

УДК 621.4

© С. А. Горожанкин, д-р техн. наук, профессор

© Н. В. Савенков, канд. техн. наук, доцент

© Е. А. Власенко, ассистент

(Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, ДНР, Россия)

E-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ru,

n.v.savenkov@donnasa.ru, e.a.vlasenko@donnasa.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-1-111-121

© S. A. Gorozhankin, Dr. Sci. Tech., Professor

© N. V. Savenkov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© E. A. Vlasenko, assistant lecturer

(Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, DPR, Russia)

E-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ru,

n.v.savenkov@donnasa.ru, e.a.vlasenko@donnasa.ru

## СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА РАЦИОНАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСМИССИИ

### REDUCTION OF SPECIFIC EXHAUST EMISSIONS FROM ROAD TRANSPORT BY RATIONAL CHOICE OF TRANSMISSION PARAMETERS

Выполнено исследование влияния параметров трансмиссии автотранспортного средства категории М2 на расход топлива и удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) в условиях городского цикла на дороге по ГОСТ-54810–2011. В качестве примера выбран автомобиль БАЗ-2215 на шасси «Газель Бизнес» с двигателем УМЗ-4216. Решение поставленных задач выполнено расчетными и экспериментальными методами. Предложена методика экспериментального определения концентрации вредных веществ в составе ОГ с учетом динамики процессов разгона. Результаты могут быть применены для исследования и рационального выбора параметров трансмиссии как в различных стандартизированных ездовых циклах, так и на реальных маршрутах.

*Ключевые слова:* автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы, вредные вещества, удельные выбросы, ездовой цикл, оптимизация.

The paper presents a study of the transmission parameters of M2 category motor vehicle impact on fuel consumption and specific exhausted emissions of harmful substances with waste gases (WG) under urban driving cycle conditions on road according to GOST-54810-2011. The motor vehicle BAZ 2215 on the chassis «GAZelle Business» equipped with engine UMZ-4216 is chosen as an example. The tasks are accomplished by calculation and experimental methods. The methodology for experimental evaluation of harmful substances concentrations in WG is proposed by taking into account the dynamics of the acceleration processes. Results can be applied both for research work and rational selection of transmission parameters for other motor vehicles when driving in different standardized cycles as well as on real routes.

*Keywords:* motor vehicle, combustion engines, waste gases, harmful substances, specific exhaust emission, driving cycle, optimization.

#### Введение

Повсеместное использование автомобилей, а точнее содержащиеся в отработавших газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) вредные вещества приводят к экологическим проблемам. В связи с этим разработаны эко-

логические стандарты, которые ограничивают выбросы вредных веществ и требования которых становятся более жесткими с введением каждого нового стандарта [1–2].

Для снижения выбросов автомобильного транспорта проводятся различные меро-

прияття: применение систем очистки отработавших газов от вредных веществ; использование более экологичных видов топлива; совершенствование рабочего процесса двигателей; применение гибридных силовых установок; рациональная организация дорожного движения [3–9].

В рамках данного исследования рассматривается снижение удельных выбросов отработавших газов ДВС рациональным выбором параметров трансмиссии.

Для комплексной оценки топливно-экономических эксплуатационных свойств и экологических качеств автомобиля при его движении в условиях ездового цикла выбран критерий

$$K = aG_T + bG_{NO_x} + cG_{CH} + dG_{CO} \rightarrow \min, (1)$$

где  $a, b, c, d$  — коэффициенты важности составляющих (сумма равна 1);  $G_T$  — текущий массовый расход топлива ДВС;  $G_{NO_x}$  — массовый выброс оксида азота;  $G_{CH}$  — массовый выброс несгоревших углеводородов;  $G_{CO}$  — массовый выброс угарного газа.

В качестве оптимизационных параметров определены порядковый номер текущей передачи в коробке передач (КП), значение передаточных чисел (ПЧ) в КП при заданном их количестве, ПЧ главной передачи.

Ограничениями при решении задачи рационального выбора параметров трансмиссии являются диапазоны возможных значений режимных параметров, в том числе параметров регулирования агрегатов силовой установки, выполнение силовых и кинематических соотношений в трансмиссии.

### Методы

Мощностные и экономические показатели при полных и частичных нагрузках, а также экологические качества ДВС определены экспериментально путем проведения стендовых испытаний. Интегральные показатели за ездовой цикл вычислены путем численного моделирования процесса движения автомобиля на основе разработанных в исследовании математических моделей.

Для проведения исследования в качестве примера выбран автомобиль БАЗ-2215 на шасси «Газель Бизнес» с двигателем УМЗ-4216. В соответствии с ГОСТ-54810–2011 для выбранной категории автотранспортного средства принят городской цикл на дороге (рис. 1).

