

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-101415>

Метаанализ



Способы борьбы с запотеванием ветрового стекла автомобиля перед началом движения

В.В. Игнатьев, В.Н. Антошина

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В автомобиле любого типа система вспомогательного оборудования для подогрева и кондиционирования воздуха должна с высокой скоростью, но с минимальными затратами энергии обеспечивать безопасность путем защиты остекления от запотевания, т. к. в условиях недостаточной видимости реакция водителей замедляется, а риск возникновения аварийных ситуаций растет.

Цель. Аналитический обзор современных способов повышения эффективности очистки от конденсата внутренней поверхности ветрового стекла автомобиля для выявления перспективных методов борьбы с запотеванием перед началом движения, экономичных и комфортных для водителя и пассажиров.

Направление исследования: обзор публикаций по проблемам очистки от конденсата и предотвращения запотевания остекления транспортных средств.

Методы. Изучение и анализ материалов по указанному направлению, опубликованных в открытых источниках.

Результаты. Рассмотрены условия образования конденсата на внутренней поверхности остекления транспортных средств. Приведены российские и зарубежные нормативные документы, содержащие требования к процедуре очистки от запотевания с поверхности ветрового стекла. Рассмотрены особенности осушения воздуха в салоне электромобилей и автомобилей с ДВС и различные способы обогрева внутренней поверхности ветрового стекла.

Заключение. Эффективность очистки ветрового стекла от конденсата можно значительно повысить путем сочетания следующих способов: а) придание внутренней поверхности остекления гидрофобных свойств; б) оптимизация конструкции дефростера с целью обеспечения подачи на стекло потока воздуха с минимальной потерей давления, максимальной выходной массой, высокой скоростью и равномерным распределением струй по поверхности критически важных зон обзора; в) применение закаленных ветровых стекол с прозрачным электропроводящим слоем; г) осушение воздуха в салоне автомобиля. В настоящее время продолжается поиск экономичных методов обогрева ветрового стекла и осушения воздуха салона в режиме рециркуляции не только для электромобилей, но и для машин с ДВС, работающих в условиях отрицательных температур наружного воздуха.

Ключевые слова: ветровое стекло; гидрофобное стекло; дефростер; запотевание; конденсат; климат-контроль; поверхностная конденсация; точка росы; электрообогрев стекла.

Для цитирования:

Игнатьев В.В., Антошина В.Н. Способы борьбы с запотеванием ветрового стекла автомобиля перед началом движения // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Т. 16, № 4. С. 319–327. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-101415>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-101415>

Meta-Analysis

Methods of fog control for a vehicle windscreen before vehicle moving off

Vasily V. Ignatiev, Valentina N. Antoshina

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

ABSTRACT

INTRODUCTION: In any type of vehicle, the accessory equipment system of air heating and conditioning should ensure safety by means of glazing protection from fogging with high operational speed and minimal energy consuming, as driver's reaction slows down in low visibility conditions and the risk of road accidents increases.

AIMS: Analytical review of state-of-the-art methods of efficiency improvement of condensate cleaning from the inner surface of a vehicle windscreen in order to discover promising methods of fog control before vehicle moving off which are energy efficient and driver- and passenger-friendly.

LINE OF RESEARCH: Review of publications, dedicated to issues of condensate cleaning and vehicle glazing prevention from fogging.

METHODS: Study and analysis of papers in the mentioned area, published in open sources.

RESULTS: Conditions of fogging on inner surfaces of vehicle glazing are discussed. Russian and foreign regulatory documents, featuring demands to the procedure of fog cleaning from the windscreen inner surface, are given. Special aspects of air drying in cabin of electric vehicles and ICE-driven vehicles and various methods of the windscreen inner surface heating are considered.

CONCLUSIONS: Efficiency of windscreen condensate cleaning may be increased significantly by means of conjunction of such methods as: a) making inner surfaces of vehicle glazing hydrophobic; b) defroster design optimization in order to ensure air supply having minimal pressure losses, maximal output mass, high speed and uniform distribution of airflow along the surface of critically important fields of view; c) using of tempered windscreens with transparent electrically-conducting layer; d) drying of vehicle cabin air. At present, the search for efficient methods of windscreen warming and cabin air drying in recirculation mode for both electric vehicles and ICE-driven vehicles, operating in low air temperature conditions, continues.

Keywords: *windscreen; hydrophobic glass; defroster; fogging; condensate; climate control; surface condensation; dew point temperature; electrical heating of glass.*

Cite as:

Ignatiev VV, Antoshina VN. Methods of fog control for a vehicle windscreen before vehicle moving off. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2022;16(4):319–327. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-101415>

Received: 22.02.2022

Accepted: 21.06.2022

Published online: 15.12.2022

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы электромобили (далее EVs – *Electric Vehicles*) привлекают все большее внимание как способ борьбы с ростом экологических проблем больших городов. Так, в Европе в 2019 г. на личные автомобили приходилось более 44% от всех выбросов выхлопных газов, произведенных автомобильным транспортом [1]. Политика сокращения выбросов CO₂ подразумевает, что EVs будут играть важную роль в уменьшении воздействия транспорта на климат, а также местного загрязнения воздуха [2]. В мегаполисах Китая проблема загазованности стоит особенно остро, и уже в 2015 году там наблюдался более чем трехкратный рост парка EVs, что позволило ему стать лидером мировых продаж, обогнав США [3].

