

УДК 629.1

С. А. ГОРОЖАНКИН, Н. В. САВЕНКОВ, О. О. ЗОЛОТАРЁВ, Л. Р. КОВАЛЁВА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ ЕЗДОВЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ АВТОМОБИЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВАРИАЦИОННЫХ РЯДОВ

Аннотация. Приведенный в статье материал направлен на рассмотрение вопроса математической обработки законов движения автомобилей путем их разложения в вариационные ряды. В качестве примера приведены результаты для стандартизированных ездовых циклов: Нового европейского ездового цикла NEDC и Всемирного гармонизированного ездового цикла WLTC. Также, на примере системы компьютерной алгебры Mathcad в работе предложен простейший алгоритм для преобразования исследуемых зависимостей в вариационный ряд с заданными параметрами. Полученные в исследовании результаты могут быть применены как для анализа, в т.ч. сравнительного, фактических режимов движения автомобилей, в том числе ездовых циклов, так и для решения задач синтеза перспективных силовых установок, а также алгоритмов их управления на основе комплексной многопараметрической оптимизации с учетом наборов режимов движения в эксплуатации.

Ключевые слова: ездовой цикл, вариационный ряд, скорость движения автомобиля, время движения, алгоритм, вариант, интервал.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Множество известных методик многопараметрической оптимизации и рационального выбора режимных и конструкционных параметров автомобильных силовых установок основаны на комплексном критерии эффективности, который среди прочих важных показателей учитывает режимы движения в условиях стандартизированных ездовых испытательных циклов. Например, работы [1–3]. Однако стоит принимать во внимание, что фактические режимы движения автотранспортных средств на различных маршрутах разных городов мира могут в значительной степени отличаться от испытательных циклов в силу множества эксплуатационных факторов. Поэтому, становится очевидным, что существует вполне обоснованная необходимость в проведении отдельных исследований этих фактических режимов движения. Для решения этой задачи может быть применено множество подходов, в том числе и на основании опытных исследований. Отдельного изучения при этом требует вопрос обработки и, при необходимости, усреднения полученных результатов. В настоящей работе на примере действующих ездовых циклов предложена и рассмотрена процедура обработки заданного закона движения автомобиля путем разложения в вариационный ряд.

ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Обосновать практическую значимость и предложить соответствующую методику для преобразования закона движения автомобиля, на примере стандартизированного ездового цикла, в вариационный ряд.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ездовым циклом (ЕЦ) является установленная соответствующим государственным или международным нормативным документом определенная последовательность режимов движения автотранспортного средства (АТС), применяемая при определении в относительно равных (среднеэксплуатационных) условиях, топливно-экономических эксплуатационных свойств и экологических качеств АТС.

ЕЦ разрабатываются на основании статистического исследования действительных режимов движения автомобилей различных категорий и классов в городских и магистральных условиях различных регионов мира.

В качестве примера, в настоящей работе рассмотрены два ездовых цикла: 1) Новый европейский ездовой цикл (NEDC, действует в РФ для официального утверждения АТС категорий N_1 и M_1 в отношении определения расхода топлива и экологических качеств, [4, 5]); 2) Всемирный гармонизированный ездовой цикл (WLTC) для АТС категорий N_1 и M_1 III класса энерговооруженности с максимальной скоростью более 120 км/ч [6].

ЕЦ WLTC, приведенный на рис. 1а, состоит из фрагментов Low_3 , $Medium_{3-2}$, $High_{3-2}$, $Extra\ High_3$. ЕЦ NEDC для АТС с энерговооруженностью от 30 Вт/кг состоит из последовательности 4 городских фрагментов ECE-15, образующих Европейский городской ездовой цикл UDC, и Европейского магистрального ездового цикла EUDC, рис. 1, б.

