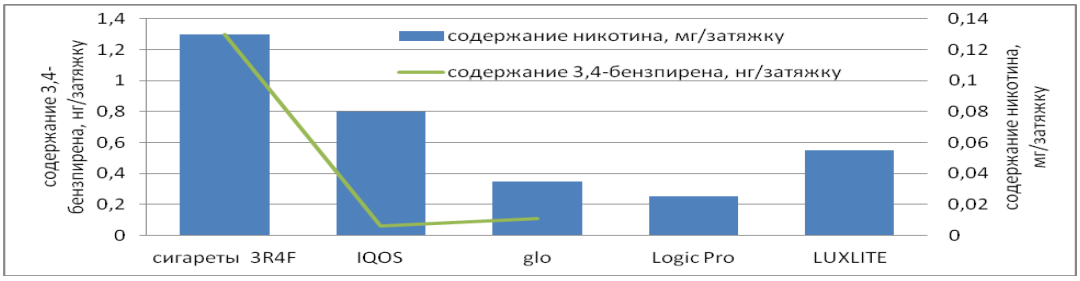


Рисунок 16 - Содержание никотина и 3,4-бензпирена в аэрозоле различных НСП по режимам с продолжительностью затяжки 3 секунды ISO20768 и ISO20778эксп

3.7 Разработка критериев оценки токсичности твёрдо-жидкой фазы аэрозоля инновационной никотинсодежащей продукции. Так как никотин и 3,4-бензпирен внесены в список ВОЗ как наиболее токсичные вещества, требующие внимательного изучения, то по результатам проведенных исследований рекомендуется установить критериями оценки токсичности различных видов НСП содержание данных веществ в твердо-жидкой фазе аэрозоля. Рекомендуется предельный уровень содержания 3,4-бензпирена в

аэрозоле НСП, не превышающий 25% от содержания этих компонентов в дыме контрольной сигареты 3R4F, а содержание никотина должно находиться на сравнимом с дымом сигарет уровне (никотиновая альтернатива), либо ниже. Данные рекомендованные критерии могут быть использованы как подход при разработке требований к НСП в рамках процесса технического регулирования в ЕАЭС, а содержание этих компонентов должно быть установлено в нормативных документах.

Никотинсодержащая продукция может стать альтернативой традиционной табачной продукции, так как курильщик максимально может удовлетворить свои физиологические потребности в насыщении никотином при минимальной токсичности аэрозоля. Анализ результатов показывает социальный эффект, выражающийся в снижении содержания токсичного вещества 3,4-бензапирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля.

Суммарный экономический эффект от применения разработанной методики по определению 3,4-бензпирена в НСП при исследовании одного образца НСП составляет 26350 рублей. При проведении анализа 100 образцов в год экономический эффект составит 2635000 рублей.

ВЫВОДЫ

1. Определено содержание никотина в различных видах жидкости для электронных систем доставки никотина. Выявлено, что у 79% образцов жидкостей содержание никотина отличалось более чем на 20% от заявленного на упаковке.

2. Впервые установлено содержание 3,4-бензпирена и никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля различных видов НСП: изделий из табака нагреваемого (стиков) для электрических систем нагревания табака (ЭСНТ) и жидкостей для электронных систем доставки никотина (ЭСДН) различных конструкций, проведено сравнение с дымом сигарет. Установлено снижение содержания никотина на 3,5 - 42,7% и 3,4-бензпирена на 90-94% в твердо-жидкой фазе аэрозоля изделий из табака нагреваемого (стиков) ЭСНТ по сравнению с контрольным образцом сигарет 3R4F и коммерческими марками сигарет при тестировании в режиме ISO 20778 (ISO Intense). Твердо-жидкая фаза аэрозоля стиков для ЭСНТ содержит достаточное количество никотина (до 1,10 мг/шт.) для удовлетворения физиологической потребности

курильщика, а содержание такого канцерогенного вещества как 3,4-бензпирена ниже на 90-94%. Определено, что содержание никотина в твердо-жидкой фазе аэрозоля ЭСДН LUXLITE на 58 %, а ЭСДН Logic Pro на 82 % меньше по сравнению с контрольным образцом сигарет 3R4F.

3. Впервые определен баланс расходования жидкости для ЭСДН при работе устройств и установлено, что баланс расходования жидкости является показателем стабильности (надежности) работы устройств. Для оценки стабильности работы устройств определен баланс расхода жидкости, как показатель надежности работы устройства: чем выше баланс расхода жидкости, тем полнее сбор аэрозоля. При сборе твердо-жидкой фазы аэрозоля баланс расходования жидкости для устройств в среднем составил: для ЭСДН LUXLITE – 95-98 %; ЭСДН Logic Pro – 87-97 %; ЭСДН Von Erl My – 87-91 %; ЭСДН eGo AIO – 50-93 %; ЭСДН iKuu i200 – 49-69 %.

