

УДК 543.632.4-138:663.977

Т. И. Филанчук,  
И. И. Гончарук,  
Д. В. Зиневич,  
М. В. Ахрем,  
О. А. Башун

## АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АЭРОЗОЛЕЙ, ФОРМИРУЕМЫХ СИСТЕМАМИ НАГРЕВАНИЯ ТАБАКА

В статье приведены результаты эксперимента, полученные в ходе научно-исследовательской работы по постановке и апробированию методов анализа химического состава аэрозолей, формируемых системами нагревания табака, разработанных научно-исследовательским центром PMI Science компании «Филип Моррис» (Швейцария) и ФГБНУ «ВНИИТТИ» (Россия). Отражены основные проблемы, возникшие при освоении методов, и пути их решения. Обоснованы предложения по установлению требований безопасности к никотиносодержащей продукции (НСП) нового вида.

The article presents the experimental results obtained in the course of research work on the formulation and testing of methods for analyzing the chemical composition of aerosols formed by tobacco heating systems developed by the PMI Research Center of the Philip Morris company (Switzerland) and FGBNU VNIITTI (Russia). The main problems faced during the development of methods and ways to solve them are described. Proposals for establishing safety requirements for nicotine-containing products (NCPs) of a new type have been substantiated.

В настоящее время как на мировом рынке, так и в странах Евразийского экономического союза широкое распространение получили потребительские продукты в виде электронных систем доставки никотина (СДН) и инновационных изделий, которые предлагают альтернативные способы и формы потребления никотина, замещающие потребление традиционных табачных изделий, в первую очередь – табакокурение. Такие изделия могут содержать или не содержать табак, но все они содержат никотин, что позволяет выделить их по общему признаку в отдельную категорию – никотиносодержащую продукцию. От традиционных курительных табачных изделий, требования к которым регламентируются ТР ТС 035/2014 «Технический регламент на табачную продукцию», эта продукция отличается тем, что потребляется путем вдыхания аэрозоля или пара, образующихся не в результате горения и тления, а в результате нагревания табачной смеси или никотиносодержащей жидкости с помощью электроэнергии.

Однако правила обращения такой продукции на рынке отсутствуют. Не установлены обязательные требования безопасности, правила иден-



тификации, процедуры оценки (подтверждения) соответствия никотиносодержащей продукции какому-либо техническому нормативному правовому акту и техническому регламенту. Актуальными являются вопросы изучения химического состава аэрозолей, формируемых системами нагревания табака, установления показателей и нормативов контроля, а также методик их определения и оценки. Решение этих вопросов позволит защитить потребителей от потенциально опасных для здоровья продуктов и сохранить доступ на рынок для изделий с пониженным риском для здоровья и пониженным отрицательным воздействием на окружающую среду.

ВОЗ рекомендует осуществлять контроль НСП [1] по содержанию никотина, глицерина, пропиленгликоля, а также 9 приоритетных токсичных компонентов, образующихся при употреблении никотиносодержащих продуктов, а именно: монооксида углерода; бенз[а]пирена; 1,3-бутадиена; бензола; табакоспецифических нитрозоаминов – нитрозоникотина (NNN) и 4-(N-метил-N-нитрозамино-)-1-(3-пиридил)-1-бутанон (NNK), акролеина; формальдегида; ацетальдегида.

Компания «Филип Моррис Интернэшнл» (PMI) стала одной из первых, кто представил на рынке свою инновационную разработку в сфере никотиносодержащих продуктов с пониженным риском – электрическую систему нагревания табака IQOS. Она представляет собой устройство (система доставки никотина), которое с помощью электроэнергии нагревает «стики», содержащие наполнитель из гофрированного восстановленного табачного листа. Эта система стала объектом исследования проведенной научно-исследовательской работы.