В ГОСТ Р 54810–2011, как и в более раннем ГОСТ 20306–90, не регламентировано время движения на отдельных участках, а также отсутствуют жесткие требования к выбору номеров включенных передач. В на-

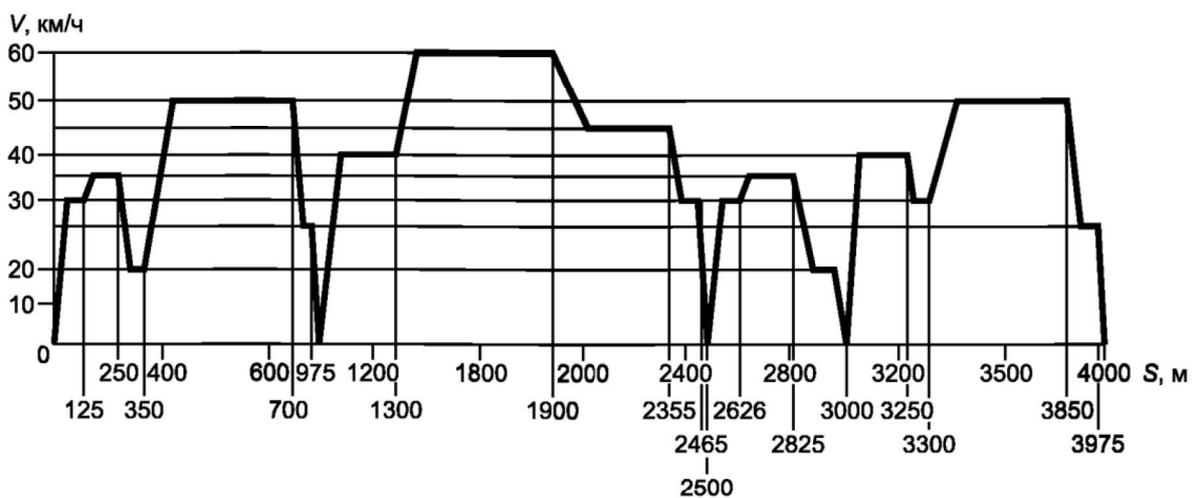


Рис. 1. Схема городского цикла на дороге для АТС категорий N2, N3, M2 класса II

стоящем исследовании принят вариант рассматриваемого ездового цикла, который обладает минимальными значениями ускорений. Обуславливающая такой цикл зависимость скорости  $V$  от времени движения  $t$  показана на рис. 2.

### Приборы и оборудование

В качестве лабораторной установки для выполнения исследования применен модернизированный авторами [10] обкаточно-тормозной стенд КИ-5543-ГОСНИТИ (рис. 3).

На установившихся режимах работы ДВС эффективный крутящий момент определялся балансным силоизмерительным устройством с дополнительным учетом потерь в трансмиссии.

Для измерения через диагностический интерфейс OBD-II параметров комплексной микропроцессорной системы управления двигателем с контроллером МИКАС 10.3.0 применялся диагностический сканер Launch X431.

Текущий расход топлива ДВС в процессе моторных испытаний определен объемным способом по методике [11].

Предварительные проливочные испытания форсунок Siemens deka 6354 выполнены на стенде NA4 200 W «Australia New age automotive electronics», серия C001308 Sydney. Для измерений давления топлива в рампе ДВС и давления воздуха в ресивере впускной трубы применялись соответственно манометр ДМ 05 (ГОСТ 2405–88) и вакуумметр 112-01 (ГОСТ 8521–72). Температура

измерялась с помощью цифрового термометра UNI-T UT 325.

Расход воздуха ДВС при испытаниях определялся с помощью сужающего устройства [12], изготовленного в соответствии с РД 50-411-83. Устройство оснащено дифференциальным водяным манометром, гигрометром психрометрическим ВИТ-1, термометром UNI-T UT 325, барометром-анероидом БАММ-1.

Объемные доли вредных веществ в составе отработавших газов определены газоанализатором АВТОТЕСТ 02.03.

### Результаты

С целью определения изменения количества выбросов вредных веществ отработавших газов при различных режимах работы ДВС проведены экспериментальные исследования, в ходе которых сделаны замеры этих выбросов. Полученные значения для испытуемого двигателя УМЗ-4216 представлены в табл. 1, где также приведены результаты определения показателей работы испытуемого ДВС с учетом коэффициента атмосферных условий по ГОСТ 14846–2020. Преобразование объемных долей вредных веществ в их массовый расход выполнено при помощи зависимостей

$$G_{or} = G_B + G_T; \quad (2)$$

$G_i = g_i G_{or} = r_i G_{or} R_{or} / R_i = 0,0313 r_i G_{or} \mu_i$ , (3)  
 где  $G_{or}$  — расход отработавших газов (ОГ), г/с;  $G_B$  — расход воздуха, г/с;  $G_T$  — расход топлива, г/с;  $G_i$  — массовый расход  $i$ -го компонента ОГ, г/с;  $g_i$  — массовая доля  $i$ -го компонента в составе ОГ, г/с;  $r_i$  — объем-

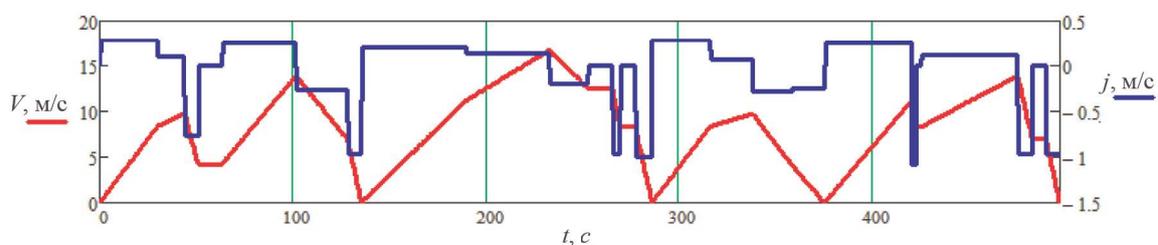


Рис. 2. Городской цикл на дороге в варианте с наименьшей интенсивностью движения по ГОСТ Р 54810–2011 для АТС категорий N2, N3, M2 класса II

