

УДК 656.13

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-192-202>

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПОВЕРХНОСТИ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

М.Г. Бояршинов, Н.И. Кузнецов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Рассматриваются причины образования повышенного количества конденсата в системе выпуска отработавших газов автомобиля при пониженной температуре окружающего воздуха. Поскольку скорость движения автомобиля – один из факторов, определяющих нагрев системы выпуска и образование конденсата, выполнено экспериментальное исследование по определению температуры элементов системы выпуска отработавших газов при различных скоростях движения автомобиля. Цель данного исследования: установить особенности изменения температуры отдельных элементов системы выпуска отработавших газов в зависимости от времени при различной скорости движения автомобиля.

**Материалы и методы.** Последовательность проведения экспериментального исследования состояла в запуске «холодного» двигателя, производился разгон автомобиля и далее движение автомобиля с постоянной скоростью в течение 20 мин. Одновременно с запуском двигателя регистрировалась температура элементов системы выпуска отработавших газов. В работе для измерения температуры поверхности системы выпуска использовались термопары. Экспериментальные исследования проводились на автомобиле Toyota Camry с бензиновым двигателем в климатических условиях Пермского края.

**Результаты.** Были получены зависимости температуры элементов системы выпуска от времени при различной скорости движения автомобиля. В экспериментальном исследовании установлено, что температура элементов системы выпуска отработавших газов устанавливается в течение 8–12 мин с начала движения автомобиля при постоянной скорости; задний глушитель имеет наибольшую вероятность образования конденсата.

**Обсуждение и заключение.** Выполнен анализ особенностей изменения температуры системы выпуска отработавших газов при движении автомобиля в условиях пониженной температуры окружающего воздуха. Установленные закономерности могут быть использованы для получения информации о процессах накопления конденсата в системе выпуска отработавших газов и направлены на прогнозирование количества накопления конденсата в системе выпуска отработавших газов; на разработку новых решений, обеспечивающих надежную работу системы выпуска.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** система выпуска, отработанные газы, температурный режим, конденсат, постоянная скорость движения.

Поступила 13.02.21, принята к публикации 29.04.21.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Бояршинов М.Г. Влияние скорости движения автомобиля на температуру поверхности системы выпуска отработавших газов/ М.Г. Бояршинов, Н.И. Кузнецов. – DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-192-202> // Вестник СибАДИ. – 2021. – Т. 18, № 2(78). – С. 192-202.

© Бояршинов М.Г., Кузнецов Н.И., 2021



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-192-202>

## VEHICLE SPEED INFLUENCE ON EXHAUST SYSTEM SURFACE TEMPERATURE

**Mikhail G. Boiarshinov, Nikita I. Kuznetsov**  
Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The reasons for the formation of an increased amount of condensate in the exhaust system of a car at a low ambient temperature are considered. Since the speed of the vehicle is one of the factors that determine the heating of the exhaust system and the formation of condensation, an experimental study was carried out to determine the temperature of the elements of the exhaust system at various vehicle speeds. The purpose of this study: to establish the features of the temperature change of individual elements of the exhaust system, depending on time at different vehicle speeds

**Materials and methods.** The sequence of the experimental study consisted of starting the "cold" engine, accelerating the car and then moving the car at a constant speed for 20 minutes. Simultaneously with the start of the engine, the temperature of the elements of the exhaust system was recorded. In this study, thermocouples were used to measure the surface temperature of the exhaust system. Experimental studies were carried out on a Toyota Camry with a gasoline engine in the climatic conditions of the Perm Territory.

**Results.** The dependences of the temperature of the exhaust system elements on time were obtained at different speeds. In an experimental study, it was found that the temperature of the elements of the exhaust system is established within 8-12 minutes from the start of the vehicle at a constant speed; the rear muffler has the least surface heating, and therefore the greatest probability of the formation and accumulation of condensate.

**Discussion and conclusion.** The analysis of the peculiarities of the change in the temperature of the exhaust system during the movement of the vehicle in conditions of low ambient temperature is carried out. The established patterns can be used to obtain information on the processes of condensate accumulation in the exhaust system and are aimed at predicting the amount of condensate accumulation in the exhaust system; to develop new solutions to ensure reliable operation of the exhaust system.

**KEYWORDS:** exhaust system, exhaust gases, temperature, condensate, constant speed of movement.

**Submitted 13.02.21, revised 28.04.21.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation:* Boyarshinov M.G., Kuznetsov N.I. Vehicle speed influence on exhaust system surface temperature. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (2): 192-202. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-2-192-202>

© Boiarshinov M.G., Kuznetsov N.I., 2021



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

При прогреве двигателя в холодных зимних условиях стенки системы выпуска автомобиля остаются холодными, и водяной пар, движущийся вдоль системы с горячими отработавшими газами, конденсируется на холодной внутренней поверхности системы выпуска. Так происходит образование конденсата в системе выпуска отработавших газов [1, 2].

Частые прогревы двигателя в течение относительно коротких периодов, эксплуатация в режиме коротких поездок и последующая длительная стоянка при температуре воздуха ниже 0°C имеет определенные риски, поскольку в зависимости от конструктивных особенностей системы выпуска отработавших газов возможно накопление и замерзание конденсата внутри системы выпуска [3, 4, 5, 6, 7, 8], и, как следствие, в этих условиях двигатель не запустится. Также постоянное наличие конденсата на стенках системы выпуска приводит к интенсивной коррозии деталей системы выпуска отработавших газов: глушителя и резонатора [9, 10, 11, 12]. Сварочные работы по ремонту деталей системы выпуска проводятся, когда есть целесообразность и надежность выполнения этих работ.

