

УДК 629.2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУХА САЛОНОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Сайкин А. М., доктор технических наук, старший научный сотрудник,
главный специалист Центра интеллектуальных систем
Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ»,
г. Москва, Россия
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Аннотация

Настоящая статья посвящена оценке содержания в воздухе салонов беспилотных транспортных средств на электротяге (БТСЭТ) озона и твердых частиц. Исследования проводились с применением салонных фильтров систем кондиционирования и автономных средств очистки воздуха в салонах в стендовых условиях и при движении автомобилей в реальных условиях эксплуатации. По результатам испытаний сделан вывод о том, что без принятия дополнительных мер по снижению содержания озона и твердых частиц в воздухе салонов беспилотные электромобили и современные транспортные средства нельзя считать «экологически чистыми».

Ключевые слова: беспилотное грузовое транспортное средство, электромобиль, экологическая безопасность, качество воздуха, салонный фильтр, вредные вещества, озон, твердые частицы

RESULTS OF THE STUDIES ON CABINS ENVIRONMENTAL AIR SAFETY OF UNMANNED ELECTRIC VEHICLES

Saykin A. M., doctor of technical sciences, senior researcher,
chief specialist of the Center for Intelligent Systems
Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Motor Institute of the Order
of the Labour Red Banner “NAMI”, Moscow, Russia
E-mail: a.saykin@nami.ru, ec02@bk.ru

Annotation

This article is devoted to the evaluating the content of ozone and particulate matter in the air of the passenger cabins of unmanned electric vehicles (UEVs). The studies have been conducted using cabin filters of air conditioning systems and autonomous means of air purification in the passenger cabins under bench conditions and during vehicle movement under real operating conditions. Based on the test results, it has been concluded that without taking additional measures to

reduce the content of ozone and particulate matter in the air of the passenger compartments, unmanned electric vehicles and modern vehicles cannot be considered "environmentally friendly".

Keywords: unmanned cargo vehicle, electric vehicle, environmental safety, air quality, cabin filter, harmful substances, ozone, and particulate matter

Несмотря на достигнутые успехи по снижению загрязнения окружающей среды, его опасного воздействия на здоровье населения, по улучшению экологической и дорожной безопасности, все типы современных транспортных средств (ТС) продолжают оставаться опасными для здоровья населения.

Значительная часть городского населения, особенно наиболее развитых стран мира, подвержена вредному воздействию наиболее опасных загрязнителей атмосферы – тонких частиц, озона, оксидов азота, формальдегида и других вредных веществ (ВВ), концентрации которых в воздухе близки или превышают уровни, рекомендованные Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Так, например, по данным ВОЗ [1], доля жителей Евросоюза, проживающих в регионах с превышением рекомендованных ВОЗ уровней загрязнения воздуха по озону, – 90-98 %, по тонким частицам $PM_{2,5}$ и PM_{10} составляет 80-95 % и 60-85 % соответственно, по диоксиду азота NO_2 – 8-12 %. Загрязнение воздуха является основной причиной преждевременной смертности: в мире количество смертельных исходов превышает 500 000 случаев (включая Северную Америку), в Канаде – 20 000 случаев, в США воздействие загрязненного воздуха является причиной каждой 20-й смерти. В Северной Америке 18 % населения проживает в районах с загрязнением, превышающим национальные стандарты качества воздуха, 28 % канадцев проживают на территориях, где концентрация приземного озона превышает стандарты качества воздуха.

По данным ВОЗ, в Европе экономические затраты в результате преждевременных смертей оцениваются в сумму около 1 триллиона евро, а из-за болезней, на госпитализацию и покупку лекарств расходуется еще 100 миллиардов евро. Экономический ущерб, причиняемый выращиванию пшеницы, ежегодно достигает 4,6 миллиарда евро, ущерб, причиняемый материальным объектам и культурному наследию в Европе, оценивается в 2 миллиарда евро в год.

Из многочисленных вредных веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, основными загрязнителями воздушной среды и наиболее опасными для здоровья населения, по данным ВОЗ, являются озон и тонкие твердые частицы.

