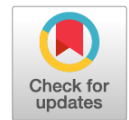


DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-100336>

Оригинальное исследование



Методика определения кратности воздухообмена по концентрации углекислого газа в воздухе салона транспортного средства

Е.А. Якунова

Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ», Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Пассажиры транспортного средства (ТС) могут подвергаться воздействию высоких концентраций вредных веществ (ВВ), особенно в плотных транспортных потоках и в пробках. Кратность воздухообмена является важным фактором при оценке уровня воздействия загрязняющих веществ на людей, находящихся внутри ТС.

Цель работы – разработка методики определения кратности воздухообмена по нарастанию концентрации углекислого газа в воздухе салона ТС.

Материалы и методы. Представленная методика позволяет определять кратность воздухообмена как в стационарном состоянии ТС, так и при его движении с постоянной скоростью. Была проведена серия экспериментов, в которых была определена кратность воздухообмена салона неподвижного ТС и при его движении на скорости 30 км/ч, 60 км/ч, 90 км/ч. На каждом скоростном режиме определялась кратность воздухообмена для трех режимов работы системы кондиционирования: подача приточного воздуха, режим рециркуляции, система кондиционирования выключена.

Результаты. По результатам измерений кратность воздухообмена изменялась в пределах от 0,42 ч⁻¹ до 76,17 ч⁻¹.

Заключение. Результаты исследования соответствуют результатам, полученным ранее другими авторами, использующими альтернативные методики, и могут быть использованы при разработке нормативов для контроля воздействия загрязняющих веществ на людей в салонах ТС и при формировании стратегии охраны здоровья населения.

Ключевые слова: транспортное средство; герметичность салона; кратность воздухообмена; концентрация; углекислый газ; система кондиционирования.

Для цитирования:

Якунова Е.А. Методика определения кратности воздухообмена по концентрации углекислого газа в воздухе салона транспортного средства // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 4. С. 311–318. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-100336>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-100336>

Original Study Article

The air exchange rate measuring method by the concentration of carbon dioxide in the vehicle cabin air

Elena A. Yakunova

Central Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute NAMI, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Vehicle passengers may be exposed to high concentrations of hazardous substances, especially in heavy traffic and traffic jams. The air exchange rate is an important factor in assessment of the level of pollutant substances exposure on the people inside the vehicle.

AIMS: Development of the air exchange rate measuring method, based on carbon dioxide concentration build-up in the vehicle cabin air.

MATERIALS AND METHODS: The presented method makes possible to determine the air exchange rate in a stationary vehicle or vehicle, moving with constant velocity. The set of experiments was carried out, in which the air exchange rate was determined in a stationary vehicle and in a moving vehicle at velocities of 30, 60 and 90 km/h. For each velocity, the air exchange rate was determined for three air conditioning system modes, such as intake air supply, recirculation mode and air conditioning system off.

RESULTS: According to the results of measurements, the air exchange rate varied from 0.42 h⁻¹ to 76.17 h⁻¹.

CONCLUSIONS: The study results corresponds to the results, obtained earlier by other authors, using alternative methods, and may be used for development of regulatory requirements to control the pollutant substances exposure on the people inside vehicle cabins and for the people healthcare strategy formation.

Keywords: vehicle; cabin tightness; air exchange rate; concentration, carbon dioxide; air conditioning system.

Cite as:

Yakunova EA. The air exchange rate measuring method by the concentration of carbon dioxide in the vehicle cabin air. *Izvestiya MG TU «MAMI»*. 2022;16(4):311–318. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-100336>

Received: 08.02.2022

Accepted: 24.05.2022

Published online: 15.12.2022

ВВЕДЕНИЕ

Транспортные средства и промышленные выбросы являются основными источниками загрязнения воздуха городов, поэтому водители и пассажиры подвергаются опасному воздействию вредных веществ (ВВ), содержащихся в воздухе салонов ТС [1–5]. ВВ вызывают астму, обострение респираторных заболеваний, сердечно-сосудистых заболеваний, появление воспалительных маркеров в крови, рак легких и тем самым увеличивают уровень смертности населения [2, 3].

Ежедневно каждый житель США проводит примерно 80 минут внутри ТС [6]. На концентрацию ВВ в воздухе салонов ТС основное влияние оказывают режимы работы систем кондиционирования, дистанции между автомобилями, скорости движения ТС, возраст и тип ТС, кратность воздухообмена салонов, загруженность дорог и наличие тоннелей по маршрутам движения [2–5, 7].

