

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ НАД УРОВНЕМ МОРЯ НА СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ С БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

М.Р. Саидзода, М.А. Абдулло, Р.Х. Саидзода, А.Д. Рахмонзода

Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими

Рассмотрено изменение состава отработавших газов легкового автомобиля с гибридной силовой установкой при подъёме по горной дороге. Измерения выполнены 22.09.2026 на автомобиле Lexus RX 450h (2015 г.) на шести отметках от 801 до 2615 м над уровнем моря вдоль дороги Душанбе – тоннель «Истиклол»; атмосферное давление при этом снижалось с 92,3 до 74,6 кПа. Содержание CO, CH, NOx и CO₂ определяли газоанализатором «Автотест» на холостом ходу и при повышенной частоте вращения коленчатого вала, по шесть замеров в каждой серии (всего 72). Результаты обработаны по распределению Стьюдента ($P = 0,95$), зависимость от высоты оценена линейной регрессией и дисперсионным анализом. Концентрация углеводородов увеличилась с 15,2 до 32,3 млн–1 на холостом ходу и с 14,5 до 32,7 млн–1 при повышенной частоте вращения, то есть примерно на 9,4–9,7 млн–1 на каждые 1000 м ($R^2 = 0,95–0,98$). Оксиды азота, напротив, снизились на 83–89 %, объёмная доля CO₂ на 8–14 %. Для CO устойчивой высотной зависимости не выявлено, средние значения не превышали 0,18 %. Полученные зависимости можно использовать при корректировке методик контроля токсичности автомобилей, эксплуатируемых в горных районах Республики Таджикистан.

Ключевые слова: горная дорога; высота над уровнем моря; отработавшие газы; углеводороды; оксиды азота; гибридный автомобиль; газоанализатор; Варзоб.

ТАЪСИРИ БАЛАНДИ АЗ САТҲИ БАҲР БА ТАРКИБИ ГАЗҲОИ ИСТИФОДАШУДАИ АВТОМОБИЛИ ГИБРИДӢ БО МУҲАРРИКИ БЕНЗИНӢ

М.Р. Саидзода, М.А. Абдулло, Р.Х. Саидзода, А.Д. Рахмонзода

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола тағйирёбии таркиби газҳои истифодашудаи автомобили сабукрав бо дастгоҳи қувваи гибриди ҳангоми баромадан аз роҳи кӯҳӣ баррасӣ шудааст. Ченкуниҳо 22.09.2026 дар автомобили Lexus RX 450h (соли 2015) дар шаш нукта аз 801 то 2615 м аз сатҳи баҳр дар роҳи Душанбе – нақби «Истиклол» гузаронида шуданд; фишори атмосферӣ аз 92,3 то 74,6 кПа паст шуд. Микдори CO, CH, NOx ва CO₂ бо газтаҳлилқунадаи «Автотест» дар гардиши ҳолӣ ва гардиши баланди валли зонуюкӣ муайян карда шуд, дар ҳар як силсила шаш ченкунӣ (ҳамагӣ 72). Натиҷаҳо бо тақсимои Студент ($P = 0,95$) коркард шуда, вобастагӣ аз баландӣ бо регрессияи хаттӣ ва таҳлили дисперсионӣ арзёбӣ гардид. Концентрацияи карбогидрогенҳо дар гардиши ҳолӣ аз 15,2 то 32,3 млн–1 ва дар гардиши баланд аз 14,5 то 32,7 млн–1 афзуд, яъне тақрибан 9,4–9,7 млн–1 ба ҳар 1000 м. Оксидҳои нитроген 83–89 % ва ҳиссаи ҳаҷмии CO₂ 8–14 % кам шуданд. Барои CO вобастагии устувор аз баландӣ ошкор нашуд. Натиҷаҳо ҳангоми ислоҳи усулҳои назорати захрнокии автомобилҳое, ки дар минтақаҳои кӯҳии Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода мешаванд, истифода бурдан мумкин аст.

Калимаҳои калидӣ: роҳи кӯҳӣ; баландӣ аз сатҳи баҳр; газҳои истифодашуда; карбогидрогенҳо; оксидҳои нитроген; автомобили гибриди; газтаҳлилқунада; Варзоб.

EFFECT OF ALTITUDE ON EXHAUST GAS COMPOSITION OF A PETROL HYBRID PASSENGER CAR

M.R. Saidzoda, M.A. Abdullo, R.H. Saidzoda, A.J. Rahmonzoda

Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi

The paper examines how the exhaust composition of a petrol hybrid passenger car changes as it climbs a mountain road. On 22 September 2026 a Lexus RX 450h (2015) was tested at six stations between 801 and 2615 m above sea level along the Dushanbe – Istiqlol tunnel road, where ambient pressure fell from 92.3 to 74.6 kPa. CO, HC, NOx and CO₂ were measured with an Avtotest gas analyser at idle and at elevated crankshaft speed, six readings per series (72 in total). Data were processed with Student's t-distribution ($P = 0.95$); the altitude effect was assessed by linear regression and one-way ANOVA. Hydrocarbon concentration rose from 15.2 to 32.3 ppm at idle and from 14.5 to 32.7 ppm at elevated speed, i.e. by about 9.4–9.7 ppm per 1000 m ($R^2 = 0.95–0.98$). Nitrogen oxides fell by 83–89 % and the CO₂ volume fraction by 8–14 %. No consistent altitude dependence was found for CO, whose mean values stayed at or below 0.18 %. The relationships obtained can support the adjustment of exhaust inspection procedures for vehicles operated in the mountain regions of Tajikistan.

