

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА НА РАСХОД ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯ

А. В. Пузаков

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: and-rew78@yandex.ru

Аннотация. Автомобильный генератор обеспечивает электроэнергией бортовую сеть за счет преобразования энергии автомобильного двигателя. Анализ публикаций позволил установить, что снижение расхода топлива на привод автомобильного генератора является актуальной задачей. На ряде автомобилей задача реализуется с помощью интеллектуальных регуляторов напряжения, а также электронных блоков управления автомобильным генератором или системой электроснабжения. Возникающие в процессе эксплуатации неисправности системы электроснабжения (короткое замыкание аккумуляторных батарей, замыкания в электропроводке или обмотках генератора) способны снизить эффективность алгоритмов управления электронных устройств и существенно образом повлиять на величину расхода топлива. Большинство современных автомобилей не оснащают приборами контроля за работой системы электроснабжения, что может повлечь за собой эксплуатацию транспортного средства с повышенным расходом топлива. Решением данной задачи может стать система бортового мониторинга системы электроснабжения, позволяющая предотвратить эксплуатацию транспортных средств с повышенным расходом топлива и снизить экологический и экономический ущерб. Целью работы является установление взаимосвязи между режимом работы автомобильного генератора (включая его деактивацию) и расходом топлива при движении транспортного средства. Методика эксперимента предполагает определение часового расхода топлива с помощью электронного блока управления двигателем, тока генератора и напряжения бортовой сети во время движения автомобиля по ровной прямолинейной дороге с равномерной скоростью. Экспериментально установлена величина расхода топлива при работе минимально необходимого числа потребителей. Разработан нагрузочный цикл, определяющий последовательность и продолжительность включения штатных потребителей автомобиля. Определено, что средняя величина расхода топлива при сохранении условий движения транспортного средства и применении нагрузочного режима возросла на 9%, однако включение мощных потребителей вызвало увеличение расхода топлива на 44%. Принудительная деактивация автомобильного генератора позволила снизить расход топлива в среднем на 9%. Научной новизной обладают результаты определения расхода топлива при движении транспортного средства, нагрузка на генератор которого соответствует разработанному нагрузочному циклу. Дальнейшие исследования будут посвящены определению расхода топлива при нештатных ситуациях в системе электроснабжения транспортных средств.

Ключевые слова: автомобиль, автомобильный генератор, расход топлива, нагрузочный цикл, потребители электроэнергии, напряжение бортовой сети, порог напряжения.

Для цитирования: Пузаков А. В. Оценка влияния автомобильного генератора на расход топлива автомобиля // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2023. – № 4. – С. 83–93, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-83>.

Original article

EVALUATING THE IMPACT OF AN AUTOMOTIVE GENERATOR ON THE AUTOMOBILE FUEL RATE

A. V. Puzakov

Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: and-rew78@yandex.ru

Abstract. The car generator provides electricity to the on-board network by converting the energy of the car engine. The analysis of publications made it possible to establish that reducing fuel consumption for driving a car generator

is an urgent task. On a number of vehicles, the task is implemented using intelligent voltage regulators, as well as electronic control units for a car generator or power supply system. Malfunctions of the power supply system that occur during operation (short circuit of the battery, short circuits in the wiring or windings of the generator) can reduce the efficiency of electronic device control algorithms and significantly affect the amount of fuel consumption. Most modern cars are not equipped with devices for monitoring the operation of the power supply system, which can lead to the operation of a vehicle with increased fuel consumption. The solution to this problem can be an on-board monitoring system for the power supply system, which makes it possible to prevent the operation of vehicles with increased fuel consumption and reduce environmental and economic damage. The aim of the work is to establish the relationship between the mode of operation of the car generator (including its deactivation) and fuel consumption when the vehicle is moving. The experimental technique involves determining the hourly fuel consumption using an electronic engine control unit, the generator current and the voltage of the on-board network while the car is moving along a flat straight road at a uniform speed. The value of fuel consumption during the operation of the minimum required number of consumers has been experimentally established. A load cycle has been developed that determines the sequence and duration of switching on the regular consumers of the car. It was determined that the average value of fuel consumption, while maintaining the driving conditions of the vehicle and applying the load mode, increased by 9%, however, the inclusion of powerful consumers caused an increase in fuel consumption by 44%. Forced deactivation of the automobile generator allowed to reduce fuel consumption by an average of 9%. The results of determining the fuel consumption during the movement of a vehicle, the load on the generator of which corresponds to the developed load cycle, have a scientific novelty. Further research will be devoted to determining fuel consumption in emergency situations in the vehicle power supply system.

Key words: car, car generator, fuel consumption, load cycle, electricity consumers, on-board network voltage, voltage threshold.

Cite as: Puzakov, A. V. (2023) [Evaluating the impact of an automotive generator on the automobile fuel rate]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 83–93, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-4-83>.

