

Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах



Михаил БОЯРШИНОВ



Никита КУЗНЕЦОВ

*Бояршинов Михаил Геннадьевич – Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.
Кузнецов Никита Игоревич – Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия.*

В настоящее время наиболее неблагоприятной, с точки зрения риска блокировки системы выпуска накопившимся в ней конденсатом, является эксплуатация автомобилей в крупных городах в зимний период. Частые пуски в относительно короткий промежуток времени, либо пуск – короткий пробег – и последующая длительная стоянка при низких температурах опасны тем, что система выпуска отработавших газов не успевает прогреться и удалить накопившийся конденсат. Ежедневная эксплуатация в таких режимах способствует быстрому скоплению конденсата, а последующая длительная стоянка при температуре воздуха ниже 0°С опасна тем, что в зависимости от конструктивных особенностей элементов выпускной системы возможны замораживание конденсата в системе выпуска отработавших газов, образование ледяной пробки внутри либо на её выходе и, как следствие, невозможность запуска двигателя.

Учитывая то, что большая часть территории России находится в зонах умеренного и холодного климата, исследования, направленные на выявление закономерностей формирования уровня накопления конденсата в системе выпуска отработавших газов, корректирование на этой основе

периодичности удаления конденсата из системы выпуска, а также оптимизацию конструктивных параметров систем выпуска отработавших газов, более чем актуальны.

Цели данного исследования предусматривали изучение особенностей изменения температуры элементов системы выпуска отработавших газов при прогреве автомобильного двигателя в условиях пониженной окружающей температуры, а также влияния различных режимов работы обогревателя салона на температуру элементов системы выпуска отработавших газов, особенностей изменения температуры отдельных элементов системы выпуска отработавших газов в зависимости от времени для различных температур окружающего воздуха. Для этого проводились экспериментальные исследования по запуску «холодного» двигателя и его прогреву в режиме холостого хода.

Установленные закономерности могут лечь в основу разрабатываемой методики корректирования периодичности прогрева системы выпуска отработавших газов, а также модели устройства, которое будет обеспечивать отсутствие конденсата в системе выпуска при эксплуатации автомобилей в крупных городах в зимний период.

Ключевые слова: автомобиль, отработавшие газы, система выпуска, температурный режим, конденсат, зимний период.

*Информация об авторах:

Бояршинов Михаил Геннадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия, 9128841776@mail.ru.

Кузнецов Никита Игоревич – аспирант кафедры автомобилей и технологических машин Пермского национального исследовательского политехнического университета, Пермь, Россия, totalgame123@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 18.03.2019, принята к публикации 24.07.2019.

For the English text of the article please see p. 58.

В условиях современного мегаполиса эксплуатация автомобилей характеризуется частыми короткими поездками, продолжительными простоями в заторах, длительной работой двигателя на холостом ходу и т.д. Практика показывает, что при отрицательных температурах окружающего воздуха продолжительная работа автомобильного двигателя в таких условиях не обеспечивает достаточный прогрев как самого двигателя, так и элементов и узлов системы выпуска отработавших газов. Двигатель считается полностью прогретым, когда температура всех его элементов и рабочих жидкостей выходит на рабочий режим, то есть когда при стационарной работе двигателя температуры перестанут меняться. Быстрее всего прогреваются охлаждающая жидкость и детали верхней части двигателя. Масло в поддоне двигателя греется значительно медленнее. Даже после достижения рабочей температуры охлаждающей жидкостью, температура масла двигателя не достигает рабочей. Такая же ситуация наблюдается и в каталитическом нейтрализаторе. Вследствие чего замедляется процесс выхода на требуемый уровень токсичности отработавших газов. Каталитический нейтрализатор греется от потока отработавших газов, и тем быстрее, чем больше их расход и температура. Однако при отрицательных температурах окружающей среды на режиме холостого хода каталитический нейтрализатор не выходит на рабочий режим.

При эксплуатации в зимних условиях стенки системы выпуска остаются холодными, и движущиеся по системе выпуска вместе с горячими отработанными газами водяные пары конденсируются на холодной поверхности внутри этой системы [1–3]. Как следствие, при длительной работе двигателя на низких оборотах наблюдается накопление конденсата в системе выпуска отработавших газов автомобиля [4, с. 51].

Частые запуски двигателя автомобиля на относительно короткие промежутки времени, прогрев автомобиля в зимних условиях на «автозапуске», движение в режиме коротких пробегов и последующая длительная стоянка при температуре воздуха ниже 0°С опасны тем, что возможно образование и замораживание конденсата в системе выпуска отработавших газов, образование ледяной пробки внутри либо

на её выходе и, как следствие, невозможность запуска двигателя [5, с. 10; 6, с. 3].