Перспективные транспортные средства, такие как электромобили, беспилотные ТС и тем более беспилотные электромобили, принято считать наиболее эффективным решением задачи повышения экологической безопасности окружающей среды. Однако принимаемые мировым сообществом (ЕЭК ООН, ВОЗ, комитетом по внутреннему транспорту ЕЭК ООН, международными, национальными и отраслевыми организациями, институтами и предприятиями и др.) меры, например, по внедрению беспилотных электромобилей, не достаточны для обеспечения экологической безопасности населения и окружающей среды. В рамках предпринимаемых технических решений на основе действующих и разрабатываемых регламентов по экологической безопасности ТС у беспилотных электромобилей не могут быть устранены следующие основные недостатки:

- пассажиры беспилотных электромобилей не защищены в должной мере от опасного воздействия вредных веществ в салонах, поступающих из наружного воздуха над проезжей частью дорог и выделяемых из материалов внутреннего интерьера;
- беспилотные электромобили будут оставаться одним из основных источников выбросов в атмосферу опасных для здоровья твердых частиц в виде продуктов износа шин, дорожного полотна, сцеплений, тормозных механизмов;
- источниками поступления в воздух салонов ТС вредных веществ, в первую очередь озона и тонких твердых частиц (ТЧ), также являются климатические условия

(естественное содержание озона в атмосфере, как правило, повышенное и может превышать гигиенические нормативы).

Настоящая работа посвящена оценке концентраций озона и тонких твердых частиц в воздухе салона беспилотного электромобиля.

Важно отметить следующие обстоятельства рассматриваемой проблемы.

Загрязнение салонов ТС происходит в результате поступления вредных веществ из загрязненного воздуха над проезжей частью дорог, которое происходит в результате выброса в атмосферу отработавших газов ДВС, продуктов износа: шин, дорожного полотна, сцеплений, тормозных механизмов, а также в результате выделения ВВ из материалов внутреннего интерьера салонов и химических реакций между химическими элементами, происходящими в воздухе салонов. Содержание ВВ в воздухе салонов ТС может многократно, до 10 и более раз, превышать фоновые концентрации ВВ в атмосферном воздухе (рисунок 1). Важно отметить фактор загрязнения наружного воздуха и воздуха в салонах озоном (O_3), являющимся одним из наиболее опасных ВВ, который относится к вредным веществам 1-го класса опасности.

При сверхнормативном загрязнении воздуха дозы ВВ, вдыхаемые водителями и пассажирами в салонах ТС за время 1-2-х часов, могут превосходить по величине дозы ВВ, вдыхаемые ими в остальное время суток вне автомобиля. Особенно опасно для здоровья загрязнение воздуха в салонах для профессиональных водителей, находящихся в ТС 8 и более часов.

Вся идеология по улучшению экологической безопасности ТС в РФ и за рубежом до настоящего времени формировалась, в основном, путем снижения загрязнения воздуха в салонах оксидами азота, оксидом углерода, дисперсными частицами (без выделения из них тонких ТЧ), углеводородами. Учитывая изложенное, при сохранении сложившихся подходов по улучшению экологической безопасности воздуха салонов без учета озона и тонких ТЧ, все типы ТС, включая перспективные, будут оставаться «экологически опасными».

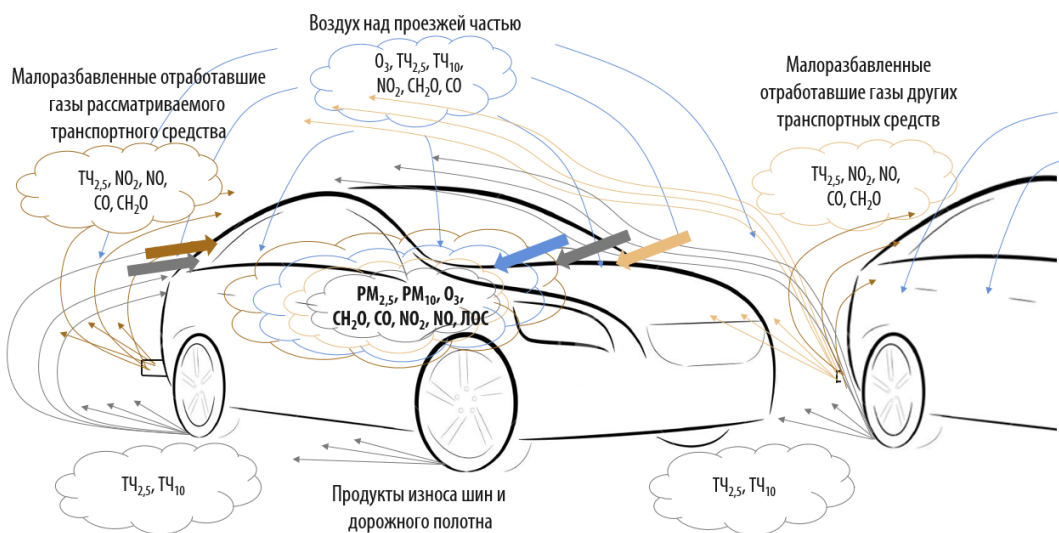


Рисунок 1. Основные источники загрязнения воздуха в салонах ТС:

$TЧ_{10}$ – твердые частицы с диаметром менее 10 мкм; $TЧ_{2,5}$ – твердые частицы с диаметром менее 2,5 мкм; NO_2 – диоксид азота; NO – оксид азота;

O_3 – озон; CO – оксид углерода; CH_2O – формальдегид;

ЛОС – летучие органические соединения

Исследования по снижению загрязнения воздуха проводились в салоне беспилотного электромобиля ВАЗ 1117 КАЛИНА в кузове типа универсал. Данный БТСЭТ (рисунок 2) включал тяговый модуль, систему накопления электроэнергии БТСЭТ, систему управления

движением, систему кондиционирования с салонным фильтром, систему очистки и раздачи воздуха в салоне (рисунок 3).



Рисунок 2. Внешний вид БТСЭТ

Испытания проводились в стендовых условиях и при движении автомобилей в реальных условиях эксплуатации. Стендовые испытания БЭ проводились в закрытом герметичном боксе в следующей последовательности.



Рисунок 3. Компоновка системы очистки воздуха в багажном отсеке БТСЭТ

В стендовых условиях бокс, в котором проводились испытания, был максимально загерметизирован. Для этого были закрыты все окна, двери, вентиляционные отверстия. Внутри салона БТСЭТ были установлены: опытный образец автономной системы очистки воздуха (СОВ); газоанализатор озона – Элан О₃ (диапазон измерений 0-1 мг/м³; в диапазоне 0-0,1 мг/м³ погрешность $\pm 0,02$ мг/м³; в диапазоне 0,1-1 мг/м³ погрешность 20 %); счетчик частиц Lighthouse Handheld 3016 (диапазон измерений 0,3-25 мкм; погрешность не более 5 %); газоанализатор оксида углерода Элан СО – 50 (диапазон измерений 0-50 мг/м³; в диапазоне 0-3 мг/м³ погрешность $\pm 0,6$ мг/м³; в диапазоне 3-50 мг/м³ погрешность 20 %).

В начале испытаний воздух внутри бокса загрязнялся отработавшими газами рядом стоящего автомобиля до уровня загрязнения, в 6 раз превосходящего максимальную разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК_{мр}) по СО. После этого все окна, двери, форточки, вентиляционные люки салона БТСЭТ были закрыты, система кондиционирования выключена, система внутренней рециркуляции выключена, система отопления выключена. Измерение концентраций озона проводилось каждые 3 минуты, пылемер автоматически вел подсчет твердых частиц (ТЧ) в течение 1 минуты, пересчитывал их количество на метр кубический прокачанного воздуха и сохранял данные о количестве частиц. Было проведено 3 испытания: при работе СОВ в режиме максимального расхода воздуха, при работе СОВ в режиме минимального расхода воздуха и при выключенной СОВ.

При испытаниях в условиях эксплуатации измерение количества частиц и озона в воздухе салона автомобиля проводилось при движении по заданному маршруту.

Результаты испытаний по изменению содержания озона и ТЧ в воздухе салона испытуемого БЭ представлены ниже.

Динамика изменения содержания озона в воздухе салона БТСЭТ, полученная при испытаниях по вышеизложенной методике при работе системы очистки воздуха (СОВ) с максимальной производительностью (промежуток времени от 15 до 24 минут) и с минимальной производительностью (промежуток времени от 50 до 63 минут), представлена на рисунке 4. В промежутке времени от 33 до 48 минут СОВ была выключена, измерения содержания озона и ТЧ проводились также по выше изложенной методике.

Из данных рисунка 4 следует, что в замкнутом неветилируемом салоне содержание озона в воздухе падает естественным путем (в промежутке времени от 33 до 48 минут) при выключенной системе кондиционирования и более интенсивно – при работе системы очистки воздуха с максимальной производительностью в режиме рециркуляции (промежуток времени от 15 до 24 минут).