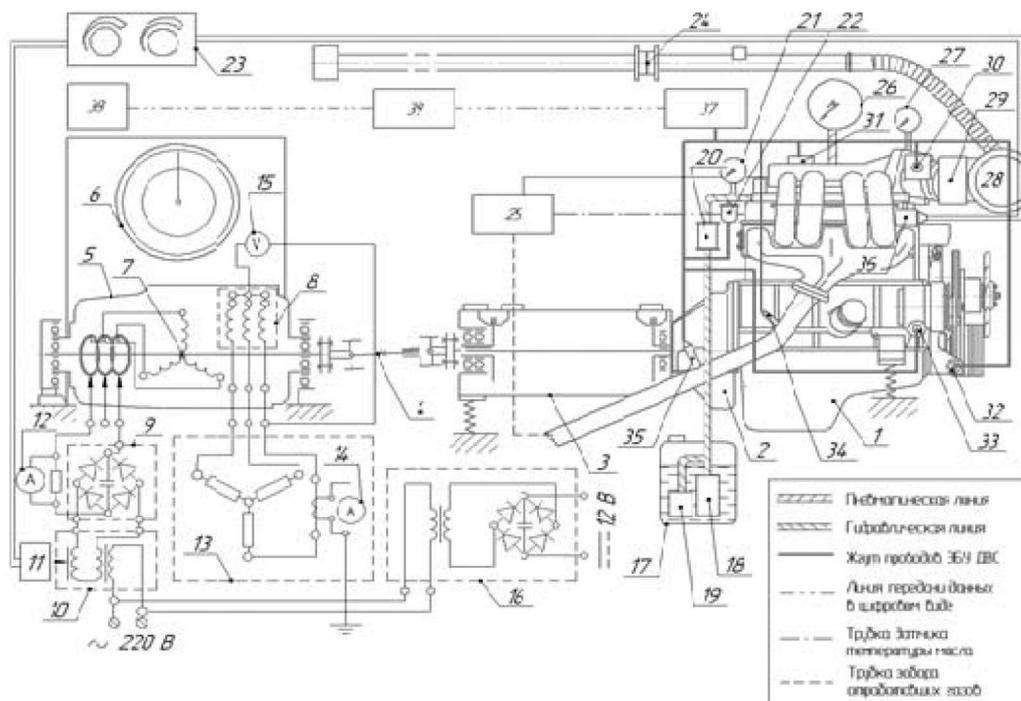


Рис. 3. Схема и общий вид лабораторной установки:

- 1 — ДВС; 2 — муфта сцепления; 3 — торсионный динамометр; 4 — передача карданная; 5 — электрическая машина АКБ-82-4 УЗ; 6 — реактивный силоизмерительный механизм (балансирный динамометр); 7 — фазовый ротор электромашин; 8 — обмотки статора электромашин; 9 — выпрямительный блок; 10 — трансформатор с регулируемым дросселем; 11 — дистанционный привод управления нагрузкой тормозного устройства; 12 — амперметр цепи ротора (возбуждения); 13 — батарея резисторов; 14 — амперметр цепи статора (нагрузки); 15 — вольтметр цепи статора (нагрузки); 16 — автономный источник электроэнергии (12 В) для питания вспомогательных устройств стенда; 17 — топливный бак; 18 — топливный насос; 19 — редуктор давления; 20 — топливный фильтр; 21 — манометр топливной рампы; 22 — датчик дистанционного контроля давления топлива; 23 — газоанализатор АВТОТЕСТ 02.03; 26 — вакуумметр ресивера ДВС; 27 — манометр системы смазки ДВС; 28 — воздушный фильтр ДВС; 29 — датчик массового расхода воздуха; 30 — датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ); 31 — датчик абсолютного давления и температуры воздуха в ресивере ДВС; 32 — датчик положения коленчатого вала; 33 — датчик температуры масла в системе смазки ДВС; 34 — датчик температуры ОГ; 35 — датчик кислорода в системе выпуска ОГ; 36 — дистанционный привод механической дроссельной заслонки; 37 — электронный блок управления ДВС; 38 — персональный компьютер; 39 — диагностический сканер Launch X431

ная доля  $i$ -го компонента в составе ОГ при измерении (табл. 1);  $R_{ог}$  — газовая постоянная ОГ;  $R_p$ ,  $\mu_i$  — соответственно газовая постоянная и молярная масса  $i$ -го компонента ОГ ( $\mu_{CO} = 28$ ,  $\mu_{NOx} = 46$ ,  $\mu_{CH} = 86$  кг/кмоль).

В дальнейших исследованиях для определения объемного расхода ОГ планируется применение расходомера.