Влияние различных сочетаний климатических условий и интенсивности эксплуатации на накопление конденсата в системе выпуска мало изучено. Этому вопросу не уделяется должное внимание в руководствах по пользованию автомобилем. В этой связи требуется исследование описанного явления и разработка на его основе рекомендаций по поддержанию работоспособности системы выпуска отработавших газов в состоянии, обеспечивающем надёжный запуск двигателя и исправную работу автомобиля в период пониженных температур.

Цели исследования:

1) выявить факторы, влияющие на температуру элементов системы выпуска отработавших газов легкового автомобиля в зимний период;

2) установить закономерности влияния различных температур окружающего воздуха на температуру нагрева поверхности системы выпуска;

3) установить закономерности влияния различных режимов работы обогревателя салона на температуру нагрева поверхности системы выпуска.

В основу исследования были положены экспериментальные *методы*.

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА

Конденсат образуется при контакте горячих отработавших газов [7–9], движущихся в системе выпуска, со стенками этой системы, имеющими температуру, близкую к температуре окружающего воздуха. В составе отработавших газов имеется вода в парообразном состоянии, образующаяся при сгорании топлива (более 1,2 кг на 1 кг сгоревшего топлива [10, с. 66]). Кроме того, водяной пар поступает в двигатель с воздухом из атмосферы (до 0,38 кг на 1 кг сгоревшего топлива в зависимости от температуры окружающего воздуха [11, с. 83]).

В работе [8, с. 99] показана зависимость содержания количества воды в отработавших газах от используемого состава топливо-воздушной смеси. Так, при давлении отработавших газов 1 бар при стехиометрических условиях доля водяного пара составляет в отработавших газах 13 %, и конденсация воды происходит при температуре,





близкой к 52°С. В смеси, в которой содержится в два раза больше воздуха, чем это необходимо для сжигания топлива, то есть при коэффициенте избытка воздуха, равном двум, концентрация водяного пара достигает 6 %, при этом точка росы понижается до 36°С. Наиболее высокие значения температуры точки росы соответствуют стехиометрическим условиям, когда избыток воздуха отсутствует или имеется избыток топлива, вследствие чего не происходит обеднение топливной смеси.

При охлаждении отработавшего газа имеющийся избыток воды осажается на относительно холодные стенки системы выпуска и накапливается в системе.

Очевидно, что накопление конденсата не происходит в случае прогрева стенок системы выпуска отработавших газов до температур, при которых водяные пары, находящиеся в контакте со стенками выпускной системы, не охлаждаются до температуры точки росы. Соответственно, не происходит конденсация влаги на стенках выпускной системы. Требуемый прогрев достигается, когда двигатель автомобиля работает при достаточной нагрузке, сопровождающейся испарением образовавшегося конденсата и выбросом отработавших газов, содержащих воду в парообразном состоянии, из выпускной системы, то есть при поездках на продолжительные расстояния или при движении на скоростных участках.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ СТАДИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поскольку основной причиной образования конденсата внутри системы выпуска является разность температур отработавших газов и стенок газоотводных каналов, авторами выполнен ряд экспериментов по определению температуры элементов системы выпускного тракта во время прогрева двигателя при его работе на холостом ходу.

Измерение температуры элементов выпускной системы производилось с использованием специального оборудования [12, с. 7]:

- модуля ввода аналоговых сигналов ОВЕН МВ110-8А, предназначенного для считывания и преобразования электрического сигнала с датчиков измерения температуры в градусы Цельсия;

- автоматического преобразователя интерфейсов USB/RS-485 ОВЕН АС4, осуществляющего связь между модулем ввода ОВЕН МВ 110-8А и персональным компьютером, используемым для сбора, хранения, преобразования, отображения результатов экспериментального исследования;

- термопар с рабочим диапазоном измеряемых температур от -50 до +500°С, используемых для измерения температуры элементов выпускной системы отработанных газов;

- программного обеспечения SCADA OwenProcessManager (OPM), выполняющего обмен данными в режиме реального времени с устройствами ОВЕН, подключёнными через преобразователи интерфейсов ОВЕН АС4.

В процессе экспериментальных исследований изучалось влияние на температуру элементов системы выпуска легкового автомобиля в зимний период основных факторов:

- температуры окружающей среды в диапазоне от -23°С до +9°С;

- частоты вращения коленчатого вала двигателя в режиме пуска и прогрева на холостом ходу в диапазоне от 750 до 1500 об/мин;

- режима работы вентилятора обогревателя салона автомобиля в диапазоне от неработающего состояния до максимальной скорости вращения.