Однако широкому внедрению EVs препятствует масса проблем. Одной из них является ощутимое снижение запаса хода при использовании системы автоматического климат-контроля, поскольку при плохих погодных условиях она отбирает значительную долю энергии, запасенной в аккумуляторной батарее автомобиля. По данным Объединенного исследовательского центра Европейской Комиссии, проводившего испытание BMWi3 при температурах от +50 до –30°C, потребление энергии вспомогательным оборудованием для подогрева и кондиционирования воздуха (далее HVAC – *Heating, Ventilation, and Air-Conditioning*) может привести к снижению запаса хода EVs от 40 до 70%, с учетом падения емкости батареи при низких температурах, по сравнению с испытаниями при нормальных условиях [4]. Что касается автомобилей с ДВС, то даже в летний период работа HVAC может увеличить расход топлива до 20% в стандартном городском цикле вождения [5].

В автомобиле любого типа система HVAC должна с высокой скоростью, но с минимальными затратами энергии обеспечивать безопасность путем защиты остекления от запотевания, т. к. в условиях недостаточной видимости реакция водителей замедляется, а риск возникновения аварийных ситуаций растет [6]. Поскольку безопасность пассажиров является важнейшим приоритетом, далее будут рассмотрены способы ускорения очистки и предотвращения образования конденсата на внутренней поверхности ветрового стекла и их влияние на энергопотребление.

ТРЕБОВАНИЯ К ОЧИСТКЕ ВЕТРОВОГО СТЕКЛА ОТ КОНДЕНСАТА

Для обеспечения безопасности в большинстве стран мира утверждены требования к системам очистки остекления от обледенения и запотевания. Они устанавливают расположение, размеры и необходимую степень

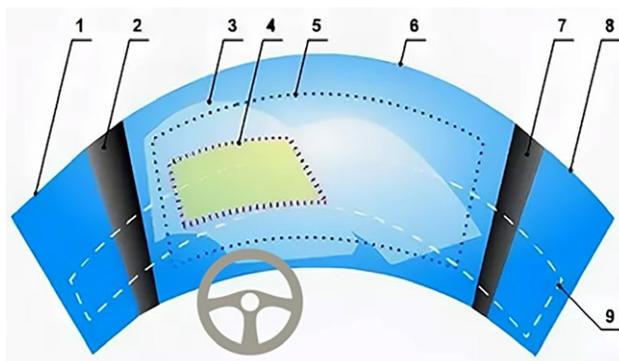


Рис. 1. Расположение нормативных зон А и Б ветрового стекла и поля П полного обзора: 1 – граница прозрачной части левого окна; 2 – левая боковая стойка ветрового стекла; 3 – контур очистки ветрового стекла; 4 – граница нормативной зоны А; 5 – граница нормативной зоны Б; 6 – граница прозрачной части ветрового стекла; 7 – правая боковая стойка ветрового стекла; 8 – граница прозрачной части правого окна; 9 – следы плоскостей, являющихся границами нормативного поля П полного обзора.

Fig. 1. Position of regulated A and B windscreen areas and P field of full view: 1 – the boundary line of the left window transparent part; 2 – a left windscreen pillar; 3 – windscreen cleaning area outline; 4 – the regulated A area boundaries; 5 – the regulated B area boundaries; 6 – the boundary line of the windscreen transparent part; 7 – a right windscreen pillar; the boundary line of the right window transparent part; 9 – traces of planes, which are boundaries of the regulated P field of full view.

очистки критически важных зон ветрового стекла и нормативного поля обзора (рис. 1), а также регламентируют время, за которое стекло должно быть приведено в рабочее состояние, и порядок проверки на соответствие указанным требованиям.

В России и странах ближнего зарубежья таким нормативным документом является ГОСТ 33992-2016 «Системы очистки ветрового стекла от обледенения и запотевания» [7], согласно которому перед началом движения должны быть очищены от запотевания критически важные зоны ветрового стекла: зона А (перед водителем) должна быть очищена на 90%, а зона В (общего обзора) – на 80% в течение 10 минут после начала работы системы.

Нормативные документы, содержащие аналогичные требования к очистке от запотевания и удалению обледенения с поверхностей остекления, имеются и в других странах. В Европе это Директива 78/317/ЕЕС, касающаяся систем размораживания и удаления влаги с остекленных поверхностей автомобилей [8], в США – Методика лабораторных испытаний системы оттаивания и отпотевания ветрового стекла [9], в Австралии – Автомобильный стандарт [10], в Японии – Международный стандарт «Приспособления, предохраняющие ветровое стекло легковых автомобилей от запотевания» [11].

ОБРАЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТА И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С НИМ

Поверхностная конденсация представляет собой явление фазового перехода, при котором водяные пары, содержащиеся в воздухе, превращаются в капли воды при соприкосновении с твердой поверхностью [12]. Она идет с выделением тепла и имеет место, когда температура поверхности падает ниже точки росы, т. е. температуры воздуха, при которой содержащийся в нем пар достигает состояния насыщения и начинает конденсироваться в росу. Явление конденсации может возникнуть и при понижении давления. Этот же результат можно получить и из-за повышения влажности в результате поступления дополнительной влаги от посторонних источников. При охлаждении воздуха его влажность также увеличивается.

Поверхностная конденсация бывает пленочной, когда конденсат принимает форму сплошного слоя на поверхности твердого тела, или капельной, когда конденсат принимает вид рассеянных капель. Конденсация зависит: от чистоты места конденсации [13], от силы адгезии и угла контакта [14], от смачиваемости поверхности [15] и др. Водяной пар конденсируется на поверхности стекла в виде тонкой пленки или капель (рис. 2) в зависимости от того, является ли поверхность смачиваемой (гидрофильной) или не смачиваемой (гидрофобной) [16].

При очистке поверхности от капельного конденсата потоком воздуха коэффициент теплопередачи между поверхностью и воздухом почти на порядок выше, чем в случае пленочной конденсации [12], т. к. на части поверхности, не покрытой конденсатом, происходит свободный теплообмен. Кроме того, суммарная площадь поверхности капель значительно больше, чем площадь поверхности сплошной пленки влаги того же объема. Поэтому испарение влаги в этом случае идет гораздо интенсивнее.

Гидрофобные стекла применялись еще в середине прошлого века: «При гидрофобизации остекления самолетов, автомобилей и судов удается в значительной степени понизить обледенение. При дожде вода на ветровом стекле автомобиля не растекается, а образует отдельные капли, которые легче сдуваются» [17, с. 300]

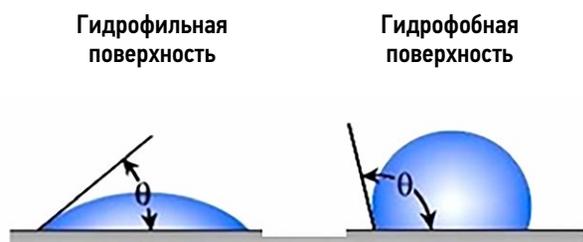


Рис. 2. Конденсация водяного пара на гидрофильной (слева) и гидрофобной (справа) поверхности [16].

Fig. 2. Vapour condensation on hydrophilic (on left) and hydrophobic (on right) surfaces [16].

(1960). Логично и для ускорения очистки внутренней поверхности стекол автомобиля от запотевания создать условия, способствующие капельной конденсации и самостоятельному удалению влаги. Для этого на внутреннюю поверхность стекла можно нанести прозрачную гидрофобную смазку [18], либо на этапе изготовления придать им гидрофобные свойства. В результате конденсат будет собираться в капли, стекать и удаляться из салона через дренажные отверстия.

Наличие водяного пара в воздухе салона и низкая температура стекла – две главные причины образования конденсата. Поэтому борьба с запотеванием заключается в осушении воздуха в салоне и обогреве остекления автомобиля. Осушение воздуха и его последующий подогрев снижают относительную влажность, но до тех пор, пока стекло остается холодным, на нем все равно будет образовываться конденсат. Чтобы исключить запотевание, необходимо поддерживать температуру внутренней поверхности ветрового стекла выше температуры точки росы воздуха салона.

Осушение воздуха в салоне автомобиля с ДВС происходит во время работы системы HVAC в режиме рециркуляции, когда воздух прокачивается через испаритель с температурой 0...+5°C, где часть влаги конденсируется и удаляется наружу. Затем осушенный воздух подогревается в теплообменнике отопителя перед подачей в салон. Этот процесс достаточно хорошо проработан, однако эффективен только при положительных температурах наружного воздуха.

Осушение воздуха в салоне электромобиля. У серийных EVs с запасом хода 200–300 км, имеющих электрические нагреватель и компрессор, потери энергии на работу HVAC сокращают дальность пробега на 30–40% в зависимости от цикла вождения и температуры наружного воздуха [19]. Поэтому разработка более эффективных систем кондиционирования воздуха для EVs остро необходима.

Перспективным подходом считаются системы HVAC с тепловым насосом. При условии максимальной утилизации отработанного тепла энергопотребление теплового насоса не превышает трети энергопотребления электроотопителя при той же мощности нагрева [20]. Однако системы с тепловыми насосами могут только нагреть воздух, но не понизить влажность в салоне. Поэтому EVs используют обычный кондиционер с испарителем, где воздух из салона охлаждают и осушают, а затем повторно нагревают перед подачей его в салон, используя электронагреватели с ПТК (положительным температурным коэффициентом) [21].