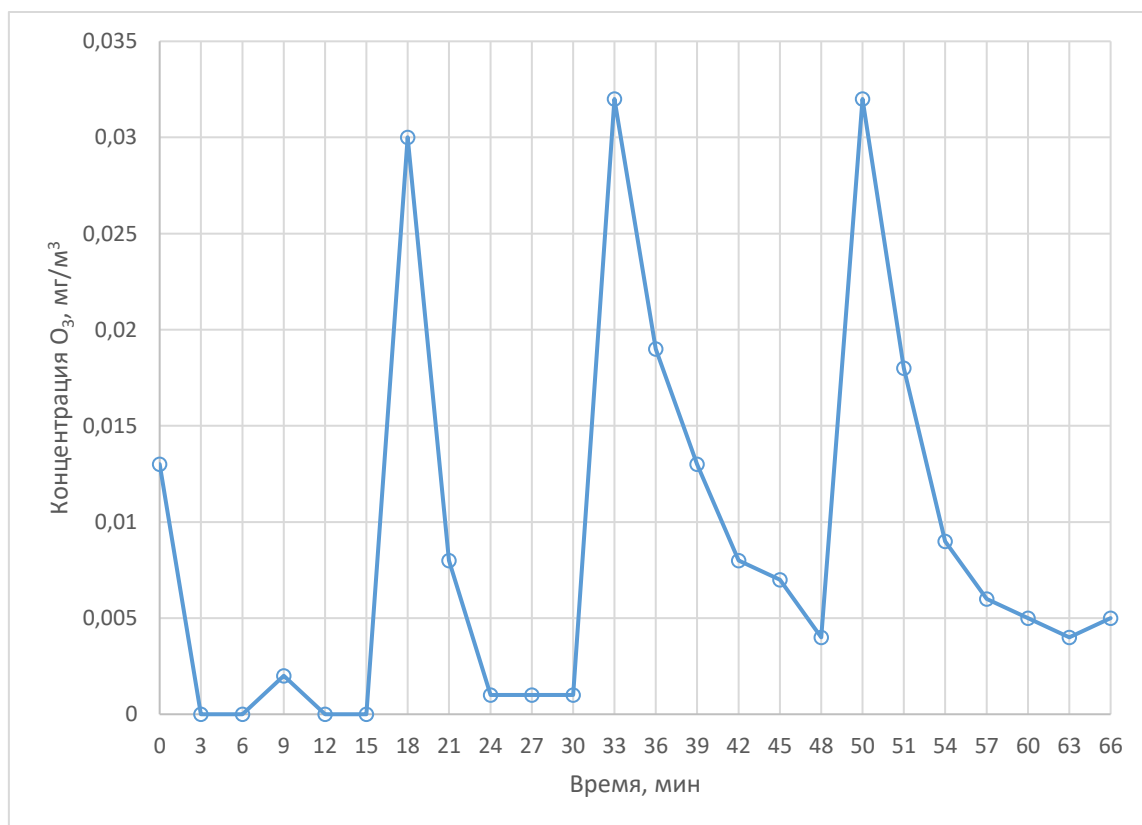


Рисунок 4. Динамика изменения концентрации озона в воздухе салона БТСЭТ

Снижение концентрации озона естественным путем происходит в результате нескольких процессов. Во-первых, это кинетический распад озона. При условиях проведения испытаний этот процесс может происходить по следующим реакциям:



Константа скорости первой реакции в 561 раз больше, чем константа скорости второй реакции [2], поэтому при расчетах времени уменьшения концентрации озона можно учитывать только первую реакцию.

В процессе испытаний было достигнуто максимальное уменьшение концентрации озона в воздухе салона на 87,5 %. При начальной концентрации оксида азота, сравнимой с начальной концентрацией озона, расчетное уменьшение концентрации озона происходит за 17 минут. Вместе с тем в ходе эксперимента концентрация озона снизилась до 12,5 % от начальной концентрации за 6 минут. Следовательно, в салоне автомобиля имеют место и другие механизмы распада озона.

Существенный вклад в снижение концентрации вносит разложение озона на активированном угле в блоке очистки СОВ. Это подтверждается и литературными данными [3]. Была исследована способность нескольких фильтрующих материалов снижать содержание озона в потоке воздуха. Испытывался фильтр из пурафила (перманганата калия и оксида алюминия), активированного угля и гофрированного фильтра из стекловолокна. Эффективность активированного угля оказалась самой высокой – такой фильтр снижал концентрацию озона в потоке на 95 % при скорости потока воздуха через фильтр до 91 м/мин. Фильтр из пурафила снижал концентрацию озона в воздухе примерно в 2 раза при минимальной скорости потока – 15 м/мин. При большей скорости воздушного потока его эффективность значительно снижалась. Фильтр же из стекловолокна показал нулевую эффективность очистки воздуха от озона [3].

