

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАССЫ ПРОБЫ НА МАССУ ВЛАЖНОГО КОНДЕНСАТА АЭРОЗОЛЯ ТАБАКА ДЛЯ КАЛЬЯНА

Гвоздецкая С.В., Бубнов Е.А., канд. техн. наук

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий», Российская Федерация, г. Краснодар

Аннотация. Цель исследования - оценка массы влажного конденсата в аэрозоле табака для кальяна при изменении массы пробы для испытаний. Разработано «Устройство для сбора влажного конденсата дыма кальяна» (патент RU 212802U1). Получены экспериментальные данные и установлены зависимости между массой собранного влажного конденсата, потерями массы табака для кальяна и массой пробы для испытаний. Оптимальная масса пробы табака для кальяна составляет 10 г при проведении исследований на разработанном устройстве для сбора влажного конденсата.

Ключевые слова: табак для кальяна, бестабачная смесь для нагревания, проба для испытаний, влажный конденсат.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SAMPLE MASS ON THE MASS OF WET CONDENSATE OF HOOKAH TOBACCO AEROSOL

Gvozdetskaya S.V., Bubnov E.A., PhD in Engineering

FSBSI «All-Russian Scientific Research Institute of Tobacco, Makhorka And Tobacco Products», Russian Federation, Krasnodar

Abstract. The aim of the study is to estimate the mass of wet condensate in hookah tobacco aerosol when changing the mass of the test sample. A "Device for collecting wet condensate of hookah smoke" (patent RU 212802U1) has been developed. Experimental data have been obtained and dependencies have been established between the mass of the collected wet condensate, the mass loss of hookah tobacco, and the mass of the test sample. The optimal mass of the hookah tobacco sample is 10 g when conducting studies on the developed device for collecting wet condensate.

Keywords: hookah tobacco, tobacco-free mixture for heating, test sample, wet condensate.

Масса влажного конденсата аэрозоля табака для кальяна/бестабачной смеси для нагревания - показатель общего количества собранных веществ дисперсной фазы при генерировании аэрозоля с использованием кальянной системы (КС). Сбор влажного конденсата является необходимым этапом при определении содержания компонентов аэрозоля табака для кальяна/бестабачной смеси для нагревания.

Сложность многокомпонентной кальянной системы, используемой для получения аэрозоля, и многообразие факторов (компонентный состав, режим прокуривания, масса пробы для испытаний, особенности нагрева), влияющих на состав аэрозоля, приводят к вариативности полученных данных по содержанию токсичных компонентов в аэрозоле кальянной смеси.

Определение факторов, влияющих на получение и сбор аэрозоля табака для кальяна и бестабачной смеси для нагревания, является одним из направле-

ний исследовательской работы лаборатории технологии производства табачных изделий ФГБНУ ВНИИТТИ.

В мировой практике сбор конденсата при прокуривании кальянных смесей, осуществляется на курительной машине, соответствующей стандарту ISO 22486 «Water pipe tobacco smoking machine — Definitions and standard conditions». Методика сбора влажного конденсата в аэрозоле кальянных смесей на специальной курительной машине определена в ISO/TS 22487 «Water pipe tobacco — Determination of total collected matter and nicotine using a water pipe tobacco smoking machine». Для исследований аэрозоля табака для кальяна/бестабачной смеси для нагревания используются специальные лабораторные курительные машины (Borgwaldt Shisha Smoker [1] и SPS-Shisha [2]). В связи со сложностями в их поставке и обслуживании, возникла необходимость в разработке аналога курительной машины для кальяна для проведения исследований.

Для сбора влажного конденсата при генерировании аэрозоля кальянных смесей было разработано устройство для сбора влажного конденсата, являющееся аналогом курительной машины для кальяна (Патент RU 212802U1) [3]. Схема приведена на рисунке 1. Устройство состоит из вакуумного насоса 1, вентиля 2, соединенного с атмосферой и предназначенного для регулирования объемного расхода потока, кнопки управления 3, блока управления 4, реле времени 5, газосчетчика 6, электромагнитного клапана 7, ловушки с кембриджским фильтром 8, вентилей 9, и ротаметра 10. Также в конструкции используются соединительные шланги.