Концерн Фольксваген в руководстве по эксплуатации автомобиля пишет, что двигатель не может прогреться на холостом ходу, поэтому движение на автомобиле нужно начинать сразу же после его запуска. В руководстве прописано, что двигатель автомобиля не может прогреться на холостом ходу, не ранее чем через 4 км двигатель достигает рабочей температуры, и расход топлива нормализуется; а после пробега около 20 км транспортное средство достигает состояния рабочей нормы. Можно сделать вывод, что для нормальной эксплуатации автомобиля следует избегать поездок на короткие расстояния.

Накопление конденсата, как правило, не происходит, если выхлопная система прогрета до рабочих температур. Такой нагрев достигается при движении на большие расстояния и в высокоскоростных зонах, где двигатель и его системы работают при средних и номинальных нагрузках.

Согласно государственной программе «Социально-экономическое развитие Арктической

зоны Российской Федерации» для обеспечения рабочего процесса потребуется, чтобы автомобильный транспорт работал в условиях отрицательных температур продолжительное время, с любой интенсивностью эксплуатации, без накопления конденсата, приводящего к ограничению эксплуатации машин.

Производители компонентов систем выпуска автомобилей и автопроизводители публикуют в различных формах информацию об особенностях эксплуатации автомобилей в условиях мегаполиса и о явлении накопления конденсата в глушителе автомобиля<sup>1</sup>. Практически все автопроизводители указывают, что конденсат в глушителе – это нормальное явление, и что водителю необходимо больше уделять внимания этому процессу.

Собрана статистика отказов запуска двигателя из-за блокировки системы выпуска отработавших газов накопившимся конденсатом. Такие автомобили, как Volkswagen Polo Sedan (2010-Н.В.), Hyundai Solaris (2011- Н.В.), Hyundai Getz (2002–2011), Renault Duster (2009-Н.В.), Skoda Octavia (2013-), Toyota Rav4 (2005-), Audi A3 (2012-...), Audi Q7 (2008-2015), Volkswagen Touareg (2006–2017) подвержены блокировке системы выпуска отработавших газов. Контактные лица дилерских автоцентров по обслуживанию и ремонту автомобилей предоставили информацию, что ежегодно в зимний период наблюдается не менее нескольких автомобилей с проблемой блокировки системы выпуска отработавших газов. Проблема наблюдается во всех городах, где температура воздуха опускается ниже нуля градусов на продолжительное время.

Созданы судебные прецеденты<sup>2</sup> с проблемой отсутствия запуска двигателя при отрицательных температурах воздуха по причине блокирования выхода отработавших газов из системы выпуска вследствие замерзания воды в резонаторе. Суд решил, что установленный производственный недостаток не позволяет использовать данное транспортное средство по назначению в условиях отрицательных температур без изменения конструкции системы выпуска отработанных газов на заводе-изготовителе.

Постоянное наличие конденсата на стенках системы выпуска приводит к интенсив-

<sup>1</sup> Ford Mondeo 3. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. Бензиновые двигатели. [Текст] / Серия: «Автомобиль», Ассоциация независимых издателей, 2004. – 305 с.

<sup>2</sup> Решение суда № 2-6/2011 от 13 апреля 2011 г. по делу № 2-6/2011 Курчатковский районный суд г. Челябинска [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sudact.ru/regular/doc/p7OrtXeRoBdy/> (дата обращения: 15.02.2017).

ной коррозии деталей системы выпуска отработавших газов: глушителя и резонатора. По результатам проведенных исследований<sup>3</sup> отмечается, что дефекты выхлопных систем составляют третью часть от общего числа дефектов машин, пришедших в ремонт. Восстановление работоспособности выхлопных систем на ремонтных предприятиях в настоящее время осуществляют сваркой либо заменой части элемента.

Учитывая, что большая часть территории России расположена в зонах, где умеренный и холодный климат, влияние факторов и условий эксплуатации на количество накапливания конденсата в системе выпуска отработавших газов до сих пор недостаточно изучено, этот вопрос остается без должного внимания водителем. Поэтому изучение описываемого явления, определение закономерностей образования конденсата и разработка на его основе рекомендаций по поддержанию выхлопной системы в исправном состоянии, а также обеспечение надежного запуска двигателя при низких температурах является актуальным и значимым исследованием.

В состав отработавших газов входит вода в парообразном состоянии, образующаяся при сгорании топлива [13] (при работе атмосферного бензинового двигателя образуется более 1,2 кг воды на 1 кг сгоревшего топлива [14, 15]). Кроме того, водяной пар поступает в двигатель вместе с воздухом из атмосферы (до 0,38 кг на 1 кг сгоревшего топлива в зависимости от температуры окружающей среды [13]).

В работе [2] показана зависимость количества воды в выхлопных газах от состава используемой топливно-воздушной смеси. Так, при давлении выхлопных газов 1 бар в стехиометрических условиях массовая доля водяного пара в выхлопных газах составляет 13%, и конденсация воды происходит при температуре, близкой к 52°C. В смеси, которая содержит вдвое больше воздуха, чем необходимо для сгорания топлива, концентрация водяного пара достигает 6%, а точка росы падает до 36°C.

Наиболее высокие значения температуры точки росы соответствуют стехиометрическим условиям, когда избыток воздуха отсутствует, или при избытке топлива, вследствие чего не происходит обеднение топливной смеси. Следовательно, чем на более бедной смеси ра-

ботает двигатель, тем ниже опускается точка росы водяного пара в отработавших газах.