Введение

Расход топлива является одной из ключевых характеристик транспортных средств, определяющих эффективность эксплуатации [8]. На расход топлива влияет широкий спектр факторов: температура окружающего воздуха, рельеф местности и качество дорожного покрытия, скоростной и нагрузочный режимы, стиль вождения, техническое состояние агрегатов [2; 6]. В процессе эксплуатации транспортного средства расход топлива неуклонно растёт, что вызывает сопутствующее увеличение токсичности отработавших газов и затрат на заправку. В свете ужесточения требований к токсичности отработавших газов становится актуальной минимизация расхода топлива на основе оперативного устранения причин его перерасхода [7].

Автомобильный генератор, служащий для выработки электроэнергии на борту транспортного средства, преобразует механическую энергию вращения коленчатого вала автомобильного двигателя. На привод генератора затрачивается до 10% мощности автомобильного двигателя [1]. Эффективность работы генератора определяется не только его скоростным и нагрузочным режимом, но и техническим состоянием [4]. Основным трендом повышения эффективности работы системы электроснабжения стало внедрение интеллектуальных алгоритмов управления автомо-

бильным генератором [10-13]. Традиционно в автомобиле генератор работает постоянно, обеспечивая работу потребителей электроэнергии и заряжая аккумуляторную батарею. Однако современное развитие электронных устройств позволяет периодически отключать генератор, переводя питание потребителей на работу от аккумуляторной батареи с непрерывным контролем её заряженности.

Целью работы является оценка количественного влияния на расход топлива транспортного средства режима работы автомобильного генератора.

Анализ публикаций

В работах [3; 9] для снижения расхода топлива и токсичности отработавших газов предложен интеллектуальный регулятор напряжения, отключающий ток обмотки возбуждения автомобильного генератора в зависимости от состояния аккумуляторной батареи. Разработанный алгоритм предполагает снижение регулируемого напряжения до 13.8 V при степени заряженности батареи более 75% и увеличивающий напряжение до 14.6–14.8 V при степени заряженности батареи менее 75%. Данный алгоритм позволяет снизить расход топлива на 7–8% в зависимости от условий эксплуатации.

В исследовании «*Alternator interrupting circuit for improving fuel economy*» (Схема прерывания гене-

ратора переменного тока для улучшения экономии топлива) предложено изменять время эффективной работы генератора для повышения топливной экономичности путём внесения изменений в тормозную систему автомобиля. Структура цикла работы генера-

тора представлена на рисунке 1, из которого следует, что он отключается в процессе разгона автомобиля и включается при снижении напряжения ниже определённого порога.

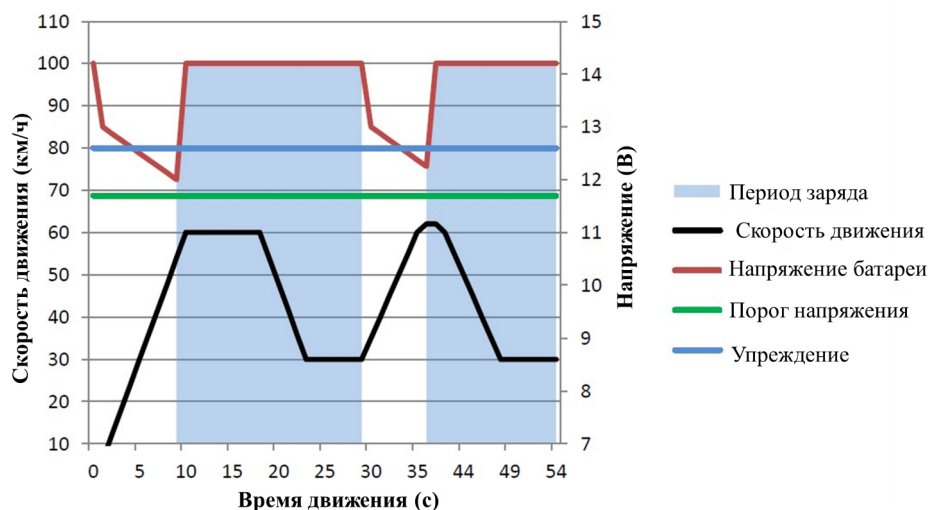


Рисунок 1. Цикл заряда с изменёнными пороговыми и гистерезисными напряжениями
 Источник: взято из Rendle-Short Kendric¹

В работах [14; 15] предлагается динамическая оптимальная стратегия регулирования выходной мощности генератора и аккумулятора, учитывающая распознавание ездового цикла и восприятие электрической нагрузки. Экспериментально достигнуто снижение расхода топлива на 1.6%.

Обзор исследований доказывает актуальность снижения расхода топлива путём управления работой системы электроснабжения. Однако существующие работы не учитывают, что изменение технического состояния агрегатов системы электроснабжения может снизить эффективность алгоритмов управления и существенным образом повлиять на величину расхода топлива.