Последовательность проведения экспериментального исследования состояла в запуске «холодного» двигателя, температура которого (как и температура системы выпуска) равна температуре окружающего воздуха, и работе двигателя в режиме холостого хода в течение 30 минут. Одновременно с запуском двигателя регистрировалась температура элементов системы выпуска отработавших газов. Опыт практической эксплуатации автомобиля показывает, что в большинстве случаев этого времени достаточно для прогрева двигателя до рабочей температуры.

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 поверхности си-

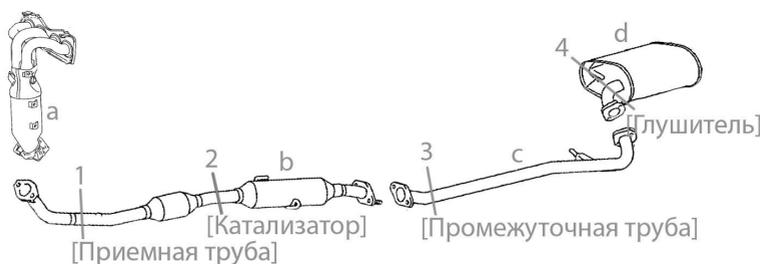


Рис. 1. Точки установки термопар на поверхности системы выпуска:
1 – приёмная труба; 2 – катализатор; 3 – промежуточная труба; 4 – глушитель.

Таблица 1

Условия проведения экспериментальных исследований

№ испытания	Температура окружающей среды	Влажность воздуха	Скорость ветра ¹	Режим работы обогревателя ²
1	+9°C	36 %	3 м/с	1/7
2	+5°C	40 %	1 м/с	1/7
3	0°C	50 %	2 м/с	1/7
4	-4°C	62 %	1 м/с	1/7
5	-8°C	60 %	1 м/с	1/7
6	-16°C	75 %	3 м/с	1/7
7	-23°C	71 %	3 м/с	1/7

¹ Индикативно, так как эксперименты проводились на защищённом от ветра пространстве.

² 1/7 – первый (минимальный) из семи возможных режимов работы обогревателя.

стемы выпуска отработавших газов использовались термопары.

Запись показаний термопар выполнялась при различных температурах окружающего воздуха и различных режимах работы обогревателя салона.

Для уменьшения влияния вторичных факторов на процесс нагрева/охлаждения элементов легкового автомобиля эксперименты проводились на территории, защищённой от ветра. Перед началом измерений обеспечивалось равенство температуры системы выпуска и других деталей автомобиля температуре окружающего воздуха, для чего перед началом измерений автомобиль выдерживался на площадке не менее восьми часов.

Экспериментальное исследование проводилось для элементов системы выпуска отработавших газов автомобиля «Toyota Camry», состоящей (рис. 1) из выпускного коллектора (поз. а), который одновременно выполняет функцию предварительного каталитического нейтрализатора; средней части системы выпуска, состоящей из нижнего катализатора и переднего глушителя (поз. б); промежуточной трубы (поз. с) и

заднего глушителя (поз. d). Термопары 1–4 (рис. 1) были установлены на внешней поверхности элементов системы выпуска.

В таблице 1 указаны условия проведения экспериментов по измерению температуры элементов выпускной системы отработавших газов. Во время проведения экспериментальных исследований автоматический режим работы обогревателя (климат-контроль) был отключён.

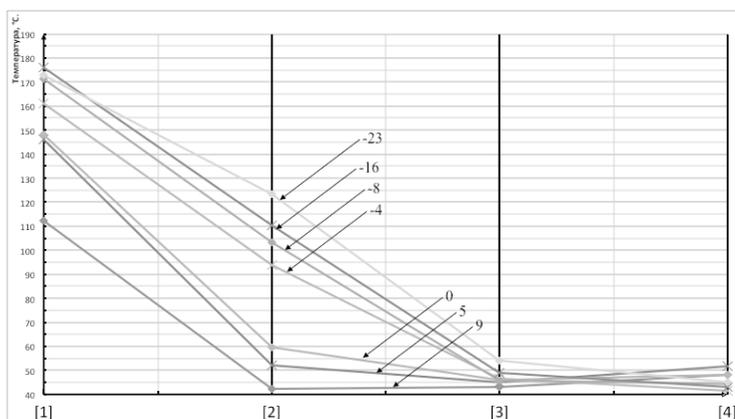
Результаты измерения температуры элементов системы выпуска отработавших газов в зависимости от времени и расположения термопар для некоторых температур окружающего воздуха представлены на рис. 2.

Полученные результаты измерений показывают, что при всех отрицательных температурах окружающего воздуха распределение температуры разных элементов системы выпуска отработавших газов носит однотипный характер. В первой точке измерения имеется интенсивное повышение температуры при прогреве двигателя.