Существуют пределы воспламеняемости горючей смеси, эти пределы выражены коэффициентом избытка воздуха, который, как уже было сказано, влияет на точку росы. Коэффициент избытка воздуха для атмосферного бензинового двигателя находится в диапазоне от 0,65 до 1,5. При некоторых технологиях непосредственного впрыска, таких как GDI и FSI, при применении послойного смесеобразования удается эффективно сжигать бедные смеси с коэффициентом избытка воздуха от 1,6 до 3. Возможные пределы сжигания смеси у дизельных двигателей, при коэффициенте избытка воздуха в диапазоне от 1,1 до 7,0. В зависимости от изменения внешних условий, главным образом начальной температуры, пределы воспламеняемости смесей могут несколько изменяться.

Авторами проводится серия экспериментов по измерению температуры системы выпуска отработавших газов при различных условиях и режимах эксплуатации [16,17]. Очередной этап работы предполагает проведение экспериментальных исследований по измерению температуры деталей выпускного тракта во время движения автомобиля.

Целью настоящего исследования: установить особенности изменения температуры отдельных элементов системы выпуска отработавших газов в зависимости от времени при различной скорости движения автомобиля.

Ранее авторами была проведена серия экспериментов по измерению температуры элементов выхлопной системы при различных температурах окружающего воздуха во время прогрева двигателя на холостом ходу [16].

Известно [18, 19], что для определения расхода топлива и токсичности выхлопных газов транспортных средств применяются методы контроля, которые различаются в программах испытаний и методах отбора проб, используемого измерительного оборудования. В основном используются два типа метода: первый – это испытания с постоянными параметрами работы двигателя; второй – это переходные режимы при изменении этих параметров. Сами испытания проводятся либо в условиях эксплуатации, либо на специальном стенде.

<sup>3</sup> Сергеев А. Ю. Восстановление работоспособности теплонагруженных элементов дорожно-строительных машин с использованием полимерных композиционных материалов (на примере систем выпуска отработавших газов) [Текст]: Диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.04 / Сергеев Андрей Юрьевич.– Москва, 2016.– 192 с.



Первый метод оценки массы выбросов загрязняющих веществ основан на зависимости количества выбросов загрязняющих веществ от средней скорости движения. Данный подход эффективен для транспортного потока с установившимся режимом движения. Зависимость выбросов от средней скорости определена на основании стендовых испытаний с различными постоянными скоростями.

При втором подходе ездовые испытательные циклы приближены к реальному городскому движению [20, 21]. Действующие российские методики используют типовые ездовые испытательные циклы, применяемые в странах Европейского сообщества. Испытательный ездовой цикл представляет собой набор параметров и последовательностей, с помощью которых предполагается приблизительно описать движение среднестатистического транспортного средства в реальных условиях.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Авторами проведена серия экспериментальных исследований, близкая к первому подходу: определялась температура нескольких характерных точек системы выпуска во время движения автомобиля с постоянной скоростью. Производился запуск двигателя, автомобиль разгонялся и в течение 20 мин двигался с постоянной скоростью. Одновременно с запуском двигателя регистрировалась температура элементов системы выпуска отработавших газов.

Из анализа результатов рассмотренных работ следует, что наиболее приемлемым методом измерения является контактный метод измерения с помощью термопар и термометров сопротивления. В работе по измерению

температуры элементов системы выпуска отработавших газов использовались термопары.

В экспериментальных исследованиях участвовал автомобиль Toyota Camry, оснащенный бензиновым атмосферным двигателем объемом 2,5 л, агрегированный 6-ступенчатой автоматической коробкой передач. По структуре и принципу работы система выпуска полностью соответствует системе выпуска других марок с бензиновым атмосферным двигателем. Система выпуска включает в себя (рисунок 1) выпускной коллектор в сборе с каталитическим нейтрализатором (поз. А), среднюю часть выхлопной системы, состоящую из заднего катализатора и переднего глушителя (поз. Б), средней трубы (поз. В) и заднего глушителя (поз. Г).

Термопары 1–4 установлены на наружной поверхности выхлопной системы (рисунок 2). Термопары 5 и 6 установлены внутри выхлопной системы для непосредственного измерения температуры выхлопных газов.

Условия проведения экспериментального исследования по измерению температуры элементов выпускного тракта:

- движение автомобиля производилось с постоянной скоростью 20, 40, 60, 80 и 100 км/ч;
- движение производилось на 4-й передаче коробки передач, частота вращения коленчатого вала двигателя во время движения с постоянной скоростью составляла 20 км/ч – 1000 об/мин, 40 км/ч – 1250 об/мин, 60 км/ч – 1750 об/мин, 80 км/ч – 2500 об/мин и 100 км/ч – 3000 об/мин;
- начальная температура двигателя и охлаждающей жидкости соответствовала температурам окружающего воздуха, равным  $-8^{\circ}\text{C}$  и  $-9^{\circ}\text{C}$ ;

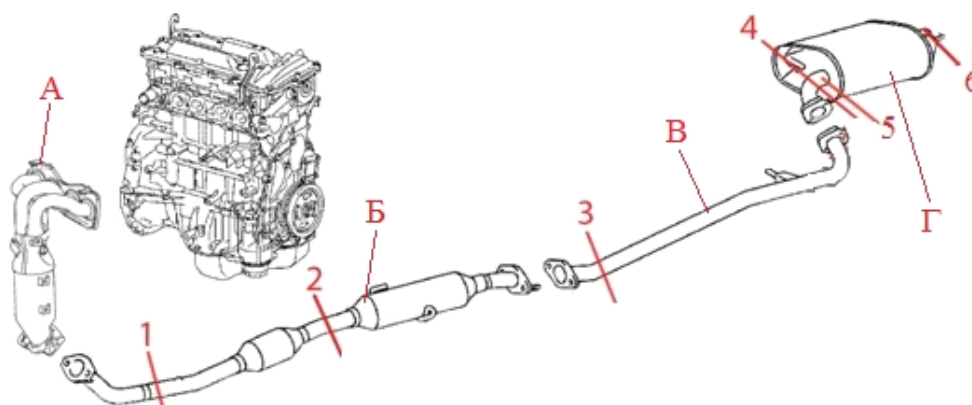


Рисунок 1 – Схема размещения термопар на поверхности элементов системы выпуска отработавших газов (описание приведено в тексте)