Keywords: mountain road; altitude; exhaust gases; hydrocarbons; nitrogen oxides; hybrid vehicle; gas analyser; Varzob.

1. Введение (Introduction)

От Душанбе до южного портала тоннеля «Истиклол» дорога набирает около 1800 м высоты на расстоянии порядка 55 км по прямой. На этом участке двигатель одного и того же автомобиля попадает в среду, где атмосферное давление ниже примерно на пятую часть. Для технического контроля такой перепад почти не учитывается: нормы содержания вредных веществ в отработавших газах и методы их проверки едины для равнины и высокогорья [2].

С высотой меняются давление, плотность и температура воздуха, а через них состав горючей смеси, индикаторный КПД и мощность двигателя [1, 7, 8]. Для Таджикистана горные условия изучались главным образом с позиций расхода топлива и безопасности: разработана методика нормирования расхода сжиженного газа легковыми автомобилями на горных маршрутах [5], исследована

термонагруженность тормозных систем на затяжных уклонах [3]. Экологическая сторона вопроса проработана слабее.

В зарубежных работах высотный эффект измеряли в климатических камерах и на дорогах. Нао и соавт. показали, что максимальный крутящий момент бензинового двигателя уменьшается с ростом высоты, а зона минимальных удельных расходов топлива сужается [11]. В высотной камере Ren и соавт. зафиксировали рост выбросов CO и суммарных углеводородов при ухудшении сгорания; оксиды азота сначала снижались, а затем росли по мере падения эффективности трёхкомпонентного нейтрализатора [14]. У дизельного фургона на холостом ходу выброс CO на 3200 м оказался более чем на 150 % выше, чем у уровня моря, тогда как NOx почти не менялся [18]. Дорожные испытания с бортовыми системами PEMS на Цинхай-Тибетском плато дают иную картину: выброс CO₂ бензиновых автомобилей вырос менее чем на 15 % в диапазоне 2270–4540 м, а CO и NOx изменялись немонотонно [13]; по другим данным, для лёгких бензиновых автомобилей прирост выброса CO₂ при подъёме с 2,0 до 4,5 км составил 38,5 % [17], а в сопоставлении низко- и высокогорного городов влияние давления на сгорание названо одним из ведущих факторов [16].

Сопоставлять эти результаты напрямую мешает разнородность методов: одни авторы измеряют массовые выбросы на километр пробега в ездовом цикле, другие концентрации на неподвижном автомобиле. На дорожный эффект накладываются уклон [15], интенсивность и характер движения [12], возраст и техническое состояние парка [4, 9]. Гибридные силовые установки в высотных испытаниях представлены скупо, хотя в европейских лабораторных программах их уже включают в испытываемый парк [10].

Цель работы состоит в количественной оценке изменения концентраций CO, CH, NOx и CO₂ в отработавших газах гибридного автомобиля с бензиновым двигателем в диапазоне высот 801–2615 м в реальных условиях дороги Душанбе – тоннель «Истиклол».

2. Материалы и методы (Materials and methods)

Объектом испытаний был легковой автомобиль Lexus RX 450h 2015 г. выпуска с гибридной силовой установкой и бензиновым двигателем. Измерения провели 22.09.2026 при подъёме по дороге Душанбе – тоннель «Истиклол» вдоль долины р. Варзоб: от района Душанбинской ТЭЦ до южного портала тоннеля. Пункты измерений (табл. 1) выбраны на отметках 801, 1049, 1488, 1660, 2171 и 2615 м; координаты и высоты определены приложением GPS Info со спутниковой точностью 4–9 м. Продольный профиль участка показан на рис. 1.

Таблица 1 – Пункты измерений и условия проведения испытаний

Table 1 – Measurement points and test conditions

Высота, м	Широта, ° с. ш.	Долгота, ° в. д.	Давление, кПа	t_v , °C	n_{xx} , мин ⁻¹	$n_{пчв}$, мин ⁻¹
801	38,60528	68,77242	92,3	31	677	2547
1049	38,76874	68,81922	87,45	29	672	2533
1488	38,92015	68,80927	85,36	27	665	2533
1660	38,96203	68,77771	83,9	26	673	2583
2171	39,05289	68,74636	78,3	25	672	2583
2615	39,06175	68,70007	74,6	24	673	2558

Примечание: t_v – температура воздуха; n – средняя частота вращения коленчатого вала в серии.