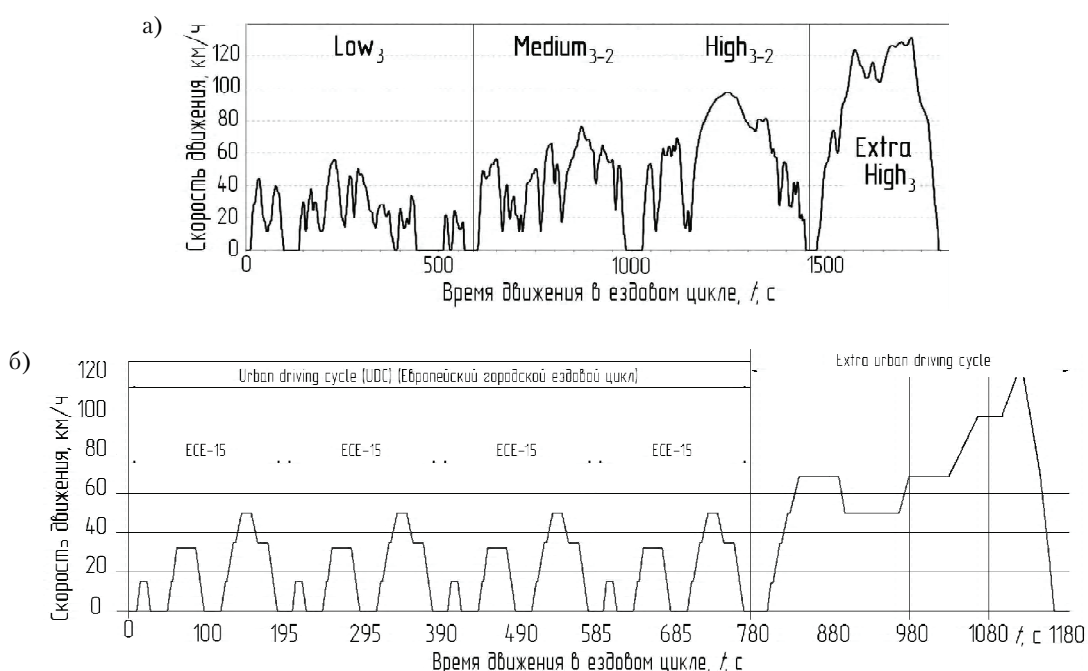


Рисунок 1 – Исследуемые в работе испытательные ездовые циклы: а) новый европейский ездовой цикл NEDC; б) всемирный гармонизированный ездовой цикл WLTC.

Вариационным рядом является ранжированный ряд распределения по величине какого-либо признака объекта или процесса. При этом признак носит название варьирующего, а его отдельные числовые значения называются вариантами. Число, показывающее, сколько раз данная варианта встречается в вариационном ряду, называется частотой [7].

В примере с рассматриваемыми ездовыми циклами, которые представляют собой зависимости скорости движения от времени $V = f(t)$, признаком будет являться скорость движения, а её отдельные числовые значения – вариантами; частотами t будет являться накопленное время движения, соответствующее определенной варианте.

Вариационный ряд возможно разбивать на отдельные (по возможности равные) части, которые называются квантилями (медиана, терциль, квартиль, дециль, процентиль).

В соответствии с Правилом Стёрджеса [8] (эмпирическим правилом оптимального количества интервалов, на которые разбивается наблюдаемый диапазон изменения случайной величины при построении гистограммы плотности её распределения), количество интервалов определяется как:

$$n = 1 + 3,322 \cdot \lg N, \quad (1)$$

где n – количество интервалов, на которые рекомендуется разбивать вариационный ряд; N – накопленное значение частот всего вариационного ряда (для рассматриваемых в работе ЕЦ параметру N будет соответствовать общее время ЕЦ: $N = 1\ 180$ с для NEDC и $N = 1\ 794$ с для WLTC).

С учетом (1), n для NEDC составляет 11,2, а для WLTC 11,8. При округлении в большую сторону для обоих ЕЦ возможно принять $n = 12$. Размах вариации R для каждого ЕЦ равен максимальной скорости движения в этом цикле: $R = 120$ км/ч для NEDC и $R = 131,3$ км/ч для WLTC. При этом длина каждого интервала вариационного ряда составляет $h = R/n$: $h = 10$ км/ч для NEDC и $h = 10,94$ км/ч для WLTC.