При аналогичных исследованиях скорость разложения озона в жилых помещениях была прямо пропорциональной по отношению площади поверхности помещения к его объему. Более того, концентрация озона уменьшалась экспоненциально при активном перемешивании воздуха в помещении [3].

Из этой же публикации [3] известны результаты изучения скорости разложения озона на поверхности различных материалов. Их ранжирование в порядке убывания скорости разложения озона на поверхности следующее: хлопок, овечья шерсть, синтетический каучук, фанера (1 сторона лакированная), нейлон, полиэтилен, лен, акриловый пластик, алюминий, стекло. При этом изучено снижение скорости разложения озона, называемое эффектом старения, для перечисленных материалов: хлопок в 7,4 раза, овечья шерсть в 26 раз, синтетический каучук в 6 раз, фанера (1 сторона лакированная) в 6 раз, нейлон в 63 раза, полиэтилен в 2,4 раза, лен в 1,73 раза, акриловый пластик в 12 раз, алюминий в 2 раза, стекло в 2 раза [3]. С учетом изложенного, можно сделать вывод, что материалы, используемые для отделки интерьеров салонов ТС, также могут вносить вклад в разложение озона.

Кроме вышеописанных процессов на концентрацию озона влияет фотохимический распад озона. Такой распад происходит при поглощении ультрафиолетовой радиации в полосе частот 240-320 нм [4-6]. Однако в воздухе салона автомобиля фотохимическим распадом озона можно пренебречь, так как автомобильные стекла полностью блокируют ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн, необходимых для разложения озона [6].

На рисунке 5 приведены данные по изменению концентрации озона в воздухе салона автомобиля при испытаниях в условиях эксплуатации ТС, оснащенного серийным салонным фильтром системы кондиционирования из нетканого синтетического волокна. Представлены данные 7 поездок ТС с разными режимами расхода воздуха у системы кондиционирования: три на режиме 3, одна на режиме 1, одна на режиме 4, одна на режиме 6 (все – при подаче приточного воздуха) и одна при работе в режиме рециркуляции. Из представленных данных

следует, что салонный фильтр не снижает содержания озона в воздухе: концентрация озона в воздухе салона высокая и почти всегда превышает среднесуточную предельно допустимую концентрацию (ПДК_{сс}), кратковременно достигая значения в 10 ПДК_{сс}.

В процессе испытаний (рисунок 5) установлено существенное снижение концентрации озона в воздухе салона при работе системы вентиляции в режиме рециркуляции. В данном случае снижение концентрации озона можно объяснить его взаимодействием с оксидом азота, разложением на материалах интерьера салона автомобиля и в результате активного перемешивания воздуха в объеме салона.