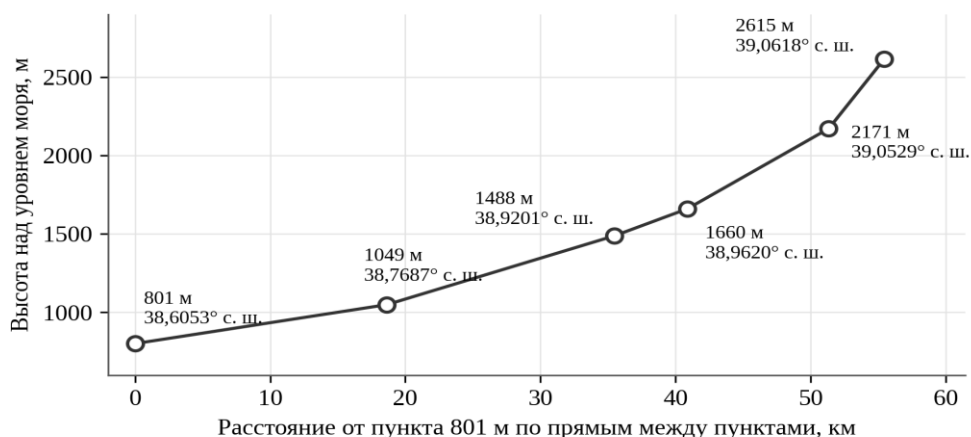


Рисунок 1 – Продольный профиль участка Душанбе – тоннель «Истиклол» с пунктами измерений
Figure 1 – Longitudinal profile of the Dushanbe – Istiklol tunnel section with measurement points

Состав отработавших газов определяли четырёхкомпонентным газоанализатором «Автотест» производства ООО «МЕТА» (дата поверки 25.01.2026). Пробоотборный зонд устанавливали в выпускную трубу; общий вид установки дан на рис. 2. Двигатель прогревали до рабочей температуры: по всем сериям температура масла находилась в пределах 84–88 °С. На каждой отметке выполнено две серии по шесть замеров: на холостом ходу (XX, 630–700 мин⁻¹) и при повышенной частоте вращения коленчатого вала (ПЧВ, 2350–2700 мин⁻¹). Всего получено 72 замера. Показания СН и NO_x регистрировались с дискретностью 1 млн⁻¹.



Рисунок 2 – Процесс измерения с использованием газоанализатора Autotest на автомагистрали
Figure 2 – The measurement process using the Autotest gas analyzer on the highway

Обработка результатов прямых измерений велась по серии объёмом $n = 6$. Среднее значение и среднеквадратичное отклонение отдельного замера вычисляли по формулам

$$\bar{x} = (1/n) \cdot \sum x_i; \quad S = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)]}, \quad (1)$$

границы доверительного интервала и относительную погрешность по формулам

$$\Delta x = t(P; n) \cdot S / \sqrt{n}; \quad \varepsilon = \Delta x / \bar{x} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где $t(P; n) = 2,571$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P = 0,95$ и $n - 1 = 5$ степенях свободы. Связь каждого показателя с высотой H описывали линейной моделью

$$y = a + b \cdot H, \quad (3)$$

параметры которой находили методом наименьших квадратов по 36 индивидуальным замерам каждого режима; значимость коэффициента b проверяли t -критерием, различие между высотными группами однофакторным дисперсионным анализом, различие режимов на одной отметке критерием Уэлча. Уровень значимости принят 0,05.

3. Результаты (Results)

Сводные результаты приведены в табл. 2, параметры высотных зависимостей в табл. 3, графическая интерпретация на рис. 3.

Таблица 2 – Содержание компонентов в отработавших газах, $\bar{x} \pm \Delta x$ ($P = 0,95$; $n = 6$)

Table 2 – Content of components in exhaust gases, $\bar{x} \pm \Delta x$ ($P = 0,95$; $n = 6$)

Показатель	Режим	801 м	1049 м	1488 м	1660 м	2171 м	2615 м
CO, %	XX	$0,077 \pm 0,014$	$0,085 \pm 0,011$	$0,088 \pm 0,015$	$0,080 \pm 0,016$	$0,063 \pm 0,023$	$0,058 \pm 0,028$
	ПЧВ	$0,173 \pm 0,031$	$0,120 \pm 0,024$	$0,127 \pm 0,029$	$0,150 \pm 0,033$	$0,143 \pm 0,055$	$0,157 \pm 0,043$
СН, млн ⁻¹	XX	$15,17 \pm 0,43$	$18,67 \pm 0,54$	$22,17 \pm 0,43$	$25,17 \pm 0,43$	$29,00 \pm 0,66$	$32,33 \pm 1,08$
	ПЧВ	$14,50 \pm 0,57$	$18,33 \pm 0,86$	$21,50 \pm 1,10$	$24,67 \pm 0,86$	$28,17 \pm 1,39$	$32,67 \pm 2,45$
NO _x , млн ⁻¹	XX	$5,83 \pm 1,03$	$4,50 \pm 1,10$	$3,33 \pm 1,08$	$2,33 \pm 0,54$	$1,33 \pm 1,08$	$0,67 \pm 0,54$