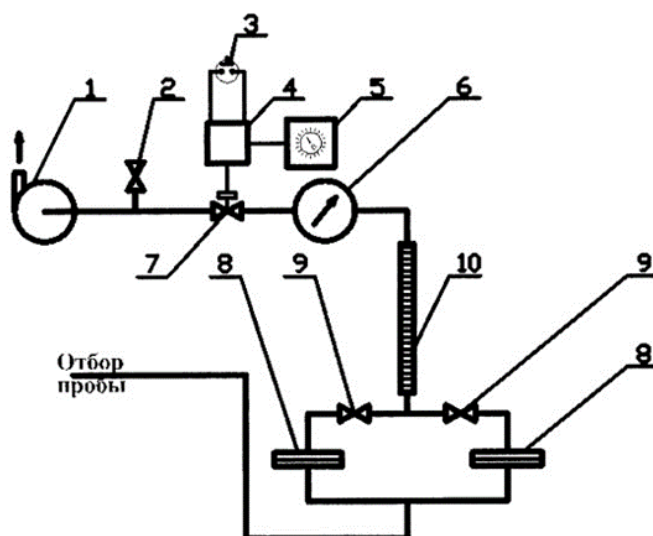


Рисунок 1. Схема специальной курительной машины для кальяна в соответствии с патентом RU 212802U1

Оснащение устройства электромагнитным клапаном позволяет исключить операции ручного открытия и закрытия вентиля для осуществления затяжек. Установка реле времени позволяет контролировать интервал между затяжками, способствует более однородным условиям сбора влажного конденсата дыма. Использование блока управления способствует циклической работе реле

времени. Кнопка управления служит для осуществления затяжек необходимого объема, а также перезапуска реле времени.

Параметры прокуривания, установленные в ISO 22486, являются модификацией Бейрутского метода [4], основанного на данных топографии затяжек потребителей кальянной продукции. В ISO 22486 отсутствует информация о массе пробы, необходимой для испытаний табака для кальяна, соответственно, в лабораторных исследованиях масса пробы колеблется [4 - 11]. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование/ автор	Параметры испытаний				
	кол-во затяжек, шт.	объем затяжки, мл	продолжи- тельность затяжки, с	интервал меж- ду затяжками, с	масса пробы для испыта- ний, г
Бейрутский» метод	171	530	2,6	17,0	-
Perraud et. al.	-	860	4,0	30,0	10
Blank et. al. табак для кальяна	66	906	3,9	47,5	10
Blank et. al. бестабачная смесь для нагревания	71	873	3,7	45,8	10
Shihadeh et. al	100	300	3,0	30,0	10
Monn et. al.	100	1000	5,0	25,5	8
Al-Kazwini et. al.	175	530	2,6	17,0	22
Monzer et. al.	105	530	2,6	17	10
Taleb et. al. ароматизированный табак	109	680	3,4	27	15
Taleb et. al. неароматизированный табак	101	790	3,2	29,7	15
ISO 22486 (2019)	175	530	2,6	20,0	-

Например, в исследовании Perraud V. et. al. [5], масса пробы для испытаний составляет 10 г при объеме затяжки 860 мл. В исследованиях Ven Taleb Z. et. al. [11], масса пробы составляет 15 г при продолжительности прокуривания 45 мин. Monn Ch. et. al. [8] проводили исследования с массой пробы для испытаний 8 г при среднем объеме затяжки 1000 мл. В исследованиях Al-Kazwini A.T. et. al. [9], применен метод испытаний с объемом затяжки 530 мл и массой пробы 22 г. Для исключения влияния угля на состав аэрозоля, в соответствии с ISO 22486, используется электрический нагрев при температуре до 280°C, т.е., ниже, чем температура при нагревании углем, что приводит к получению сравнительно низких показателей содержания веществ аэрозоля [12].

Для корректного сбора влажного конденсата, и, соответственно, определения содержания никотина в аэрозоле, актуальной задачей является установление оптимальной массы пробы для испытаний табака для кальяна, зависящей, главным образом, от конструктивных особенностей КС при традиционном нагреве.