4. Впервые установлено влияние массы твердо-жидкой фазы аэрозоля и содержания никотина в нём; режима сбора твердо-жидкой фазы аэрозоля на массу аэрозоля. При уменьшении массы твердо-жидкой фазы аэрозоля уменьшается содержание никотина; при увеличении длительности затяжки в интенсивном режиме сбора аэрозоля до 4с возрастает содержание никотина и массы аэрозоля до 30 % по сравнению с режимом, где продолжительность затяжки равна 3 секундам.

5. Рекомендовано проводить сбор аэрозоля ЭСДН используя режим ISO 20768, так как устройства при данном режиме показывают наиболее стабильную работу. Для сбора аэрозоля стиков для ЭСНТ рекомендован режим ISO 20778 (ISO Intense).

6. При исследовании компонентов твердо-жидкой фазы аэрозоля ЭСДН необходимо использовать результаты, полученные от стабильно работающих устройств с высоким уровнем баланса израсходованной жидкости. В противном случае результаты не будут корректны.

7. Разработаны методики: «Методика сбора твердо-жидкой фазы аэрозоля НСП с помощью курительной машины линейного типа»; «Методика определения содержания полициклических ароматических углеводородов (бенз[а]пирена) в жидкостях для электрических систем доставки никотина»; «Методика определения содержания полициклических ароматических

углеводородов (бенз[а]пирена) в аэрозоле никотинсодержащей продукции»; «Методика определения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в аэрозоле табачного дыма»; «Метод определения содержания никотина в жидкости для электрических систем доставки никотина»; «Методика определения содержания никотина, глицерина и пропиленгликоля в аэрозоле жидкости для систем доставки никотина», которые внедрены в производство.

8. Впервые разработаны критерии оценки токсичности никотинсодержащей продукции на основе анализа химического состава твердо-жидкой фазы аэрозоля. Рекомендован предельный уровень содержания 3,4-бензпирена в аэрозоле ЭСНТ и ЭСДН, не превышающий 25% от содержания этого компонента в дыме контрольной сигареты 3R4F. Рекомендовано, что содержание никотина должно находиться на сравнимом с дымом сигарет уровне (никотиновая альтернатива), либо ниже. Критерии оценки токсичности никотинсодежащей продукции могут явиться основой для разрабатываемого Технического регламента Евразийского экономического союза на никотинсодержащую продукцию.

9. Ожидаемый расчетный экономический эффект от применения разработанной методики определения 3,4-бензпирена в твердо-жидкой фазе аэрозоля при исследовании одного образца НСП составляет 26350 рублей. При проведении анализа 100 образцов в год экономический эффект составит 2635000 рублей.

Основные положения диссертационной работы опубликованы:

-в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. **Зайцева Т.А.** Обзор методов определения полициклических ароматических углеводородов в дыме сигарет, аэрозоле ЭСНТ И ЭСДН, жидкостях для ЭСДН / Т.А. Зайцева // Новые технологии. - 2019. - Вып. 2(48). - С. 57-65. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10206.

2. Пережогина Т.А. Определение общей массы аэрозоля электронных систем доставки никотина с помощью курительной машины линейного типа/ Т.А. Пережогина, С.Н. Медведева, **Т.А. Зайцева** // Естественные и технические науки. - 2019. - № 9. - С.33-40. DOI: 10.25633/ETN.2019.06.03.

3. **Зайцева Т.А.** Исследование содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердожидкой фазе аэрозоля стиков электрических систем нагревания табака и табачного дыма сигарет / Т.А. Зайцева, Т.А. Пережогина, Е.В. Гнучих // Новые технологии. - 2020. - Вып. 3(53). - С. 29-37. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10303.

4. **Зайцева Т.А.** Особенности сбора аэрозоля различных видов электронных

систем доставки никотина / Т.А. Зайцева, Т.А. Пережогина, Н.В. Попова, И.М. Еремина // Известия вузов. Пищевая технология. - 2020. - №4 (376). - С. 102-106. DOI: 10.26297/0579-3009.2020.4.25.

