

Зайцева Т.А., Пережогина Т.А., Гнучих Е.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НИКОТИНА И 3,4-БЕНЗПИРЕНА
В ТВЕРДОЖИДКОЙ ФАЗЕ АЭРОЗОЛЯ СТИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СИСТЕМ НАГРЕВАНИЯ ТАБАКА И ТАБАЧНОГО ДЫМА СИГАРЕТ**

Зайцева Татьяна Александровна, научный сотрудник лаборатории химии и контроля качества, аспирант

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», Краснодар, Россия

E-mail: nikotana80@mail.ru

Пережогина Татьяна Анатольевна, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией химии и контроля качества

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», Краснодар, Россия

E-mail: nikotana80@mail.ru

Гнучих Евгения Вадимовна, ведущий научный сотрудник сектора координации и планирования НИР, доктор технических наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», Краснодар, Россия

E-mail: nikotana80@mail.ru

Проблема улучшения качества и снижения токсичности табачной продукции является актуальной во всём мире и напрямую связана со здоровьем.

Для оценки и мониторинга содержания вредных токсичных веществ в табачном дыме сигарет и аэрозоле ЭСНТ (электрических систем нагревания табака) Всемирная организация здравоохранения определила список девяти приоритетных токсичных веществ (формальдегид, ацетальдегид, акролеин, нитрозонорникотин (NNN), 4-(N-метил-N-нитроамино-)-1-(3-пиридил-)-1-бутанон (NNK), бензол, 1,3-бутадиен, монооксид углерода, 3,4-бензпирен).

Цель проведенного исследования – измерение содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердожидкой фазе аэрозоля электрической системы нагревания табака (ЭСНТ), дыме стандартной сигареты 3R4F и дыме пяти марок сигарет при тестировании на курительной машине в режимах ISO3308 и ISO Intense20778. Дана сравнительная характеристика режимов прокуривания ISO и ISO Intense.

В статье приведен сравнительный анализ содержания никотина и 3,4-бензпирена в твердожидкой фазе аэрозоля стиков ЭСНТ и дыма сигарет, в том числе контрольной сигареты 3R4F. Рассмотрены вопросы химического состава аэрозоля табачного дыма и процессов образования полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в дыме сигарет. Приведена химическая и токсикологическая характеристика 3,4-бензпирена.

Ключевые слова: 3,4-бензпирен, никотин, никотинсодержащая продукция, аэрозоль, ЭСНТ, сигареты, табачный дым, стики ЭСНТ.



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

Zaitseva T.A., Perezhogina T.A., Gnuchikh E.V.
**INVESTIGATION OF THE CONTENTS OF NICOTINE
AND 3,4-BENZPYRENE IN THE SOLID-LIQUID PHASE OF ELECTRIC
TOBACCO HEATING SYSTEMS AEROSOL STICK AND TOBACCO SMOKE**

Zaitseva Tatyana Alexandrovna, a researcher of the Laboratory of Chemistry and Quality Control, a postgraduate student

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Krasnodar, Russia

E-mail: nikotana80@mail.ru

Perezhogina Tatyana Anatolyevna, a senior researcher, head of the Laboratory of Chemistry and Quality Control

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Krasnodar, Russia

E-mail: nikotana80@mail.ru

Gnuchikh Evgenia Vadimovna, a leading researcher of the Scientific Research Coordination and Planning Sector, Doctor of Technical Sciences

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Tobacco, Makhorka and Tobacco Products», Krasnodar, Russia

E-mail: nikotana80@mail.ru

The problem of improving the quality and reducing the toxicity of tobacco products is relevant worldwide and is related directly to health.

The World Health Organization has identified nine priority toxic substances to assess and monitor the content of harmful toxic substances in cigarette tobacco smoke and ESTH (electrical tobacco heating systems) aerosol (formaldehyde, acetaldehyde, acrolein, nitrosornicotine (NNN), 4-(N-methyl-N)nitrosamino-)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK), benzene, 1,3-butadiene, carbon monoxide, 3,4-benzpyrene).

The purpose of the research is to measure the content of nicotine and 3,4-benzpyrene in the solid-liquid phase of the aerosol of the electric tobacco heating system (ESTH), the smoke of a standard 3R4F cigarette and the smoke of five brands of cigarettes when tested on a smoking machine in ISO3308 and ISO Intense20778 modes. The comparative characteristics of the smoking modes ISO and ISO Intense are given.