Целями научно-исследовательской работы, проводимой отделом испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ, были:

- апробирование методов определения содержания основных токсичных веществ в аэрозолях, формируемых системой нагревания табака IQOS, при использовании табачных стиков двух видов;
- сравнение результатов с данными, полученными для референсных сигарет Р1М3 и СМ9 при прокуривании их на линейной курительной машине в режиме ISO Intense;
- проведение анализа применимости методов для последующего контроля никотиносодержащей продукции на территории Евразийского экономического союза.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы на базе отдела организована лаборатория по анализу никотиносодержащих продуктов. Она оснащена курительной машиной линейного типа Cerulian SM-450R с газоанализатором монооксида углерода, которая позволяет имитировать процесс курения не только сигарет, но и различных видов электронных систем доставки никотина.

Были апробированы методики (методы) измерений, разработанные научно-исследовательским центром PMI Science компании «Филип Моррис» [2]:

- Analysis of eight carbonyls in Platform 1 aerosol;
- Analysis of 12 polycyclic aromatic hydrocarbons in Platform 1 aerosol;
- Analysis of volatiles and semi-volatiles in Platform 1 aerosol;
- Analysis of TSNA in Platform 1 aerosol.

Кроме того, апробированы методики (методы) измерений, изложенные в отчете ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3]:

- Методика «Сбор аэрозоля и определение содержания влажного конденсата в аэрозоле изделий с нагреваемым табаком (табака нагреваемого), определение содержания монооксида углерода в газовой фазе аэрозоля». Приложение А к отчету ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3];

- Методика «Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (бенз[а]пирена) в аэрозоле никотиносодержащей про-

дукции (НСП)». Приложение Е к отчету ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3];

- Методика «Определение содержания никотина, глицерина и пропиленгликоля в аэрозоле никотиносодержащей продукции (НСП)». Приложение Ж к отчету ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3].

При апробировании методов проведены исследования по определению основных приоритетных токсичных компонентов, регламентируемых Всемирной организацией здравоохранения [1]: монооксид углерода, формальдегид, ацетальдегид, акролеин, нитрозоамины NNN и NNK, бензол, 1,3-бутадиен, бенз[а]пирен.

Содержание никотина, глицерина, пропиленгликоля и бенз[а]пирена определяли в дисперсной фазе аэрозоля, а монооксида углерода, формальдегида, ацетальдегида, акролеина, NNN- и NNK-нитрозоаминов, бензола, 1,3-бутадиена – в газовой фазе аэрозоля.

Анализ компонентного состава собранных аэрозолей проводился с использованием следующего оборудования:

- высокоэффективного жидкостного хроматографа Agilent 1290 с масс-селективным детектором Agilent 6490;
- газового хроматографа Agilent 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5975C;
- газового хроматографа Agilent 7890B с пламенно-ионизационным детектором.

Содержание монооксида углерода (СО) измеряли с использованием встроенного в курительную машину недисперсного инфракрасного (NDIR) анализатора. Для калибровки анализатора применяли следующие государственные стандартные образцы (ГСО), внесенные в Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь.

Для определения содержания СО в стиках и Р1М3 применяли ГСО РБ 0304-2018 «Стандартный образец состава газовой смеси СО в азоте». Газовые смеси для измерения монооксида углерода в заданном диапазоне концентраций были изготовлены и аттестованы специально для выполнения НИР. Для определения содержания СО в референсных сигаретах СМ9 применяли ГСО РБ 0254-2016 «Стандартный образец состава газовой смеси СО в азоте».

Особое внимание при проведении эксперимента было уделено проблемам, связанным с воспроизведением методов (методик) измерений, поиску решений и оптимизации параметров методов.

Постановка методов по определению содержания основных компонентов аэрозоля – влажного конденсата, никотина, глицерина и пропиленгликоля – не вызвала трудностей, но потребовала внесения изменений по выбору хроматографиче-

ской колонки (применялась колонка DB-35 производства J&W Scientific, 30 m, 0,32 mm, 0,5 mkm).

Для определения бенз[а]пирена использовали метод «Coresta Recommended Method № 82. Determination of benzo(a)pyrene in tobacco products by GC-MS», который был модифицирован в части концентраций внутреннего стандарта (C = 100 нг/мл) при приготовлении рабочих градуировочных растворов, а также в объеме экстракта (3,5 мл), наносимого на картридж (Strata X 60 мг, 3 мл), необходимый для выполнения очистки аэрозоля с помощью твердофазной экстракции.