Методика экспериментальных исследований

Для определения расхода топлива транспортного средства использовались значения штатного электронного блока управления двигателем, основанные на расчёте потока воздуха во впускном трубопроводе. Данный способ определения расхода топлива обладает достоверностью, простотой использования и позволяет с высоким быстродействием оценить влияние внешних факторов.

Для минимизации воздействия внешних факторов движение автомобиля осуществлялось в безветренную погоду по ровной горизонтальной дороге с асфальтобетонным покрытием в условиях практически отсутствующего потока транспорта. Температура окружающего воздуха в процессе эксперимента изменялась незначительно ($10 \pm 2^\circ\text{C}$), автомобильный двигатель был прогрет до рабочей температуры. Во время эксперимента в салоне находился водитель, управляющий движением автомобиля, и штурман, подающий команды на переключение потребителей.

Движение автомобиля производилось следующим образом: первоначальный разгон до скорости 40 км/ч на третьей передаче (1800 оборотов в минуту коленчатого вала автомобильного двигателя) и последующее поддержание данного скоростного режима в течение 600 ± 10 секунд путём небольших корректировок. Эксперименты проводились на автомобиле Hyundai Getz (2008), оснащённым двигателем G4EE объёмом 1.4 дм^3 , мощностью 71.3 кВт.

Фиксация значений часового расхода топлива, скоростного и нагрузочного режима автомобильного двигателя осуществлялась путём подключения диагностического сканера ELM327 Wi-Fi, передающе-

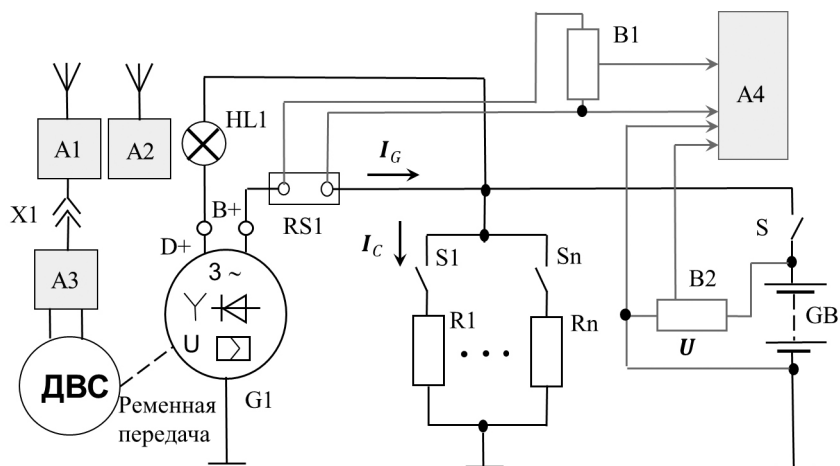
¹ Rendle-Short Kendric (2016) Alternator interrupting circuit for improving fuel economy.

го информацию электронного блока управления на планшет с помощью программного обеспечения OBD Fusion (рисунок 2).

Для измерения силы тока генератора осуществлялось подключение датчика постоянного напряжения CABLE-ADAP5 к токоизмерительному шунту (50А, 75mВ), включённому в цепь силового провода, на участке между выводом генератора и точкой подключения нагрузки. Вывод датчика соединялся с четырёх-

канальным регистратором аналоговых данных HOBO OnSet® UX120-006M. Прибор позволяет фиксировать в памяти до 16 млн значений.

Для измерения напряжения бортовой сети осуществлялось подключение датчика постоянного напряжения CABLE-ADAP24 непосредственно к выводам аккумуляторной батареи с соблюдением полярности. Вывод датчика также соединялся с четырёхканальным регистратором HOBO OnSet® UX120-006M.



A1 – диагностический сканер ELM327 Wi-Fi; A2 – планшет; A3 – электронный блок управления автомобильным двигателем; A4 – четырёхканальный регистратор аналоговых данных HOBO OnSet UX120-006M; B1 – датчик постоянного напряжения CABLE ADAP5; B2 – датчик постоянного напряжения CABLE ADAP24; G1 – автомобильный генератор (14V, 90A); GB1 – аккумуляторная батарея (12V, 55Ah); HL1 – контрольная лампа; R1-Rn – задействованные потребители электроэнергии; RS1 – токовый шунт (75mV, 50A); S – выключатель зажигания; S1-Sn – выключатели (переключатели) потребителей электроэнергии; X1 – диагностический разъём OBD-II.

Рисунок 2. Подключение измерительной аппаратуры в ходе эксперимента

Источник: разработано автором

Задача *первого эксперимента* состояла в определении расхода топлива при штатной работе системы электроснабжения с минимально возможным числом потребителей. Для этого на автомобиле задействована только штатная система электронного управления двигателем, обеспечивающая впрыск и зажигание топлива. Так же часть энергии расходовалась на подзаряд аккумуляторной батареи. Все остальные потребители, включая систему освещения, были отключены.