Принципиальное решение проблемы предложили Чанг и др. (2021), описав новую систему HVAC с тепловым насосом, которая имеет дополнительный режим осушения воздуха за счет совместного использования нагревателя и двух теплообменников (испарителя и конденсора) и обеспечивает производительность осушения

1,47 л/кВт [22]. Однако система пока находится в стадии лабораторных исследований, дорожные испытания еще не проводились.

Обогрев ветрового стекла теплым воздухом – типовое решение для подавляющего большинства серийных автомобилей. Обдув обычно производится потоком теплого воздуха от отопителя, который нагнетается вентилятором, проходит по каналам дефростера и направляется на стекло с помощью дефлекторов приборной панели. Но, как показали эксперименты, очистка от конденсата происходит при этом не всегда равномерно. Так, Канг и др. (2011) выявили неоднородность температуры обдуваемого ветрового стекла, установив инфракрасную камеру перед ветровым стеклом автомобиля [23].

Результаты показали более высокую температуру для нижней части стекла и значительное понижение температуры в его верхней части (рис. 3). Аросси и др. (2001), измерив скорости воздуха у поверхности ветрового стекла, показали (рис. 4), что контуры скоростей также выше для нижней части ветрового стекла (≈ 1 м/с), а в верхней части они снижаются примерно до 0,2 м/с [24]. Таким образом, скорость распотевания можно повысить путем улучшения конструкции дефростера.

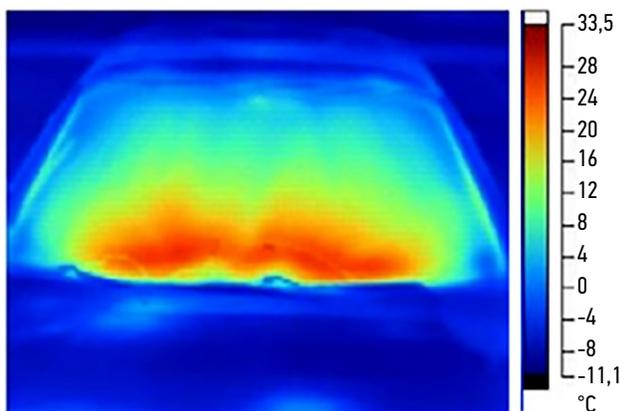


Рис. 3. Температурный портрет обдуваемого ветрового стекла [23].

Fig. 3. Temperature distribution along the blowed windscreen [23].

Джахани и Бейгморади (2014) показали, что с помощью тщательного CFD-моделирования можно не только оптимизировать конструкцию дефростеров, но и значительно ускорить разработку проекта [25]. Их улучшенная модель дефростера способна направлять на ветровое стекло поток воздуха с минимальной потерей давления, максимальной выходной массой и скоростью не менее 2,5 м/с. Распределение струй в потоке обеспечивает равномерный нагрев ветрового стекла, что приводит к ускоренному освобождению его не только от запотевания, но и от внешнего обледенения. Это было подтверждено экспериментом на соответствие требованиям Директивы 78/317/ЕЕС [8]. После 12 часов выдержки машины при температуре -18 ± 2 °С, по всей внешней стороне ветрового стекла был нанесен ровный слой льда $0,044$ г/см² (рис. 5). Через 40 минут после отвердевания льда испытатели запустили двигатель и включили обдув. Уже через 10 мин лед практически растаял (рис. 6).

Однако мощные струи теплого воздуха, отражаясь от стекла, нарушают микроклимат в салоне. И если перед началом движения это не критично и даже ускоряет прогрев салона в осенне-зимний период, то во время движения излишняя мощность обдува при работе

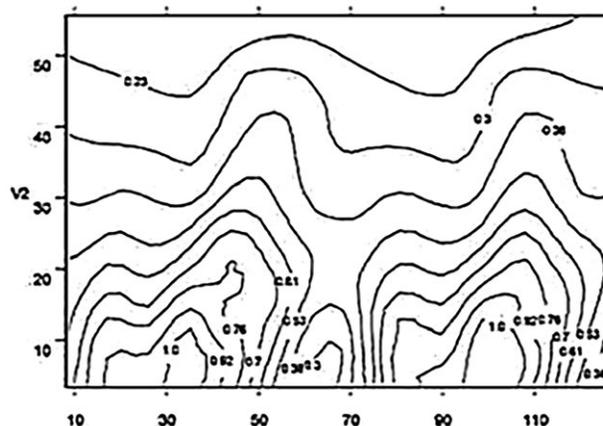


Рис. 4. Контур скорости воздуха у поверхности ветрового стекла [24].

Fig. 4. Outlines of air speed at the windscreen surface [24].