Таким образом, кратность воздухообмена является существенным фактором, влияющим на загрязнение воздуха внутри салонов ТС. Воздухообмен между салоном автомобиля и окружающей средой осуществляется через систему кондиционирования, а также в результате конструктивных и технологических неплотностей кузовов ТС, в том числе дверей и окон.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования была разработка методики определения кратности воздухообмена салона, позволяющей, в отличие от аналогов, тестировать все эксплуатационные режимы работы ТС, а также отличающейся высокой точностью, простотой и воспроизводимостью при ее реализации, не требующей применения специального испытательного оборудования (за исключением газоанализатора на углекислый газ).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кратность воздухообмена салона зависит от настроек работы системы кондиционирования (климат-контроля) и степени герметичности кузова ТС. Герметичность кузова постоянно совершенствуется, поэтому необходим объективный критерий, позволяющий оценивать эффективность мероприятий, направленных на ее улучшение, а также для сравнения герметичности кузовов различных моделей ТС.

Известно два нормативных документа, в которых представлены методики определения герметичности салонов ТС. Одним из них является отечественный ГОСТ 24054-80 «Методы испытаний на герметичность» [8], а вторым – зарубежный ISO 20484:2017 «Non-destructive testing – Leak testing» (Неп разрушающий контроль – Проверка герметичности) [9].

Согласно пункту 1.2 ГОСТ 24054-80 степень герметичности может характеризоваться, например, объемом газа, прошедшего через салон ТС, или падением давления воздуха в нем за единицу времени.

Для ТС в настоящее время наиболее применяемым способом измерения герметичности салонов ТС является измерение расхода воздуха, поступающего в салоны [10]. С помощью указанного способа измерения можно производить оценку как эффективности работ, направленных на улучшение герметичности кузова, так и производить сравнение герметичности кузовов салонов разных моделей ТС. Такая методика приведена в ISO 20484:2017 в пункте 5.1.8 – тест измерения расхода и испытание на герметичность, с помощью которого измеряется расход воздуха, необходимого для поддержания избыточного давления воздуха в салоне. Для проведения испытаний по данной методике разработано оборудование, позволяющее нагнетать воздух в салон через трубу, герметично вмонтированную в накладку, заменяющую стекло одной из дверей ТС. На заводах *GM-AVTOVAZ* и *AURUS* по описанной выше методике производят тестирование герметичности кузовов и автомобилей в сборе [11, 12]. Ее недостатками являются необходимость наличия специального оборудования и подготовки собственно автомобиля для проведения стендовых испытаний, а также возможность изменения кратности воздухообмена в салоне только для неподвижного автомобиля.

В статье [13] описана методика определения воздухообмена по снижению концентрации CO_2 с максимального уровня, полученного при подаче газа из специальных емкостей – капсул. В соответствии с данной методикой после достижения максимального уровня концентрация газа уменьшается по экспоненте до достижения равновесного значения. Концентрация CO_2 в салоне автомобиля при выпуске газа намного выше его концентрации снаружи автомобиля. Авторы статьи принимают концентрации углекислого газа снаружи автомобиля и выделенного в процессе дыхания людей, проводящих испытания, равными нулю.

По данной методике проводились эксперименты для определения скорости воздухообмена трех автомобилей: *Peugeot RD*, *Peugeot 206* и *Kia Pride* [13]. Параметрами испытаний были скорости движения 60, 75 и 90 км/ч, а также скорости работы вентилятора системы кондиционирования минимальная, средняя, максимальная. Полученные кратности воздухообмена варьировались в пределах от 7 до 46 ч⁻¹. Необходимо отметить, что кратность воздухообмена у разных моделей автомобилей при одинаковых условиях испытаний отличалась до нескольких раз.

Недостатком данной методики является сложность и длительность проведения дорожных испытаний.

Авторы статьи [14] определили кратность воздухообмена 59 автомобилей, среди которых были *Honda Civic 2010*, *Toyota Prius 2010*, *Ford Escort 2001*,

Ford Contour 2001, Hyundai Bantra 2011, Chevy Colorado 2007, Honda Accord 1993 и другие. Были исследованы три скоростных режима 32, 56 и 89 км/ч, режим работы системы кондиционирования был единый: рециркуляция, скорость вращения вентилятора – средняя. Для меньшей выборки (на восьми автомобилях) авторы провели исследование кратности воздухообмена при работе системы кондиционирования в режиме подачи приточного воздуха при минимальной, средней и максимальной скорости вращения вентилятора. Минимальное значение полученной кратности воздухообмена составило 2 ч^{-1} , максимальное – превышало 100 ч^{-1} .