Показатель	Режим	801 м	1049 м	1488 м	1660 м	2171 м	2615 м
CO ₂ , %	ПЧВ	7,83 ± 0,79	6,83 ± 0,79	5,50 ± 0,57	4,17 ± 0,79	3,33 ± 0,54	1,33 ± 0,54
	ХХ	14,13 ± 0,40	13,78 ± 0,42	13,31 ± 0,39	12,96 ± 0,34	12,53 ± 0,20	12,12 ± 0,60
	ПЧВ	14,76 ± 0,53	14,42 ± 0,22	14,20 ± 0,22	13,89 ± 0,29	13,72 ± 0,32	13,58 ± 0,42

Сильнее всего на высоту реагируют углеводороды. На холостом ходу их концентрация выросла с $15,17 \pm 0,43$ млн⁻¹ у Душанбе до $32,33 \pm 1,08$ млн⁻¹ на отметке 2615 м, при ПЧВ с $14,50 \pm 0,57$ до $32,67 \pm 2,45$ млн⁻¹. Рост почти линейен: коэффициент b составил 9,37 млн⁻¹/км на ХХ и 9,67 млн⁻¹/км при ПЧВ, коэффициент детерминации 0,978 и 0,952. Режим работы на содержание СН практически не влияет: значимое различие между ХХ и ПЧВ отмечено только на отметке 801 м ($p = 0,04$), на остальных $p = 0,19$ – $0,76$.

Оксиды азота ведут себя противоположным образом. На холостом ходу среднее содержание NO_x снизилось с 5,83 до 0,67 млн⁻¹ (на 88,6 %), при ПЧВ с 7,83 до 1,33 млн⁻¹ (на 83,0 %). Абсолютные значения здесь малы и сопоставимы с дискретностью отсчёта (1 млн⁻¹), поэтому на отметках 2171 и 2615 м относительная погрешность серий на ХХ достигает 81 %; тренд тем не менее выражен ($R^2 = 0,79$ и $0,91$, $p < 0,001$).

Объёмная доля CO₂ уменьшилась на 14,2 % на ХХ (с 14,13 до 12,12 %) и на 8,0 % при ПЧВ (с 14,76 до 13,58 %). Для CO устойчивой высотной зависимости нет. При ПЧВ регрессия незначима ($p = 0,85$), дисперсионный анализ различий между отметками не выявил ($p = 0,14$). На холостом ходу связь формально значима ($p = 0,008$), но слаба ($R^2 = 0,19$) и направлена в сторону снижения CO с высотой. Повышенная частота вращения на всех отметках дала более высокие CO, NO_x и CO₂, чем холостой ход (критерий Уэлча, $p < 0,05$).

Таблица 3 – Параметры линейной зависимости $y = a + b \cdot H$ (H , км) по 36 замерам каждого режима

Table 3 – Parameters of the linear dependence $y = a + b \cdot H$ (H , km) for 36 measurements of each mode

Показатель	Режим	a	b, ед./км	R ²	p (b)	p (ANOVA)	Δ, %
Оксид углерода CO, %	ХХ	0,098	-0,0137	0,187	0,008	0,039	-23,9
	ПЧВ	0,142	0,0019	0,001	0,854	0,137	-9,6
Углеводороды СН, млн ⁻¹	ХХ	8,47	9,37	0,978	< 0,001	< 0,001	+113,2
	ПЧВ	7,53	9,67	0,952	< 0,001	< 0,001	+125,3
Оксиды азота NO _x , млн ⁻¹	ХХ	7,58	-2,81	0,793	< 0,001	< 0,001	-88,6
	ПЧВ	10,50	-3,47	0,914	< 0,001	< 0,001	-83,0
Диоксид углерода CO ₂ , %	ХХ	14,94	-1,10	0,781	< 0,001	< 0,001	-14,2
	ПЧВ	15,13	-0,64	0,599	< 0,001	< 0,001	-8,0

Примечание: Δ – изменение среднего значения на отметке 2615 м относительно отметки 801 м.