Следующий эксперимент покажет, как зависит расход топлива автомобиля от мощности задействованных потребителей электроэнергии. Увеличение мощности потребителей приведёт к росту нагрузки на генератор, а следовательно, к увеличению расхода топлива. Для количественной оценки этого влияния был разработан нагрузочный цикл системы электроснабжения.

Под *нагрузочным циклом* понимается стандартизированная последовательность режимов нагружения, каждый из которых отличается продолжительностью и номенклатурой задействованных потребителей электроэнергии [5].

За начальную точку нагрузочного цикла принят момент разгона автомобиля до заданной скорости движения. На первом этапе отключены все дополнительные потребители. На втором этапе в качестве дополнительных потребителей использовался ближний свет фар. На следующем этапе к данным потребителям был добавлен отопитель салона (на третьей скорости). На четвёртом этапе был исключён из состава потребителей ближний свет фар. Пятый этап характеризовался максимальной мощностью дополнительных потребителей, в состав которых входили: ближ-

ний свет фар, отопитель салона (на третьей скорости), нагревательные элементы стекла задней двери, водительского и пассажирского сидений. На следующем этапе в состав дополнительных потребителей входили только нагревательные элементы стекла задней двери, водительского и пассажирского сидений. На заключи-

тельном этапе все дополнительные потребители были отключены.

В таблице 1 представлена структура нагрузочного цикла, в которой указаны продолжительность этапов и задействованные потребители с указанием их суммарной мощности.

Таблица 1. Структура нагрузочного цикла

Этап	Задействованные потребители	Продолжительность, с	Мощность потребителей, Вт
Этап 1	Электронный блок управления двигателем (ЭБУ)	150	140
Этап 2	ЭБУ и ближний свет фар	50	310
Этап 3	ЭБУ, ближний свет фар и отопитель салона	80	420
Этап 4	ЭБУ и отопитель салона	100	260
Этап 5	ЭБУ, ближний свет фар, отопитель салона, нагревательные элементы стекла задней двери и сидений	80	700
Этап 6	ЭБУ, нагревательные элементы стекла задней двери и сидений	50	440
Этап 7	ЭБУ	100	140

Источник: разработано автором

Структура нагрузочного цикла показана на рисунке 3.