Однако приведенная в [14] методика практически не может использоваться для определения кратности воздухообмена на неподвижном автомобиле и при движении автомобиля с выключенной системой кондиционирования. Так, например, при испытаниях на этих режимах во время движения для достижения в воздухе салона ТС равновесной концентрации CO_2 требуется время от 30 минут до нескольких часов.

Измерение степени герметичности кузова салона с учетом только расхода через него воздуха не позволяет давать объективную оценку качества воздуха кузовов салонов ТС, имеющих разные по объему салоны. Более объективным критерием оценки герметичности кузова является показатель «кратность воздухообмена» – это отношение расхода воздуха, прошедшего через салон ТС за единицу времени, к объему салона. Использование данного показателя позволяет с большей точностью производить оценку степени герметичности кузовов салонов ТС и сравнивать их между собой.

Описание методики

Исследования кратности воздухообмена салона ТС проводились на автомобиле *Skoda Octavia 2018* года выпуска в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации. При определении кратности воздухообмена неподвижный автомобиль находился на улице в продуваемом месте, не загороженном домами от порывов ветра. Кратность воздухообмена при движении с постоянной скоростью измерялась при движении ТС по мало загруженной дороге с асфальтовым покрытием. Во время экспериментов в салоне ТС находились водитель и пассажир на переднем пассажирском сиденье. Концентрация углекислого газа измерялась на пересечении зон дыхания водителя и пассажира на расстоянии примерно 50 см от голов каждого из них. Для измерения использовался газоанализатор *Testo 315-3* с инфракрасным сенсором, диапазон измерений 0–10 000 ppm, погрешность ± 300 ppm (при значениях 0–4000 ppm), 8% от измеренного значения (при значениях 4000–6000 ppm), ± 500 ppm (при значениях 6000–10 000 ppm), разрешение 10 ppm.

Концентрация CO_2 в воздухе салона увеличивается в результате дыхания пассажиров, находящихся

в салоне. Одновременно за счет негерметичности происходят процессы воздухообмена между салоном и окружающей средой. В салон автомобиля поступает воздух, находящийся снаружи, и через выпускной клапан и неплотности кузова выделяется в атмосферу воздух, находящийся внутри салона. При этом объемы входящего и выходящего из салона воздуха одинаковы, но концентрации CO_2 в воздухе разные.

В ходе экспериментов концентрация CO_2 снаружи оставалась постоянной, что подтверждено замерами в начале и в конце заездов.

При разработке методики используем известное уравнение массового баланса в общем случае [13, 14]. Закон сохранения масс веществ заключается в том, что во всякой замкнутой системе масса вещества остается постоянной, независимо от того, какие изменения претерпевают вещества в этой системе.

$$V_c dC_B = C_{\text{CH}} \dot{V}_{\text{B/O}} dt - C_B \dot{V}_{\text{B/O}} dt + \dot{m}_n dt. \quad (1)$$

В этом уравнении приняты следующие обозначения: V_c – объем салона, м^3 ; C_{CH} – концентрация CO_2 снаружи, $\text{мг}/\text{м}^3$; C_B – концентрация CO_2 внутри салона, $\text{мг}/\text{м}^3$; $\dot{V}_{\text{B/O}}$ – объем воздухообмена, $\text{м}^3/\text{ч}$; $\dot{m}_n = m_{\text{выдоха}}$ – масса выдыхаемого CO_2 , $\text{мг}/\text{ч}$; $\dot{V}_{\text{B/O}}$ – расход воздуха через салон автомобиля в единицу времени, обусловленный его негерметичностью; dC_B – приращение концентрации CO_2 в воздухе салона автомобиля за промежуток времени dt , в течение которого мало относительное изменение правой части равенства (1).

Уравнение массового баланса описывает нарастание концентрации при текущем режиме работы системы вентиляции и скоростном режиме до достижения равновесной концентрации, когда масса выдыхаемого CO_2 равна массе CO_2 , ушедшей за счет воздухообмена салона автомобиля.