Сбор влажного конденсата проводился в ловушку с фильтром из стекловолокна (CFP) диаметром 92 мм [13]. Массу влажного конденсата определяли

гравиметрическим методом в соответствии с ISO 22487. Результаты этих определений в аэрозоле табака для кальяна при изменении величины пробы для испытаний проводились в десятикратной повторности и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты определения массы влажного конденсата в аэрозоле табака для кальяна при изменении массы пробы для испытаний

№	Масса пробы для испытаний, г	Масса влажного конденсата, г	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
1	5,0	1,01	0,17	16,52
2	10,0	1,48	0,29	19,65
3	15,0	1,92	0,27	13,84

Исходя из проведенного анализа таблицы 2, можно сделать вывод, что существует зависимость массы собранного влажного конденсата аэрозоля от массы пробы для испытаний табака для кальяна.

При прокурировании кальянной смеси, происходит переход ее компонентов в аэрозоль, сопровождающийся физическими и химическими процессами. Такой переход происходит через газообразную фазу с последующим процессом конденсации, без протекания реакций пиролиза и пиросинтеза. При этом, необходимо отметить, что табак для кальяна как продукт, представляет неоднородную массу, содержащую компоненты, которые под воздействием температуры не только испаряются, но и меняют свою вязкость. Жидкие компоненты, вследствие конструктивных особенностей чаши для кальяна UPGform, стекают под действием силы тяжести, образуя неизбежные потери. Потери массы табака для кальяна рассчитываются как разница массы чаши с кальянной смесью до и после процесса прокуривания.

Результаты исследований подвержены колебаниям и зависят от условий проведения испытаний, следовательно, необходимо учитывать зависимость массы собранного влажного конденсата и потери массы кальянной смеси при потреблении.

Установлена зависимость ($R^2 = 0,90$ и $R^2 = 0,89$, соответственно) массы влажного конденсата от потерь массы табака для кальяна при проведении исследований с массой пробы 5 и 10 г. (рис. 2-3). Для варианта с массой пробы 15 г (рис. 4) зависимость отсутствует ($R^2 = 0,02$), что обусловлено неоднородным стеканием жидких компонентов в шахту кальяна и, соответственно, отсутствием их перехода в аэрозоль. Кроме того, с увеличением массы пробы увеличивается продолжительность нагрева табака для кальяна. Исходя из полученных данных, при массе пробы 5 и 10 г температура кальянной смеси для генерирования аэрозоля достигается достаточно быстро, и основные потери массы кальянной смеси связаны с переходом компонентов в аэрозоль. При массе пробы 15 г табак для кальяна нагревается медленнее, генерируя аэрозоль и дополнительные потери (стекание компонентов).

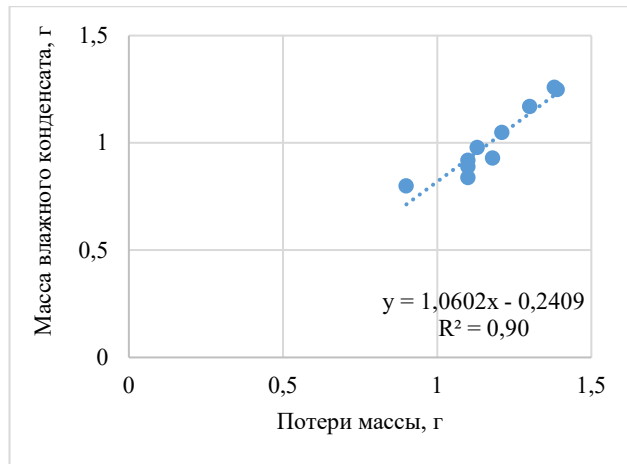


Рисунок 2. Зависимость массы влажного конденсата от потерь массы табака для кальяна при потреблении (проба для испытаний 5 г)

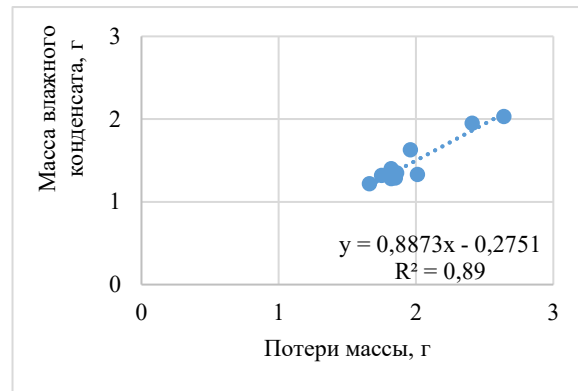


Рисунок 3. Зависимость массы влажного конденсата от потерь массы табака для кальяна при потреблении (проба для испытаний 10 г)