Аппроксимация дискретных зависимостей характеристик ДВС: развиваемой эф-

Таблица 1

**Результаты измерений и последующих расчетов**

Частота вращения, $n$ , мин <sup>-1</sup>	1500	1500	1500	2000	2000	2000	2500	2500	2500	3000	3000
Номер режимной точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нагрузка по балансирующему силоизмерительному устройству, кгс	4	12	18	6	12	17	6	10	14	7	10
Показатели, измеренные газоанализатором											
CO, % по объему	0,72	0,95	0,89	0,47	0,65	0,62	0,43	0,74	0,58	0,57	1,22
CO <sub>2</sub> , % по объему	12,52	12,88	13,14	13,81	13,74	11,27	11,26	13,98	11,14	10,92	13,62
CH, ppm по объему	107	108	110	47	77	76	38	84	64	50	127
NO <sub>x</sub> , ppm по объему	261	1515	1975	627	1694	1785	664	1794	1652	986	1945
O <sub>2</sub> , % по объему	4,33	2,71	2,32	1,2	1,35	5,03	5,3	1,37	5,31	5,74	1,21
$t$ масла, °C	106	107	106	92	97	92	103	101	98	108	104
Данные диагностического сканера Launch X431											
Электрическая длительность впрыска топлива, мс	5,94	8,96	13,16	7,53	9,67	12,35	7,8	9,55	10,68	7,66	9,35
Температура воздуха в ресивере впускной трубы, °C	55	52	48	51	46	43	49	47	46	51	47
Температура охлаждающей жидкости, °C	82	87	89	75	79	81	81	78	82	81	80
Абсолютное давление воздуха в ресивере впускной трубы, мм рт. ст.	343	492	646	392	478	592	403	478	522	392	464
АЦП ДПДЗ, В	0,68	0,89	1,17	0,89	1,01	1,19	0,99	1,11	1,18	1,06	1,17
Результаты определения показателей работы ДВС											
Эффективный крутящий момент ДВС, Нм	30,26	90,72	135,8	44,95	89,89	127,1	45,09	82,87	105,5	52,61	75,15
Эффективная мощность ДВС, кВт	4,75	14,24	21,32	9,41	18,82	26,60	11,80	21,68	27,60	16,52	23,60
Перепад давления на форсунке, бар	4,33	4,13	3,93	4,27	4,15	4,00	4,25	4,15	4,09	4,27	4,17
Производительность форсунки, мл/с	4,16	4,19	4,08	4,22	4,21	3,68	4,21	4,22	4,18	4,22	4,22
Текущий расход топлива ДВС, кг/ч	3,20	4,87	6,96	5,49	7,04	7,85	7,10	8,70	9,64	8,38	10,23
Эффективный удельный расход топлива, г/кВт · ч	673,2	341,7	326,9	583,1	374,1	295,1	601,4	401,3	349,3	507,1	433,6
Эффективный КПД ДВС	0,12	0,24	0,25	0,14	0,22	0,28	0,14	0,20	0,23	0,16	0,19
Результаты расчета массового расхода вредных веществ											
Расход выхлопных газов, г/с	5,292	16,502	36,51	21,067	33,80	63,18	37,181	54,02	66,12	49,23	73,127
Выброс CO, г/с	0,194	0,3215	0,3361	0,175	0,301	0,352	0,348	0,334	0,278	0,667	0,398
Выброс CH, г/с	0,0073	0,0112	0,0153	0,0054	0,0109	0,0133	0,0121	0,0113	0,0076	0,0213	0,0107
Выброс NO <sub>x</sub> , г/с	0,0706	0,0842	0,0200	0,0384	0,129	0,167	0,1385	0,1561	0,0706	0,1748	0,1130

эффективной мощности  $N_e = f(n, \lambda)$ , где  $\lambda$  — коэффициент нагрузки ДВС (относительная площадь дроссельного патрубка); эффективного удельного расхода топлива  $g_e = f(n, \lambda)$ ; объемной производительности форсунки от длительности управляющего импульса и перепада давления; объемного расхода воздуха — выполнена с помощью различных функций и способов. Для аппроксимации зависимостей расходов вредных веществ в составе ОГ  $G_i = f(n, M_e)$  применено уравнение поверхности второго порядка:

$$An^2 + BM_e^2 + CG_i^2 + DnM_e + EM_eG_i + FnG_i + Gn + HM_e + IG_i + J = 0, \quad (4)$$

где  $A, B, C, D, E, F, G, H, J, I$  — аппроксимирующие коэффициенты.

Путем последовательных преобразований (5)–(10) функция (4) может быть представлена в явном виде (11).

$$CG_i^2 + G_i(EM_e + Fn + I) + An^2 + BM_e^2 + DnM_e + Gn + HM_e + J = 0; \quad (5)$$

$$a_1 = C; \quad (6)$$

$$b_1 = EM_e + Fn + I; \quad (7)$$

$$c_1 = An^2 + BM_e^2 + DnM_e + Gn + HM_e + J; \quad (8)$$

$$a_1G_i^2 + b_1G_i + c_1 = 0; \quad (9)$$

$$D_1 = b_1^2 - 4a_1c_1; \quad (10)$$

$$G_i = f(n, M_e) = -b_1 \pm \sqrt{D_1} / (2a_1); \quad (11)$$

Аппроксимация зависимостей выбросов вредных веществ осуществлялась в программной среде табличного процессора Microsoft Excel путем решения эволюционным методом задачи многопараметрической оптимизации, в которой критерием является среднее квадратичное отклонение выброса  $R_i$  в режимных точках, а параметрами — аппроксимирующие коэффициенты уравнения (4). Для всех разработанных в настоящем исследовании аппроксимирующих функций  $0,994 < R < 1$ . На рис. 4 в качестве примера приведен результат аппроксимации зависимости выбросов  $NO_x$  рассматриваемой модели ДВС.

Требуемая для движения в условиях выбранного ездового цикла (см. рис. 1) эффективная мощность ДВС вычислена на основе уравнения мощностного баланса, результат приведен на рис. 5.

Режимные параметры и показатели ДВС в ходе исследования были определены путем численного моделирования процесса движения автомобиля в условиях ездового цикла. Для этого авторами была разработана компьютерная программа. Интервал расчета составил 1 с. В каждой расчетной точке вычислялись частота вращения коленчатого вала, коэффициент нагрузки, эффективная мощность, эффективный удельный и текущий расходы топлива ДВС, массовые выбросы вредных веществ в составе ОГ. Управление коробкой передач осуществлялось по критерию достижения в каждой расчетной точке цикла минимального значения выбранного критерия (1). Результаты для различных рядов передаточных чисел коробки передач и главной передачи приведены в табл. 2.