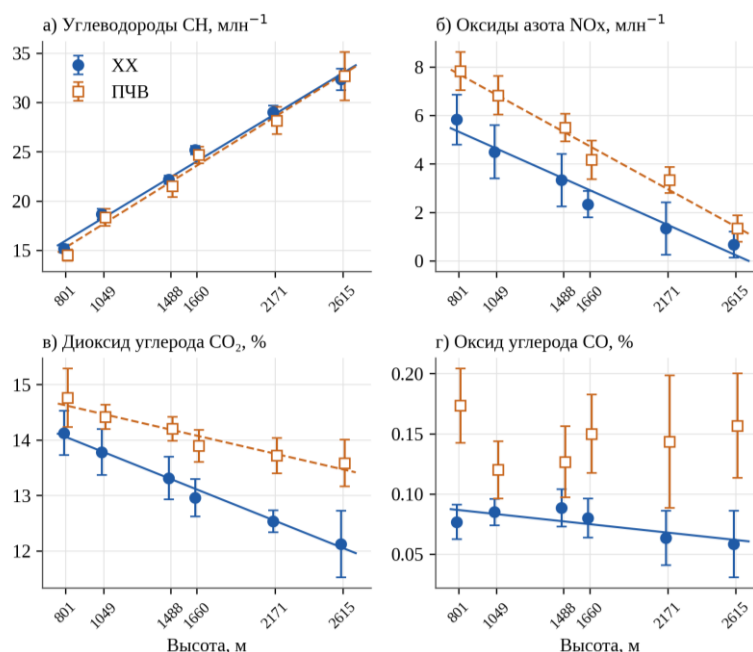


Рисунок 3 – Зависимость содержания СН (а), NO_x (б), CO₂ (в) и CO (г) от высоты: точки – средние значения с доверительным интервалом ($P = 0,95$), линии – значимые регрессии; ● – ХХ, □ – ПЧВ

Figure 3 – Dependence of the content of CH (a), NO_x (b), CO₂ (c) and CO (d) on the altitude: points are mean values with a confidence interval ($P = 0,95$), lines are significant regressions; ● – ХХ (idle speed), □ – ПЧВ (high crankshaft speed)

4. Обсуждение (Discussions)

Почему углеводородов становится вдвое больше, а СО почти не меняется? Современная система управления с обратной связью по датчикам кислорода удерживает состав смеси близким к стехиометрическому и при пониженной плотности воздуха, поэтому обогащения смеси, характерного для карбюраторных двигателей, ожидать не приходится. Рост СН при этом согласуется с данными высотной камеры, где увеличение углеводородов связывается с ухудшением сгорания [14]: при меньшей плотности заряда снижаются давление и температура конца сжатия, пламя распространяется медленнее, и доля несгоревшего топлива у стенок и в зазорах камеры растёт. Проверить этот механизм прямыми измерениями по нашим данным нельзя. Гипотеза остаётся гипотезой.

Снижение NO_x объясняется той же причиной с обратным знаком. Образование оксидов азота определяется главным образом пиковой температурой сгорания, а она при разреженном заряде ниже. Похожее снижение NO_x на начальном участке роста высоты описано в [14]; у дизельного двигателя на холостом ходу этот эффект не проявился [18], что указывает на зависимость результата от типа рабочего процесса.

Отдельного разговора заслуживает CO_2 . Атмосферное давление между крайними пунктами упало на 19,2 %, плотность воздуха с учётом температуры приблизительно на 17,3 %, объёмная доля CO_2 на XX на 14,2 %. Коэффициент корреляции средних значений CO_2 с давлением составил 0,98 на XX и 0,97 при ПЧВ. Такая близость наводит на мысль, что часть наблюдаемого снижения может быть связана не с процессом сгорания, а с работой оптического канала газоанализатора при пониженном давлении пробы. Если прибор не имеет автоматической коррекции по давлению, его показания в горах требуют пересчёта. Важно и другое: снижение объёмной доли CO_2 не означает снижения массового выброса на километр пробега. Дорожные испытания, напротив, фиксируют рост выбросов CO_2 с высотой [13, 16, 17], и противоречия здесь нет, поскольку измеряются разные величины.

По содержанию СО автомобиль на всех отметках укладывается в предельные значения межгосударственного стандарта для транспортных средств экологического класса 4 и выше: 0,3 % на минимальной и 0,2 % на повышенной частоте вращения [2]. Иначе обстоит дело с углеводородами: при двукратном росте СН с высотой запас до нормативного предела у автомобилей с изношенными системами зажигания и нейтрализации может исчерпываться в горах раньше, чем на равнине.

Ограничения работы очевидны. Испытан один автомобиль, поэтому доверительные интервалы характеризуют повторяемость измерений, а не разброс по парку. Высота и температура воздуха (от 24 до 31 °С) менялись одновременно, и разделить их влияние по этим данным нельзя. Измерения выполнены на неподвижном автомобиле, без нагрузки, свойственной подъёму, а по концентрациям нельзя судить о массовых выбросах, которые требуются для инвентаризаций парниковых газов [6]. Для перехода к удельным выбросам нужны испытания с бортовой системой измерения расхода отработавших газов, а в методику контроля токсичности в горных районах, вероятно, придётся ввести поправку на атмосферное давление.