Fig. 1 – Layout of thermocouples on the surface of the elements of the exhaust system (Description is given in the text)

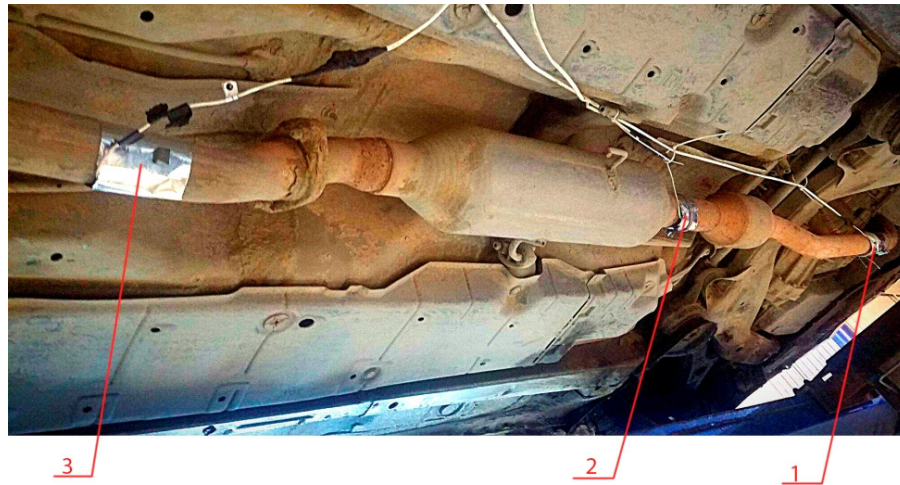


Рисунок 2 – Размещение термоэлементов на системе выпуска отработавших газов; номера термопар соответствуют схеме на рисунке 2

Figure 2 – Layout of thermocouples on the exhaust system; the numbers of thermocouples correspond to the circuit in Fig. 2

Таблица 1  
Условия проведения экспериментальных исследований

Table 1  
Experimental conditions

№ испытания	Скорость движения, км/ч	Температура воздуха, °С
1	20	-8
2	40	-9
3	60	-8
4	80	-8

- продолжительность этапа каждой поездки 20 мин;
- при движении автомобиля с установленными скоростями коэффициент избытка воздуха во время эксперимента составлял  $\alpha = 1,1-1,15$  (согласно показаниям сканера OBD2).

В таблице 1 показаны условия проведения экспериментов по измерению температуры элементов системы выпуска отработавших газов.

Экспериментальные исследования проводились в климатических условиях г. Краснокамска Пермского края. Маршрут движения во время эксперимента представлен на рисунке 3.

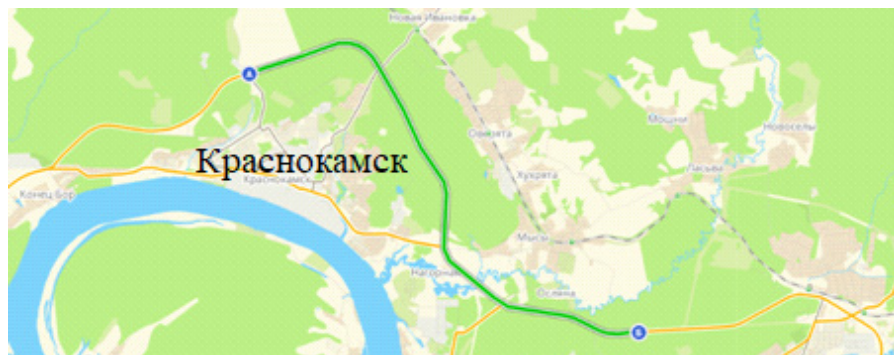


Рисунок 3 – Маршрут движения протяженностью 30 км при проведении экспериментального исследования (объездная автодорога Краснокамск–Пермь)

Figure 3 – 30 km driving route during experimental research (Krasnokamsk-Perm bypass road)

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

Результаты измерения температуры элементов системы выпуска отработавших газов в контрольных точках 1–4, при различной скорости движения автомобиля, представлены на рисунках 4 и 5.

Результаты измерений показывают, что временная зависимость температуры элементов системы выпуска отработавших газов при различных скоростях транспортного средства носит похожий характер. При скорости 40, 60, 80 км/ч во всех точках измерения 1–4 на начальном этапе происходит интенсивное повышение температуры, которое затем снижается и устанавливается на практически стационарных значениях с незначительной осцилляцией. На скорости 20 км/ч термопары 1–4 фиксируют практически монотонное повышение температуры до установившихся значений при отсутствии ярко выраженного максимума.

Следует отметить влияние величины скорости движения автомобиля на температуру нагрева поверхности выхлопной системы:

наименьший прогрев системы наблюдается при скорости до 20 км/ч. При увеличении скорости движения автомобиля наблюдается повышение температуры элементов системы выпуска, что связано с увеличением нагрузки на двигатель, частоты вращения коленчатого вала и, соответственно, увеличения объема и интенсивности поступления горячих отработавших газов в систему выпуска.