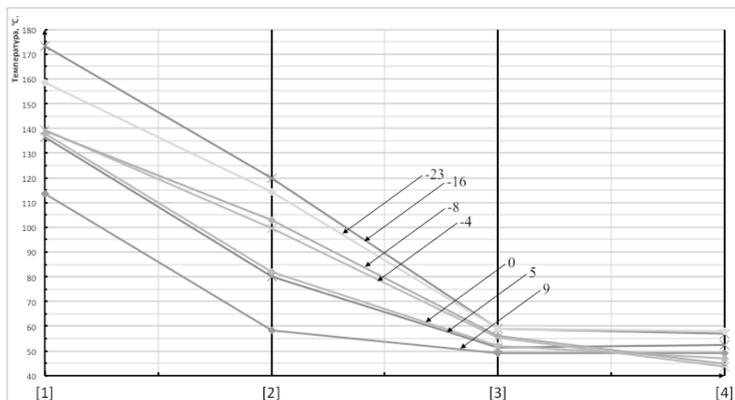
Наблюдается последовательное понижение температуры от места расположения первого термоэлемента к последнему, что



а)



б)



в)

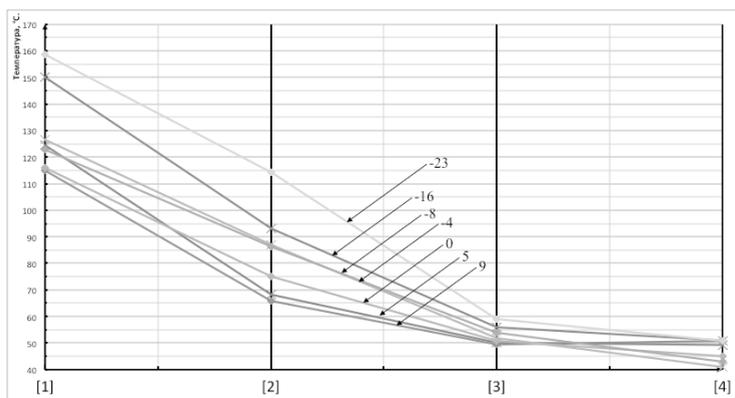


Рис. 2. Температуры поверхности системы выпуска при работе двигателя на холостом ходу; время прогрева: а – 10 минут; б – 20 минут; в – 30 минут; числами над кривыми обозначена температура окружающего воздуха; в квадратных скобках указано положение термодатчика согласно схеме на рис. 1.

вполне соответствует физическому представлению об охлаждении отработавшего газа по мере его продвижения от выпускного коллектора (температура наружной стенки 115–175°C в зависимости от внешней температуры) к заднему глушителю (температура 40–58°C). В конце рассматриваемого 30-минутного отрезка времени наблюдается общее небольшое понижение и выравнивание температуры поверхности выпускной системы.

Установлены некоторые закономерности влияния температуры окружающего воздуха на температуру нагрева поверхности системы выпуска:

- наименьший прогрев стенок системы выпуска отработавших газов наблюдается при положительных температурах окружающего воздуха;
- при понижении отрицательных значений температуры окружающего воздуха отмечается рост температуры

поверхности системы выпуска (рис. 2, точки 1, 2, 3).

Повышение температуры поверхности системы выпуска при понижении отрицательной температуры окружающего воздуха обусловлено, по-видимому, более поздним выходом двигателя на рабочий тепловой режим: если при запуске двигателя охлаждающая жидкость имеет более низкую температуру, соответствующую температуре окружающего воздуха, то прогрев двигателя требует более длительного времени. Нагрев охлаждающей жидкости и самого двигателя требует более продолжительной его работы при повышенной частоте вращения коленчатого вала, чем это требуется при более высоких температурах окружающего воздуха.

При повышенных оборотах двигателя через выпускную систему автомобиля проходит большой объём горячих отработавших газов, интенсивно нагревающих элементы выпускной системы, и это приводит к более высокой температуре поверхности выпускной системы.

В то же время по мере понижения температуры окружающей среды температура в точке 4 также снижается, и это может быть связано с тем, что глушитель системы выпуска имеет значительный объём и при низких температурах во время работы на холостом ходу прогревается незначительно.

На рис. 3 представлены данные о зависимости температуры поверхности системы выпуска от температуры окружающего воздуха на разных временных этапах работы двигателя на холостом ходу. Из сравнения кривых, представленных на этом рисунке, следует что:

- в области расположения первой термодпары (рис. 3, кривая 1) система выпуска нагревается до температуры 110–176°С, обеспечивающей испарение и вынос скопившегося ранее конденсата с потоком отработанных газов (температура поверхности превышает температуру кипения воды) во всём исследованном диапазоне температуры окружающего воздуха;
- в месте расположения второй термодпары (рис. 3, кривая 2) система выпуска нагревается до температуры 92–122°С при отрицательных значениях температуры воздуха и до 42–83°С — при положительных температурах; в последнем случае сохраня-

ется возможность конденсации и накопления влаги в системе выпуска, и это может приводить к замораживанию скапливающегося конденсата при снижении температуры до отрицательной;

- в районе размещения третьей и четвёртой термодпары элементы выпускной системы прогреваются до температуры не выше 60°С; в этих областях возникают благоприятные условия для образования и скапливания конденсата во всем диапазоне рассмотренных температур окружающего воздуха.

