



Методика Сравнительной Анализ Автомобилей В Городских Условиях С Применением Информационных Технологий

Зияев К.З., PhD., доцент Ташкентского государственного транспортного университета
Абдужалилова М.В., студент, Ташкентского государственного транспортного
Янгиева И.И., студент, Ташкентского государственного транспортного

Аннотация. В мире существуют многие методы, позволяющие снизить расход топлива легковых автомобилей, в большинстве случаев направлены на повышение конструктивной эффективности техники. В реальных условиях эксплуатации требуется усовершенствовать традиционные методы оценки современных конструкций легковых автомобилей. Одним из способов решения задачи является использование математических моделей соответствующих процессов с применением информационных технологий. Эта статья предусматривает программное обеспечение в задачах моделирования топливной экономичности легковых автомобилей при движении на ездовом цикле.

Ключевые слова. Легковой автомобиль, топливная экономичность, нефтепродукт

В настоящее время число моделей и модификаций легковых автомобилей в мире превышает 3000. Объем производства их составляет более 75% от 89,7 млн., общего объема производства, включая грузовых и автобусов [4]. По объему использования нефтепродуктов автотранспортом легковому автомобилю приходится 67 % [5]. Основная часть легковых автомобилей эксплуатируются в городских условиях.

Обеспечение топливной экономичности автомобилей является актуальной задачей современности и зависит от множества факторов, в частности от условий эксплуатации. Топливную экономичность автомобилей, эксплуатируемых в различных условиях, принято определять посредством международных ездовых циклов [2, с. 93]. Нормативный ездовой цикл выражает последовательность режимов (остановка, ускорение, торможение и движения с постоянной скоростью) по степени загруженности движения в течении эксплуатации автомобиля во времени (рис. 1). В целях сравнительной оценки топливной экономичности автомобилей, такой метод относительно охватывает широкомасштабные и различные условия эксплуатации. Формированы навыки оценки уровня совершенства автомобилей показателями топливной экономичности, базирующихся на общих ездовых циклах [2, с. 12].

Рост количества автомобилей в городах, интенсивности движения и плотности потока, различие средних скоростей [4] определяют необходимость продолжения исследований в направлении повышения топливной экономичности. Следовательно, разработка нормативного ездового цикла, выражающего особенности конкретных городских условий и определение расхода топлива с применением разработанного ездового цикла является актуальным.

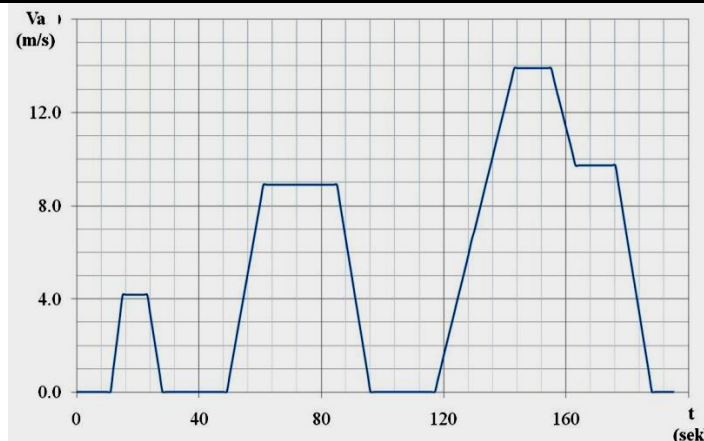
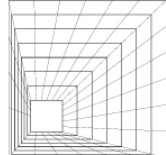


Рис. 1. Стандартизованный Европейский городской ездовой цикл

Известно что, показатели топливной экономичности легковых автомобилей различны в одинаковых условиях движения, а также каждый автомобиль по разному приспособлен к условиям движения по расходу топлива.

Выбор экономичного автомобиля для конкретных условий движения и обоснования его параметров требует сложных, долгосрочных экспериментальных исследований и обработки объемных статистических данных результатов исследования. Решение задачи возможно с применением современных информационных технологий и методов математического моделирования с разработкой их программного обеспечения.

В этих целях нами было разработано программное обеспечение с использованием приложения “Microsoft Visual” studio. Разработанное программное обеспечение предназначено для выбора эффективного легкового автомобиля для конкретных условий движения, а также выбора эффективного условия движения для конкретных автомобилей. Кроме того имеется возможность оценки сложности условия движения.