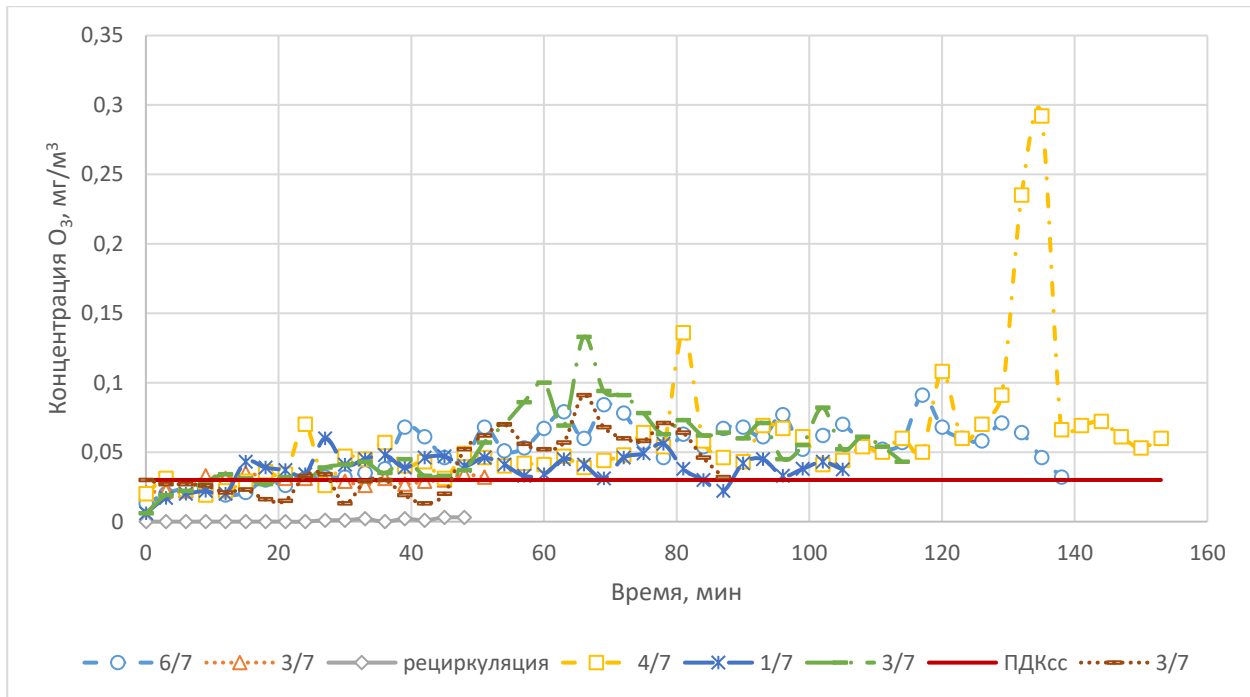


Рисунок 5. Динамика изменения концентрации озона в воздухе салона автомобиля при работе системы вентиляции на различных режимах

При испытаниях по выше изложенной методике в условиях бокса СОВ в промежутке времени от 1 до 38 минут работала с максимальной производительностью, в промежутке времени с 55 до 68 минут СОВ работала с минимальной производительностью, в промежутке времени с 40 до 55 минут СОВ была выключена. После завершения испытаний СОВ на каждом режиме открывались двери автомобиля для повторного повышения концентрации ТЧ в воздухе салона. Также двери салона открывались на 20 и 46 минуте испытаний по организационным потребностям. Результаты и измерения очистки воздуха в салоне автомобиля от ТЧ с помощью СОВ представлены на рисунке 6. В частности, с помощью СОВ достигнуто снижение концентрации тонких ТЧ диаметром 0-0,3 мкм на 73 %, диаметром 0,3-0,5 мкм на 72 %, диаметром 0,5-1 мкм на 83 %, диаметром 1-5 мкм на 98 %, диаметром 5-10 мкм на 98 % при работе СОВ с минимальной производительностью.