На рис. 4 показана зависимость температуры поверхности элементов системы выпуска, на которых установлены термодпары, от времени, причём для различных значений температуры окружающего воздуха при работе двигателя на холостом ходу:

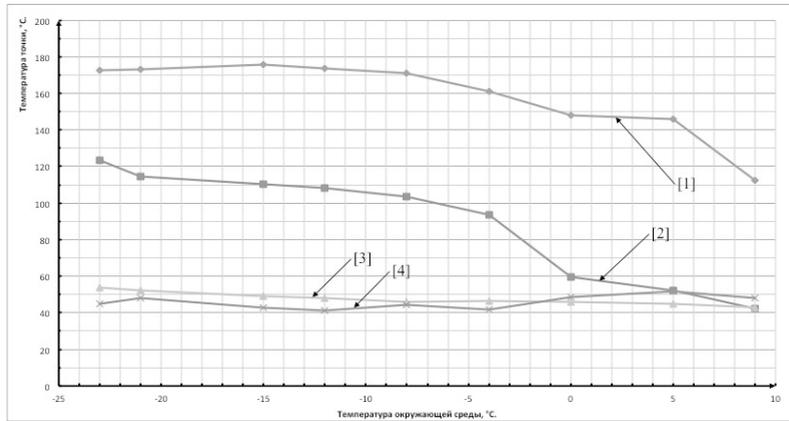
- при температуре окружающего воздуха от -4°С до -15°С отмечается наличие максимумов температуры нагрева элементов системы выпуска отработавшими газами во время неустановившегося режима работы двигателя (рис. 4б, в, г) и понижение температуры этих элементов к концу рассматриваемого 30-минутного периода с дальнейшим выходом на стационарный тепловой режим;
- при температуре окружающего воздуха от -21°С до -23°С температура поверхности системы выпуска в контрольных точках быстро достигает стационарных значений и практически не изменяется в течение рассматриваемого отрезка времени.

Влияние режимов работы обогревателя салона на температуру элементов системы выпуска отработавших газов показано на рис. 5. Обозначение 7/7 соответствует максимальной частоте вращения лопастей вентилятора; обозначение 0/7 соответствует выключенному вентилятору. Во время рассматриваемых испытаний температура воздуха составляла -8°С.

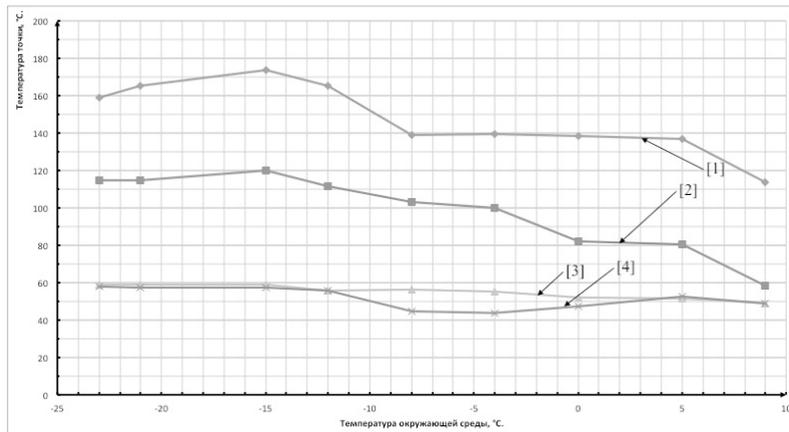
В зоне расположения первой термодпары через 30 минут (рис. 5в) температура достигает 120°С при выключенном обогревателе и 190°С — при режиме работы обогревателя 7/7; в зоне размещения второго термодэлемента соответственно 80°С и 147°С, в зоне расположения третьего термодэлемента соответственно 52°С и 85°С при указанных режимах обогрева салона.