В представляемой методике кратность воздухообмена рассчитывается по нарастанию концентрации CO_2 в воздухе салона автомобиля в результате дыхания людей, находящихся в салоне автомобиля.

Разделим уравнение (1) на dt и $\dot{V}_{\text{B/O}}$ (далее для удобства будем использовать обозначение $\dot{V}_{\text{B/O}} = V_{\text{B/O}}$):

$$\frac{V_c}{V_{\text{B/O}}} \frac{dC_B}{dt} = C_{\text{CH}} - C_B + \frac{\dot{m}_n}{V_{\text{B/O}}}. \quad (2)$$

Решением уравнения (2) является функция изменения C_B в зависимости от времени.

$$C_B = C_{\text{CH}} + \frac{\dot{m}_n}{V_{\text{B/O}}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\frac{V_c}{V_{\text{B/O}}}}} \right). \quad (3)$$

Взрослый человек выдыхает в среднем 0,25 л/мин CO_2 – 15 л/час [15]. Перейдем от объема к массе CO_2 .

Объем, который занимает 1 моль любого газа при нормальных условиях, равен 22,4 л. Молярная масса CO_2 44 г/моль. Из этих данных находим, что взрослый человек выдыхает 0,49 г в минуту – 29,4 г/час. Два человека выдыхают 58,8 г/ч, которые являются источником выделения CO_2 в воздух салона при проведении испытаний.

Так как газоанализатор измеряет концентрацию CO_2 в единицах ppm, а выделения источника в воздух салона выражаются в единицах г/ч, необходимо перевести все замеренные значения концентраций из ppm в мг/м³.

По уравнению Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M}RT,$$

где M – молярная масса газа, m – масса газа, T – абсолютная температура в К, R – универсальная газовая постоянная, p – давление, V – объем.

При делении левой и правой частей уравнения на объем, равный 1 м³, в выражении будут присутствовать массовая и объемная концентрации: C_m и C_v .

$$pC_v = \frac{C_m}{M}RT.$$

Выразим массовую концентрацию C_m :

$$C_m = \frac{pC_v M}{RT}.$$

Объем салона испытуемого автомобиля равен 3 м³. Подставим величины выделения CO_2 в воздух салона и объема салона автомобиля в уравнение (3).

По методу наименьших квадратов искомым значением $V_{в/о}$ будет величина, при которой функция суммы квадратов разности экспериментальных и теоретических концентраций будет принимать минимальное значение.

$$F = \sum_0^n \left\{ C_{в/т} - \left[C_{сн} + \frac{58800}{V_{в/о}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{3}} \right) \right] \right\}^2.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании представленной методики кратность воздухообмена определялась на неподвижном автомобиле, а также при его движении с постоянными скоростями 30, 60 и 90 км/ч. В качестве режимов работы системы кондиционирования были заданы: режим рециркуляции, режим подачи приточного воздуха, а также выключенная система кондиционирования. В режимах подачи приточного воздуха и рециркуляции скорость работы вентилятора системы вентиляции задавалась 3-й из 7-ми возможных.

В ходе экспериментов не удавалось четко поддерживать желаемую скорость движения ТС из-за того,

что испытания проводились хотя и на мало загруженной дороге, но все же с другими ТС на дороге. Поэтому скорость движения ТС корректировалась с учетом дорожной ситуации.

Результаты испытаний представлены на рис. 1.

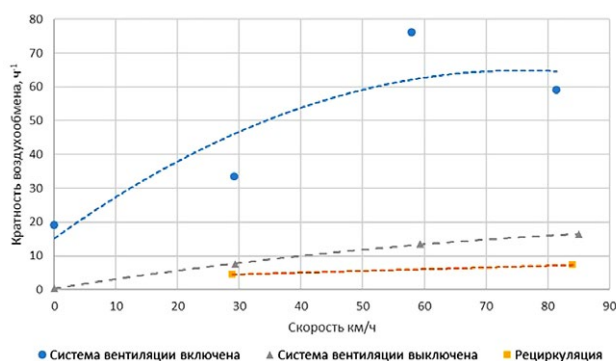


Рис. 1. Изменение кратности воздухообмена в зависимости от скорости движения ТС.

Fig. 1. Change of the air exchange rate depending on vehicle velocity.