Ниже приведено главное окно программного обеспечения для выбора соответствующего режима оценки эффективности (рис.2):

- режим 1. Выбор эффективного автомобиля для конкретных условий движений;
- режим 2. Выбор эффективного условия движения для конкретного автомобиля;
- режим 3. Оценка степени сложности условия движения.

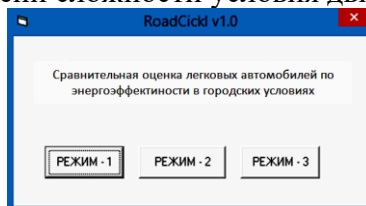


Рис. 2. Вид главного окна программного обеспечения

Режим 1. Для определения эффективного автомобиля в конкретных условиях движения необходимо выбрать ездовой цикл (рис.3), который имитирует условия движения автомобилей, а также двух разных марок автомобилей. В настоящее время в мире имеются более 55 стандартных ездовых циклов и множество моделей автомобилей, параметры которых введены в базу данных программного обеспечения. Исходные данные автомобилей включают следующие технические параметры: N_e - максимальная мощность двигателя, [кВт]; M_e -максимальный крутящий момент двигателя, [Нм]; w_N -максимальная угловая скорость коленчатого вала, [c^{-1}]; m_a -полная масса автомобиля, [кг]; В-ширина автомобиля, [м]; Н-высота автомобиля, [м]; U_o -передаточное число главной передачи; $U_{кп}$ -передаточные число коробки передач;

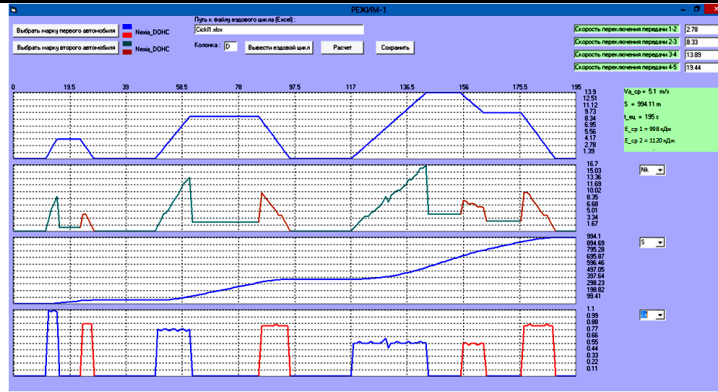


Рис 3. Общий вид окна первого режима вычислений

Следовательно, при нажатии кнопки ‘вычислить’ программа вычисляет необходимые величины в следующем порядке:

а. Определение угловой скорости коленчатого вала ω_e

$$\omega_e = \omega_a \cdot U_{mp} = \frac{V_a}{r_k} \cdot U_{кп} \cdot U_0; [c^{-1}]$$

где: V_a - скорость автомобиля (угловая скорость коленчатого вала определяется для каждой скорости автомобиля приведенной в ездовом цикле ежесекундно);

U_0 - передаточное число главной передачи;

$U_{кп}$ - передаточные число коробки передач (в ездовом цикле время переключения передач стандартизовано по скорости автомобиля. Поэтому на окне первого режима имеется пункт для ввода скорости автомобиля в м/с, на которой меняется режим работы коробки передач);

r_k - радиус качение колеса.

$$r_k = 0,5 \cdot d + \Delta \cdot B \cdot \lambda; [м]$$

где: d – диаметр обода; B – ширина профиля шины; λ – коэффициент радиальной деформации профиля шины; $\Delta = \frac{H}{B}$ – соотношение высоты профиля и ширины; $\lambda_{см}$ – коэффициент вертикальной деформации шины (для легковых автомобилей $\lambda_{см} = 0,85 \dots 0,9$).

б. Определение расхода топлива. Расход топлива автомобиля меняется в зависимости от режима движения (холостой ход, ускорение, замедление, движение с постоянной скоростью). Следовательно, необходимо определить режимы движения автомобиля на ездовом цикле следующим образом:

- условие режима холостого хода двигателя $V_n = V_{n+1} = 0$;
- условие режима ускорения автомобиля $V_n < V_{n+1}$;
- условие режима замедления автомобиля $V_n > V_{n+1}$;
- условие режима движения автомобиля с постоянной скоростью $V_n = V_{n+1} \neq 0$.

Расход топлива в режиме холостого хода автомобиля за секунду определяется по формуле, которая получена аппроксимацией экспериментальных данных:

$$G_{\text{хх}} = \left(162.84 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{хх}} \cdot 30}{\pi} \right)^2 - 119.61 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{хх}} \cdot 30}{\pi} \right) + 0.42936 \right) \cdot 0.217; [гр/с]$$



где: ω_{xx} - угловая скорость коленчатого вала в режиме холостого хода.