#### Обсуждение

Анализируя данные результатов численного эксперимента (табл. 2), можно сделать следующие выводы. При смеще-

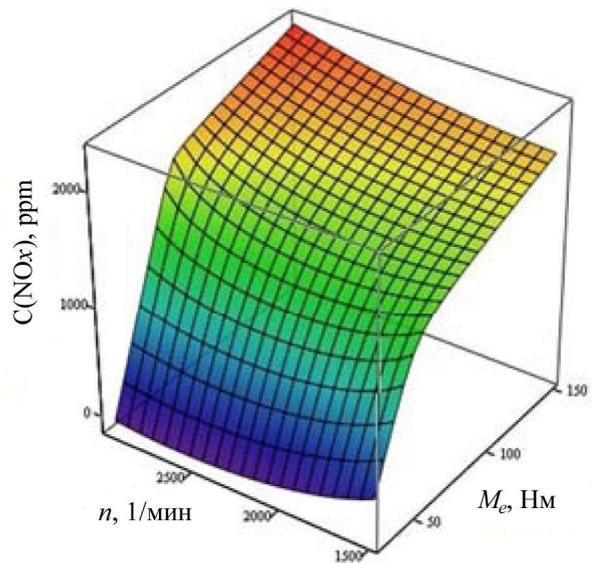


Рис. 4. Графическая зависимость выбросов  $NO_x$  от режима работы ДВС

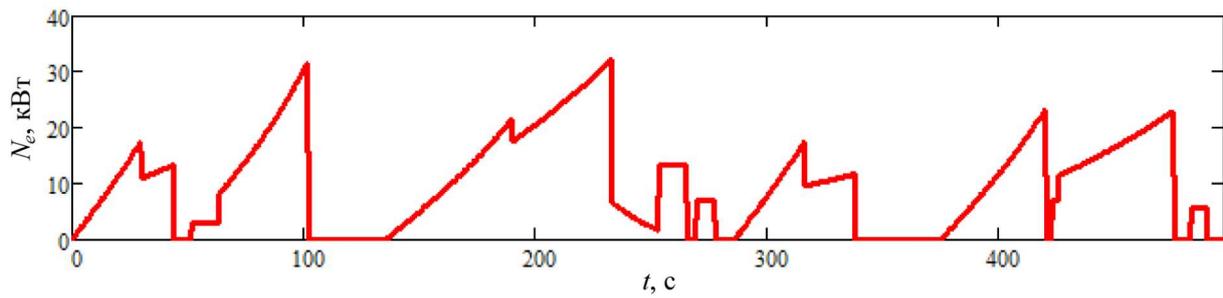


Рис. 5. Графическая зависимость требуемой для движения в условиях цикла мощности ДВС от времени

Таблица 2

**Результаты расчета расхода топлива и экологических качеств автомобиля в зависимости от передаточных чисел трансмиссии**

Ряд № 1 ПЧ в КП: $U_1 = 4,05; U_2 = 2,34; U_3 = 1,395; U_4 = 1; U_5 = 0,849$ (серийный ряд ПЧ)				
ПЧ главной передачи	$U_r = 4,3$ (серийное ПЧ)		$U_r = 4,556$	$U_r = 5,125$
Удельный расход по ездовому циклу, г/км	$a = 1, b = 0, c = 0, d = 0$		$a = 0, b = 0,06, c = 0,14, d = 0,8$	
Топливо	109,18	158,48	160,4	169,4
NO <sub>x</sub>	2,51	1,59	6,7	2,4
СН	3,745	2,40	2,745	2,95
СО	9,278	5,79	2,043	7,45
Ряд № 2 ПЧ в КП: $U_1 = 3,78; U_2 = 2,188; U_3 = 1,304; U_4 = 1; U_5 = 0,794$				
Топливо	109,31	134,375	157,48	163,12
NO <sub>x</sub>	2,11	1,404	1,582	2,2
СН	3,22	2,185	2,32	2,697
СО	7,871	5,206	5,542	6,74

нии баланса критерия (1) в сторону приоритетности топливной экономичности (коэффициент важности  $a$  равен единице, а остальные коэффициенты нулю) максимальная топливная экономичность достигается при серийном передаточном числе главной передачи 4,3 и ряде № 1 передаточных чисел в коробке передач. При смещении баланса критерия в сторону экологичности путем присвоения коэффициентам важности приведенных в табл. 2 значений наиболее низкие удельные выбросы достигаются при серийном передаточном числе главной передачи 4,3 и ряде № 2 передаточных чисел в коробке передач. Расход топлива при этом возрастает на 21 %, выбросы оксидов азота сокращаются на 44 %,

несгоревших углеводородов — на 41 %, угарного газа — на 38 %.

Приведенные в табл. 2 результаты получены путем численного моделирования движения автомобиля по ездовому циклу при использовании математических моделей характеристик ДВС, разработанных на основе его испытаний на установившихся режимах с дополнительным учетом инерции вращающихся масс. В настоящей работе авторами разработаны и предложены устройства для исследования неустановившихся режимов работы ДВС (рис. 6).