а)



б)



в)

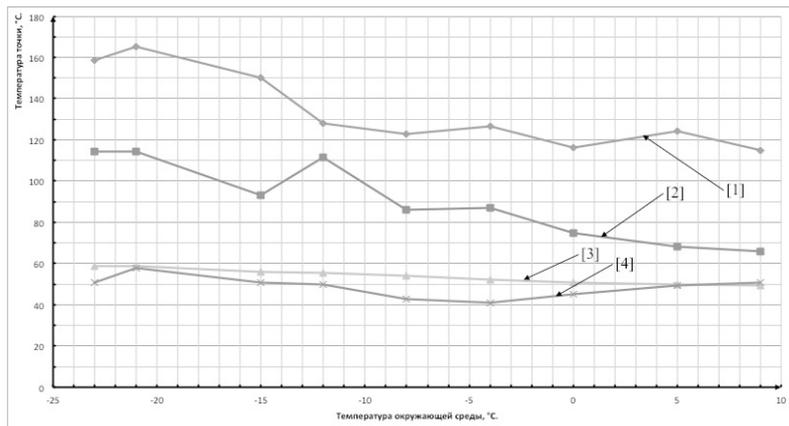


Рис. 3. Зависимость температуры поверхности системы выпуска от температуры окружающего воздуха при работе двигателя на холостом ходу; время работы двигателя: а – 10 минут; б – 20 минут; в – 30 минут; в квадратных скобках указаны положения термопар согласно схеме на рис. 1.

Следует обратить внимание на более поздний выход двигателя на рабочий режим и повышение температуры элементов системы выпуска отработанных газов с увеличением числа оборотов вентилятора обогревателя салона при постоянной температуре окружающего воздуха. Более длительный выход двигателя на рабочий

тепловой режим объясняется тем, что циркулирующая охлаждающая жидкость, нагревая воздух в салоне автомобиля, сама охлаждается в радиаторе обогревателя, тем самым замедляя прогрев работающего двигателя.