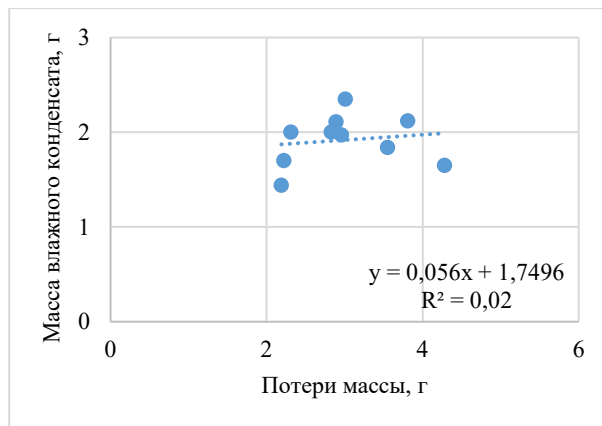


Рисунок 4. Зависимость массы влажного конденсата от потерь массы табака для кальяна при потреблении (проба для испытаний 15 г)

Зависимость потери массы табака для кальяна от массы пробы для испытаний представлена на рисунке 5.

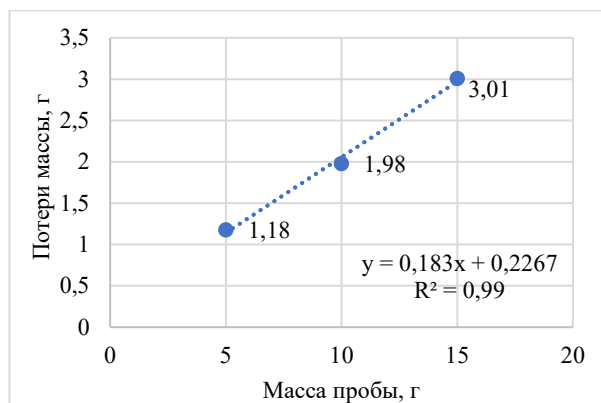


Рисунок 5. Зависимость потери массы табака для кальяна от массы пробы для испытаний

С увеличением массы пробы для испытаний, растут потери массы при генерировании аэрозоля, а также коэффициенты вариации: 12,63% (масса пробы 5 г), 15,62 % (масса пробы 10 г) и 23,22 % (масса пробы 15 г).

Потери массы табака для кальяна, при использовании пробы для испытаний массой 5 г, 10 г и 15 г, имеют близкие значения и составляют порядка 20 %.

Результаты исследований подвержены колебаниям, при этом, точность измерения растет с увеличением массы пробы для испытаний, однако, необходимо учитывать зависимость массы собранного влажного конденсата от потерь массы кальянной смеси при прокурировании. Следовательно, при генерировании аэрозоля табака для кальяна на аналоге специальной курительной машины для кальяна (экспериментальном устройстве RU 212802 U1) [3] и сборе влажного конденсата на СFR-фильтр диаметром 92 мм, оптимальная масса пробы для испытаний составляет 10 г.

Выводы.

Таким образом, в ходе проведения исследований:

Разработаны устройство для сбора влажного конденсата аэрозоля кальянных смесей (патент RU 212802 U1) и методика работы на данном устройстве.

Получены экспериментальные данные по оценке массы влажного конденсата в аэрозоле табака для кальяна при изменении массы пробы. Установлена ее оптимальная масса, которая составляет 10 г.

Определена зависимость массы собранного влажного конденсата от потерь массы табака для кальяна при потреблении.

Литература

1. Lauterbach J.H. A Waterpipe is not a Cigarette, it is not Even a Conventional Pipe // Contributions to Tobacco & Nicotine Research. 2022.Vol. 31. Issue 2. P. 127-129. URL: <https://doi.org/10.2478/cttr-2022-0013> (дата обращения 22.05.24).