При скорости 20 км/ч выход на стационарное значение температуры поверхности в контрольных точках системы выпуска 1, 2, 4 наблюдается примерно через 12 мин после начала движения. При увеличении скорости движения до 40 км/ч выход на стационарную температуру наблюдается через 9 мин после начала движения, при скорости 60 км/ч – через 8 мин, и, наконец, при скорости 80 км/ч – через 11 мин.

Анализ представленных данных показывает, что в области установки 1-й термопары температуры устанавливаются практически на близких значениях при всех скоростях движения.

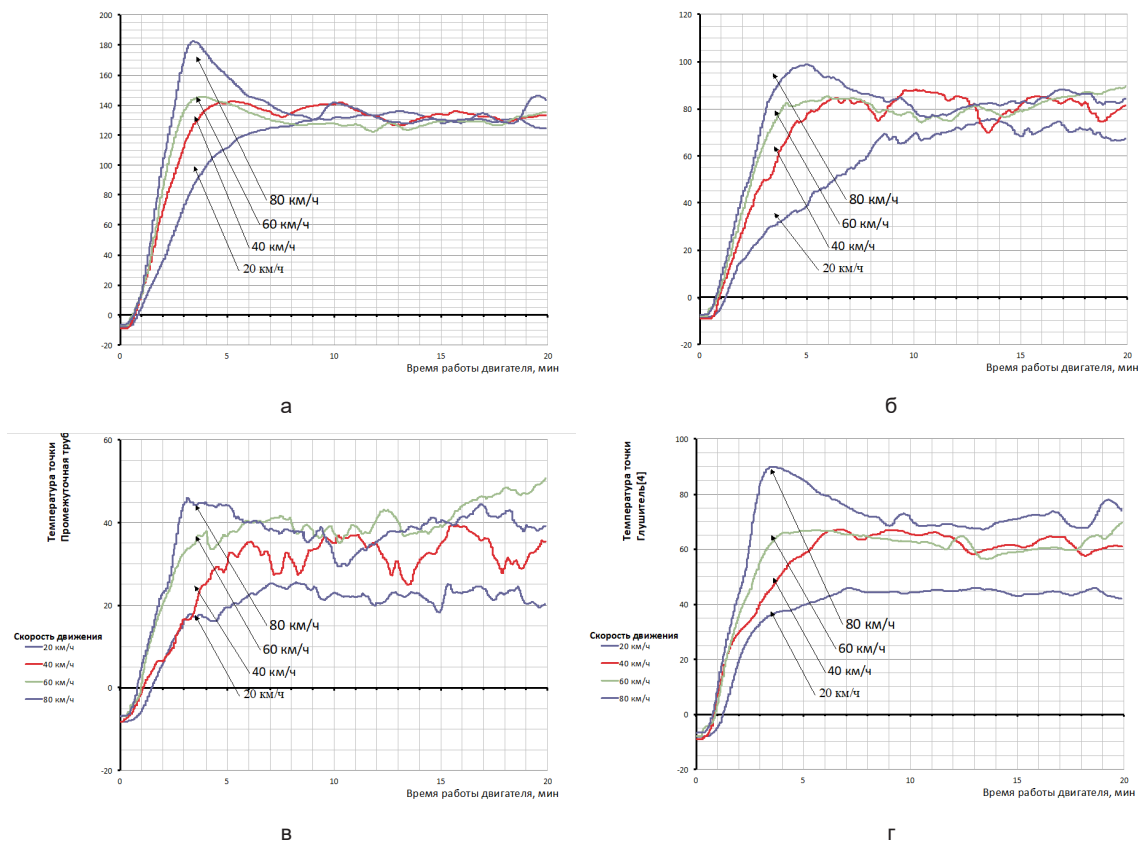


Рисунок 4 – Зависимость от времени температуры в контрольных точках 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4(г) системы выпуска отработавших газов при различных скоростях автомобиля (указаны на рисунках)

Figure 4 – Time-dependent temperature at control points 1 (a), 2 (b), 3 (c) and 4 (d) of the exhaust system at various vehicle speeds (shown in the figures)

Таблица 2  
Показания термопар №5 и №6, установленные внутри системы выпуска при различной скорости движения

Table 2  
Indications of thermocouples 5 and 6 installed inside the exhaust system at different speeds

№ испытания	Постоянная скорость движения автомобиля, км/ч	Температура отработавших газов в контрольной точке, °С	
		5	6
1	0	70–120	35–50
2	20	120–145	45–50
3	40	190–220	75–85
4	60	200–225	80–90
5	80	225–250	105–110

Вторая термопара показывает существенный разброс в диапазоне 30–35 градусов в значениях установившихся температур. При этом температура, соответствующая скорости движения 40 и 60 км/ч, оказывается выше значения температуры в той же точке при скорости 80 км/ч.

В области установки 3-й термопары разброс значений установившихся температур достигает тех же 30–35 градусов, при этом сами температуры становятся заметно меньше. В этом случае также температура, соответствующая скорости движения 60 км/ч, оказывается выше значения температуры, соответствующей скорости 80 км/ч.

В районе размещения 4-й термопары осцилляции температур существенно сглажены, их поведение более стабильное. В частности, температура, соответствующая скорости движения 80 км/ч, выше значения температуры, соответствующей скорости 60 км/ч.

На рисунке 5 представлена зависимость от времени температуры элементов системы выпуска при движении со скоростью 100 км/ч. Эти измерения выполнены сразу по окончании этапа движения с постоянной скоростью 80 км/ч и разгона до 100 км/ч.

Результаты показывают, что при движении со скоростью более 80 км/ч происходит общее повышение температуры элементов системы выпуска, при этом 4-я термопара показывает температуру выше, чем показания термопары в точке 3 и сравнимую с температурой в точке 2.