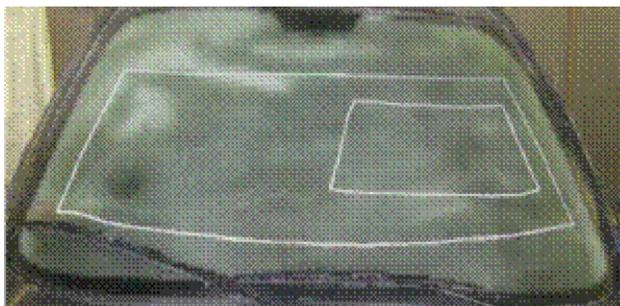


Рис. 5. Обледеневшее ветровое стекло перед началом обдува теплым воздухом [25].

Fig. 5. The iced windscreen before warm air blowing [25].

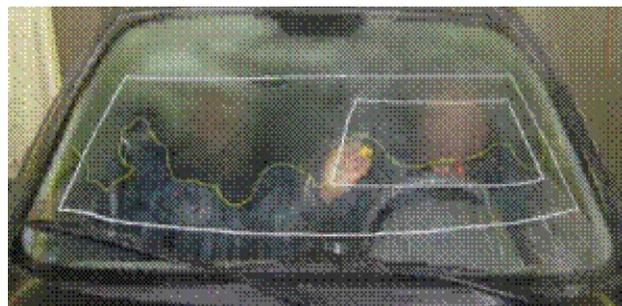


Рис. 6. Состояние ветрового стекла через 10 минут после начала обдува [25].

Fig. 6. The iced windscreen after 10 minutes of warm air blowing [25].

системы автоматического контроля запотевания создает дискомфорт водителю и пассажирам [26].

Электрообогрев ветрового стекла производится теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока по электропроводящему слою внутри стекла. Такое стекло отличается от задних стекол некоторых легковых автомобилей с нагревателем в виде сетки из полосок проводящих электродов, которые наносятся на поверхность стекла методом шелкографии с применением серебряной пасты. Оно представляет собой стеклопакет из двух и более закаленных стеклянных пластин, на внутреннюю поверхность которых в процессе изготовления наносится прозрачное токопроводящее покрытие, которое практически не снижает коэффициента светопропускания. Пластины герметично соединены по периметру и не соприкасаются между собой. На противоположных сторонах стеклопакета расположены контактные площадки для подключения электропитания. При прохождении электрического тока через электропроводящий слой с активным сопротивлением около 0,5 Ом/см, выделяется тепловая энергия в инфракрасном диапазоне. Стеклопакет имеет удельную мощность от 500 до 2000 Вт/м² и допускает разогрев до температуры 150 °С. При этом возникает термонапряженное состояние, однако оно не достигает значений, сравнимых с прочностью закаленного стекла [27].

Использование закаленных ветровых стекол с прозрачным проводящим слоем позволяет во время движения автомобиля обеспечить заданную температуру на внутренней поверхности стеклопакета и, соответственно, комфортные условия для наблюдения за дорогой. Однако стоимость ветрового стекла с электрообогревом в разы больше обычного. А отбираемый для прогрева стекла ток заметно нагружает аккумулятор автомобиля, особенно в условиях холодного пуска. Тем не менее, Унверди и др. (2010) смогли значительно повысить скорость очистки от запотевания ветрового и боковых стекол автобусов (!), установив стекла с электропроводящим слоем и применив электрообогрев одновременно с обдувом стекла теплым воздухом [28].

Необходимо отметить, что в снегопад электрообогрев даже вреден, так как падающий на теплое ветровое стекло снег сразу тает, размазывается по стеклу дворниками и мгновенно застывает ледяной коркой. В этом случае для очистки от конденсата следует применять обдув ветрового стекла теплым (но не горячим) воздухом [29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ публикаций, описывающих методы предотвращения запотевания и удаления конденсата с внутренней поверхности ветрового стекла автомобиля показал, что для повышения эффективности борьбы с запотеванием перспективным является комплексное применение следующих основных способов.

1. Придание гидрофобных свойств внутренней поверхности ветрового стекла (способствует созданию условий для капельной конденсации влаги, что почти на порядок повышает теплообмен и существенно увеличивает интенсивность испарения).
2. Оптимизация конструкции дефростера (повышает скорость очистки ветрового стекла от конденсата за счет сокращения потерь давления, выходной массы, скорости и температуры воздуха).
3. Сочетание электрообогрева и обдува ветрового стекла (значительно сокращает время удаления конденсата перед началом движения).
4. Осушение воздуха в салоне (снижает температуру точки росы и предупреждает появление запотевания).

В настоящее время продолжается поиск экономичных методов обдува и обогрева ветрового стекла, а также осушения воздуха салона в режиме рециркуляции. Это актуально не только для электромобилей, но и для автомобилей с ДВС, особенно при отрицательных температурах наружного воздуха. Решение этих проблем позволило бы не только значительно сократить энергозатраты, но и снизить риск возникновения аварийных ситуаций.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. *В.В. Игнатъев* — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи, проведение исследования, создание изображений; *В.Н. Антошина* — редактирование текста рукописи, создание изображений. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. *V.V. Ignatiev* — search for publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript, conducting research, creating images; *V.N. Antoshina* — editing the text of the manuscript, creating images. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work.