Учитывая достаточно большой массив исходных данных (опорных точек) дискретной зависимости $V = f(t)$ для каждого ЕЦ, приведенной в операционной карте на этот цикл, рационально выполнять построение соответствующего вариационного ряда с помощью специальных вычислительных алгоритмов. В настоящей работе для этой цели применена система компьютерной алгебры Mathcad. Разработанный простейший алгоритм для создания на основе ЕЦ вариационного ряда приведен на рис. 2.

```

t(v) := | z ← 0
        | for i ∈ 0,1..N
        |   | z ← z + 1 if v ≤ V(i) < (v + h)
        |   | z ← z otherwise
        | z
    
```

Рисунок 2 – Листинг программы Mathcad для преобразования зависимости $V = f(t)$ ездового цикла в вариационный ряд $t = f(v)$.

Приведенный на рис. 2 алгоритм состоит из 5 строк и основан на итерационном цикле «for». Тело этого цикла (строки № 3 и № 4) выполняется последовательно для каждого значения переменной цикла «i», в качестве которой принята последовательность значений времени движения в ЕЦ (согласно соответствующей операционной карте). В программу введена непрерывная функция скорости движения в ЕЦ $V = f(t)$, составленная на основании соответствующей операционной карты с помощью аппроксимации; данная функция находится в строке № 3 в виде « $V(i)$ ». Алгоритм позволяет определить значение параметра вывода «z», в качестве которого принято значение частоты t (суммарного времени) вариационного ряда, соответствующее определенному интервалу скоростей движения АТС (аргументу). Аргументом вариационного цикла «v» является дискретная последовательность точек начала интервалов скоростей движения АТС: $v = (0, h, \dots, R)$.

Таким образом, вариационный ряд $t = f(v)$, полученный на основе ЕЦ, позволяет оценить, сколько по времени занимает движение АТС в определенных интервалах скоростей.

Результаты работы приведенной программы для рассматриваемых ЕЦ приведены на рис. 3 и рис. 4.

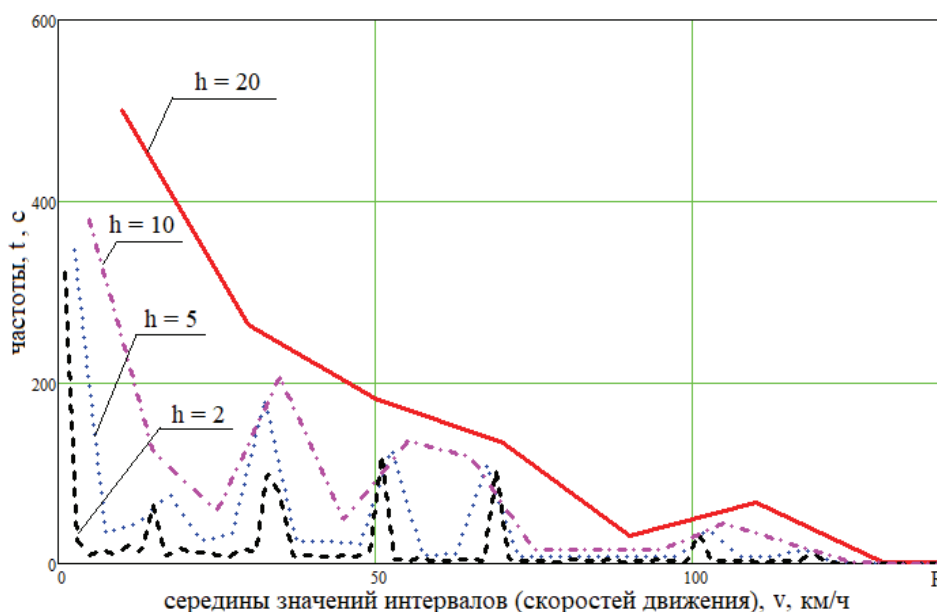


Рисунок 3 – Графическое изображение вариационного ряда в виде полигона частот, полученного на основе ездового цикла NEDC для различных значений длины интервалов.