В частности, при увеличении скорости вращения вентилятора обогревателя сало-

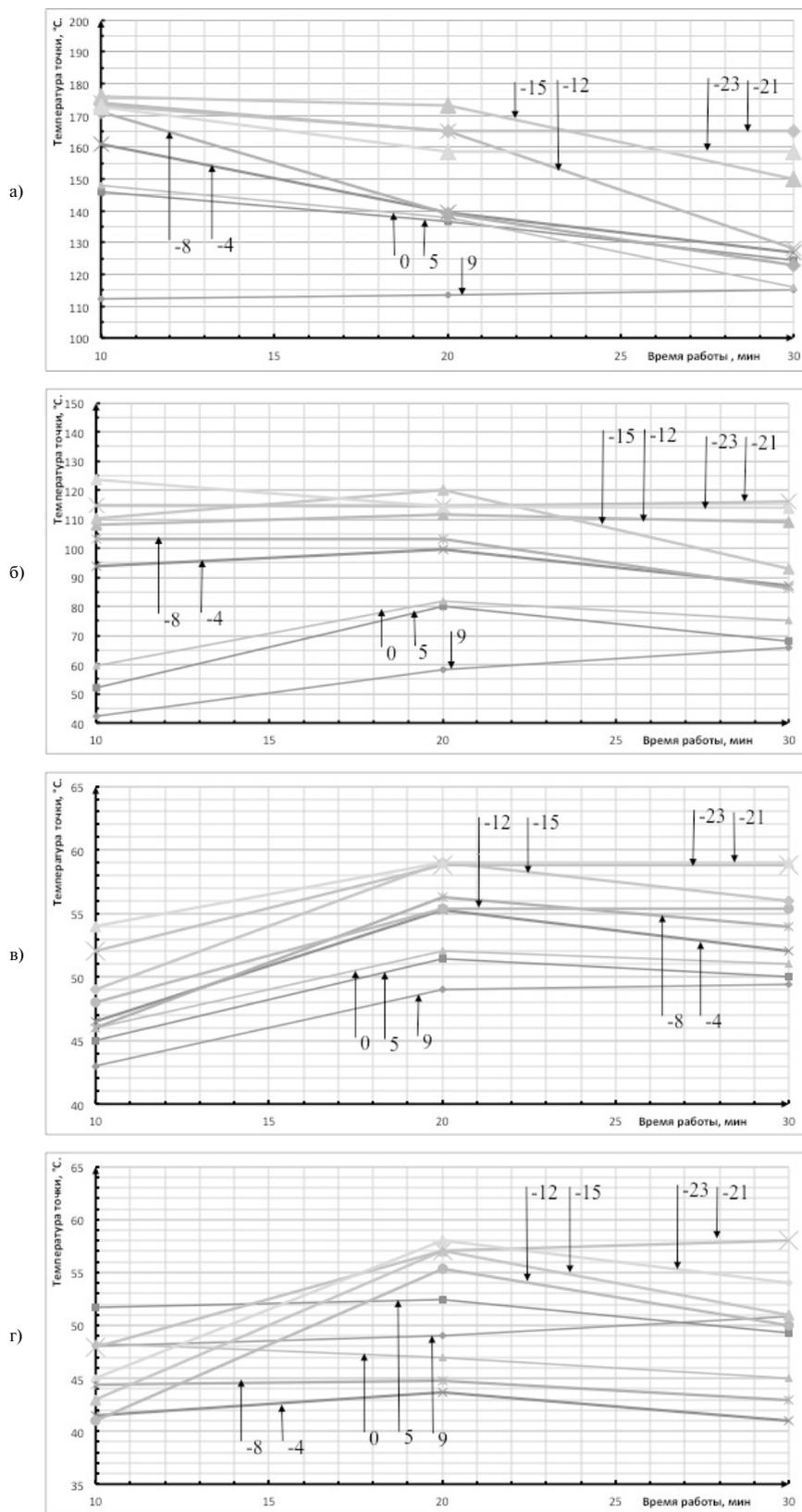


Рис. 4. Зависимость температуры поверхности элементов системы выпуска от времени при работе двигателя на холостом ходу: а – приёмная труба, б – катализатор, в – промежуточная труба, г – глушитель.



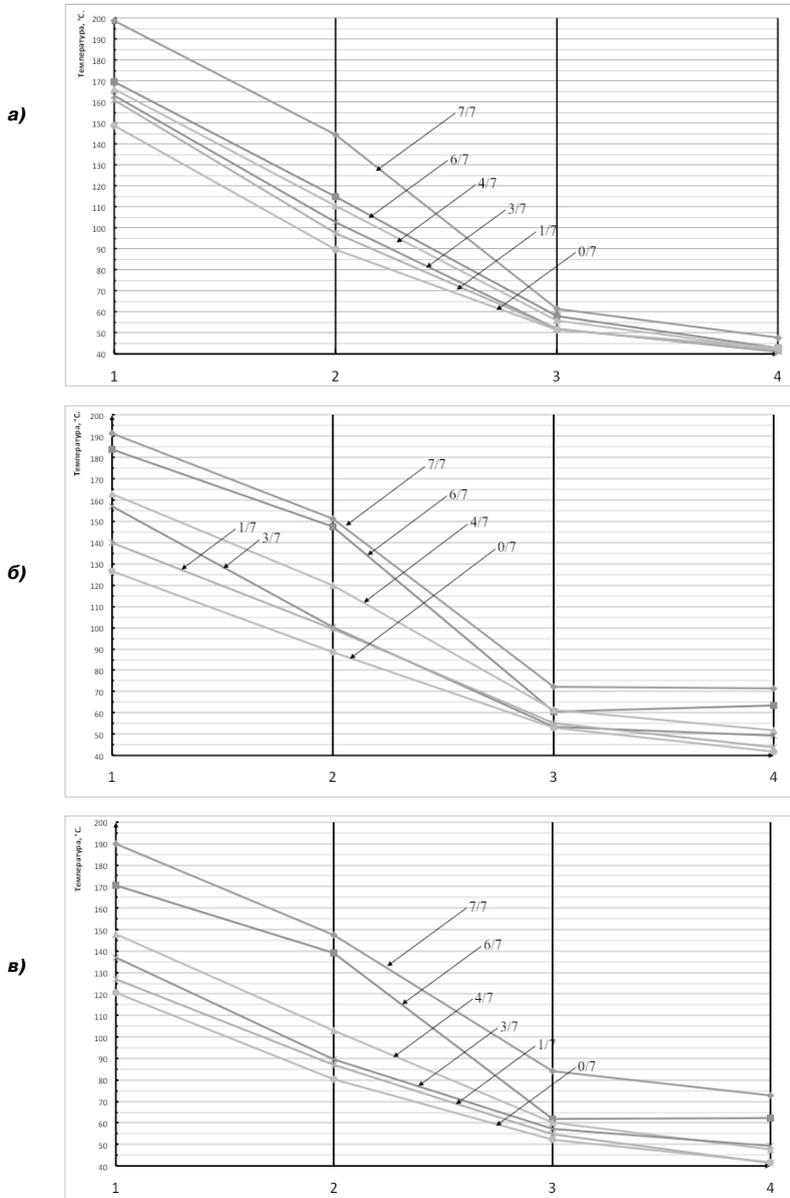


Рис. 5. Зависимость температуры поверхности элементов системы выпуска от положения термопары (числа на оси) и режимов работы обогревателя салона: время прогрева: а – 10 минут; б – 20 минут; в – 30 минут; дробь – режимы работы обогревателя салона (пояснение в тексте).

на, отбор тепла у охлаждающей жидкости в радиаторе обогревателя происходит интенсивнее, и, соответственно, прогрев двигателя даже при повышенных оборотах холостого хода происходит медленнее.