2. SPS-Shisha. Smoking machine designed for the smoking of shisha or molasses tobacco. URL: <https://www.cerulean.com/en/solutions/product/spsshisha> (дата обращения 17.04.24).

3. Патент № 212802 U1 /РФ/, МПК А24F 1/30. Устройство для сбора влажного конденсата дыма кальяна/ Е.А. Бубнов, С.В. Гвоздецкая. № 2022102274: заявл. 31.01.2022; опубл. 09.08.2022; URL: <https://patents.google.com/patent/RU212802U1/ru> (дата обращения 22.02.23).

4. Shihadeh A., Azar S., Antonios C., Haddad A. Towards a topographical model of narghile water-pipe café smoking: a pilot study in a high socioeconomic status neighborhood of Beirut, Lebanon // *Pharmacol Biochem Behav.* 2004. Sep;79(1). P.75-82. DOI: 10.1016/j.pbb.2004.06.005. URL: <https://www.aub.edu.lb/msfea/research/Documents/AEROSOL-topography.pdf> (дата обращения 29.09.23).

5. Perraud V., Lawler M.J., Malecha K.T. [et. al.]. Chemical characterization of nanoparticles and volatiles present in mainstream hookah smoke // *Aerosol Science and Technology.* 2019. № 53:9. P. 1023-1039. DOI: 10.1080/02786826.2019.1628342. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1080/02786826.2019.1628342> (дата обращения 06.11.23).

6. Blank M.D., Cobb C.O., Kilgalen B. [et. al.]. Acute effects of waterpipe tobacco smoking: a double-blind, placebo-control study. *Drug Alcohol Dependence.* 2011. Jul 1;116 (1-3). P.102-109. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2010.11.026. Epub 2011 Feb 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21277706/> (дата обращения 13.05.23).

7. Shihadeh A. Investigation of mainstream smoke aerosol of the argileh water pipe // *Food Chem Toxicol.* 2003. Jan;41(1). P.143-152. URL: <https://www.aub.edu.lb/msfea/research/Documents/AEROSOL-argilehpaper1.pdf> (дата обращения 20.12.23).

8. Monn Ch., Kindler P., Meile A., Brändli O. Ultrafine particle emissions from waterpipes // *Tob. Control.* 2007. Dec;16(6). P. 390-393. DOI: 10.1136/tc.2007.021097. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18048615/> (дата обращения 13.06.23).

9. Al-Kazwini A.T., Said A.J. & Sdepanian S. Compartmental analysis of metals in waterpipe smoking technique // *BMC Public Health.* 2015. Vol. 15. P. 153. URL: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-015-1373-6#citeas> (дата обращения 21.12.23).

10. Monzer B., Sepetdjian E., Saliba N., Shihadeh A. Charcoal emissions as a source of CO and carcinogenic PAH in mainstream narghile waterpipe smoke // *Food Chem Toxicol.* 2008. Sep;46(9). P. 2991-5. DOI: 10.1016/j.fct.2008.05.031. Epub 2008 Jun 4. URL: https://www.aub.edu.lb/msfea/research/Documents/AEROSOL-Monzer_et_al_2008.pdf (дата обращения 05.02.24).

11. Ben Taleb Z., Vargas M., Ebrahimi Kalan M. [et. al.]. The effect of flavoured and non-flavoured tobacco on subjective experience, topography and toxicant exposure among waterpipe smokers // *Tob Control.* 2020. Feb;29 (Suppl 2). S.72-79. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31767788/> (дата обращения 10.11.23).

12. Jaccard G., Tabin Djoko D., Korneliou A., Belushkin M. Analysis of waterpipe aerosol constituents in accordance with the ISO standard 22486 // *Toxicol Rep.* 2020. №7. P.1344-1349. DOI: 10.1016/j.toxrep.2020.10.007. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.toxrep.2020.10.007> (дата обращения 13.01.24).

13. Бубнова Н.Н., Шкидюк М.В. Генерация и сбор аэрозоля табака для кальяна // Новые технологии. 2020. Вып. 2(52). С. 20-27. URL: <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10202> (дата обращения 17.01.24).