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

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. eea.europa.eu [internet]. Greenhouse gas emissions from transport in Europe. Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport> Дата обращения: 15.08.2022.
2. A framework strategy for a resilient energy union with a forward-looking climate change policy European Commission // European Commission. Energy union package. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee, the committee of the regions and the European investment bank. Brussels, 25.02.2015. Режим доступа: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1&format=PDF Дата обращения: 15.08.2022.
3. EV vs ICE Vehicles: When to Expect Robust Competition? // VYGON Consulting. March 2016. 44 P. Режим доступа: https://vygon.consulting/upload/iblock/c78/vygon_consulting_electricvehicles_2016_en.pdf Дата обращения: 15.08.2022.
4. Galassi M. C., Stutenberg K., Garcia Otura M., et al. Electric and hybrid vehicle testing: BMWi3 performance assessment in realistic use scenarios // European Commission. Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2018. doi: 10.2760/385640
5. Innovative Air-Conditioning Systems for Conventional and Electric Vehicles. 2011. 9 P. Режим доступа: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20140203_093312_80529_Paper_Innovative_airconditioning_systems.pdf Дата обращения: 15.08.2022.
6. Mueller A.S., Trick L.M. Driving in fog: The effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance // Accident Analysis & Prevention. 2012. Vol. 48. P. 472–479. doi: 10.1016/j.aap.2012.03.003
7. ГОСТ 33992-2016. Автомобили легковые. Системы очистки ветрового стекла от обледенения и запотевания. Технические требования и методы испытаний. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745313.pdf> Дата обращения 19.08.2022.
8. Council Directive 78/317/EEC of 21 December 1977 on the approximation of the laws of the Member States relating to the defrosting and demisting systems of glazed surfaces of motor vehicles. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31978L0317&from=EN> Дата обращения 19.08.2022.
9. Laboratory Test Procedure For FMVSS 103. U.S. Department Of Transportation National Highway Traffic Safety Administration. Office of Vehicle Safety Compliance. Режим доступа: <https://www.nhtsa.gov/document/laboratory-test-procedure-fmvss-103-windshield-defrosting-and-defogging-systems> Дата обращения 19.08.2022.
10. jade.io [internet]. Vehicle Standard (Australian Design Rule 8/01 – Safety Glazing Material). Режим доступа: <https://jade.io/j/?a=outline&id=500833> Дата обращения: 15.08.2022.
11. standards.globalspec.com [internet]. JIS D 4502-94. Passenger Cars – Windshield Demisting System. Japanese Standards Association. Режим доступа: <https://jade.io/j/?a=outline&id=500833> Дата обращения: 15.08.2022.
12. Faghri A., Zhang Y. Condensation. In: Transport Phenomena in Multiphase Systems. Academic Press. 2006. P. 581–677.
13. Mu C., Pang J., Lu Q., Liu T. Effects of surface topography of material on nucleation site density of dropwise condensation // Chemical Engineering Science. 2008. Vol. 63, N 4. P. 874–880. doi: 10.1016/j.ces.2007.10.016
14. Durán I.R., Laroche G. Current trends, challenges, and perspectives of anti-fogging technology: Surface and material design, fabrication strategies, and beyond // Progress in Materials Science. 2019. Vol. 99. P. 106–186. doi: 10.1016/j.pmatsci.2018.09.001
15. Zanganeh P., Goharrizi A.S., Ayatollahi S., et al. Efficiency improvement of solar stills through wettability alteration of the condensation surface: An experimental study // Applied Energy. 2020. Vol. 268. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114923
16. Adhesion Enhancement of UV-Cure Inks onto Polymers by Gas-Phase Plasma Pretreatments // UV+EB Technology. 02.27.2019. Режим доступа: <https://uvebtech.com/articles/2019/adhesion-enhancement-of-uv-cure-inks-onto-polymers-by-gas-phase-plasma-pretreatments/> Дата обращения: 15.08.2022.
17. Бажант В., Хваловски В., Ратоуски И. Силиконы. Кремнийорганические соединения, их получение, свойства и применение. Москва: Госхимиздат, 1960.
18. listtopa.ru [internet]. Обзор 10 лучших средств «антидождь» для авто 2022 года.Режим доступа: <https://listtopa.ru/auto/10-antidozhd> Дата обращения: 15.08.2022.
19. Zhang Z., Wang J., Feng X., et al. The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 91. P. 443–463. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.005
20. Han X., Zou H., Wu J., et al. Investigation on the heating performance of the heat pump with waste heat recovery for the electric bus // Renewable Energy. 2020. Vol. 152. P. 835–848. doi: 10.1016/j.renene.2020.01.075
21. Tang X., Guo Q., Li M., Jiang M. Heating Performance Characteristics of an Electric Vehicle Heat Pump Air Conditioning System Based on Exergy Analysis // Energies. 2020. Vol. 13, N 11. doi: 10.3390/en13112868
22. Chang T.-B., Sheu J.-J., Huang J.-W. High-Efficiency HVAC System with Defog/Dehumidification Function for Electric Vehicles // Energies. 2020. Vol. 14, N 1. doi: 10.3390/en14010046
23. Kang S.J., Kader M.F., Jun Y.D., Lee K.B. Automobile defrosting system analysis through a full-scale model // International Journal of Automotive Technology. 2011. Vol. 12, N 1. P. 39–44. doi: 10.1007/s12239-011-0005-0
24. Aroussi A., Hassan A.A., AbdulNour B.S., Clayton B.R. Comparison of Performance between Several Vehicle Windshield Defrosting and Demisting Mechanisms // SAE World Congress. Март 5–8, 2001; Detroit Michigan. Режим доступа: <https://trid.trb.org/view/1789711> Дата обращения: 12.12.2014.
25. Jahani K., Beigmoradi S. Utilizing CFD approach for Preeminent Assessment of Defroster Air Flow Distribution and Predicting Windscreen Deicing Behavior // SAE World Congress. 2014. SAE Technical Paper 2014-01-0688.
26. Игнатъев В.В., Семикин С.Н. Автоматический контроль запотевания ветрового стекла автомобиля // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации: сб. мат. 110 междунар. н.-т. конф. 2021. Том 1. С. 111–119.