При движении автомобиля минимальная кратность воздухообмена была получена для работы системы кондиционирования в режиме рециркуляции, при котором заслонка перекрывает воздухопровод подачи приточного воздуха. Полученные в ходе экспериментов значения кратности воздухообмена составили 4,5 ч⁻¹ при скорости движения 29 км/ч и 7,2 при скорости движения 85 км/ч.

Для выключенной системы вентиляции кратность воздухообмена составила 0,42; 7,57; 13,47; 16,4 ч⁻¹ для движения ТС со скоростями 0; 29,3; 59,2 и 85 км/ч соответственно.

Для режима подачи приточного воздуха кратность воздухообмена составила: 19,1; 33,5; 76,17; 59,07 для движения ТС со скоростями 0; 29,2; 57,9 и 81,4 км/ч соответственно.

Значения кратности воздухообмена в салоне ТС, полученные при применении данной методики, сравнимы с данными экспериментов, проведенных другими исследователями, что подтверждает релевантность описанной методики. Представленная методика позволяет проводить эксперименты в течение 10–20 минут при любых режимах работы системы кондиционирования и любых скоростных режимах ТС. Она совмещает в себе простоту организации и проведения эксперимента. При многократном использовании созданного однажды скрипта для поиска минимума функции суммы квадратов разностей измеренных и расчетных значений методика обеспечивает удобство выполнения расчетов. Погрешность определения кратности воздухообмена при выключенной системе кондиционирования составила 4%, при включенной системе кондиционирования – 22%, при рециркуляции из-за недостаточности экспериментальных точек погрешность не оценивалась.

При сравнении кратностей воздухообмена салонов ТС целесообразно учитывать величины достигаемого избыточного давления воздуха в салонах. Эта величина не является постоянной и варьируется у разных моделей ТС.

Важно отметить, что разрешенным уровнем концентрации CO_2 в закрытых пространствах является величина 1000 *ppm*. Это значение установлено европейским подразделением Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2000 г. [16] и американской ассоциацией инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE) в 1989 г. [17].

При работе системы кондиционирования в режиме подачи приточного воздуха при скорости работы вентиляции 3 из 7 на всех исследованных скоростях, концентрации CO_2 на протяжении всех экспериментов были ниже рекомендованного уровня 1000 *ppm*. При движении с выключенной системой вентиляции порог в 1000 *ppm* преодолевался очень быстро: при движении со скоростью 29,3 км/ч – на четвертой минуте, при движении со скоростью 59,2 – на третьей минуте, при движении со скоростью 85 км/ч – также на третьей минуте. При использовании режима рециркуляции концентрация CO_2 была выше 1000 *ppm* уже на второй минуте при всех скоростях, достигая значений 3170 *ppm* при движении со скоростью 29 км/ч за 20 минут и 2140 *ppm* при движении со скоростью 85 км/ч за 10 минут.

При высокой концентрации CO_2 в воздухе салона водители и пассажиры испытывают следующие симптомы: головная боль, снижение концентрации внимания, боль в глазах и затрудненное дыхание, что может быть опасным при вождении [15]. Поэтому для водителей необходимо оказание помощи в управлении временем работы систем кондиционирования на различных режимах, а для автоматизированных и беспилотных ТС необходима разработка алгоритмов автоматического управления работой систем кондиционирования в зависимости от концентрации CO_2 в воздухе салона ТС.

ВЫВОДЫ

Использование представленной методики не требует проведения специальной подготовки испытуемого ТС и позволяет с высокой точностью определять кратность воздухообмена салонов ТС при работе систем кондиционирования на всех режимах при проведении экспериментов за достаточно короткое время. При применении методики учитываются все значения концентраций,

измеренных в ходе экспериментов, и исключается влияние флуктуаций концентраций, вызванных, например, порывами ветра при обгоне тестируемого автомобиля другим автомобилем.

Предлагаемая методика определения кратности воздухообмена салона ТС является эффективным способом оценки результатов работ по улучшению герметичности кузова и оптимизации режимов работы систем кондиционирования ТС. Она может применяться при разработке рекомендаций по использованию режимов работы системы кондиционирования и лечь в основу разработки алгоритма автоматического регулирования режимов работы системы кондиционирования в зависимости от концентрации CO_2 в салонах ТС.

Для проведения экспериментов по этой методике необходимо только использование газоанализатора для определения концентрации CO_2 в салоне автомобиля. Важным фактором для повышения точности расчетов является поддержание постоянной скорости движения ТС, что легко реализуется в условиях испытательных полигонов.