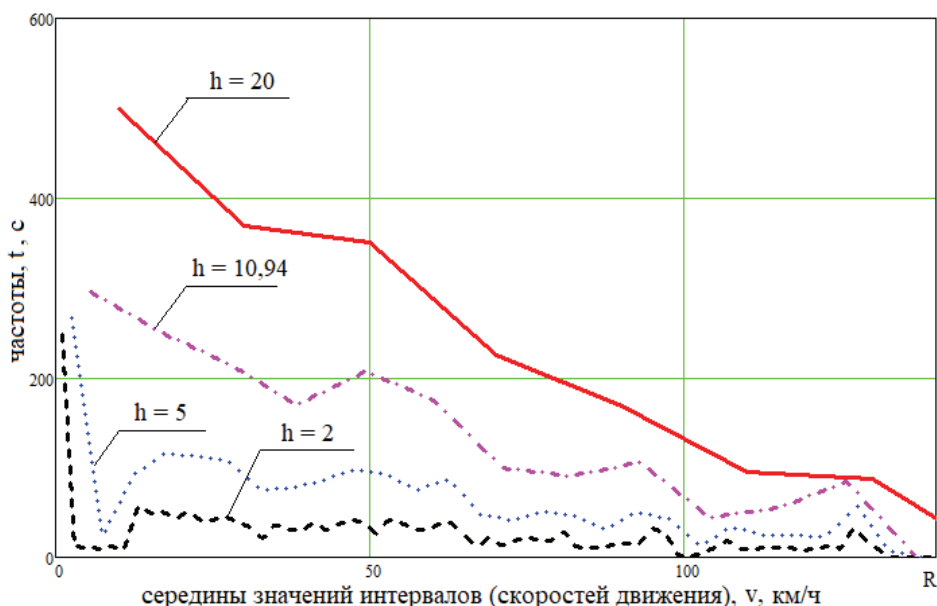


Рисунок 4 – Графическое изображение вариационного ряда в виде полигона частот, полученного на основе ездового цикла WLTC для различных значений длины интервалов.

Таблица – Результаты разложения в вариационные ряды функций скорости ездовых циклов

№ интервала, p	NEDC, $h = 10$				WLTC, $h = 10,94$				
	Нижняя граница v , км/ч	Верхняя граница $v+h$, км/ч	Середины интервалов $v+0,5\cdot h$	Частоты t , с	Нижняя граница v , км/ч	Верхняя граница $v+h$, км/ч	Середины интервалов $v+0,5\cdot h$	Частоты t , с	
1	0	10	5	379	0	10	5	295	
2	10	20	15	122	10,94	21	16	251	
3	20	30	25	58	21,88	32	27	216	
4	30	40	35	206	32,82	43	38	170	
5	40	50	45	47	43,76	54	49	207	
6	50	60	55	135	54,7	65	60	175	
7	60	70	65	118	65,64	76	71	100	
8	70	80	75	15	76,58	87	82	91	
9	80	90	85	16	87,52	98	92	106	
10	90	100	95	15	98,46	109	103	44	
11	100	110	105	45	109,4	120	114	55	
12 = n	110	120	115	23	120,34	131	125	84	
Сумма частот, N (общее время ЕЦ)				1 180	Сумма частот, N (общее время ЕЦ)				1794

На графиках зависимости смещены вправо на величину $0,5\cdot h$. Их расположение таково, чтобы узловые точки располагались в центре каждого интервала.

Проверка правильности работы предложенного алгоритма:

$$N = \sum t(v). \tag{2}$$

Результаты разложения функций $V = f(t)$ рассмотренных ездовых циклов в вариационные ряды при количестве интервалов h , принятом в соответствии с (1), также приведены в таблице.