The article presents a comparative analysis of the content of nicotine and 3,4-benzpyrene in the solid-liquid phase of ESTH aerosol sticks and cigarette smoke, including the control cigarette 3R4F. The problems of the chemical composition of tobacco smoke aerosol and the processes of formation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in cigarette smoke are considered. Chemical and toxicological characteristics of 3,4-benzpyrene are given.

Key words: 3,4-benzpyrene, nicotine, nicotine-containing products, aerosol, ESNT, cigarettes, tobacco smoke, ESTH sticks.

For citation: Zaitseva T.A., Perezhogina T.A., Gnuchikh E.V. Investigation of the contents of nicotine and 3,4-benzpyrene in the solid-liquid phase of electric tobacco heating systems aerosol stick and tobacco smoke // *Novye Tehnologii (Majkop)*. 2020. Issue 3(53). P. 29-37. DOI: 10.24411/2072-0920-2020-10303.

На восьмой сессии, проходившей в Швейцарии 2018 году Конференция сторон Рамочной конвенции Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по борьбе против табака опубликовала доклад, где согласно поручению седьмой сессии Конференции Сторон (КС) ВОЗ необходимо дополнительно проработать частичные руководящие принципы осуществления Статьи 9 (Регулирование состава табачных изделий) и Статьи 10 (Регулирование раскрытия состава табачных изделий) Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака (РКБТ ВОЗ) [1].

Процесс образования дыма неразрывно связан с пиролизом табака при достаточно высокой температуре во время сгорания сигареты.

Биологические исследования состава табачного дыма показали, что большинство канцерогенных веществ находятся в твердожидкой фазе табачного дыма, которая может быть выделена фильтрацией. Основными компонентами твердожидкой фазы являются смола, никотин и вода [2].

В настоящее время все ещё недостаточно проведено исследований по определению содержания токсичных веществ в аэрозоле никотинсодержащей продукции, в том числе электрических систем нагревания табака. Как известно, большинство токсичных веществ в табачном дыме образуется благодаря пиролизу (горению) табака. В зоне горения сигареты температура достигает 850-900°C, и количества поступающего кислорода оказывается недостаточно для полного сгорания табака. Во время горения и тления табака происходит образование токсичных веществ, которые переходят в табачный дым и вдыхаются потребителем. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в том числе 3,4-бензпирен, образуются при температуре выше 400°C.

3,4-бензпирен отнесен к веществам 1 класса опасности (чрезвычайно опасное), канцероген (способен вызвать у человека образование злокачественных и доброкачественных опухолей). Одним из широко распространённых источников 3,4-бензпирена является процесс горения практически всех видов горючих материалов. ВОЗ считает, что существует необходимость всестороннего изучения никотинсодержащей продукции.

Принцип действия ЭСНТ основан на нагреве табака без его горения или тления, которые происходят при курении обычных сигарет. Этот подход принято называть «нагревание вместо горения». При этом предполагается, что за счет существенного (до 300°C) снижения температуры процесса нагревания табака происходит снижение образования вредных и потенциально опасных веществ в аэрозоле.

Целью исследований являлось проведение сравнительной оценки количественного содержания никотина и 3,4-бензпирена в аэрозоле сигарет и стиков для ЭСНТ.

Объектом исследования являлись:

- комплекты электрической системы нагревания табака (ЭСНТ) марки IQOStm 2.4P и изделия с нагреваемым табаком – стики к ним. Parliament Fresh (с ментолом) и Parliament Blue (без ментола);

- контрольные сигареты 3R4F (сигареты, изготовленные в строго контролируемых производственных условиях, в соответствии с международным стандартом ISO 16055-2012[3], состоящие из тщательно подготовленного табачного сырья. Использование контрольных образцов сигарет при анализе табачного дыма является общепринятой мировой практикой);

- сигареты популярных у потребителей России торговых марок Winston Blue, Rothmans Demi Blue, Bond Street Compact Blue, Bond Street Blue Selection, LD Blue.

Количественное определение компонентов дыма – никотина и бензпирена – проводилось с использованием высокочувствительного аналитического оборудования с использованием газожидкостной хроматографии и хроматомас-спектрометрии с использованием стандартных и адаптированных методов определения [4-8]. Определение 3,4-бензпирена проводили методом ГХ-МС. Принцип метода заключается в сборе твердожидкой фазы аэрозоля на кембриджский фильтр и экстрагировании растворителем с внесенным дейтерированным стандартом бенз(а)пирен d12. После проведения двух стадий очистки упаренного экстракта с SPE картриджами, определялось количественное содержание ПАУ на ГХ-МС с детектором ионизации в режиме SIM. Данный метод апробирован и валидирован в ходе выполнения НИР в результате исследования никотинсодержащей продукции в 2018 году [9].