В таблице 2 приведены диапазоны изменения температуры отработавших газов в зависимости от скорости движения автомобиля по данным термопар, установленных в контрольных точках 5 и 6 внутри системы выпуска (см. рисунок 1).

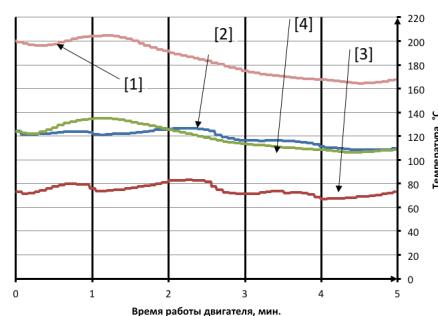


Рисунок 5 – Зависимость от времени температуры элементов системы выпуска отработавших газов в контрольных точках 1–4 (указаны на рисунке) при движении с постоянной скоростью 100 км/ч

Figure 5 – The time-dependent temperature of the elements of the exhaust system at the control points 1–4 (shown in the figure) when driving at a constant speed of 100 km / h.

При работе двигателя на холостом ходу температура отработавших газов на выходе из глушителя достигает температуры 35–50°С, при движении со скоростью 40 км/ч температура газов увеличивается до 75–85°С, при движении со скоростью 80 км/ч температура газов увеличивается до 105–110°С, а при движении со скоростью более 80 км/ч температура газов достигает 150–170°С.

Полученные данные показывают снижение температуры отработавших газов, поступающих из глушителя в окружающую среду, более чем в 2 раза по сравнению с температурой на входе в глушитель.

Стоит заметить, что на температуру поверхности элементов системы выпуска отработавших газов влияет техническое состояние каждого отдельного элемента системы выпуска, в первую очередь состояние каталитического нейтрализатора.

Результаты отбора факторов, влияющих на формирование количества накопления кон-



денсата в системе выпуска отработавших газов, и установление закономерности влияния интенсивности эксплуатации на накопление конденсата в системе выпуска отработавших газов позволит разработать методику определения периодичности удаления конденсата из системы выпуска отработавших газов при отрицательных температурах в зимний период.

Установленные особенности механизма образования и накопления конденсата в системе выпуска отработавших газов и разрабатываемые рекомендации могут быть применены к автомобилям других марок, т.к. по структуре и принципу работы система выпуска соответствует системам выпуска других марок, оснащенных бензиновым атмосферным двигателем.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено экспериментальное исследование по определению особенностей изменения температуры отдельных элементов системы выпуска отработавших газов в зависимости от времени при различной скорости движения автомобиля. В экспериментальном исследовании установлено, что:

- температура элементов системы выпуска отработавших газов устанавливается в течение 8–12 мин с начала движения автомобиля при постоянной скорости и нагрузке;
- наименьший нагрев стенок имеет задний глушитель (до 40 °С при скорости 20 км/ч), а следовательно, и наибольшую вероятность образования и накопления конденсата. При увеличении скорости движения до 60–80 км/ч задний глушитель прогревается до температуры 80 °С.

На следующем этапе экспериментальных исследований необходимо установить температуру конденсации (точку росы) водяных паров, содержащихся в отработавших газах. Возможно будет определить элементы системы выпуска, где происходит охлаждение газа до точки росы и выпадение конденсата. Ценность установленных закономерностей может лечь в основу разрабатываемой методики периодического прогрева системы выпуска отработавших газов. Методика позволит определять предельное количество конденсата, при котором необходимо осуществлять удаление конденсата из системы выпуска.

Применение полученных результатов и использование разрабатываемых рекомендаций снизит возможные затраты, связанные с образованием конденсата в системе выпуска отработавших газов в холодных климатических условиях, к подобным затратам относятся:

1. Затраты, возникающие в случае неудавшегося пуска двигателя в результате блокировки замерзшим конденсатом выпуска отработавших газов. Потребуется чистка и восстановление работы выпускного тракта. Однако без периодической профилактики удаления конденсата остается вероятность повторной блокировки выпускного тракта и утраты работоспособности системы выпуска в холодных климатических условиях.

2. Затраты, возникающие в случае коррозии элементов системы выпуска. На современном этапе ремонт элементов системы выпуска отработавших газов осуществляется в большинстве случаев заменой отдельных элементов. Наиболее часто выходят из строя сильфонные металлические компенсаторы, затем обычно следуют глушители: сквозная коррозия, трещины, деформации поверхности элементов системы выпуска отработавших газов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hashimoto R., Mori G., Yasir M., Tröger U., Wieser H. Impact of Condensates Containing Chloride and Sulphate on the Corrosion in Automotive Exhaust Systems // BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. September 2013. Vol. 158 (9). pp. 377–383. Springer-Verlag Wien. [Электронный ресурс]: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-013-0180-6>.
2. González N. G. Condensation in Exhaust Gas Coolers. In: Junior C., Jänsch D., Dingel O. (eds) // Energy and Thermal Management, Air Conditioning, Waste Heat Recovery. ETA2016. Springer, Cham. 2017. [Электронный ресурс]: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47196-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47196-9_9).
3. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Причины обводнения моторного масла в эксплуатации // Вестник МАДИ. 2012. № 1. С. 63–67.
4. Gümpel, P., Schiller, D., Arlt, N. et al. Simulation of corrosion behaviour of stainless steels in passenger car exhaust systems. ATZ Worldw 106, 2004: 18–20: <https://doi.org/10.1007/BF03224662>
5. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Анализ факторов, влияющих на обводнение моторного масла при эксплуатации автомобиля // Автотранспортное предприятие. 2016. №4. С. 54–56.
6. Heil B., Enderle C., Herwig H., Strohmmer E., Margadant A., Ruth W. The Exhaust System of the Mercedes SL500. -MTZ worldwide. January 2002. -Vol. 63. -Iss. 1. -pp. 2-5. <https://doi.org/10.1007/BF03227514>
7. Krüger, J., Pommerer, M. & Jebasinski, R. Active exhaust silencers. MTZ Worldw 71, 2010. pp. 4–9. <https://doi.org/10.1007/BF03227026>
8. Kuznetsov N.I., Petukhov M.Yu., Khaziev A. A., Laushkin A. V. Problem of Accumulation and Freezing of Condensate in the Exhaust Gases of

Cars at Low Temperatures // Applied Mechanics and Materials. June 2016. Vol. 838. pp. 47–55.