Методика совмещает в себе простоту и удобство организации и проведения эксперимента, позволяет проводить эксперименты за короткое время, а при многократном использовании созданного однажды скрипта для расчета значений показателей воздухообмена обеспечивает и простоту выполнения расчетов.

Особую благодарность при разработке данной методики выражаю моему научному руководителю, доктору технических наук Сайкину А.М.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Competing interests. The author declares no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. The study was conducted at the author's own expense.

ЛИТЕРАТУРА

1. Matz C.J., Stieb D.M., Egyed M., et al. Evaluation of daily time spent in transportation and traffic-influenced microenvironments by urban Canadians // *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017. Vol. 11, N 2. P. 209–220. doi: 10.1007/s11869-017-0532-6
2. Khreis H., Kelly C., Tate J., et al. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis // *Environment International*. 2017. Vol. 100. P. 1–31. doi: 10.1016/j.envint.2016.11.012

3. Barnes N., Ng T., Ma K., Lai K. In-Cabin Air Quality during Driving and Engine Idling in Air-Conditioned Private Vehicles in Hong Kong // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, N 4. doi: 10.3390/ijerph15040611

4. Saikin A.M., Kozlov A.V., Iakunova E.A. Vehicle interior air quality standards development // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 534, N 1. doi: 10.1088/1757-899x/534/1/012027

5. Saikin A.M., Ter-Mkrtych'yan G.G., Karpukhin K.E., et al. Air quality within vehicles // *Russian Engineering Research*. 2017. Vol. 37, N 5. P. 424–427. doi: 10.3103/s1068798x17050215

6. Sattar S.A., Wright K.E., Zargar B., et al. Airborne Infectious Agents and Other Pollutants in Automobiles for Domestic Use: Potential Health Impacts and Approaches to Risk Mitigation // *Journal of Environmental and Public Health*. 2016. Vol. 2016, N P. 1–12. doi: 10.1155/2016/1548326

7. Shu S., Yu N., Wang Y., Zhu Y. Measuring and modeling air exchange rates inside taxi cabs in Los Angeles, California // *Atmospheric Environment*. 2015. Vol. 122, P. 628–635. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.030

8. ГОСТ 24054-80. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294830/4294830138.pdf> Дата обращения 19.08.2022.

9. www.iso.org [internet]. ISO 20484:2017 Non-destructive testing – Leak testing – Vocabulary. Дата обращения 19.08.2022. Доступ по ссылке: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20484:ed-1:v1:en>

10. Палутин Ю.И. Оценка степени герметичности кузовов автомобилей // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева*. 2011. № 2. С. 120–126.

11. zr.ru [internet]. Полное надувательство: как Шниву проверяют на герметичность. Дата обращения 19.08.2022. Доступ

по ссылке: <https://www.zr.ru/content/articles/910808-polnoe-naduvatelstvo-kak-pro/>

12. tour.aurumotors.com [internet]. Виртуальный мир по производству AURUS. Дата обращения 19.08.2022. Доступ по ссылке: <https://tour.aurumotors.com/>

13. Nayeb Yazdi M., Arhami M., Delavarrafiee M., Ketabchy M. Developing air exchange rate models by evaluating vehicle in-cabin air pollutant exposures in a highway and tunnel setting: case study of Tehran, Iran // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 26, N 1. P. 501–513. doi: 10.1007/s11356-018-3611-9

14. Fruin S.A., Hudda N., Sioutas C., Delfino R.J. Predictive Model for Vehicle Air Exchange Rates Based on a Large, Representative Sample // *Environmental Science & Technology*. 2011. Vol. 45, N 8. P. 3569–3575. doi: 10.1021/es103897u

15. Gladyszewska-Fiedoruk K. Concentrations of carbon dioxide in a car // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2011. Vol. 16, N 2. P. 166–171. doi: 10.1016/j.trd.2010.07.003

16. World Health Organisation. Air Quality Guidelines for Europe, second ed. WHO Regional Office for Europe Copenhagen, European Series, No. 91; Geneva. 2000.

17. ASHRAE, 1989. Standard 62-1989. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Режим доступа: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100T306.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991%20Thru%201994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C91THRU94%5CTXT%5C00000034%5CP100T306.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=10&ZyEntry=1&slide> Дата обращения: 19.08.2022.