Анализ работ [13–17] позволяет сделать вывод, что для автомобильных ДВС эффективная мощность и эффективный удельный расход топлива при работе на неустановив-

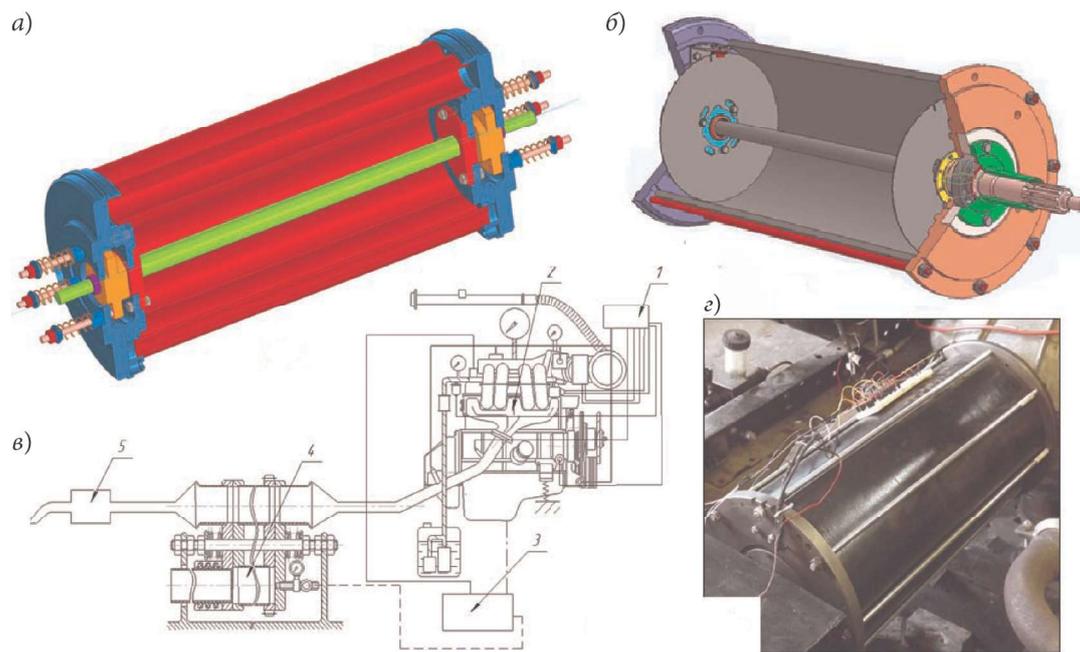


Рис. 6. Разработанные авторами устройства для исследования неустановившихся режимов работы ДВС: а — графическая модель устройства для отбора проб отработавших газов; б — графическая модель торсионного динамометра; в — схема размещения в лабораторной установке устройства для отбора проб отработавших газов: 1 — электронный блок управления, 2 — испытуемый ДВС, 3 — газоанализатор, 4 — устройство для отбора проб отработавших газов, 5 — выхлопная труба; г — фотография торсионного динамометра, установленного в трансмиссии обкаточно-тормозного стенда Лаборатории обслуживания и ремонта автомобилей Донбасской национальной академии строительства и архитектуры

шихся режимах могут в значительной мере отличаться от значений, полученных на соответствующих установившихся режимах — ухудшение может составлять до 40 % и более, что обусловлено рядом факторов: нарушением смесеобразования, тепловой инерцией, изменением наполнения цилиндров, инерцией движущихся масс двигателя. Таким образом, справедливо считать, что показатели экологичности на неустановившихся режимах также будут отличаться от значений, характерных для стационарных режимов. Для выполнения такого рода исследований необходимы преимущественно экспериментальные методы оценки [14]. Для этого авторами разработаны торсионный динамометр (рис. 6, б, г) [18], а также устройство для отбора проб отработавших газов [19] (рис. 6, а, в), применение которого планируется в ходе дальнейших исследований с целью уточнения рассмотренных в на-

стоящей работе характеристик ДВС с учетом динамики неустановившихся режимов.

#### Выводы

Таким образом, настоящее исследование направлено на снижение удельных выбросов отработавших газов автомобильного транспорта за счет рационального выбора как режимных, так и конструктивных параметров трансмиссии, что обусловлено относительно невысокой стоимостью внедрения соответствующих рекомендаций. Установлено, что рассматриваемые параметры в значительной степени определяют топливно-экономические эксплуатационные свойства автомобиля (в пределах 55 %), а также при отсутствии систем очистки отработавших газов — его экологические качества (в пределах 71 % для  $\text{NO}_x$ , 47 % для СН и 450 % для СО). Их баланс задается коэффициентами важности критерия (1) и, очевидно, должен приниматься в зависимости от предельных

значений удельных выбросов вредных веществ планируемого к достижению экологического класса автотранспортного средства. При этом критерий (1) ограничивает тягово-скоростные свойства только лишь возможностью движения в условиях выбранного ездового цикла. В дальнейшем планируется дополнительный учет показателей этих свойств с помощью аналогичных коэффициентов важности. Полученные результаты могут быть применимы для решения задач как анализа, так и синтеза алгоритмов управления агрегатами автомобильных силовых установок или выбора рациональных конструктивных параметров на основе заданных режимных условий движения на маршруте.