9. Kim, M.J., Woo, S.H., Kim, J.G. et al. Effect of Weld Oxide on the Corrosion Resistance of Gas Metal Arc Welded Ferritic Stainless Steel Exposed to Simulated Exhaust Condensate. *Oxid Met* 84, 2015. pp. 397–411 <https://doi.org/10.1007/s11085-015-9561-4>

10. Morgan, M.L. Failure Analysis of an 18% Cr Ferritic Stainless Steel in a Simulated Exhaust Condensate Containing Urea. *J Fail. Anal. and Preven.* 18, 2018 pp. 117–120. <https://doi.org/10.1007/s11668-018-0387-7>

11. Curà F., Mura A. Aging characterization of metals for exhaust systems // *International Journal of Automotive Technology*. June 2012. Volume 13. Issue 4: 629–636.: <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0061-0>

12. Abdoli M., Rahimi H. & Godarizadeh A. Investigation of Failure in Automotive Exhausts // *J Fail. Anal. and Preven.* 2011. 11: 679.: <https://doi.org/10.1007/s11668-011-9502-8>

13. Кузнецов Н.И. Количественная оценка содержания в отработавших газах воды, поступающей в двигатель с атмосферным воздухом // *Вестник ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2017. №1. С. 77–87. <https://doi.org/10.15593/24111678/2017.01.06>.

14. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Количественная оценка образования воды при сгорании автомобильного топлива // *Автотранспортное предприятие*. 2015. №12. С. 37–39.

15. Лаушкин А.В., Хазиев А.А. Количественная оценка попадания воды в моторное масло из атмосферного воздуха при эксплуатации автомобиля // *Автотранспортное предприятие*. 2015. №7. С. 40–42.

16. Бояршинов М.Г., Кузнецов Н.И. Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах // *Мир транспорта*. 2019. 17(4). С. 48–67. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-48-67>.

17. Бояршинов М.Г., Лобов Н.В., Кузнецов Н.И., Мартемьянов А.О. Температурный режим системы выпуска отработанных газов автомобиля в условиях пониженных температур // *Вестник ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2018. №3. С. 5–16. [10.15593/24111678/2018.03.01](https://doi.org/10.15593/24111678/2018.03.01).

18. Мороз С.М. Технология автоматического индивидуального нормирования расхода топлива для автотранспортных средств // *Грузовик*. 2019. № 3. С. 11–15.

19. Болдин А.П., Максимов В.А., Постолиит А.В., Миротин Л.Б., Хазиев А.А. Методика оперативного определения норм расхода топлива городскими автобусами с учётом сложности маршрута движения // *Автомобильная промышленность*. 2018. №6. С. 22–26.

20. Щурин К.В., Третьяк Л.Н., Герасимов Е.М., Вольнов А.С. Гармонизация стандартов европейского союза и российской федерации по оценке влияния автотранспорта на экологические системы городов // *Грузовик*. 2012. №9.

21. Благоднаров А.А., Юркевич А.А., Юркевич А.В. Расход топлива при движении в городском ездовом цикле автомобиля с бесступенчатым механическим трансформатором // *Журнал автомобильных инженеров*. 2014.

## REFERENCES

1. Hashimoto R., Mori G., Yasir M., Tröger U., Wieser H. Impact of Condensates Containing Chloride and Sulphate on the Corrosion in Automotive Exhaust Systems. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, September 2013, 158 (9): 377–383. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-013-0180-6>.

2. González N. G. Condensation in Exhaust Gas Coolers. *Energy and Thermal Management, Air Conditioning, Waste Heat Recovery. ETA 2016. Springer, Cham*. 2017. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47196-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47196-9_9).

3. Laushkin A.V., Haziev A.A. Prichiny obvodneniya motornogo masla v jekspluatatsii [Reasons for flooding engine oil in operation] *Vestnik MADI*, 2012, 1: 63–67. (in Russian)

4. Gümpel, P., Schiller, D., Arlt, N. et al. Simulation of corrosion behaviour of stainless steels in passenger car exhaust systems. *ATZ Worldw* 106, 2004: 18–20 DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03224662>

5. Laushkin A. V., Haziev A. A. Analiz faktorov, vlijajushih na obvodnenie motornogo masla pri jekspluatatsii avtomobilja [Analysis of factors affecting the flooding of motor oil during car operation] *Avtotransportnoe predpriyatje*. 2016; 4: 54–56. (in Russian)

6. Heil B., Enderle C., Herwig H., Strohmer E., Margadant A., Ruth W. The Exhaust System of the Mercedes SL500. *MTZ worldwide*. 2002. 63(1): 2–5. <https://doi.org/10.1007/BF03227514>

7. Krüger, J., Pommerer, M. & Jebasinski, R. Active exhaust silencers. *MTZ Worldw* 71, 2010: 4–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03227026>

8. Kuznetsov N.I., Petukhov M.Yu., Khaziev A. A., Laushkin A. V. Problem of Accumulation and Freezing of Condensate in the Exhaust Gases of Cars at Low Temperatures, *Applied Mechanics and Materials*. June 2016; 838:47–55. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.838.47>.