В режиме замедления двигатель отсоединяется от трансмиссии и переходит в режим холостого хода. Поэтому условие определения расхода топлива для режима замедления определяется аналогично режиму холостого хода. Кроме того, современные системы питания инжекторных двигателей имеют режим принудительного холостого хода, при котором отключается подача топлива до определенной угловой скорости коленчатого вала, что также будет учитываться в дальнейших обновлениях программы.

Расход топлива в режиме движение автомобиля с постоянной скоростью автомобиля определяется по формуле [2, с. __]:

$$G_T = \frac{N_k \cdot g_e}{\eta_{TP} \cdot 3600}; [zр/c]$$

где: η_{TP} - КПД трансмиссии;

N_k – мощность, подведенная к ведущим колесам. При движение с постоянным скоростям автомобиля эта показатель определяется следующим образом:

$$N_k = (m_a \cdot g \cdot \psi \cdot V_a + 0.78 \cdot B \cdot H \cdot k_b \cdot V_a^3) / 1000; [кВт]$$

где: ψ – коэффициент сопротивления дороги; m_a – масса автомобиля, [кг]; g – ускорение свободного падение 9.81 [м/с²]; V_a – установившегося скорость автомобиля [м/с]; H – высота автомобиля, [м]; B – ширина автомобиля, [м]; k_b – коэффициент сопротивления воздуха, [Н · С² / м⁴];

g_e - удельный расход топлива, кг/кВт · ч

$$g_e = g_{en} \cdot K_H \cdot K_\omega; [кг/кВт \cdot ч]$$

где: g_{en} – удельный расход топлива при максимальной мощности, г/кВт·час; K_ω – коэффициент взаимосвязи между угловой скорости коленчатого вала и удельным расходом топлива.

$$K_\omega = 1.01\omega^2 - 1.34\omega + 1.33;$$

где: $\omega = \omega_e / \omega_N$ - относительная угловая скорость вала двигателя.

ω_e – угловая скорость коленчатого вала, с⁻¹; ω_N – максимальная угловая скорость коленчатого вала, с⁻¹; K_H – коэффициент взаимосвязи между степени использования мощности двигателя и удельным расходом топлива.

$$K_H = 2.43I^2 - 3.83I + 2.4;$$

где: I – степень использования мощности двигателя

$$I = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi \cdot V_a + 0.78 \cdot B \cdot H \cdot k_b \cdot V_a^3}{M_e(-1.4561 \cdot \omega^2 + 1.8582 \cdot \omega + 0.58739)\omega_e \eta_{TP}};$$

где: M_e – максимальный крутящий момент двигателя, Нм;

Расход топлива в режиме ускорения автомобиля определяется по формуле [2, с.98]:

$$Q_{sp} = \frac{(V_k - V_H) \cdot (\mu_H + \mu_k)}{t}; [zр/c]$$

где: V_H – начальная скорость автомобиля;

V_k – конечная скорость автомобиля;

t – время ускорения (расход топлива автомобиля вычисляется за каждую



секунду, поэтому время ускорения можно не учесть);

μ_H – коэффициент расхода топлива на начальной скорости автомобиля;

μ_k – коэффициент расхода топлива конечной скорости автомобиля.

μ – определяет расход топлива на единицу приращения скорости автомобиля и определяется следующим образом:

$$\mu = G_T / j_a; [zр \cdot c / м]$$

где: j_a – ускорения автомобиля $j_a = \frac{(V_k - V_H)}{t} [м/с^2]$;

G_T – часовой расход топлива $[zр/c]$

$$G_T = \frac{N_k \cdot g_e}{\eta_{TP} \cdot 3600}; [zр/c]$$

где: N_k – мощность, подведенная к ведущим колесам. При движении автомобиля с ускорением этот показатель определяется следующим образом:

$$N_k = (k_e \cdot F \cdot V_a^3 + \psi \cdot m_a \cdot g \cdot V_a + j_a \cdot \delta_{ep} \cdot m_a \cdot V_a) / 1000; [кВт]$$

где: δ_{ep} – коэффициент учета вращающихся масс, $\delta_{ep} = 1,04 + 0,04 * U_i^2$;

в. Определение пройденного пути автомобиля:

$$S = V_a t; [м]$$

Пройденный путь автомобиля необходимо определить за каждую секунду для построения графика $S = f(t)$, а также суммарную путь движения автомобиля по ездовому циклу.