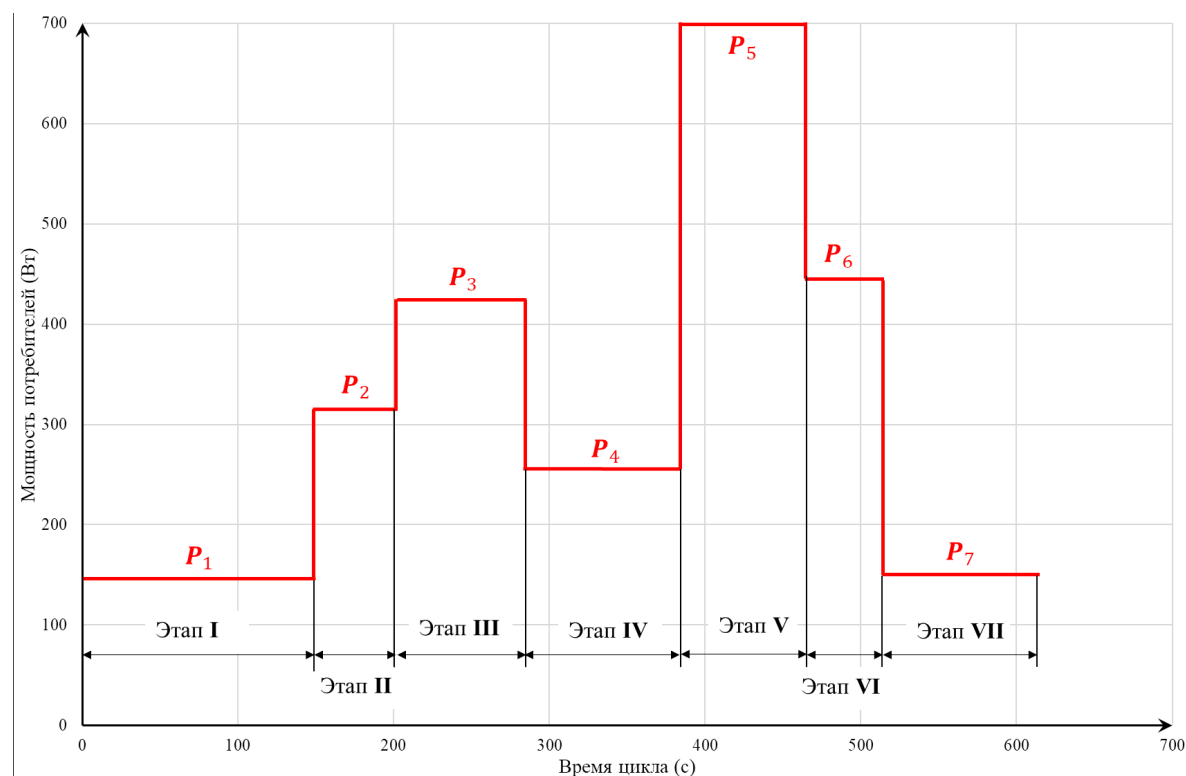


Рисунок 3. Структура нагрузочного цикла системы электроснабжения

Источник: разработано автором

Третий эксперимент предназначен для определения количественного влияния работы автомобильного генератора на расход топлива транспортного средства.

Для исключения влияния генератора на расход топлива необходимо не только отключить генератор от бортовой сети автомобиля, но и демонтировать его приводной ремень. В этом случае все потребители электроэнергии работают от аккумуляторной батареи. Структура нагрузочного цикла при этом была сохранена, за исключением нагревательного элемента стекла задней двери, который задействовать не удалось. Данный эксперимент проводился исключительно с целью определения расхода топлива, затра-

чиваемого на привод генератора. В эксплуатации он может привести к выходу из строя аккумуляторной батареи.

Результаты экспериментальных исследований

Вариация расхода топлива в условиях движения автомобиля с минимальным числом включённых потребителей электроэнергии представлена на рисунке 4. Там же показано изменение напряжения бортовой сети и силы тока автомобильного генератора. Из рисунка 4 следует, что даже в этих условиях наблюдается колебание расхода топлива от 1.42 до 4.54 л/ч. Среднее значение расхода топлива составило 2.66 л/ч.

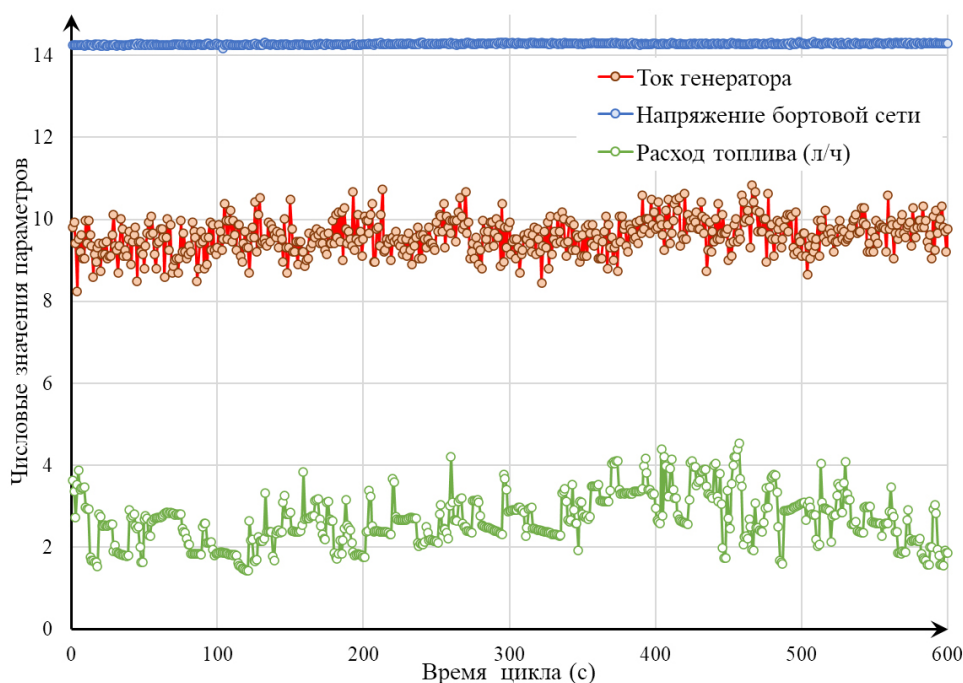


Рисунок 4. Результаты эксперимента при движении автомобиля с минимальным числом потребителей электроэнергии

Источник: получено и обработано автором

На рисунке 5 приведены результаты эксперимента, полученные при активации нагрузочного цикла системы электроснабжения. Из данного рисунка следует, что расход топлива с ростом мощности задействованных потребителей также увеличивается. В режиме максимальной мощности средний расход топлива составил 3.83 л/ч, что на 44% превышает среднее значение первого эксперимента. Это справедливо для заданных условий эксперимента, при которых затраты мощности двигателя на равномерное движение автомобиля не-

велики (около 7 кВт). В среднем за нагрузочный цикл расход топлива на 9% больше, чем при движении автомобиля с минимальной мощностью потребителей.

На рисунке 6 представлены результаты эксперимента при движении автомобиля с отключённым генератором. Из данного рисунка следует, что среднее значение расхода топлива при этом составило 2.42 л/ч, что на 9% меньше, чем при движении автомобиля с включённым генератором и минимальной мощностью потребителей.