5. **Зайцева Т.А.** Исследование содержания никотина в аэрозоле ЭСДН различных конструкций / Т.А. Зайцева, Т.А. Пережогина, С.Н. Медведева, Л.В. Кокорина. // Новые технологии. – 2021. - №17(1). - С. 33-45. https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-1-33-45

- в прочих изданиях:

6. **Зайцева Т.А.** Полициклические ароматические углеводороды табачного дыма / Т.А. Зайцева // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. II Межд. науч.-практич. конф., г. Краснодар. – 2017. - С. 504-508. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf

7. **Зайцева Т.А.** Методы определения бенз(а)пирена в твердожидкой фазе табачного дыма / Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева, Е.В. Гнучих, Т.А. Пережогина, Н.А. Дурунча // Актуальные вопросы развития устойчивых, потребитель - ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: матер. 20-й Межд. науч.-практич. конф., посвящ. памяти В.Н. Горбатова, г. Москва. - 2017. - С. 123-125.

8. Медведева С.Н. Методы исследования летучих органических веществ в аэрозоле табачного дыма / С.Н. Медведева, **Т.А. Зайцева**, Е.В. Гнучих, Т.А. Пережогина, Н.А. Дурунча // Актуальные вопросы развития устойчивых, потребитель - ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: матер. 20-й Межд. науч.-практич. конф., посвящ. памяти В.Н. Горбатова, г. Москва. -2017. - С. 226-229.

9. **Зайцева Т.А.** Исследование электронных систем доставки никотина/ Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева, Т.А. Пережогина // General question of world science: materials of the V International Scientific Conference. – Brussels. - 2018. - № 5. - P. 5-8. DOI: 10.18411/gq-31-03-2018-03, idsp 000001: gq-31-03-2018-03).

10. **Зайцева Т.А.** Полициклические ароматические углеводороды в аэрозоле никотинсодержащей продукции / Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева, Т.И. Покровская // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. I Межд. науч.- практич. конф. молодых ученых и аспирантов, г. Краснодар. - 2018. - С. 254-258. URL: http://vniitti.ru /conf/ conf2018/sbornik_conf_2018.pdf

11. Медведева С.Н. Летучие органические вещества в аэрозоле ЭСДН / С.Н. Медведева, **Т.А. Зайцева**, И.М. Ерёмина // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. I Межд. науч.-практич. конф. молодых ученых и аспирантов, г. Краснодар. – 2018. - С. 303-306. URL: http://vniitti.ru /conf/conf2018/sbornik_conf_2018.pdf

12. **Зайцева Т.А.** Летучие органические вещества в аэрозоле и жидкости ЭСДН / Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева // Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы: матер. 21-ой Межд. науч.-практич. конф., посвящ. памяти В.М. Горбатова, г. Москва, - 2018. - С. 156-157.

13. **Зайцева Т.А.** Определение общей массы аэрозоля никотиносодержащей

продукции с помощью курительной машины линейного типа/ Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева, А.В. Медведев // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. III Межд. науч.-практич. конф., г. Краснодар. – 2019. - Ч. 2. - С. 393-397. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2019/sbornik_ conf_2019_2.pdf

14. **Зайцева Т.А.** Химический состав аэрозоля сигарет и электрических систем нагревания табака / Т.А. Зайцева, С.Н. Медведева // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: матер. III Межд. науч.-практич. конф., г. Краснодар. – 2019. - Ч. 2. - С. 352-356. URL: http://vniitti.ru/conf/conf2019/sbornik_ conf_2019_2.pdf

15. **Zaytseva T.A.** Causes of 3,4-benzpyrene formation during smoking and ways to reduce tobacco smoke toxicity / T.A. Zaytseva, T.A. Perezhogina, S.N. Medvedeva // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” - Reports in English. Part 2 Beijing, - 2019. - PRC. - P. 111-117. DOI: 10.34660/INF.2019.16.36875. URL: http:// naukarus.ru/public_html/wpcontent/uploads/2019/Scientific%20research%20of%20the%20SCO%20countries%20-%20English%20Reports%20-%20September%2014%20-%20Part%202.pdf#page=111

16. Пережогина Т.А. Актуальные вопросы качества и безопасности табачных изделий и инновационных видов продукции / Т.А. Пережогина, Н.А. Дурунча, Н.В. Попова, И.М. Остапченко, **Т.А. Зайцева** [и др.] // Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции: матер. межд. науч. конф., г. Краснодар. - 2020. - С.10-26.

17. Медведева С.Н. Сравнительный анализ содержания токсичных веществ в аэрозоле контрольной сигареты 3r4f и изделий из табака нагреваемого / С.Н. Медведева, **Т.А. Зайцева,** Т.А. Пережогина, Н.А. Дурунча // Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции: матер. межд. науч. конф., г. Краснодар. - 2020. - С.69-77.

- патенты РФ:

18. Устройство для сопряжения электрических систем нагревания табака GLO с лабораторной курительной машиной линейного типа: пат. 197817 Рос. Федерации / А.В. Медведев, С.Н. Медведева, **Т.А. Зайцева**, Т.А. Пережогина - № 2019145704; заявл. 29. 05. 2020.