Сбор твердожидкой фазы аэрозоля всех исследуемых образцов проводили на 20-канальной курительной машине линейного типа Cerulean SM450 при следующих условиях окружающей среды:

температура, °С	22±2
относительная влажность воздуха, %	60±5
скорость воздуха в зоне сбора аэрозоля, мм/с	200±50

Сбор твердожидкой фазы аэрозоля на курительной машине сигарет проводили при двух режимах: режим ISO (ISO 3308) и ISO Intense (ISO 20778), а стиков только при режиме ISO Intense [5, 10].

Содержание токсичных компонентов в аэрозоле сигарет в значительной мере определяются режимами, при которых проводится сбор аэрозоля. Режим ISO во всем мире применяется для определения компонентов дыма сигарет при оценке их соответствия требованиям безопасности (ТР ТС 035 2014) [11].

В соответствии с пунктом 4 Протокола о техническом регулировании в рамках Евразийского экономического союза (приложение №9 к Договору о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 года) и пунктом 5 приложения №2 к Регламенту работы Евразийской экономической комиссии, утвержденному Решением Высшего Евразийского экономического совета от 23 декабря 2014 г. №98, Коллегия Евразийской экономической комиссии утвердила перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технического регламента Таможенного союза «Технический регламент на табачную продукцию» (ТР ТС 035/2014) и осуществления оценки соответствия объектов технического регулирования. ГОСТ ISO 3308-2015 введен в перечень стандартов к техническому регламенту на табачную продукцию [12].

Для соответствия требованиям ТР ТС по содержанию смолы, никотина, монооксида углерода, а также для удовлетворения запросов потребителей при изготовлении сигарет

используют такой прием как использование ободковой бумаги с перфорацией для вентиляции фильтра различной степени. За счет вентиляции фильтра происходит разбавление воздухом главной струи дыма сигарет во время затяжки и соответственно – уменьшается содержание токсичных компонентов в дыме. Режим ISO регламентирует проведение одной затяжки в минуту без блокировки вентиляции фильтра сигареты.

По мнению экспертов ВОЗ, режим ISO не в полной мере отражает реальную манеру курения потребителя, а соответственно, и количество потребляемых токсичных веществ. Для определения максимально возможного содержания токсичных веществ в дыме сигарет, был разработан интенсивный режим прокуривания ISO Intense (ISO 20778), который предполагает увеличение объема затяжки до 55 мл, проведение 2 затяжек в минуту вместо одной и полную блокировку вентиляции фильтра. Стиki для ЭСНТ тестировали на курительной машине по методу ISO Intense, так как при данном режиме в аэрозоль поступает максимальное количество токсичных компонентов.

Параметры режимов прокуривания ISO 3308 и ISO Intense приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика параметров прокуривания

Параметры процесса	Режим ISO 3308	Режим ISO Intense
Продолжительность затяжки, сек	2	2
Объем затяжки, мл	35	55
Пауза между затяжками, сек	60	30
Скорость воздуха в зоне курения, мл/мин	200	200
Блокировка вентиляции, %	0	100

Результаты содержания исследуемых веществ после прокуривания различных марок сигарет в двух режимах ISO и ISO Intense приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Содержание компонентов аэрозоля в контрольной сигарете 3R4F и коммерческих марок сигарет при прокуривании по методу ISO

Анализируемые вещества	Сигареты 3R4F	Rothmans Demi	Winston Blue Compact	Bond Street Blue Compact	LD Blue	Bond Street Blue
Никотин, мг/шт	0,7	0,55	0,53	0,45	0,41	0,44
Бенз(а)пирен, нг/шт.	4,77	3,79	3,17	4,00	4,51	2,98

Таблица 3 – Содержание компонентов аэрозоля представленных марок, сигарет и контрольного образца сигарет 3R4F при прокуривании по методу ISO Intense

Анализируемые вещества	Сигареты 3R4F	Rothmans Demi	Winston Blue Compact	Bond Street Blue Compact	LD Blue	Bond Street Blue
Никотин, мг/шт.	1,66	1,73	1,65	1,69	1,21	1,14
Бенз(а)пирен, нг/шт.	13,17	11,28	11,68	12,12	13,17	9,52

Приведенные данные в таблице 2 и 3 по содержанию никотина в дыме коммерческих марок сигарет (менее 1 мг/сиг), говорят о том, что данный показатель находится в пределах установленных требований ТР ТС 035/2014 «Технический регламент на табачную продукцию». Содержание 3,4-бензпирена в табачном дыме не нормируется.