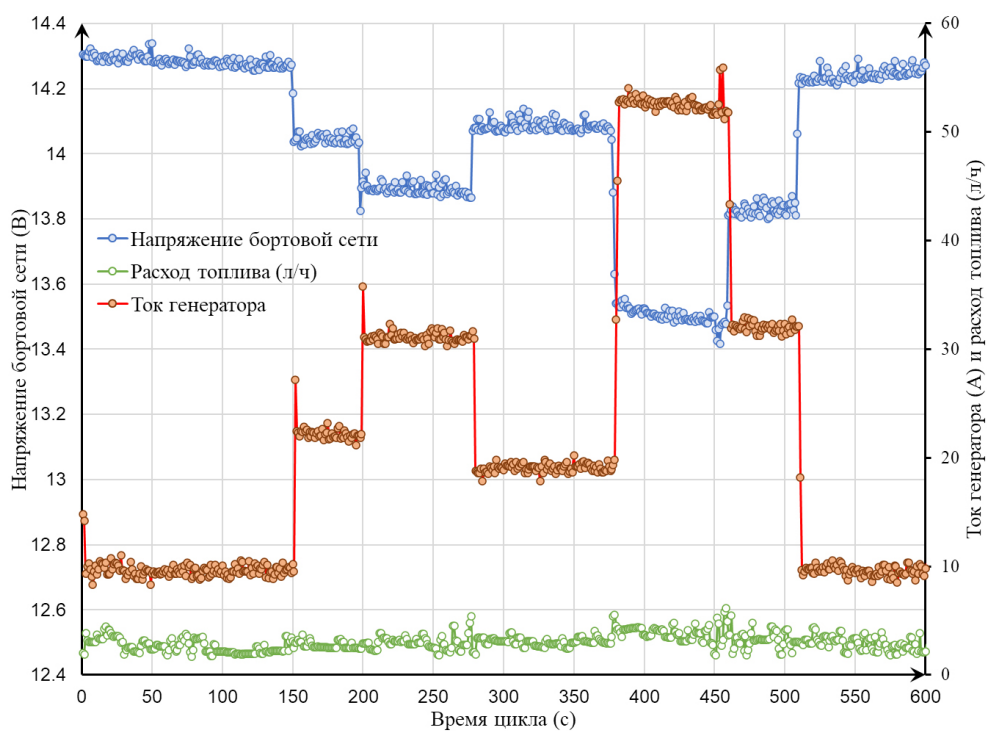


Рисунок 5. Результаты эксперимента при движении автомобиля с включением потребителей по разработанному нагрузочному циклу

Источник: получено и обработано автором

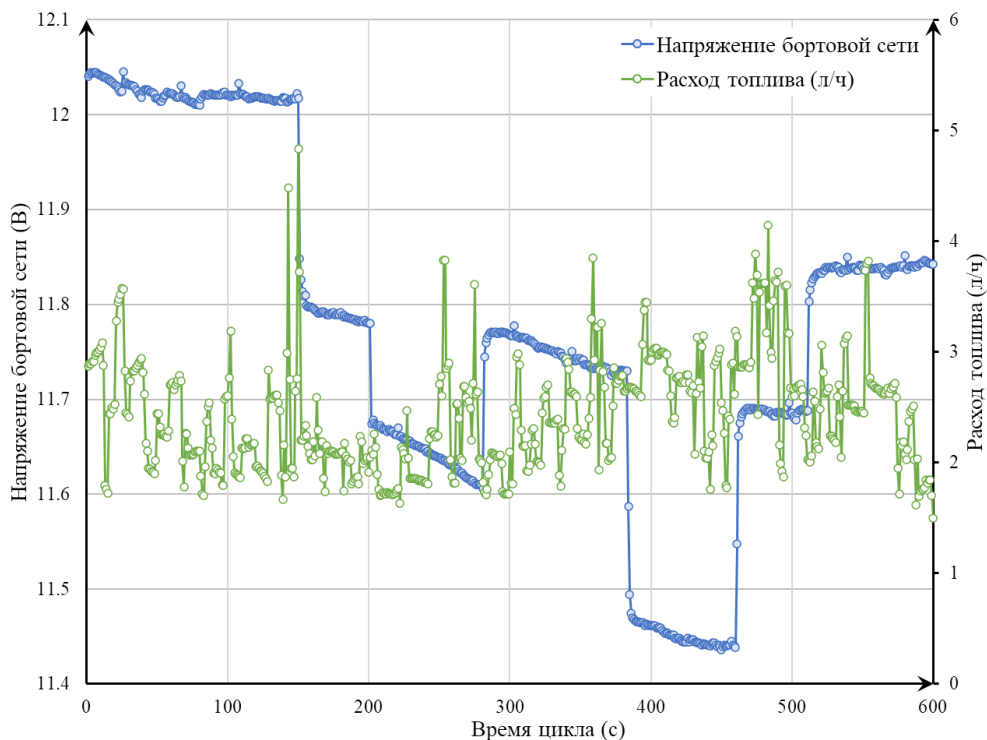


Рисунок 6. Результаты эксперимента при движении автомобиля с отключенным генератором