27. Хомченко А. В. Исследование свойств электрообогреваемых стеклопакетов // Вестник Белорусско-Российского ун-та. 2016. № 3. С. 152–159.

28. Unverdi S.O., Eren H., Erdem V., et al. Technical note: Optimisation of the defroster ducts and windshield electric resistances of a city

bus with CFD analysis // International Journal of Vehicle Design. 2010. Vol. 52, N 1. doi: 10.1504/ijvd.2010.029644

29. Оценка текущего статуса калибровок системы микроклимата автомобиля AURUS SENAT 412300 в зимних условиях // Технический отчет НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», поселок Автополигон, 2022.

REFERENCES

1. eea.europa.eu [internet]. Greenhouse gas emissions from transport in Europe. [updated: 15.08.2022]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emissions-from-transport>

2. A framework strategy for a resilient energy union with a forward-looking climate change policy European Commission // European Commission. Energy union package. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee, the committee of the regions and the European investment bank. Brussels, 25.02.2015. Available from: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:1bd46c90-bdd4-11e4-bbe1-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1&format=PDF Accessed: Aug 15, 2022.

3. EV vs ICE Vehicles: When to Expect Robust Competition? // VYGON Consulting. March 2016. 44 P. Available from: https://vygon.consulting/upload/iblock/c78/vygon_consulting_electricvehicles_2016_en.pdf Accessed: Aug 15, 2022.

4. Galassi MC, Stutenberg K, Garcia Otura M, et al. Electric and hybrid vehicle testing: BMWi3 performance assessment in realistic use scenarios. *European Commission. Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union.* 2018. doi: 10.2760/385640

5. Innovative Air-Conditioning Systems for Conventional and Electric Vehicles. 2011. 9 P. Available from: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20140203_093312_80529_Paper_Innovative_airconditioning_systems.pdf Accessed: Aug 15, 2022.

6. Mueller AS, Trick LM. Driving in fog: The effects of driving experience and visibility on speed compensation and hazard avoidance. *Accident Analysis & Prevention.* 2012;48:472–479. doi: 10.1016/j.aap.2012.03.003

7. GOST 33992-2016. Avtomobili legkovye. Sistemy ochistki vetrovogo stekla ot obledeneniya i zapotevaniya. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy. Available from: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293745/4293745313.pdf> Accessed: Aug 15, 2022. (In Russ).

8. Council Directive 78/317/EEC of 21 December 1977 on the approximation of the laws of the Member States relating to the defrosting and demisting systems of glazed surfaces of motor vehicles. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31978L0317&from=EN> Accessed: Aug 15, 2022.

9. Laboratory Test Procedure For FMVSS 103. U.S. Department Of Transportation National Highway Traffic Safety Administration. Office of Vehicle Safety Compliance. Available from: <https://www.nhtsa.gov/document/laboratory-test-procedure-fmvss-103-windshield-defrosting-and-defogging-systems> Accessed: Aug 15, 2022.

10. jade.io [internet]. Vehicle Standard (Australian Design Rule 8/01 – Safety Glazing Material. [updated: 15.08.2022]. Available from: <https://jade.io/j/?a=outline&id=500833>

11. standards.globalspec.com [internet]. JIS D 4502-94. Passenger Cars – Windshield Demisting System. Japanese Standards Association. [updated: 15.08.2022]. Available from: <https://jade.io/j/?a=outline&id=500833>

12. Faghri A, Zhang Y. Condensation. In: *Transport Phenomena in Multiphase Systems.* Academic Press; 2006. P. 581–677.

13. Mu C, Pang J, Lu Q, Liu T. Effects of surface topography of material on nucleation site density of dropwise condensation. *Chemical Engineering Science.* 2008;63(4):874–880. doi: 10.1016/j.ces.2007.10.016