#### Библиографический список

1. Павлова Е. И., Новиков В. К. Экология транспорта. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2024. 416 с.
2. Шекихачев Ю. А., Батыров В. И., Шекихачева Л. З., Болотоков А. Л. Экологические требования к автотранспортным средствам // Известия Кабардино-Балкарского гос. аграрного ун-та им. В. М. Кокова. 2019. № 4 (26). С. 75–80.
3. Хайбуллина Л. Н., Марьин Д. М., Глущенко А. А., Салахутдинов И. Р. Метод снижения выбросов вредных веществ автомобильным транспортом // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов / под общ. ред. Н. И. Бухтоярова, Н. М. Дерканосовой, В. А. Гулевского. Т. III. Воронеж: Воронежский гос. аграрный ун-т им. императора Петра I, 2016. С. 62–64.
4. Адилев О. К., Худаёров Ш. Т., Маманов Т. Обеспечение экологической безопасности автотранспортного комплекса // Вестник науки. 2021. Т. 4, № 12 (45). С. 191–198.
5. Фасхиев Х. А. Переход на альтернативные виды топлива и автопилот как стратегические направления развития автотранспорта // Автомобильная промышленность. 2021. № 12. С. 20–27.
6. Чудаков А. В., Стрелков А. Н. Анализ актуальности применения газомоторного топлива на автомобильном транспорте // Научно-исследовательские публикации. 2024. № 4. С. 56–62.
7. Савенков Н. В., Золотарев О. О. Обзор и анализ эффективности городской эксплуатации автотранспортных средств с альтернативными силовыми установками // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи — развитию науки и образования: материалы XI Междунар. научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников / под общ. ред. Т. В. Золиной. Т. 11. Астрахань: Астраханский гос. архит.-строит. ун-т, 2022. С. 78–81.
8. Котенёв И. А. Эколого-экономические методы снижения ущерба от выбросов веществ автотранспортом // Молодой ученый. 2018. № 15 (201). С. 4–6.
9. Савенкова Т. И., Власенко Е. А. Повышение экологической безопасности автомобильного транспорта рациональным регулированием силовой установки // Вестник Донбасской нац. академии строительства и архитектуры. 2024. № 3 (167). С. 5–9.
10. Горожанкин С. А., Бумага А. Д., Савенков Н. В. Применение обкаточно-тормозных стендов, оснащенных автомобильными двигателями внутреннего сгорания, в качестве автономного источника электрической энергии // Вестник Иркутского гос. технического ун-та. 2016. Т. 20, № 10 (117). С. 171–183.
11. Горожанкин С. А., Савенков Н. В. Определение расхода топлива бензинового ДВС с рампой тупикового типа при работе на переходных режимах // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. Володимира Даля. 2013. № 15 (204). Ч. 2. С. 268–274.
12. Савенков Н. В. Определение расхода воздуха бензинового ДВС на неустановившихся режимах работы // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 220–224.
13. Савенков Н. В. Метод выбора передаточных чисел силовой установки автомобиля категории N1 на основе ездового цикла: дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 206 с.
14. Акатов Е. И., Белов П. М., Дьяченко Н. Х., Мусатов В. С. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме. М.; Л.: Машгиз, 1960. 248 с.
15. Казаков С. А. Повышение эффективности неустановившихся режимов работы автотракторного дизеля 4Ч11/12,5 изменением физико-химических свойств топлива: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 133 с.
16. Патрахальцев Н. Н., Соколов Ю. А. Неустановившиеся режимы работы двигателей. М.: НИИинформтяжмаш, 1976. 42 с.
17. Ждановский Н. С., Ковригин А. И., Шкрабак В. С., Соминич А. В. Неустановившиеся режимы поршневых и газотурбинных двигателей автотракторного типа. Л.: Машиностроение, 1974. 224 с.
18. Горожанкин С. А., Бабанин А. Я., Савенков Н. В., Понякин В. В. Измерение крутящего момента поршневого ДВС колесной машины при его работе на неустановившемся режиме с помощью торсионного кру-

тильного динамометра // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2018. № 1 (120). С. 138–147.

19. Пат. 227257, Российская Федерация, МПК G01N 1/22, G01M 15/10. Устройство для отбора проб отработанных газов двигателей внутреннего сгорания / С. А. Горожанкин, Н. В. Савенков, Т. И. Савенкова, Е. А. Власенко. № 2023126270, заявл. 12.10.2023, опубл. 12.07.2024.

### References

1. Pavlova E. I., Novikov V. K. *Ekologiya transporta: uchebnik i praktikum dlya vuzov* [Transport ecology: textbook and workshop for universities]. 7-th ed., revised. Moscow, Yurayt Publ., 2024, 416 p.

2. Shekikhachev Yu. A., Batyrov V. I., Shekikhacheva L. Z., Bolotokov A. L. *Ekologicheskie trebovaniya k avtotransportnym sredstvam* [Environmental requirements for motor vehicles]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gos. agrarnogo un-ta im. V. M. Kokova – Bulletin of the Kabardino-Balkarian state. agrarian university named after V. M. Kokov*, 2019, no. 4 (26), pp. 75–80.

3. Khaybullina L. N., Mar'in D. M., Glushchenko A. A., Salakhutdinov I. R. *Metod snizheniya vybrosov vrednykh veshchestv avtomobil'nyim transportom* [Method for reducing emissions of harmful substances by road]. *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK. Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov* [Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex. Proceedings of the International Scientific Practice conf. young scientists and specialists]. Ed. by Bukhtoyarov N. I., Derkanosova N. M., Gulevskiy V. A. Vol. III. Voronezh, Voronezhskiy gos. agrarniy un-t im. Imperatora Petra I Publ., 2016, pp. 62–64.

4. Adilov O. K., Khudayorov Sh. T., Mamanov T. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnogo kompleksa* [Ensuring environmental safety of the motor transport complex]. *Vestnik nauki – Herald of Science*, 2021, no. 12 (45), vol. 4, pp. 191–198.

5. Faskhiev Kh. A. *Perekhod na al'ternativnye vidy topliva i avtopilot kak strategicheskie napravleniya razvitiya avtotransporta* [Transition to alternative fuels and autopilot as strategic directions for the development of vehicles]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automotive industry*, 2021, no. 12, pp. 20–27.