Источник: получено и обработано автором

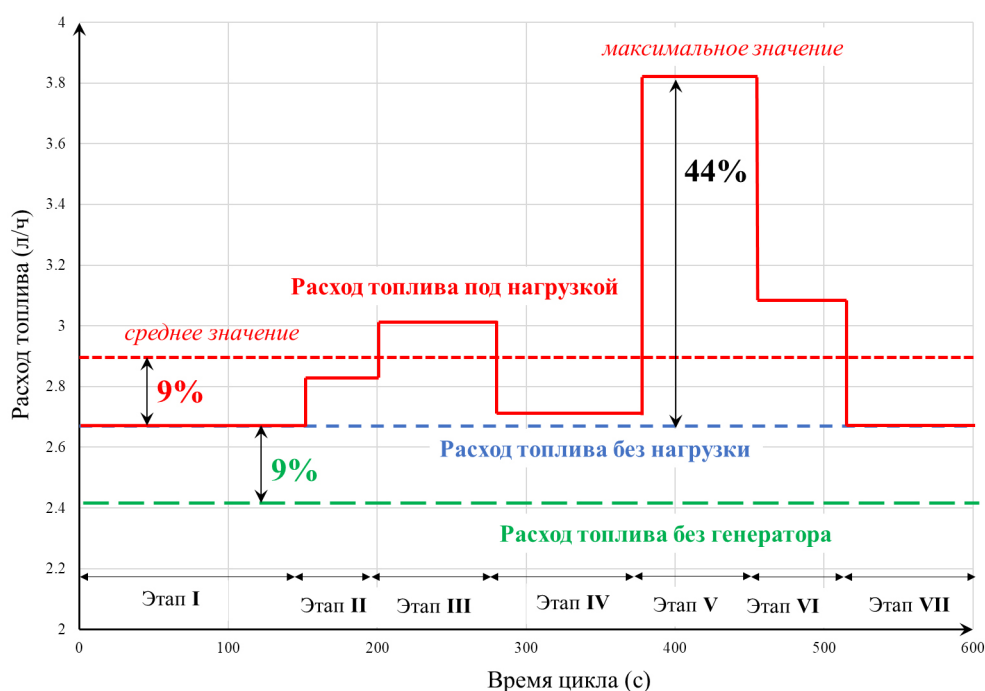


Рисунок 7. Сравнительная диаграмма расхода топлива по результатам экспериментов
 Источник: получено и обработано автором

На рисунке 7 приведена сравнительная диаграмма расхода топлива по результатам экспериментов. Из данного рисунка следует, что расход топлива увеличивается пропорционально росту мощности потребителей электроэнергии. Неблагоприятные условия движения, требующие работы большинства потребителей электроэнергии, способны привести к росту расхода топлива более чем на 40% относительно среднестатистических значений.

В дальнейшем предполагается изучение влияния нештатных ситуаций в системе электроснабжения на величину расхода топлива.

Отключение аккумуляторной батареи, обрыв фазы статора или диодов выпрямителя автомобильного генератора приведут к небольшому уменьшению расхода топлива вследствие снижения нагрузки на автомобильный двигатель. К этому же эффекту приведёт проскальзывание приводного ремня генератора.

Короткое замыкание внутри аккумуляторной батареи или в автомобильной проводке увеличит нагрузку на генератор. Интенсивная работа генератора значительно увеличит расход топлива транспортного средства.

Короткие замыкания выпрямителя или обмотки статора автомобильного генератора создадут значительный тормозной момент, на преодоление которого двигатель затратит дополнительную энергию.

Заключение

Расход топлива является одной из ключевых характеристик транспортных средств, определяющих эффективность эксплуатации. В свете ужесточения требований к токсичности отработавших газов становится актуальной минимизация расхода топлива на основе оперативного устранения причин его перерасхода.

Обзор ранее проведённых исследований показал, что не учитывается изменение технического состояния агрегатов системы электроснабжения, которое может снизить эффективность алгоритмов управления и существенным образом повлиять на величину расхода топлива транспортных средств.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что среднее значение расхода топлива при штатной работе системы электроснабжения с минимально возможным числом потребителей составило 2.66 л/ч. Для количественной оценки влияния мощности потребителей электроэнергии на расход топлива был разработан нагрузочный цикл системы электроснабжения. В режиме максимальной мощности средний расход топлива составил 3.83 л/ч, что на 44% превышает среднее значение первого эксперимента. В среднем за нагрузочный цикл расход топлива на 9% больше, чем при движении автомобиля с минимальной мощностью потребителей. Научной новизной

обладают результаты определения расхода топлива при движении автомобиля, нагрузка на генератор которого соответствует разработанному циклу.