Определение содержания табакоспецифических нитрозоаминов было выполнено в соответствии с методом «Analysis of TSNA in Platform 1 aerosol», но потребовало оптимизации параметров масс-селективного детектора и параметров сбора данных для режима мониторинга множественных реакций.

Для определения содержания летучих органических соединений (1,3-бутадиена и бензола) метод «Analysis of volatiles and semi-volatiles in Platform 1 aerosol» был модифицирован в части применяемой концентрации раствора внутреннего стандарта (C = 5 мкг/мл) и градиента элюирования.

При подготовке к апробированию метода «Analysis of eight carbonyls in Platform 1 aerosol» для определения содержания карбонильных соединений (формальдегида, ацетальдегида, акролеина) лаборатория столкнулась с рядом проблем, которые будут возникать при дальнейшем внедрении в практику работы лабораторий:

- применение изотопно-меченой формы вещества пропиленальдегид-D2, используемого в качестве внутреннего стандарта при анализе карбонильных соединений, становится невозможным ввиду нахождения данного вещества в списках ве-

Таблица 1

**Значения содержания основных компонентов в аэрозоле и в дыме референсных сигарет, величины повторяемости (SDr), полученные при апробировании методов**

| Анализируемые вещества     | Yellow  |      | Amber   |      | P1M3    |      | CM9     |       |
|----------------------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|-------|
|                            | Среднее | SDr  | Среднее | SDr  | Среднее | SDr  | Среднее | SDr   |
| Влажный конденсат, мг/шт.  | 47,61   | 1,42 | 48,36   | 1,90 | 56,63   | 1,41 | 41,33   | 2,33  |
| Никотин, мг/шт.            | 1,24    | 0,03 | 1,31    | 0,05 | 1,44    | 0,02 | 3,26    | 0,11  |
| Глицерин, мг/шт.           | 3,87    | 0,20 | 3,93    | 0,28 | 4,78    | 0,28 | < 1     | –     |
| Пропиленгликоль, мг/шт.    | 0,65    | 0,03 | 0,67    | 0,02 | 0,78    | 0,05 | < 0,5   | –     |
| Монооксид углерода, мг/шт. | 0,36    | 0,03 | 0,36    | 0,03 | 0,46    | 0,02 | 23,48   | 1,10  |
| Бенз[а]пирен, нг/шт.       | 1,00    | 0,06 | 0,77    | 0,05 | 0,92    | 0,05 | 17,10   | 0,45  |
| NNN, нг/шт.                | 4,92    | 0,31 | 14,01   | 0,53 | 15,06   | 0,71 | 45,52   | 2,07  |
| NNK, нг/шт.                | 3,05    | 0,16 | 7,25    | 0,32 | 7,81    | 0,56 | 51,14   | 1,93  |
| 1,3-бутадиен, мкг/шт.      | 0,21    | 0,01 | 0,23    | 0,01 | 0,28    | 0,01 | 72,13   | 2,1   |
| Бензол, мкг/шт.            | 0,42    | 0,03 | 0,46    | 0,02 | 0,53    | 0,03 | 68,86   | 2,65  |
| Формальдегид, мкг/шт.      | 6,53    | 0,75 | 7,84    | 0,69 | 8,27    | 0,48 | 115,52  | 8,02  |
| Ацетальдегид, мкг/шт.      | 171,52  | 4,90 | 180,56  | 7,92 | 196,43  | 8,27 | 1 838,4 | 12,13 |
| Акролеин, мкг/шт.          | 6,94    | 0,49 | 9,43    | 0,61 | 9,71    | 0,67 | 162,14  | 5,35  |

Примечание: мг/шт. – содержание в миллиграммах на один стик/сигарету;  
 мкг/шт. – содержание в микрограммах на один стик/сигарету;  
 нг/шт. – содержание в нанограммах на один стик/сигарету.