Анализируя результаты исследований, приведенные в таблицах 2 и 3, можно сделать вывод о том, что при прокуривании сигарет в интенсивном режиме содержание компонентов значительно увеличивается в дыме сигарет по содержанию никотина в 2,4-3,8 раза, 3,4-бензпирена в 2,8-3,7 раз.

В таблице 4 приведены результаты исследований по определению содержания компонентов аэрозоля стиков для ЭСНТ исследуемых марок при прокуривании по ISO Intense (ISO 20778).

В таблице 5 представлены результаты расчета процента снижения содержания токсичных компонентов в аэрозоле стиков по сравнению с их содержанием в представленных марках сигарет и в контрольном образце сигарет 3R4F при прокуривании по методу ISO Intense.

Таблица 4 – Содержание компонентов аэрозоля стиков для ЭСНТ представленных марок при прокуривании по методу *ISO Intense*

Анализируемые вещества	ЭСНТ Parliament Blue НТП (обычная)	ЭСНТ Parliament Fresh НТП (с ментолом)
Никотин, мг/шт.	1,10	0,99
Бенз(а)пирен, нг/шт.	0,96	0,81

Таблица 5 – Процент снижения содержания токсичных компонентов в аэрозоле стиков по сравнению с их содержанием в представленных марках сигарет и в контрольном образце сигарет 3R4F при прокуривании по методу ISO Intense

Снижение содержания компонентов аэрозоля, %	Parliament Blue НТП (обычная)						Parliament Fresh НТП (с ментолом)					
	Rothmans Demi	Winston Blue Compact	Bond Street Blue Compact	LD Blue	Bond Street Blue	3R4F	Rothmans Demi	Winston Blue Compact	Bond Street Blue Compact	LD Blue	Bond Street Blue	3R4F
Никотин	36,0	33,3	34,9	9,1	3,5	33,7	42,7	40,0	41,4	18,1	13,1	40,3
Бенз(а)пирен	91,5	91,8	92,1	92,7	89,9	92,7	92,8	93,1	93,3	93,8	91,5	93,8

По результатам проведенных исследований, как показано на рисунке 1, установлено, что содержание определяемых токсичных компонентов в аэрозоле ЭСНТ значительно ниже по сравнению с контрольной сигаретой 3R4F и 5 марками популярных в России сигарет при тестировании по режиму ISO Intense.

На рисунке 1 представлена сравнительная оценка содержания 3,4-бензпирена по методам ISO 3308 и ISO Intense.

Отмечается снижение содержания никотина на 3,5-42,7 % по сравнению с коммерческими марками сигаретами.

Установлено, что содержание 3,4-бензпирена в аэрозоле стиков ЭСНТ ниже на 90-94 %, по сравнению с контрольным образцом сигарет 3R4F и коммерческими марками сигарет при тестировании в режиме ISO Intense.

Из полученных данных можно сделать вывод, что аэрозоль стиков содержит достаточное количество никотина (0,96-1,10 мг/шт.) для удовлетворения физиологической потребности курильщика, но содержание такого канцерогенного вещества как 3,4-бензпирен значительно ниже, чем в дыме традиционных сигарет.