14. Durán IR, Laroche G. Current trends, challenges, and perspectives of anti-fogging technology: Surface and material design, fabrication strategies, and beyond. *Progress in Materials Science.* 2019;99:106–186. doi: 10.1016/j.pmatsci.2018.09.001

15. Zanganeh P, Goharrizi AS, Ayatollahi S, et al. Efficiency improvement of solar stills through wettability alteration of the condensation surface: An experimental study. *Applied Energy.* 2020;268. doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114923

16. Adhesion Enhancement of UV-Cure Inks onto Polymers by Gas-Phase Plasma Pretreatments // UV+EB Technology. 02.27.2019. Available from: <https://uvebtech.com/articles/2019/adhesion-enhancement-of-uv-cure-inks-onto-polymers-by-gas-phase-plasma-pretreatments/>. Accessed: Aug 15, 2022.

17. Bazhant V, Khvalovski V, Ratouski I. *Silikony. Kremniorganicheskie soedineniya, ikh poluchenie, svoistva i primeneniye.* Moscow: Goskhimizdat; 1960. (In Russ).

18. listtopa.ru [internet]. Obzor 10 luchshikh sredstv «antidozhd» dlya avto 2022 goda. [updated: 15.08.2022]. Available from: <https://listtopa.ru/auto/10-antidozhd> (In Russ).

19. Zhang Z, Wang J, Feng X, et al. The solutions to electric vehicle air conditioning systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018;91:443–463. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.005

20. Han X, Zou H, Wu J, et al. Investigation on the heating performance of the heat pump with waste heat recovery for the electric bus. *Renewable Energy.* 2020;152:835–848. doi: 10.1016/j.renene.2020.01.075

21. Tang X, Guo Q, Li M, Jiang M. Heating Performance Characteristics of an Electric Vehicle Heat Pump Air Conditioning System Based on Exergy Analysis. *Energies.* 2020;13(11). doi: 10.3390/en13112868

22. Chang T-B, Sheu J-J, Huang J-W. High-Efficiency HVAC System with Defog/Dehumidification Function for Electric Vehicles. *Energies.* 2020;14(1). doi: 10.3390/en14010046

23. Kang SJ, Kader MF, Jun YD, Lee KB. Automobile defrosting system analysis through a full-scale model. *International Journal of Automotive Technology.* 2011;12(1):39–44. doi: 10.1007/s12239-011-0005-0

24. Aroussi A, Hassan A, Clayton BR, Abdounour BS. Comparison of Performance between Several Vehicle Windshield Defrosting and Demisting Mechanisms. SAE World Congress. March 5–8, 2001; Detroit Michigan. Available from: <https://trid.trb.org/view/1789711>

25. Jahani K, Beigmoradi S. Utilizing CFD approach for Preeminent Assessment of Defroster Air Flow Distribution and Predicting Windscreen Deicing Behavior. SAE World Congress. 2014. SAE Technical Paper 2014-01-0688. Available from: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2014-01-0688/>

26. Ignat'ev VV, Semikin SN. Avtomaticheskii kontrol' zapotevaniya vetrovogo stekla avtomobilya. *Bezopasnost' kolesnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii: sb. mat. 110 mezhdunar. n.-t. konf.* 2021;1:111–119 (In Russ).

27. Khomchenko AV. Issledovanie svoystv elektroobogrevaemykh steklopaketov. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo un-ta.* 2016;(3):152–159. (In Russ).

28. Unverdi SO, Eren H, Erdem V, et al. Technical note: Optimisation of the defroster ducts and windshield electric resistances of a city bus with CFD analysis. *International Journal of Vehicle Design.* 2010;52(1). doi: 10.1504/ijvd.2010.029644

29. Otsenka tekushchego statusa kalibrovok sistemy mikroklimata avtomobilya AURUS SENAT 412300 v zimnikh usloviyakh // *Tekhnicheskii otchet NITsIAMT FGUP «NAMI», poselok Avtopoligon, 2022.* (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Игнат'ев Василий Васильевич,**
инженер-исследователь ОВиК Управления испытаний
транспортных средств;
адрес: Российская Федерация, 125438, Москва,
ул. Автомоторная, д. 2;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9037-4422>;
eLibrary SPIN: 1302-7068;
e-mail: vasilij.ignatev@nami.ru

Антошина Валентина Николаевна,
ведущий инженер-конструктор Управления «Системы,
узлы и агрегаты»;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9112-8090>;
e-mail: valentina.antoshina@nami.ru

*Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

***Vasily V. Ignatiev,**
HVAC Research Engineer of the Vehicle Testing Department;
address: 2 Avtomotornaya street, Moscow 125438,
Russian Federation;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9037-4422>;
eLibrary SPIN: 1302-7068;
e-mail: vasilij.ignatev@nami.ru

Valentina N. Antoshina,
Lead Design Engineer of the Systems, Components
and Assemblies Department;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9112-8090>;
e-mail: valentina.antoshina@nami.ru

*Corresponding author