На основе полученных зависимостей можно сделать вывод, что для обоих рассмотренных ЕЦ распределение частот вариационных рядов является ассиметричным – значительная часть общего времени цикла сопровождается отсутствием движения АТС либо его движением с минимальной скоростью (первый интервал таблицы). При рекомендуемом h для вариационного ряда цикла NEDC более выражена зубчатая форма – ввиду наличия протяжённых участков движения с постоянной скоростью, а более вогнутая форма этой кривой свидетельствует о меньшей средней скорости ездового цикла (среднего арифметического вариантов ряда):

$$V_{CP} = \frac{\sum_{p=1}^n ((v_p + 0,5 \cdot h) \cdot t_p)}{N}. \quad (V_{CP} = 33 \text{ км/ч для NEDC и } 46,7 \text{ км/ч для WLTC}). \quad (3)$$

Для комплексного анализа параметров исследуемых ЕЦ путем их преобразования в вариационные ряды могут быть рассчитаны и другие характеристики: мода, медиана, дисперсия, коэффициент вариации, интерквартильный интервал и т. д.

Также стоит отметить, что длина интервалов h , а соответственно и их количество, могут быть скорректированы в соответствии с конкретной прикладной задачей. На примере выполненного преобразования, при $h < 5$ вариационные ряды приобретают вид спектра шумов частот и, очевидно, польза от их практического применения не существенна.

ВЫВОД

По аналогии с полученными результатами могут быть составлены вариационные ряды не только для функции скорости движения в ЕЦ, но и для соответствующих ускорений. Кроме того, для решения перспективных задач синтеза конструктивных и режимных параметров силовых установок полезным входным параметром будет являться вариационный ряд, вариантами в котором будет являться требуемая мощность на ведущих колёсах, а частотами – накопленное время движения в конкретном ездовом цикле. Таким образом, совокупность вариационных рядов, характеризующих как кинематические параметры режимов движения, так и показатели уравнения мощностного баланса автомобиля в этих условиях, вполне обоснованно может лечь в основу перспективных методик многопараметрической оптимизации автомобильных силовых установок на основе комплексных критериев эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русаков, С. С. Разработка методики оптимизации передаточных чисел механической ступенчатой трансмиссии легкового автомобиля с учетом режимов работы его двигателя : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Русаков Сергей Сергеевич ; Ижевский государственный технический университет. – Ижевск, 2007. – 134 с. – Текст : непосредственный.
2. Адясов, А. Ю. Разработка методики выбора передаточных чисел трансмиссии автомобиля на основе рационального сочетания тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и токсичности выхлопных газов : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Адясов Александр Юрьевич ; Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2002. – 200 с. – Текст : непосредственный.
3. Блохин, А. Н. Разработка методики поиска рациональных передаточных чисел трансмиссии с учетом эксплуатационных свойств и назначения автомобиля : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Блохин Александр Николаевич ; Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2006. – 256 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ Р 54810-2011. Автомобильные транспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний : издание официальное : утверждён и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 1178-ст : введен впервые : дата введения 2012-09-01 / подготовлен Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ»). – Москва : Стандартинформ, 2012. – 23 с. – Текст : непосредственный.
5. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars equipped with an internal combustion engine with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and of categories M1 and N1 vehicles equipped with an electric power train with regard to the measurement of electric energy consumption and range. UNECE 2004. – Текст : электронный // Европейская экономическая комиссия ООН : официальный сайт. – 2004. – URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/12faf0c9-6266-4af2-97e4-6a67b5fbaf44> (дата обращения: 10.03.2022).
6. United Nations Global Technical Regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures (WLTP), UNECE 2018. – Текст : электронный // Европейская экономическая комиссия ООН : официальный сайт. – 2018. – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a15am4e.pdf* (дата обращения: 10.03.2022).
7. Венецкий, И. Г. Вариационные ряды и их характеристики / И. Г. Венецкий. – Москва : Статистика, 1970. – 155 с. – Текст : непосредственный.