ществ, ограниченных к ввозу на территорию Республики Беларусь;

– динитрофенилгидразин, используемый для получения производных карбонильных соединений, в сухом виде обладает взрывоопасными свойствами и попадает в перечень веществ, ограниченных к ввозу Госкомвоенпромом.

В результате выполненных исследований был получен набор статистических данных по содержанию основных вредных веществ в составе аэрозоля и в дыме референсных сигарет. На основании полученных данных были рассчитаны значения величины повторяемости для каждого аналита, выраженные через стандартное отклонение повторяемости (SDr). Результаты полученных значений стандартных отклонений повторяемости (SDr), рассчитанных в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 5725-2-2003 [4] для каждого испытуемого вида изделий с нагреваемым табаком и референсной сигареты СМ9, приведены в сводной табл. 1.

Полученные значения оценок стандартного отклонения повторяемости (SDr) были не выше, чем значения в Отчете ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3] и отчетах компании PMI. Анализ величин стандартного отклонения позволяет судить о том, что разброс результатов единичных определений всех определяемых компонентов незначителен, что свидетельствует о надежности используемых методов.

Низкое содержание монооксида углерода в аэрозоле, образуемом системой нагревания табака IQOS, по сравнению со значением в дыме референсной сигареты, свидетельствует об отсутствии процесса горения при использовании системы

IQOS. Количество вышеприведенных веществ, генерируемых системой нагревания табака IQOS, на 69–99 % ниже по сравнению с их содержанием в дыме референсной сигареты СМ9.

Для установления максимального содержания компонентов аэрозолей систем доставки никотина был проведен анализ результатов эксперимента по определению содержания никотина, монооксида углерода, глицерина, пропиленгликоля, бенз[а]пирена, 1,3-бутадиена, бензола, карбонильных соединений и нитрозоаминов в аэрозоле изделий с нагреваемым табаком Glo (изготовитель – компания «Бритиш Американ Табакко») и IQOS, полученных исследователями ФГБНУ «ВНИИТТИ» [3, 5]. Данные не сравнивались с результатами БелГИМ с целью оценки воспроизводимости методов, поскольку они были получены для иных стиков и с применением других референсных сигарет, однако было оценено максимальное содержание компонентов аэрозолей СДН, полученных разными исследователями с использованием одного режима прокуривания ISO Intense для стиков разных марок. Результаты анализа химического состава аэрозолей, формируемых системами нагревания табака, представлены в табл. 2 и могут являться обоснованием предлагаемых нормативов контроля данной продукции.

Содержание данных веществ в аэрозолях, образующихся при эксплуатации различных марок систем доставки никотина и стиков, отличается, но в целом находится на значительно меньших уровнях по сравнению с содержанием указанных веществ в сигаретном дыме.

Таблица 2

Максимальное содержание компонентов аэрозоля изделий с нагреваемым табаком, полученных в режиме ISO Intense

| Анализируемые вещества  | IQOS 2.4P (ФГБНУ «ВНИИТТИ») | Glo (ФГБНУ «ВНИИТТИ») | IQOS (БелГИМ)         | Предложить в качестве норматива контроля |
|---|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Никотин, мг/шт.   | 1,28                        | 0,41                  | 1,31                  | 1,50                                     |
| Монооксид углерода, мг/100 см <sup>3</sup>  | 0,13                        | 0,05                  | 0,06                  | 0,25                                     |
| Бенз[а]пирен, нг/шт.  | 0,91                        | 0,94                  | 1,00                  | 1,00                                     |
| 1,3-бутадиен, мкг/шт.   | 0,28                        | –                     | 0,23                  | 0,50                                     |
| Бензол, мкг/ шт.  | 0,51                        | 0,06                  | 0,46                  | 0,60                                     |
| Карбонильные соединения:<br>формальдегид, мкг/шт.<br>ацетальдегид, мкг/шт.<br>акролеин, мкг/шт. | 4,97<br>176,9<br>13,70      | 8,96<br>102,1<br>3,70 | 7,84<br>180,6<br>9,43 | 10,00<br>200,0<br>15,00                  |
| Табакоспецифические нитрозоамины TSNA:<br>NNN, нг/шт.<br>NNK, нг/шт.                            | 15,20<br>11,90              | 17,44<br>6,23         | 14,01<br>7,25         | 20,00<br>15,00                           |

Предельно допустимые уровни содержания токсичных компонентов в аэрозоле НСП для систем доставки никотина могут быть установлены в пределах 1–50 % от их содержания в дыме референсной сигареты.