г. Определение ускорения (замедления) автомобиля:

$$J_a = \frac{V_K - V_H}{t}; [м/с^2]$$

где: V_K - конечная скорость автомобиля; V_H - начальная скорость автомобиля.

Ускорение или замедление автомобиля необходимо определить за каждую секунду для построения графика $J_a = f(t)$, а также максимальное и минимальное значения ускорения и замедления автомобиля по ездовому циклу.

д. Определение средней скорости автомобиля:

$$V_{аср} = \frac{\sum S}{\sum t}; \text{ м/с}$$

Результаты вычислений отражаются в графическом и цифровом виде. Как видно рис. 3 имеется 4 графика, который один из них стандартно показывает ездовой цикл, то есть $V_a = f(t)$, остальные 3 графика по усмотрению пользователя выбираются из ряда следующих функций: $S = f(t)$; $J_a = f(t)$; $N_e = f(t)$; $N_k = f(t)$; $Q_s = f(t)$; $\Sigma Q_s = f(t)$; $\omega_e = f(t)$. В графиках отражаются результаты двух автомобилей для сравнения. При этом масштаб времени на дисплее составляет 60 с. С помощью курсора можно посмотреть остальные результаты.

Значения в цифровом виде предназначено для просмотра следующих суммарных результатов: $V_{аср}$, S , t , и расход топлива двух автомобилей Q_s .

Для тщательного анализа все результаты вычислений должны экспортироваться в формат Microsoft Excel.

Режим 2. Для определения эффективного условия движения для конкретного автомобиля необходимо выбрать (рис 4) две разные ездовые циклы и один автомобиль.

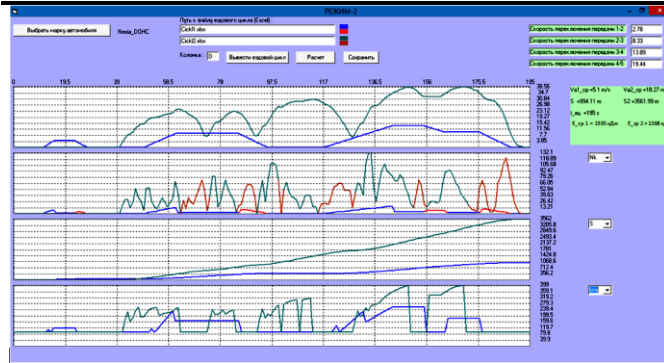
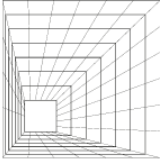


Рис 4. Общий вид окна второго режима вычислений

Вычисление результатов режима 2 идентично к режиму 1.

В цифровом виде отображаются следующих итоговые результаты: V_{acr} , S , t , Q_s для двух ездовых циклов.

Режим 3. Определение сложности движения в ездовых циклах. Движение автомобиля на ездовом цикле сопровождается с изменением режима движения, что создает многофакторную задачу при определении сложности движения. Но известно, что факторы, влияющие на автомобиль в итоге отражаются на расходе топлива. Учитывая данное, предлагается оценивать сложность движения на ездовом цикле для выбранного автомобиля относительным расходом топлива.

Для определения сложности движения выбирается ездовой цикл и автомобиль (рис. 5) и соответственно режиму 1 определяется расход топлива автомобиля Q_{es} на ездовом цикле.

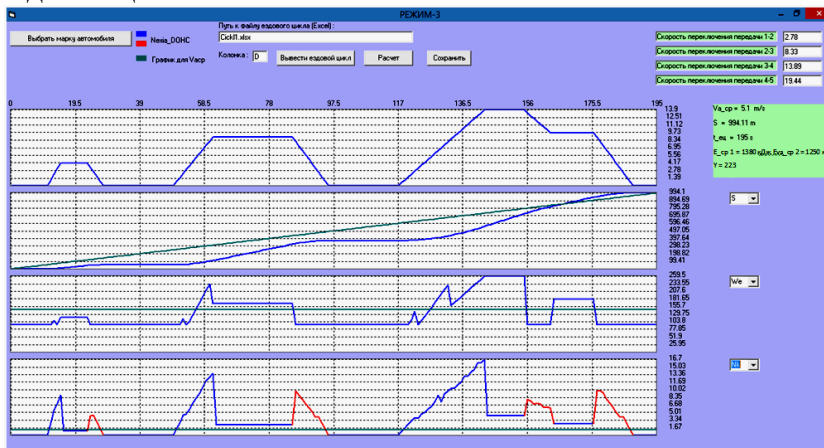
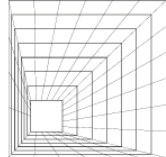


Рис 5. Общий вид окна третьего режима вычислений

Известно, что эффективное значение расхода топлива соответствует режиму движения автомобиля с постоянной скоростью. Поэтому, для определения эффективного расхода топлива автомобиля вычисляется средняя скорость движения на ездовом цикле.