5. Заключение (Conclusions)

1. На дороге Душанбе – тоннель «Истиклол» при подъёме с 801 до 2615 м (снижение давления с 92,3 до 74,6 кПа) концентрация углеводородов в отработавших газах гибридного автомобиля Lexus RX 450h выросла более чем вдвое: на 113,2 % на холостом ходу и на 125,3 % при повышенной частоте вращения; прирост составляет около 9,4–9,7 млн⁻¹ на 1000 м.

2. Содержание NO_x с высотой снизилось на 83,0–88,6 %, объёмная доля CO_2 на 8,0–14,2 %. Устойчивой зависимости СО от высоты не выявлено; средние значения СО на всех отметках не превышали 0,18 %.

3. Снижение объёмной доли CO_2 по величине близко к снижению атмосферного давления, поэтому при контроле токсичности в горах необходимо учитывать способ компенсации давления в газоанализаторе.

4. Для оценки экологической нагрузки горных автодорог Таджикистана требуется перейти от концентраций к удельным массовым выбросам и расширить выборку автомобилей по типам силовых установок и экологическим классам.

Рецензент: Сайдуллозода С.С. — к.т.н., доцент кафедры ЭАП, ТПУ имени академика М.С. Осими

Вклад авторов

Саидзода М. Р. – проведение полевого эксперимента, сбор данных, участие в обработке результатов.

Абдулло М.А. – руководство полевыми испытаниями, теоретический анализ данных.

Саидзода Р.Х. – теоретический анализ, участие в обсуждении результатов и формулировании выводов.

Рахмонзода А.Д. – участие в полевых испытаниях, статистическая обработка данных.

Литература

1. Абдуллоев, М. А. Влияние термодинамических параметров горной среды на энергетические показатели автотракторных двигателей внутреннего сгорания : специальность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. А. Абдуллоев. – Душанбе : Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, 2004. – 136 с. – Текст : электронный.
2. ГОСТ 33997–2016. Колёсные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки : межгосударственный стандарт : издание официальное : введён впервые : дата введения 2019-02-01. – Москва : Стандартинформ, 2017. – Текст : электронный.
3. Давлатшоев, Р. А. Надёжность и работоспособность тормозной системы автомобиля при движении на уклонах / Р. А. Давлатшоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2025. – С. 77. – Текст : непосредственный.
4. Каримходжаев, Н. Сравнительный анализ токсичности выхлопных газов автомобилей и пути её снижения / Н. Каримходжаев, У. Нумонов // Universum: технические науки. – 2020. – № 11- 2 (80). – С. 12–18. – Текст : непосредственный. – DOI: 10.32743/UniTech.2020.80.11-2.12-18.
5. Мирон, Б. К. Разработка методики нормирования расхода сжиженного углеводородного газа для легковых автомобилей в горных условиях Республики Таджикистан : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Б. К. Мирон. – Москва : ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2020. – 189 с. – Текст : электронный.
6. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. Т. 2 : Энергетика. Глава 3. Мобильное сжигание/ Межправительственная группа экспертов по изменению климата ; под ред. С. Игглестона [и др.]. – Хаяма : ИГЕС, 2006. – Текст : электронный.
7. Сайфиддинзода, О. С. Углеродный след и климатическая уязвимость Республики Таджикистан / О. С. Сайфиддинзода, М. А. Абдулло, Р. Д. Джурахонзода, С. Х. Давлатзода // Фуруги илим (Сияние науки). – 2025. – № 4. – С. 53–62. – Текст : непосредственный. – ISSN 3078-395X. – DOI: 10.5281/zenodo.18910312.