REFERENCES

1. Matz C.J., Stieb D.M., Egedy M., et al. Evaluation of daily time spent in transportation and traffic-influenced microenvironments by urban Canadians. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017;11(2):209–220. doi: 10.1007/s11869-017-0532-6
2. Khreis H., Kelly C., Tate J., et al. Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*. 2017;100:1–31. doi: 10.1016/j.envint.2016.11.012
3. Barnes N., Ng T., Ma K., Lai K. In-Cabin Air Quality during Driving and Engine Idling in Air-Conditioned Private Vehicles in Hong Kong. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;15(4). doi: 10.3390/ijerph15040611
4. Saikin A.M., Kozlov A.V., Iakunova E.A. Vehicle interior air quality standards development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;534(1). doi: 10.1088/1757-899x/534/1/012027
5. Saikin A.M., Ter-Mkrtych'yan G.G., Karpukhin K.E., et al. Air quality within vehicles. *Russian Engineering Research*. 2017;37(5):424–427. doi: 10.3103/s1068798x17050215
6. Sattar S.A., Wright K.E., Zargar B., et al. Airborne Infectious Agents and Other Pollutants in Automobiles for Domestic Use: Potential Health Impacts and Approaches to Risk Mitigation. *Journal of Environmental and Public Health*. 2016;2016:1–12. doi: 10.1155/2016/1548326
7. Shu S., Yu N., Wang Y., Zhu Y. Measuring and modeling air exchange rates inside taxi cabs in Los Angeles, California. *Atmospheric Environment*. 2015;122:628–635. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.030
8. ГОСТ 24054-80. Методы испытаний на герметичность. Общие требования. Available from: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294830/4294830138.pdf> (In Russ).
9. www.iso.org [internet]. ISO 20484:2017 Non-destructive testing – Leak testing – Vocabulary. [cited 2022 Aug 19]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20484:ed-1:v1:en>
10. Palutin Yul. Otsenka stepeni germetichnosti kuzovov avtomobilei. *Trudy Nizhegorodskogo gosudar-stvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva*. 2011;(2):120–126. (In Russ).
11. zr.ru [internet]. Polnoe naduvatel'stvo: kak Shnivu proveriyat na germetichnost'. [cited 2022 Aug 19]. Available from: <https://www.zr.ru/content/articles/910808-polnoe-naduvatelstvo-kak-pro/> (In Russ).
12. tour.aurumotors.com [internet]. Virtual'nyi mir po proizvodstvu AURUS. [cited 2022 Aug 19]. Available from: <https://tour.aurumotors.com/> (In Russ).

- 13.** Nayeb Yazdi M, Arhami M, Delavarrafiee M, Ketabchy M. Developing air exchange rate models by evaluating vehicle in-cabin air pollutant exposures in a highway and tunnel setting: case study of Tehran, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;26(1):501–513. doi: 10.1007/s11356-018-3611-9
- 14.** Fruin SA, Hudda N, Sioutas C, Delfino RJ. Predictive Model for Vehicle Air Exchange Rates Based on a Large, Representative Sample. *Environmental Science & Technology*. 2011;45(8):3569–3575. doi: 10.1021/es103897u
- 15.** Gladyszewska-Fiedoruk K. Concentrations of carbon dioxide in a car. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2011;16(2):166–171. doi: 10.1016/j.trd.2010.07.003
- 16.** World Health Organisation. *Air Quality Guidelines for Europe, second ed.* WHO Regional Office for Europe Copenhagen, European Series, No. 91; Geneva: 2000.
- 17.** ASHRAE, 1989. Standard 62-1989. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Available from: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P100T306.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991%20Thru%201994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C91THRU94%5CTXT%5C00000034%5CP100T306.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=10&ZyEntry=1&slide>

ОБ АВТОРЕ

Якунова Елена Александровна,
инженер 1 категории Сектора бесконтактных
и сенсорных систем;
адрес: Российская Федерация, 125438, Москва,
ул. Автомоторная, д. 2;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-0019>;
eLibrary SPIN: 7455-3564;
e-mail: elena.yakunova@nami.ru

AUTHOR'S INFO

Elena A. Yakunova,
First Grade Engineer of the Non-Contact
and Sensor Systems Sector;
address: 2 Avtomotornaya street, Moscow 125438,
Russian Federation;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0558-0019>;
eLibrary SPIN: 7455-3564;
e-mail: elena.yakunova@nami.ru