8. Sturges, H. The choice of a class-interval / H. Sturges. – Текст : непосредственный // J. Amer. Statist. Assoc. – 1926. – Volume 21. – P. 65–66.

Получена 21.03.2022

С. А. ГОРОЖАНКІН, М. В. САВЕНКОВ, О. О. ЗОЛОТАРЬОВ, Л. Р. КОВАЛЬОВА
АНАЛІЗ ЇЗДОВИХ ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЦИКЛІВ АВТОМОБІЛІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ВАРІАЦІЙНИХ РЯДІВ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Наведений у статті матеріал спрямовано на розгляд питання математичного опрацювання законів руху автомобілів шляхом їх розкладання в варіаційні ряди. Як приклад наведено результати для стандартизованих їздових циклів: нового європейського їздового циклу NEDC та Всесвітнього гармонізованого їздового циклу WLTC. Також, на прикладі системи комп'ютерної алгебри Mathcad, у роботі запропоновано найпростіший алгоритм для перетворення досліджуваних залежностей у варіаційний ряд із заданими параметрами. Отримані в дослідженні результати можуть бути використані як для аналізу, у т. ч. порівняльного, фактичних режимів руху автомобілів, у тому числі їздових циклів, так і для розв'язання задач синтезу перспективних силових установок, а також алгоритмів їх керування на основі комплексної багатопараметричної оптимізації з урахуванням наборів режимів руху в експлуатації.

Ключові слова: їздовий цикл, варіаційний ряд, швидкість руху автомобіля, час руху, алгоритм, варіанта, інтервал.

SERGEY GOROZHANKIN, SAVENKOV NIKITA, OLEG ZOLOTAREV,
LILIA KOVALEVA
AUTOMOTIVE DRIVING TEST CYCLE ANALYSIS USING VARIATION SERIES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Mathematical processing of the laws of driving of automotive by expanding them into variational series is considered in the article. As an example, the results for standardized riding cycles are given: the New European Riding Cycle NEDC and the Worldwide Harmonized Riding Cycle WLTC. Also, using the example of the Mathcad computer algebra system, the simplest algorithm for converting the studied dependencies into a variational series with specified parameters is proposed. The results which were obtained in the study can be applied both for the analysis, including comparative, of actual driving modes of cars, including driving cycles, and for solving problems of synthesis of promising power plants, as well as algorithms for their control based on complex multiparametric optimization taking into account sets of driving modes in operation.

Key words: driving cycle, variation series, vehicle speed, driving time, algorithm, option, interval.

Горожанкин Сергей Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: автомобильный транспорт, силовые агрегаты, теплотехника, газовая динамика.

Савенков Никита Владимирович – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: топливная экономичность автомобилей на неустановившихся режимах движения.

Золотарёв Олег Олегович – преподаватель-стажёр кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: силовые установки гибридных автомобилей.

Ковалёва Лилия Руслановна – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: многоступенчатые трансмиссии грузовых автомобилей.

Горожанкін Сергій Андрійович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: автомобільний транспорт, силові агрегати, теплотехніка, динаміка газів.

Савенков Микита Володимирович – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: паливна економічність автомобілів на несталіх режимах руху.

Золотарьов Олег Олегович – викладач-стажист кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: силові установки гібридних автомобілів.

Ковальова Лілія Русланівна – магістрант кафедри автомобільного транспорту, сервісу і експлуатації ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: багатоступінчасті трансмісії вантажних автомобілів.

Gorozhankin Sergey – D. Sc. (Eng.), Professor; Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: automobile transport, power units, ICE, gas dynamics.

Savenkov Nikita – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fuel efficiency of cars on transient driving modes.

Zolotarev Oleg – trainee lecturer, Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: power units of the hybrid vehicles.

Kovaleva Lilia – master's student, Automobile Transport, Service and Operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: multi-stage truck transmissions.