8. Суюнтбеков, И. Э. Исследование влияния горных условий эксплуатации на термодинамические показатели автомобильных двигателей внутреннего сгорания / И. Э. Суюнтбеков, Б. Э. Токтобеков // Известия ВУЗов (Кыргызстан). – 2015. – № 2. – С. 42–44. – Текст : непосредственный.
9. Barwari, R. R. I. Study of Air Pollutions Caused by Exhaust Gases Emitted from Gasoline Vehicles in Erbil City / R. R. I. Barwari // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Т. 1105, № 1. – С. 012053. – Текст : непосредственный. – ISSN 1757-8981, 1757-899X. – DOI: 10.1088/1757-899X/1105/1/012053.
10. Clairotte, M. Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles / M. Clairotte, R. Suarez-Bertoa, A. A. Zardini, B. Giechaskiel, J. Pavlovic, V. Valverde, B. Ciuffo, C. Astorga // Environmental Sciences Europe. – 2020. – Т. 32, № 1. – С. 125. – Текст : непосредственный. – ISSN 2190-4715. – DOI: 10.1186/s12302-020-00407-5.
11. Hao, L. Model-based estimation of light-duty vehicle fuel economy at high altitude / L. Hao, C. Wang, H. Yin, C. Hao, H. Wang, J. Tan, X. Wang, Y. Ge // Advances in Mechanical Engineering. – 2019. – Т. 11, № 11. – С. 1687814019886252. – Текст : непосредственный. – ISSN 1687-8132. – DOI: 10.1177/1687814019886252.
12. Kuppili, S. K. Characteristics of real-world gaseous exhaust emissions from cars in heterogeneous traffic conditions / S. K. Kuppili, V. Dheeraj Alshetty, M. Diya, S. M. Shiva Nagendra, G. Ramadurai, и др. // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2021. – Т. 95. – С. 102855. – Текст : непосредственный. – ISSN 1361-9209. – DOI: 10.1016/j.trd.2021.102855.
13. Qi, Z. The Effects of Varying Altitudes on the Rates of Emissions from Diesel and Gasoline Vehicles Using a Portable Emission Measurement System / Z. Qi, M. Gu, J. Cao, Z. Zhang, C. You, Y. Zhan, Z. Ma, W. Huang // Atmosphere. – 2023. – Т. 14, № 12. – С. 1739. – Текст : непосредственный. – ISSN 2073-4433. – DOI: 10.3390/atmos14121739.
14. Ren, Y. Effects of altitude on light gasoline vehicles: fuel consumption and air pollution / Y. Ren, W. Yu, L. Hao, Y. Ge // Atmospheric Pollution Research. – 2025. – Т. 16, № 11. – С. 102652. – Текст : непосредственный. – ISSN 1309-1042. – DOI: 10.1016/j.apr.2025.102652.
15. Šarkan, B. Emissions Production by Exhaust Gases of a Road Vehicle's Starting Depending on a Road Gradient / B. Šarkan, M. Loman, F. Synák, T. Skrúcaný, J. Hanzl // Sensors. – 2022. – Т. 22, № 24. – С. 9896. – Текст : непосредственный. – ISSN 1424-8220. – DOI: 10.3390/s22249896.
16. Jiang, Z. Comparison of vehicular emissions at different altitudes: Characteristics and policy implications / Z. Jiang, H. Niu, Z. Jia, L. Wu, Q. Zhang, Y. Zhang, H. Mao // Environmental Pollution. – 2025. – Т. 367. – С. 125679. – Текст : непосредственный. – ISSN 0269-7491. – DOI: 10.1016/j.envpol.2025.125679.
17. Jiang, Z. Investigating the impact of high-altitude on vehicle carbon emissions: A comprehensive on-road driving study / Z. Jiang, L. Wu, H. Niu, Z. Jia, Z. Qi, Y. Liu, Q. Zhang, T. Wang, J. Peng, H. Mao // Science of The Total Environment. – 2024. – Т. 918. – С. 170671. – Текст : непосредственный. – ISSN 0048-9697. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170671.