Принимая значение средней скорости движения на ездовом цикле за постоянную скорость движения за время t всего ездового цикла, определяется расход топлива автомобиля Q_{Vavr} . Определенное значение расхода топлива считается эффективным для выбранного автомобиля на данном ездовом цикле.

Учитывая вышеизложенное, установлено, что степень сложности ездового цикла для выбранного автомобиля определяется следующим выражением



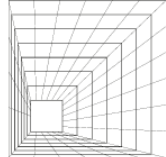
$$\gamma = \frac{Q_{es}}{Q_{vasr}}$$

Согласно выражению, минимизация степени сложности ездового цикла в конкретных городских условиях достигается путем улучшений организации дорожного движения и транспортной инфраструктуры города или выбором более приспособленного автомобиля к имеющимся условиям движения.

Разработанное программное обеспечение может применяться для анализа и улучшения транспортной инфраструктуры города, в целях обеспечения экономической и экологической безопасности, а также для выбора наиболее приспособленного автомобиля по топливной экономичности для конкретных городских условий эксплуатации.

Список использованной литературы:

1. Abdurazzokov, U., Sattivaldiev, B., Khikmatov, R., & Ziyaeva, S. (2021a). Method for assessing the energy efficiency of a vehicle taking into account the load under operating conditions. E3S Web of Conferences, 264, 05033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405033>
2. Abdurazzokov, U., Sattivaldiev, B., Khikmatov, R., & Ziyaeva, S. (2021b). Method for assessing the energy efficiency of a vehicle taking into account the load under operating conditions. E3S Web of Conferences, 264, 05033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405033>
3. Dashdamirov, F., Abdurazzokov, U., Ziyaev, K., Verdiyev, T., & Javadli, U. (2023). Simulation testing of traffic flow delays in bus stop zone. E3S Web of Conferences, 401, 01070. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101070>
4. Faizullaev, E. Z., Rakhmonov, A. S., Mukhtorjanov, U. M., Turdibekov, S., & Nasirjanov, Sh. I. (2023). Parameters of the access road for disaster situations on the roads in the mountain area. E3S Web of Conferences, 401, 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103022>
5. Fayzullaev, E., Tursunbaev, B., Xakimov, S., & Rakhmonov, A. (2022). Problems of vehicle safety in mountainous areas and their scientific analysis. 030099. <https://doi.org/10.1063/5.0089596>
6. Fayzullayev, E., Khakimov, S., Rakhmonov, A., Rajapova, S., & Rakhimbaev, Z. (2023). Traffic intensity on roads with big longitudinal slope in mountain conditions. E3S Web of Conferences, 401, 01073. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101073>
7. Ikromov, A. (2023). Components modifying methods with the using of energy technologies. 060037. <https://doi.org/10.1063/5.0115559>
8. Kasimov, O. (2023). Method for regulation of permissible irregularity of brake forces on front axle. E3S Web of Conferences, 401, 02033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102033>
9. Kasimov, O., & Tukhtamishov, S. (2023). Mathematical model of braking process of car. E3S Web of Conferences, 401, 02034. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102034>
10. Keldiyarova, M., Ruzimov, S., Bonfitto, A., & Mukhitdinov, A. (2022). Comparison of two control strategies for range extender hybrid electric vehicles. 2022 International Symposium on Electromobility (ISEM), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISEM55847.2022.9976663>
11. Khakimov, S., Fayzullaev, E., Rakhmonov, A., & Samatov, R. (2021). Variation of reaction forces on the axles of the road train depending on road longitudinal slope. E3S Web of Conferences, 264, 05030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405030>
12. Kulmukhamedov, Z., Khikmatov, R., Erbekov, S., & Saidumarov, A. (2022).