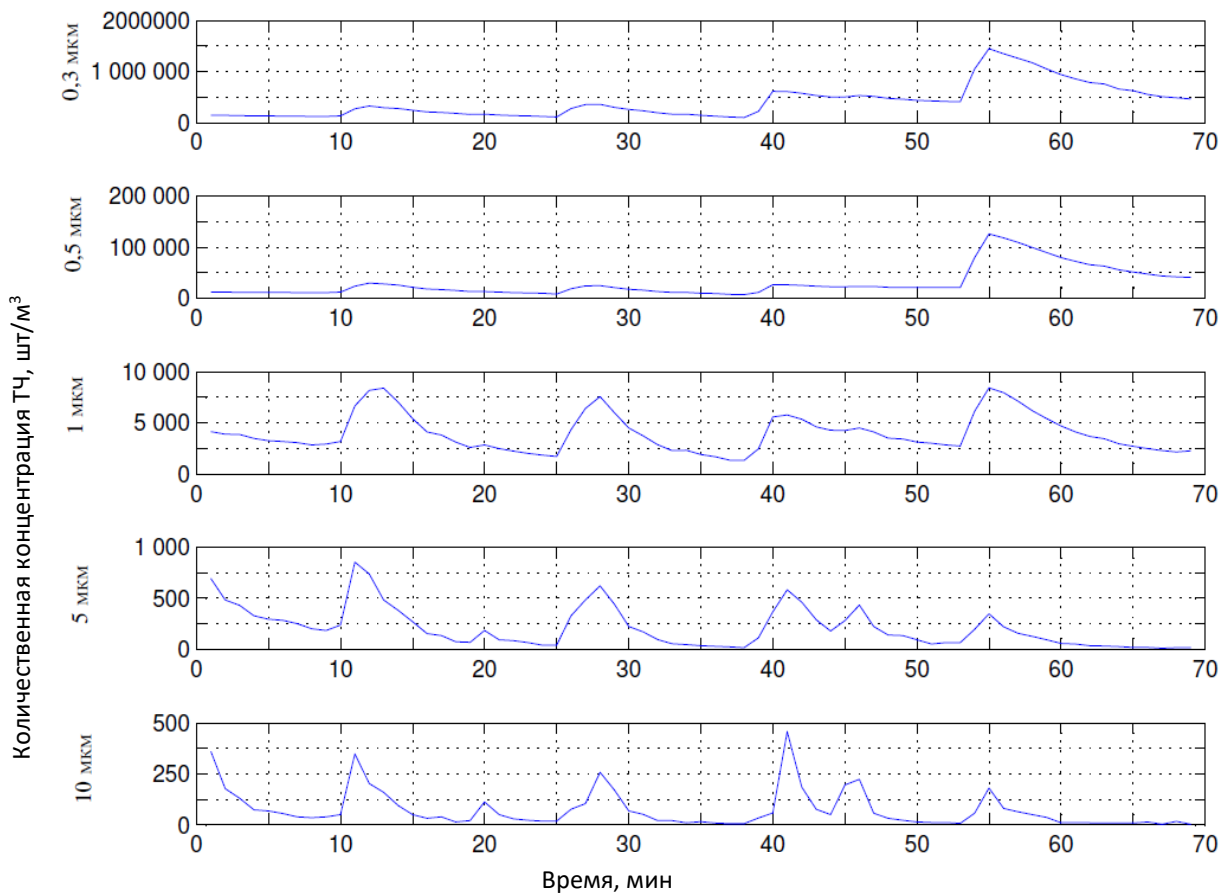


Рисунок 6. Динамика изменения концентрации частиц различного диаметра при испытаниях СОВ

Дополнительно в условиях эксплуатации с низкой интенсивностью движения транспортных средств проведено измерение содержания ТЧ разного диаметра в воздухе салона легкового автомобиля при работе системы кондиционирования со штатным заводским салонным фильтром (рисунок 7).

Из данных рисунка 7 следует, что концентрация более тонких ТЧ (с диаметром 0-0,3 и 0,3-0,5 мкм) в воздухе салона в процессе движения увеличивается. За 20-минутную поездку концентрация тонких ТЧ в воздухе увеличилась в 1,5 раза. Таким образом, штатный салонный фильтр не эффективен по отношению к тонким ТЧ.

В свою очередь, концентрация более крупных частиц (с диаметром 0,5-1; 1-5; 5-10 мкм) колеблется около начального значения или даже снижается. Это происходит из-за высокой эффективности салонного фильтра в отношении крупных ТЧ и того, что более крупные частицы (диаметром более 5 мкм) быстрее оседают на материалах интерьера салона автомобиля.