18. Yin, H. Idle emission characteristics of a light-duty diesel van at various altitudes / H. Yin, Y. Ge, X. Wang, L. Yu, Z. Ji, W. Chen // *Atmospheric Environment*. – 2013. – Т. 70. – С. 117–122. – Текст : непосредственный. – ISSN 1352-2310. – DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.01.012.

References

1. Abdulloyev, M. A. (2004). Vliyaniye termodinamicheskikh parametrov gornoy sredy na energeticheskiye pokazateli avtotraktornykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Influence of thermodynamic parameters of the mountain environment on energy indicators of automotive and tractor internal combustion engines] (Candidate dissertation). Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe.
2. Euro-Asian Council for Standardization, Metrology and Certification. (2017). GOST 33997–2016. Kolosnyye transportnyye sredstva. Trebovaniya k bezopasnosti v ekspluatatsii i metody proverki [Interstate Standard GOST 33997–2016. Wheeled vehicles. Requirements for in-service safety and verification methods]. Standartinform.
3. Davlatshoyev, R. A. (2025). Nadozhnost' i rabotosposobnost' tormoznoy sistemy avtomobilya pri dvizhenii na uklonakh [Reliability and efficiency of the vehicle brake system when driving on slopes]. *Politekhicheskiy vestnik. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya* [Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Studies], 77.
4. Karimkhodzhaev, N., & Numonov, U. (2020). Sravnitel'nyy analiz toksichnosti vykhlopnykh gazov avtomobiley i puti yeyo snizheniya [Comparative analysis of vehicle exhaust gas toxicity and ways to reduce it]. *Universum: Tekhnicheskiye nauki* [Universum: Technical Sciences], 80(11-2), 12–18. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2020.80.11-2.12-18>
5. Mirov, B. K. (2020). Razrabotka metodiki normirovaniya raskhoda szhizhennogo uglevodorodnogo gaza dlya legkovykh avtomobiley v gornykh usloviyakh Respubliki Tadjikistan [Development of a methodology for rationing liquefied petroleum gas consumption for passenger cars in mountainous conditions of the Republic of Tajikistan] (Candidate dissertation). Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 2: Energy, Chapter 3: Mobile combustion (S. Eggleston et al., Eds.). Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
7. Sayfiddinzoda, O. S., Abdullo, M. A., Jurakhonzoda, R. D., & Davlatzoda, S. Kh. (2025). Uglerodnyy sled i klimaticheskaya uyazvimost' Respubliki Tadjikistan [Carbon footprint and climate vulnerability of the Republic of Tajikistan]. *Furugi ilm (Siyanie nauki)* [The Glow of Science], (4), 53–62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18910312>
8. Suyunbekov, I. E., & Toktobekov, B. E. (2015). Issledovaniye vliyaniya gornykh usloviy ekspluatatsii na termodinamicheskiye pokazateli avtomobil'nykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Study of the influence of mountainous operating conditions on thermodynamic performance of automotive internal combustion engines]. *Izvestiya VUZov (Kyrgyzstan)*, (2), 42–44.
9. Barwari, R. R. I. (2021). Study of air pollutions caused by exhaust gases emitted from gasoline vehicles in Erbil City. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1105(1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1105/1/012053>
10. Clairotte, M., Suarez-Bertoa, R., Zardini, A. A., Giechaskiel, B., Pavlovic, J., Valverde, V., Ciuffo, B., & Astorga, C. (2020). Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00407-5>
11. Hao, L., Wang, C., Yin, H., Hao, C., Wang, H., Tan, J., Wang, X., & Ge, Y. (2019). Model-based estimation of light-duty vehicle fuel economy at high altitude. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(11), 1687814019886252. <https://doi.org/10.1177/1687814019886252>
12. Kuppili, S. K., Alshetty, V. D., Diya, M., Shiva Nagendra, S. M., Ramadurai, G., et al. (2021). Characteristics of real-world gaseous exhaust emissions from cars in heterogeneous traffic conditions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102855>
13. Qi, Z., Gu, M., Cao, J., Zhang, Z., You, C., Zhan, Y., Ma, Z., & Huang, W. (2023). The effects of varying altitudes on the rates of emissions from diesel and gasoline vehicles using a portable emission measurement system. *Atmosphere*, 14(12), 1739. <https://doi.org/10.3390/atmos14121739>
14. Ren, Y., Yu, W., Hao, L., & Ge, Y. (2025). Effects of altitude on light gasoline vehicles: Fuel consumption and air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 16(11), 102652. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102652>
15. Šarkan, B., Loman, M., Synák, F., Skřáčaný, T., & Hanzl, J. (2022). Emissions production by exhaust gases of a road vehicle's starting depending on a road gradient. *Sensors*, 22(24), 9896. <https://doi.org/10.3390/s22249896>
16. Jiang, Z., Niu, H., Jia, Z., Wu, L., Zhang, Q., Zhang, Y., & Mao, H. (2025). Comparison of vehicular emissions at different altitudes: Characteristics and policy implications. *Environmental Pollution*, 367, 125679. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.125679>
17. Jiang, Z., Wu, L., Niu, H., Jia, Z., Qi, Z., Liu, Y., Zhang, Q., Wang, T., Peng, J., & Mao, H. (2024). Investigating the impact of high-altitude on vehicle carbon emissions: A comprehensive on-road driving study. *Science of The Total Environment*, 918, 170671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170671>
18. Yin, H., Ge, Y., Wang, X., Yu, L., Ji, Z., & Chen, W. (2013). Idle emission characteristics of a light-duty diesel van at various altitudes. *Atmospheric Environment*, 70, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.012>

Сведения об авторах:

Саидзода Мухаммад Рахим, ассистент кафедры “Организация перевозок и управление на транспорте” Таджикского технического университета имени академика М. С. Осими. Электронная почта: muha959574@gmail.com

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com

Саидзода Рахим Хамро, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2057-4369>. E-mail: rahsai@mail.ru

Рахмонзода Ахмаджон Джамолидин, кандидат технических наук, доцент кафедры “Промышленное и гражданское строительство”, Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com

Маълумот оид ба муаллифон:

Саидзода Муҳаммад Раҳим, ассистент кафедры ташкили интиқол ва идора дар нақлиёт, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М С Осимӣ. E-mail: muha959574@gmail.com

Абдулло Мамадамон Абдурахмонбек, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Саидзода Раҳим Хамро, доктори илмҳои техникӣ, профессори кафедраи истифодабарии нақлиёти автомобилӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2057-4369>. E-mail: rahsai@mail.ru.

Раҳмонзода Аҳмадҷон Ҷамолӣдин, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи сохтмони саноатӣ ва шаҳрвандӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com

Information about the authors:

Saidzoda Muhammad Rahim, assistant, Department of Transportation Organization and Management, Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi. E-mail: muha959574@gmail.com

Abdullo Mamadamon Abdurahmonbek, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. E-mail: mamadamonabdullo@gmail.com.

Saidzoda Rahim Hamro, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Operation of road transport» Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6253-5946>. Email: rahsai@mail.ru

Rahmonzoda Ahmadjon Jamolidin, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Construction, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3054-5429>. E-mail: ahmadjon2904@gmail.com