Предложенные в качестве нормативов контроля уровни содержания компонентов аэрозоля изделий с нагреваемым табаком являются ориентировочными и могут быть скорректированы по результатам дополнительных исследований более широкого спектра продукции, а также с учетом мнения Министерства здравоохранения и иных компетентных органов.

### Выводы

Результаты проведенных исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Методики, представленные для апробирования исследовательским центром PMI Science компании «Филип Моррис» и ФГБНУ «ВНИИТТИ», могут быть положены в основу при разработке единых методов испытаний по определению 9 основных приоритетных компонентов аэрозоля.

2. Значения воспроизводимости результатов измерений для всех определяемых компонентов могут быть установлены на основании результатов межлабораторных сличений, выполненных с применением единых образцов. Установление метрологических характеристик методов требует продолжения исследований.

3. В ходе разработки окончательной редакции метода по определению карбонильных соединений следует предусмотреть возможность замены пропиональдегида-Д2 другим веществом, используемым в качестве внутреннего стандарта.

4. Для определения содержания карбонильных соединений лаборатория должна располагать отдельной единицей ВЭЖХ/МС-МС во избежание перекрестного загрязнения, связанного с испытанием пестицидов или иных веществ.

5. В ходе работы получены экспериментальные результаты по содержанию основных токсичных веществ, формируемых системой нагревания табака IQOS, которые позволят выработать научно обоснованные предложения по установлению показателей безопасности и максимального содержания основных токсичных веществ в изделиях с нагреваемым табаком, используемых с системами доставки никотина, при разработке соответствующего технического регламента ЕАЭС.



### Список использованной литературы

1. Решение, принятое в отношении инновационных и новых табачных изделий на 8-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ВОЗ

по борьбе против табака [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.who.int/fctc/cop/sessions/cop8/FCTC\\_COP8\(22\)\\_RU.pdf](http://www.who.int/fctc/cop/sessions/cop8/FCTC_COP8(22)_RU.pdf). – Дата доступа: 03.05.2021.

2. Platform 1's mainstream aerosol compared to reference cigarette smoke. All content copied from the PMI Science Website is copyright Philip Morris Products SA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pmisience.com/science/platform-development/Platform-1-mainstream-aerosol-compared-to-reference-cigarette-smoke>. – Дата доступа: 05.05.2021.

3. Проведение исследований рынка новых видов никотиносодержащей продукции, международной практики правового регулирования обращения такой продукции и разработка предложений по установлению в рамках Евразийского экономического союза обязательных требований к новым видам никотиносодержащей продукции и рекомендаций по механизмам их реализации. Этап 2. Подготовка предложений и рекомендаций по установлению требований безопасности к НСП, выпускаемой в обращение на территории Союза / Отчет о НИР ФГБНУ «ВНИИТТИ».

4. ГОСТ ИСО 5725-2-2003 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений.

5. Международная научная конференция «Состояние и перспективы мировых научных исследований по табаку, табачным изделиям и инновационной никотинсодержащей продукции», 17 ноября 2020 г.: сб. науч. трудов. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2020. – 221 с.

**Татьяна Ивановна ФИЛАНЧУК,**

заместитель начальника отдела испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ;

**Илья Игоревич ГОНЧАРУК,**

инженер-химик 2-й категории отдела испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ;

**Дмитрий Владимирович ЗИНЕВИЧ,**

инженер-химик 2-й категории отдела испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ;

**Марина Викторовна АХРЕМ,**

биолог 1-й категории отдела испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ;

**Ольга Алексеевна БАШУН,**

инженер-химик 2-й категории отдела испытаний пищевой и сельскохозяйственной продукции БелГИМ

Дата поступления 25.05.2021