6. Chudakov A. V., Strelkov A. N. *Analiz aktual'nosti primeneniya gazomotornogo topliva na avtomobil'nom transporte* [Analysis of the relevance of gas engine fuel use in motor transport]. *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii – Research Publications*, 2024, no. 4, pp. 56–62.

7. Savenkov N. V., Zolotarev O. O. *Obzor i analiz effektivnosti gorodskoy ekspluatatsii avtotransportnykh*

*sredstv s al'ternativnymi silovymi ustanovkami* [Review and analysis of the efficiency of urban operation of vehicles equipped with alternative power plants]. [Potential of intellectually gifted youth as the development of science *Potentsial intellektual'no odarennoy molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya. Trudy XI Mezhdunar. nauchnogo foruma molodykh uchenykh, innovatorov, studentov i shkol'nikov* and education. Proceedings of the XI International scientific forum of young scientists, innovators, students and schoolchildren]. Ed. by Zolina Vol. 11. Astrakhan, Astrakhanskiy gos. arkhitekt.-stroit. un-t Publ., 2022, pp. 78–81.

8. Kotenyov I. A. *Ekologo-ekonomicheskie metody snizheniya ushcherba ot vybrosov veshchestv avtotransportom* [Environmental and economic methods for reducing damage from emissions of substances by road]. *Molodoy ucheniy – Young scientist*, 2018, no. 15 (201), pp. 4–6.

9. Savenkova T. I., Vlasenko E. A. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti avtomobil'nogo transporta ratsional'nyim regulirovaniem silovoy ustanovki* [Improving the environmental safety of road transport by rational regulation of the power plant]. *Vestnik Donbasskoy nats. akademii stroitel'stva i arkhitektury – Bulletin of Donbass Nat. Academy of Construction and Architecture*, 2024, no. 3 (167), pp. 5–9.

10. Gorozhankin S. A., Bumaga A. D., Savenkov N. V. *Primenenie obkatochno-tormoznykh stendov, osnashchennykh avtomobil'nymi dvigatelyami vnutrennego sgoraniya, v kachestve avtonomnogo istochnika elektricheskoy energii* [Application of running-in-brake benches equipped with automobile internal combustion engines as an independent source of electric energy]. *Vestnik Irkutskogo gos. tekhnicheskogo un-ta – Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2016, vol. 20, no. 10 (117), pp. 171–183.

11. Gorozhankin S. A., Savenkov N. V. *Opreделение raskhoda topliva benzinovogo DVS s rampoy tupikovogo tipa pri rabote na perekhodnykh rezhimakh* [Determination of fuel flow of gasoline internal combustion engine with dead-end ramp during operation in transient modes]. *Visnik Skhidnoukraïns'kogo nats. un-tu im. Volodimira Dalya*, 2013, no. 15 (204). Pt. 2, pp. 268–274.

12. Savenkov N. V. *Opreделение raskhoda vozdukhа benzinovogo DVS na neustanovivshikhsya rezhimakh raboty* [Determination of air flow rate of gasoline internal combustion engine at unsteady operating modes]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 220–224.

13. Savenkov N. V. *Metod vybora peredatochnykh chisel silovoy ustanovki avtomobilya kategorii N1 na osnove ezdovogo tsikla. Diss. kand. tekhn. nauk* [Method

for selecting the power plant ratios of an N1 category vehicle based on the driving cycle. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2017, 206 p.

14. Akatov E. I., Belov P. M., D'yachenko N. Kh., Musatov B. C. *Rabota avtomobil'nogo dvigatelya na neustanovivshemysya rezhime* [Operation of automobile engine in unsteady mode]. Moscow, Mashgiz Publ., 1960, 248 p.

15. Kazakov S. A. *Povyshenie effektivnosti neustanovivshikhsya rezhimov raboty avtotraktornogo dizelya 4Ch11/12,5 izmeneniem fiziko-khimicheskikh svoystv topliva. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of unsteady modes of operation of a motor-tractor diesel engine 4Ch11/12,5 changing the physical and chemical properties of the fuel. PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 2012, 133 p.

16. Patrakhal'tsev N. N., Sokolov Yu. A. *Neustanovivshiesya rezhimy raboty dvigateley* [Unsteady modes of motor performance]. Moscow, NIIinformtyazhmash Publ., 1976, 42 p.

17. Zhdanovskiy N. S., Kovrigin A. I., Shkrabak V. S., Sominich A. V. *Neustanovivshiesya rezhimy porshnevykh i gazoturbinnnykh dvigateley avtotraktornogo tipa* [Unsteady modes of piston and gas turbine engines of autotractor type]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1974, 224 p.

18. Gorozhankin S. A., Babanin A. Ya., Savenkov N. V., Ponyakin V. V. *Izmerenie krutyashchego momenta porshnevogo DVS kolesnoy mashiny pri ego rabote na neustanovivshemysya rezhime s pomoshch'yu torsionnogo krutil'nogo dinamometra* [Measurement of the torque of the piston internal combustion engine of a wheel machine during its operation in an unsteady mode using a torsion torsion dynamometer]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva – Proceedings of the NSTU named after R. E. Alekseev*, 2018, no. 1 (120), pp. 138–147.

19. Gorozhankin S. A., Savenkov N. V., Savenkova T. I., Vlasenko E. A. *Ustroystvo dlya otbora prob otrabotannykh gazov dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Exhaust gas sampling device for combustion engines]. Patent RF, no. 227257, 2024.