Вместе с тем, при повышенных оборотах двигателя за тот же промежуток времени через выпускную систему автомобиля проходит больший объём горячих отработавших газов, интенсивно нагревающих элементы выпускной системы, что приводит к повышению значений температуры поверхности

элементов выпускной системы. Таким образом, зафиксирована связь повышения температуры поверхности элементов системы выпуска при увеличении числа оборотов вентилятора обогревателя салона.

Следует отметить, что поскольку увеличение скорости вращения вентилятора обогревателя салона приводит к увеличению продолжительности прогрева двигателя автомобиля до рабочей температуры, на современных автомобилях предусмотрена возможность отключения вентилятора обо-

гревателя салона в первые минуты запуска двигателя при пониженных температурах окружающей среды, что способствует более быстрому выходу самого двигателя на рабочий тепловой режим.

Проведённые экспериментальные исследования позволили дополнительно установить:

- на остывание системы выпуска до температуры окружающего воздуха требуется от 3 до 4 часов в зависимости от температуры окружающего воздуха;
- при отрицательной температуре окружающего воздуха задний глушитель системы выпуска отработанных газов рассмотренного автомобиля не способен прогреться при работе двигателя на холостом ходу до температуры 100°C.

ВЫВОДЫ

Выполнено экспериментальное исследование по определению температуры элементов системы выпуска отработавших газов на этапе неустановившейся работы автомобильного двигателя при пониженных температурах. В экспериментальном исследовании установлено, что:

- понижение температуры окружающего воздуха приводит к замедлению прогрета двигателя автомобиля и одновременно к возрастанию температуры элементов системы выпуска;
- повышение скорости работы вентилятора обогревателя салона приводит к понижению температуры охлаждающей жидкости, способствует повышению температуры элементов системы выпуска и одновременно увеличению времени выхода двигателя на рабочий режим.

Ценность установленных закономерностей может лечь в основу разрабатываемой методики корректирования периодичности прогрета системы выпуска отработавших газов, применение которой снижает затраты на контроль технического состояния системы выпуска и затраты, возникающие в случае неудавшегося пуска ДВС в холодных климатических условиях. Также практическая ценность заключается в обосновании разработки модели устройства, которое будет обеспечивать отсутствие конденсата в системе выпуска при эксплуатации автомобилей в крупных городах в зимний период.

ЛИТЕРАТУРА

1. Silencers & pipes. [Электронный ресурс]: <https://www.ernst-hagen.de/en/products/silencers-pipes/>. Доступ 18.03.2019.
2. Кузнецов Н. И., Петухов М. Ю., Хазиев А. А. Разработка рекомендаций по эксплуатации автомобилей в условиях мегаполиса // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: Сб. науч. тр. по материалам 72-й науч.-метод. и науч.-исслед. конф. МАДИ. – М.: МАДИ, 2014. – С. 227–233.
3. Кузнецов Н. И., Петухов М. Ю., Шелудяков А. М. Об особенностях запуска двигателя легкового автомобиля в современном мегаполисе при низких температурах окружающей среды // Вестник ПНИПУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 1. – С. 137–143.
4. 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. [Электронный ресурс]: <https://www.scientific.net/AMM.838.47>. – DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.838.47>.
5. Судебные и нормативные акты РФ. Решение суда № 2-1747/2015 2-1747/2015-М-374/2015 М-374/2015 от 24 июля 2015 г. по делу № 2-1747/2015. Октябрьский районный суд г. Уфы (Республика Башкортостан). [Электронный ресурс]: <http://sudact.ru/regular/doc/UP2TFt0dJ9Vj/>. Доступ 18.03.2019.
6. Судебные и нормативные акты РФ. Решение № 2-6/2011 от 13 апреля 2011 г. по делу № 2-6/2011. Курчатовский районный суд г. Челябинска. [Электронный ресурс]: <http://sudact.ru/regular/doc/p7OrtXeRoBdy/>. Доступ 18.03.2019.
7. 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. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1007/BF03227514>. Доступ 18.03.2019.
8. González N. G. Condensation in Exhaust Gas Coolers. In: Junior C., Jansch D., Dingel O. (eds). – Energy and Thermal Management, Air Conditioning, Waste Heat Recovery. – ETA 2016. – Springer, Cham. – 2017. [Электронный ресурс]: https://doi.org/10.1007/978-3-319-47196-9_9. Доступ 18.03.2019.
9. 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. – <https://link.springer.com/article/10.1007/s00501-013-0180-6>.
10. Лаушкин А. В., Хазиев А. А. Причины обводнения моторного масла в эксплуатации // Вестник МАДИ. – 2012. – № 1. – С. 63–67.
11. 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. – DOI: 10.15593/24111678/2017.01.06.
12. 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. DOI: 10.15593/24111678/2018.03.01