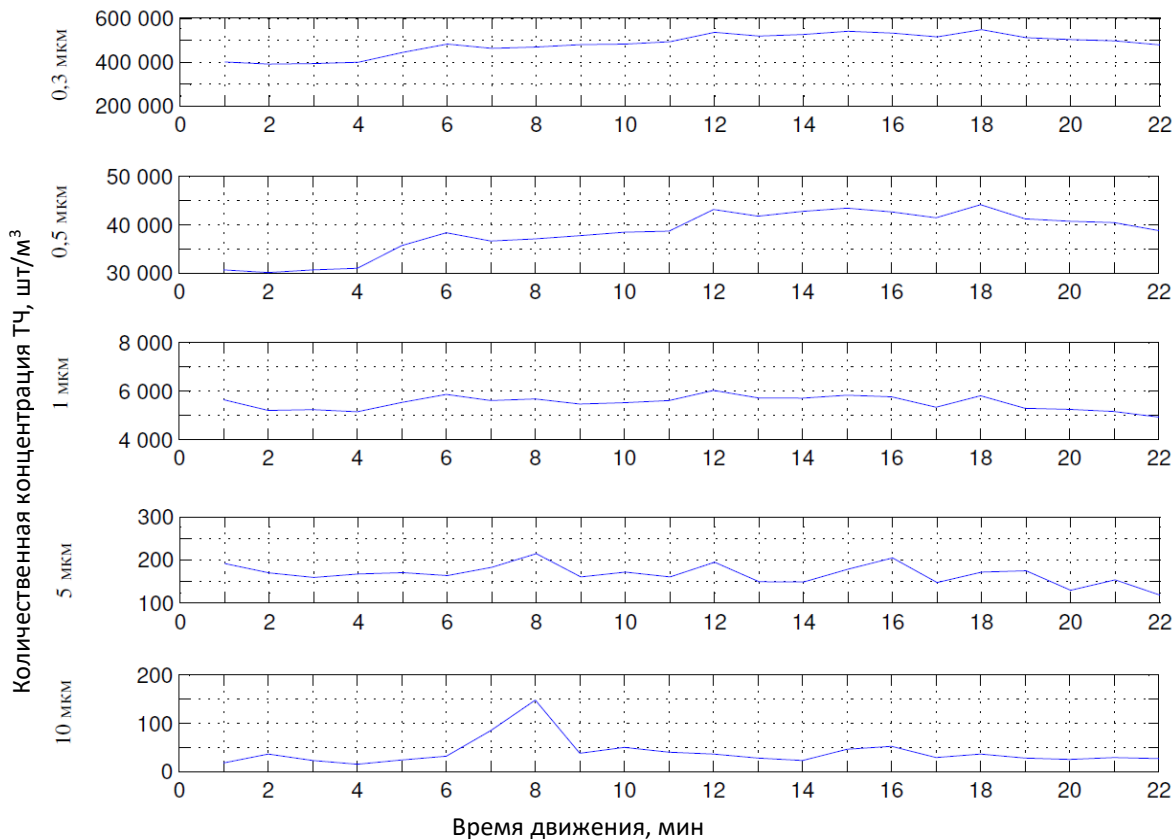


Рисунок 7. Динамика изменения концентрации твердых частиц разного диаметра в воздухе салона автомобиля в условиях эксплуатации

В настоящей статье не рассматривались результаты исследований содержания в воздухе салона беспилотного электромобиля таких нормируемых вредных веществ, как оксиды азота, оксид углерода, формальдегид, суммарные углеводороды. Это отдельная тема. Их содержание в условиях эксплуатации в воздухе салона беспилотного электромобиля, равно как и всех современных ТС, также может быть высоким. Но, в соответствии с нормативными стандартами и требованиями Всемирной организации здравоохранения [1], перечисленные ВВ в сравнении с озоном и тонкими ТЧ относятся к категории менее классов опасности [7], содержание их в воздухе салонов ТС и в атмосферном воздухе городов во всем мире менее критично.

Из представленных результатов испытаний можно сделать следующие выводы:

- Приоритетными загрязнителями воздуха в салонах беспилотных электромобилей являются озон и тонкие твердые частицы, снижение содержания которых не предусмотрено современной нормативной документацией. Содержание озона и твердых частиц в воздухе салона беспилотного электромобиля в условиях эксплуатации может превышать гигиенические нормативы.
- Установлено, что штатный салонный фильтр не эффективен по отношению к озону и к наиболее опасным для человека тонким ТЧ. В свою очередь, опытные образцы автономных систем очистки воздуха обеспечивают очистку воздуха в салонах по озону и тонким ТЧ до уровня ниже гигиенических нормативов и требований ВОЗ.
- Без принятия мер по снижению содержания озона и твердых частиц в воздухе салонов перспективные беспилотные электромобили, равно как и всех современные типы ТС, нельзя считать «экологически чистыми».

- Для обеспечения «экологической безопасности» перспективных и современных ТС требуется проведение работ по совершенствованию нормативной базы и разработке технических решений по снижению концентраций озона и тонких ТЧ в воздухе салонов до уровней гигиенических стандартов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Maas, R., P. Grennfelt (eds), 2016, Towards Cleaner Air: Scientific Assessment Report 2016. EMEP Steering Body and Working Group on Effects of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Oslo. 70 pp.
2. A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling / Gery M. W. [et al.] // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1989. Т. 94. № D10. P. 12925-12956.
3. Sabersky R. H., Sinema D. A., Shair F. H. Concentrations, decay rates, and removal of ozone and their relation to establishing clean indoor air // Environmental Science & Technology. 1973. Т. 7. № 4. P. 347-353.
4. Wachowski L., Kirszensztejn P., Foltynowicz Z. Ecological replacements of ozone-depleting substances // Polish Journal of Environmental Studies. 2001. Т. 10. № 6. P. 415-436.
5. Kerr J. B., McElroy C. T. Evidence for large upward trends of ultraviolet-B radiation linked to ozone depletion // Science (Washington). 1993. Т. 262. № 5136. P. 1032-1034.
6. Tuchinda C., Srivannaboon S., Lim H. W. Photoprotection by window glass, automobile glass, and sunglasses // Journal of the American Academy of Dermatology. 2006. Т. 54. № 5. P. 845-854.
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865554> (дата обращения: 11.08.25)