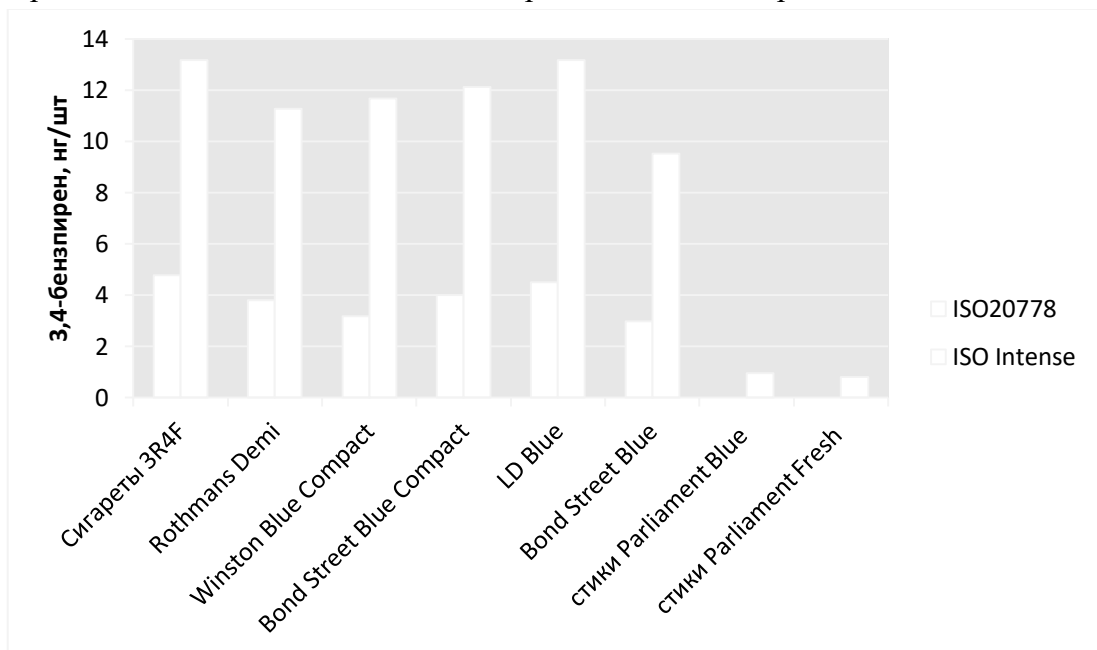


Рис. 1. Сравнительная оценка содержания 3,4-бензпирена при сборе аэрозоля по методам ISO 3308 и ISO Intense

Литература:

1. Доклад восьмой сессии Конференции Сторон Рамочной конвенции ВОЗ по борьбе против табака [Электронный ресурс]. URL: https://www.who.int/fctc/guidelines/Guideliness_Articles_9_10_rev_240613.pdf
<https://www.who.int/fctc/cop/sessions/cop8/cop8-summary/ru/>
2. Мохначев И.Г., Загоруйко М.Г. Химия и ферментация табака. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 104 с.
3. ISO 16055-2012 «Tobacco and Tobacco Products. Monitor Test Piece. Requirements and use».
4. ГОСТ ИСО 3402-2003. Табак и табачные изделия. Атмосфера для кондиционирования и испытаний.
5. ГОСТ ISO 3308-2015. Машина обычная лабораторная для прокуривания сигарет (курительная машина). Определения и стандартные условия.
6. <https://www.iso.org/standard/69065.html>
7. ГОСТ 30570-2015 (ISO 10315-2013). Сигареты. Определение содержания никотина в конденсате дыма. Метод газовой хроматографии.
8. ГОСТ 31629-2017 (ISO 16055:2012). Табак и табачные изделия. Контрольный образец. Требование и применение.

9. Подготовка предложений и рекомендаций по установлению требований безопасности к никотиносодержащей продукции, выпускаемой в обращение на территории Союза (этап 2) [Электронный ресурс]: отчёт по НИР. Краснодар, 2018. URL:

10. ISO 20778 <https://www.iso.org/standard/69065.html>

11. Технический регламент на табачную продукцию (ТР ТС 035/2014): Технический регламент Таможенного союза.

12. <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/standart/Documents/№%209%20от%2026%20января%202016%20г.%20Перечень%20Табак.pdf> Docu-

Literature:

1. The Report of the 8th session of the Conference of the Parties to the WHO Framework Convention on Tobacco Control [Electronic resource]. URL: https://www.who.int/fctc/guidelines/Guideliness_Articles_9_10_rev_240613.pdf

<https://www.who.int/fctc/cop/sessions/cop8/cop8-summary/en/>

2. Mokhnachev I.G., Zagoruyko M.G. Chemistry and fermentation of tobacco. M.: Light and food industry, 1983. 104 p.

3. ISO 16055-2012 «Tobacco and Tobacco Products. Monitor Test Piece. Requirements and use. »

4. GOST ISO 3402-2003. Tobacco and tobacco products. Atmosphere for conditioning and testing.

5. GOST ISO 3308-2015. Ordinary laboratory machine for smoking cigarettes (smoking machine). Definitions and standard conditions.

6. <https://www.iso.org/standard/69065.html>

7. GOST 30570-2015 (ISO 10315-2013). Cigarettes. Determination of nicotine content in smoke condensate. Gas chromatography method.

8. GOST 31629-2017 (ISO 16055: 2012). Tobacco and tobacco products. Control sample. Requirement and application.

9. Preparation of proposals and recommendations on establishing safety requirements for nicotine-containing products put into circulation on the territory of the Union (stage 2) [Electronic resource]: research report. Krasnodar, 2018. URL: http://eec.eaunion.org/ru/NIR/Lists/List/Attachments/217/VNIITTI_Report_2_step_NIR.pdf

10. ISO 20778 <https://www.iso.org/standard/69065.html>

11. Technical regulations for tobacco products (TR CU 035/2014): Technical regulations of the Customs Union.

12. <http://www.eurasiancommission.org/en/act/texnreg/deptexreg/standart/Documents/№%209%20from%2026%20January%202016%20g.%20List%20Tobak.pdf>