Maximum temperature values of the engine and auto motor vehicles units in conditions of elevated ambient temperatures. 030040. <https://doi.org/10.1063/5.0093466>

13. Kulmukhamedov, Z., Khikmatov, R., Saidumarov, A., & Kulmukhamedova, Y. (2021). Theoretical research of the external temperature influence on the traction and speed properties and the fuel economy of cargo-carrying vehicles. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(1), 68–76. <https://doi.org/10.5937/jaes0-27851>

14. Kutlimuratov, K., Khakimov, S., Mukhitdinov, A., & Samatov, R. (2021). Modelling traffic flow emissions at signalized intersection with PTV vissim. *E3S Web of Conferences*, 264, 02051. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126402051>

15. Mavlonov, J., Ruzimov, S., Tonoli, A., Amati, N., & Mukhitdinov, A. (2023). Sensitivity Analysis of Electric Energy Consumption in Battery Electric Vehicles with Different Electric Motors. *World Electric Vehicle Journal*, 14(2), 36. <https://doi.org/10.3390/wevj14020036>

16. Mukhitdinov, A., Abdurazzokov, U., Ziyaev, K., & Makhmudov, G. (2023). Method for assessing the vehicle energy efficiency on a driving cycle. 060028. <https://doi.org/10.1063/5.0114531>

17. Mukhitdinov, A., Ziyaev, K., Abdurazzokov, U., & Omarov, J. (2023). Creation of the driving cycle of the city of Tashkent by the synthesis method. 060029. <https://doi.org/10.1063/5.0126363>

18. Mukhitdinov, A., Ziyaev, K., Omarov, J., & Ismoilova, S. (2021). Methodology of constructing driving cycles by the synthesis. *E3S Web of Conferences*, 264, 01033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401033>

19. Nurmetov, K., Riskulov, A., & Ikromov, A. (2022). Physicochemical aspects of polymer composites technology with activated modifiers. 020011. <https://doi.org/10.1063/5.0106358>

20. Sanjarbek, R., Mavlonov, J., & Mukhitdinov, A. (2022). Analysis of the Powertrain Component Size of Electrified Vehicles Commercially Available on the Market. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(1), B74–B86. <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.1.B74-B86>

21. Topalidi, V., Yusupov, U., & Allaberganov, S. (2022). Improving the efficiency of transport logistics support. 030072. <https://doi.org/10.1063/5.0089587>

22. Tursunov, S., & Khikmatov, R. (2023). Increasing environmental safety, increasing service life of ice units and assembly and saving fuel consumption through application of multifunctional fuel additives. *E3S Web of Conferences*, 365, 01012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336501012>

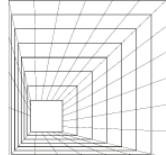
23. Usmanov, U., Ruzimov, S., Tonoli, A., & Mukhitdinov, A. (2023). Modeling, Simulation and Control Strategy Optimization of Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle. *Vehicles*, 5(2), 464–481. <https://doi.org/10.3390/vehicles5020026>

24. Yusupov, U., Kasimov, O., & Anvarjonov, A. (2022). Research of the resource of tires of rotary buses in career conditions. 030073. <https://doi.org/10.1063/5.0089590>

25. Yusupov, U., & Mukhitdinov, A. (2023). Evaluation of the influence of the longitudinal slope of carriage roads on the tire life. *E3S Web of Conferences*, 401, 03025. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103025>

26. Avdeychik, S., Goldade, V., Struk, V., Antonov, A., & Ikromov, A. (2020). THE PHENOMENON OF NANOSTATE IN MATERIAL SCIENCE OF FUNCTIONAL COMPOSITES BASED ON INDUSTRIAL POLYMERS. *Theoretical & Applied Science*, (7), 101-107.

27. Ziyaev K, Omarov J, Research of passenger traffic in public transport, *AIP Conference Proceedings*, 2024, 3045(1), 040030, DOI: 10.1063/5.0197314



-
28. Mukhitdinov, A., Yusupov, U., Tukhtamishov, S., Urinbayev, Q., Results of the study of the influence of an average longitudinal slope of routes on the life of tires in the quarry, AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 040041, DO:110.1063/5.0197301
 29. Abdurazzoqov, U., Anvarjonov, A., State of transport system organization in developed cities, AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 040012, DOI:10.1063/5.0197302
 30. Tursunov, S.R., Sharipov, S.S., Khikmatov, R.S. Saving natural gas through the use of used oils in replacement by the method of their safe burning, AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 050022, DOI:10.1063/5.0197545
 31. Tursunov, S.R., Khikmatov, R.S., Khusanov, S.N.-U., Increasing the efficiency of the use of mining transport due to increasing the periodicity of maintenance time, AIP Conference Proceedings, 2024, 3045(1), 050021, DOI:10.1063/5.0197547