9. Kim, M.J., Woo, S.H., Kim, J.G. et al. Effect of Weld Oxide on the Corrosion Resistance of Gas Metal Arc Welded Ferritic Stainless Steel Exposed to Simulated Exhaust Condensate. *Oxid Met* 84, 2015. pp. 397–411 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11085-015-9561-4>

10. Morgan, M.L. Failure Analysis of an 18% Cr Ferritic Stainless Steel in a Simulated Exhaust Condensate Containing Urea. *J Fail. Anal. and Preven.* 18, 2018: 117–120 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11668-018-0387-7>

11. Curà F., Mura A. Aging characterization of metals for exhaust systems. *International Journal of Automotive Technology*. June 2012. 13(4): 629–636. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12239-012-0061-0>

12. Abdoli M., Rahimi H. & Godarizadeh A. Investigation of Failure in Automotive Exhausts. *J Fail.*

Anal. and Preven. 2011. 11: 679. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11668-011-9502-8>

13. Kuznecov N.I. Kolichestvennaya ocenka sodержaniya v otrabotavshih gazah vody, postupayushchej v dvigatel' s atmosferynym vozduhom [Quantification of the content in the exhaust gas of water entering the engine with atmospheric air] *Vestnik PNIPU. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2017; 1: 77-87. DOI: 10.15593/24111678/2017.01.06

14. Laushkin A. V., Haziev A. A. Kolichestvennaya ocenka obrazovaniya vody pri sgoranii avtomobil'nogo topliva [Quantification of the formation of water during the combustion of automotive fuel] *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2015, 12: 37-39. (in Russian)

15. Laushkin A. V., Haziev A. A. Kolichestvennaya ocenka popadanija vody v motornoe maslo iz atmosfernogo vozduha pri jekspluatatsii avtomobilja [A quantitative assessment of the ingress of water into engine oil from atmospheric air during car operation] *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2015, 7: 40-42. (in Russian)

16. Bojarshinov M.G., Kuznecov N.I. Temperaturnyj rezhim sistemy vypuska avtomobilja pri ponizhennyh temperaturah [The temperature regime of the car exhaust system at low temperatures] *Mir transporta*. 2019; 17(4): 48-67. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-48-67> (in Russian)

17. Boyarshinov M.G., Lobov N.V., Kuznecov N.I., Martem'yanov A.O. Temperaturnyj rezhim sistemy vypuska otrabotannyh gazov avtomobilya v usloviyah ponizhennyh temperatur [The temperature regime of the exhaust system of the vehicle in low temperatures] *Vestnik PNIPU. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 3: 5-16. DOI: 10.15593/24111678/2018.03.01 (in Russian)

18. Moroz S.M. Tehnologija avtomaticheskogo individual'nogo normirovaniya rashoda topliva dlja avtotransportnyh sredstv [Technology of automatic individual regulation of fuel consumption for vehicles] *Gruzovik*, 2019, 3: 11-15. (in Russian)

19. Boldin A.P., Maksimov V.A., Postolit A.V., Mirotin L.B., Haziev A.A. Metodika operativnogo opredelenija norm rashoda topliva gorodskimi avtobusami s uchjotom slozhnosti marshruta dvizhenija [The methodology for the rapid determination of fuel consumption rates by city buses, taking into account the complexity of the route of movement] *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2018, 6: 22-26. (in Russian)

20. Shhurin K.V., Treťjak L.N., Gerasimov E.M., Vol'nov A.S. Garmonizacija standartov evropejskogo sojuza i rossijskoj federatsii po ocenke vlijaniya avtotransporta na jekologicheskie sistemy gorodov [Harmonization of standards of the European Union and

the Russian Federation for assessing the impact of vehicles on the ecological systems of cities] *Gruzovik*, 2012; 9. (in Russian)

21. Blagonravov A.A. Jurkevich A.A. Jurkevich A.V. Rashod topliva pri dvizhenii v gorodskom ezdovom cikle avtomobilja s besstupenchatym mehanicheskim transformatorom [Fuel consumption when driving in a city driving cycle of a car with a stepless mechanical transformer] *Zhurnal Avtomobil'nyh inzhenerov*, 2014. (in Russian)

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Бояршинов М.Г. Разработка методики исследования, обработка результатов экспериментальных исследований.*

*Кузнецов Н.И. Проведение экспериментальных исследований.*

## AUTHORS' CONTRIBUTION

*Mikhail G.Boiarshinov – research methods development, experimental research results processing;*

*Nikita I. Kuznetsov – experimental research.*

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бояршинов Михаил Геннадьевич – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: 9128841776@mail.ru).*

*Кузнецов Никита Игоревич – аспирант кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета, ORCID: 0000-0002-3157-6948 (614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: totalgame123@gmail.com).*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Mikhail G. Boiarshinov - Dr. of Sci., Professor, Head of the Cars and Technological Machines Department. Perm National Research Polytechnic University ORCID 0000-0003-4473-6776 (614990, Perm Territory, Perm, Komsomolsky prospekt, 29, e-mail: 9128841776@mail.ru).*

*Nikita I. Kuznetsov - Postgraduate Student, the Automobiles and Technological Machines Department, Perm National Research Polytechnic University, ORCID: 0000-0002-3157-6948 (614990, Perm Territory, Perm, Komsomolsky Prospekt, 29, e-mail: totalgame123@gmail.com).*