При движении автомобиля с отключённым генератором среднее значение расхода топлива составило 2.42 л/ч, что на 9% меньше, чем при движении авто-

мобиля с включённым генератором и минимальной мощностью потребителей.

Дальнейшие исследования будут посвящены определению расхода топлива при нештатных ситуациях в системе электроснабжения транспортных средств.

Литература

1. Влияние электрических потребителей на расход топлива автомобиля / Т. Т. Амрин, А. А. Мелентьев, Б. Т. Нукубаев, А. Н. Чебоксаров // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, приуроченной к проведению в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий, Омск, 24–25 ноября 2022 г. – Омск, 2022. – С. 115–118. – EDN: NKBTNP.
2. Дрючин Д. А., Булатов С. В., Загидуллин Р. Р. Методика корректировки нормативной периодичности технического обслуживания автотранспортных средств на основе данных о фактическом расходе топлива // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 93–101.
3. Зуев С. М., Малеев Р. А., Чернов А. Е. Энергетическая эффективность систем электрооборудования автономных объектов: монография. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 170 с.
4. Пузаков А. В. Анализ динамической характеристической кривой системы электроснабжения автомобиля // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 1. – С. 87–96, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-1-87>. – EDN: JPIIKG
5. Пузаков А. В., Копылов К. Е. Формирование структуры и апробация нагрузочного цикла системы электроснабжения автомобилей // Грузовик. – 2023. – № 1. – С. 3–9, <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2023-1-3-9>. – EDN: VCASXL.
6. Тарасик В. П., Пузанова О. В. Влияние режима движения автомобиля на его топливную экономичность // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2020. – № 1(66). – С. 76–85, https://doi.org/10.53078/20778481_2020_1_76. – EDN: MSQQQR.
7. Теренченко А. С., Аникеев С. А. Современные международные требования по ограничению выбросов диоксида углерода и расхода топлива транспортными средствами // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 1(85). – С. 60–65.
8. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т. У. Асмус, К. Боргнакке, С. К. Кларк и др.; Под ред. Д. Хиллиарда, Дж. С. Спрингера; Пер. с англ. А. М. Васильева; Под ред. А. В. Кострова. – М.: Машиностроение, 1988. – 504 с.
9. Чернов А. Е., Акимов А. В. Повышение энергетической эффективности системы электрооборудования автотранспортных средств // Известия МГТУ МАМИ. – 2019. – № 1 (39). – С. 67–76, <https://doi.org/10.31992/2074-0530-2019-39-1-67-76>. – EDN: YZZSLZ.
10. Cho G.-J. et al. (2009). Effect of Alternator Control on Vehicle Fuel Economy. *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*. Vol. 17. No. 2, pp. 20–25.
11. Li B., Yang D., Kong W. and Lian X. (2013). Research of Intelligent Automotive Alternator Control System to Reduce the Fuel Consumption. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 321–324. pp. 1578–1582, [10.4028/www.scientific.net/AMM.321-324.1578](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.321-324.1578).
12. Sales L. et al. (2017). Evaluation of the Influence of an Alternator with Mechanical Decoupling on Energy Consumption and CO₂ Emission in a Flex Fuel Vehicle. *SAE Technical Paper* 2017-36-0116.
13. Sayahan A. and Asaei B. (2013). An intelligent alternator control approach for fuel consumption reduction. *13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Wroclaw, Poland, 1-3 November 2013, pp. 296–300, <https://doi.org/10.1109/EEEIC-2.2013.6737925>.
14. Wang, Y. et al. (2016). Real-Time Vehicle Energy Management System Based on Optimized Distribution of Electrical Load Power. *Applied Sciences* Vol. 6. No. 10: pp. 285, <https://doi.org/10.3390/app6100285>.
15. Wang Y. et al. (2018). A strategy of electrical energy management for internal combustion engine vehicle based on driving cycle recognition and electrical load perception. *Advances in Mechanical Engineering*. Vol. 10(11), <https://doi.org/10.1177/1687814018809236>.

References

1. Amrin, T. T., Melentyev, A. A., Nukubaev, B. T., Cheboksary, A. N. (2022) [The influence of electric consumers on the fuel consumption of the car]. *Arhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, innovacii: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, priurochennoj k provedeniyu v Rossijskoj Federacii Desyatiletija nauki i tekhnologii* [Architectural, construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations: collection of materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Decade of Science and Technology in the Russian Federation]. pp. 115–118. (In Russ.).
2. Dryuchin, D. A., Bulatov, S. V., Zagidullin, R. R. (2022) [Methodology for adjusting the standard frequency of maintenance of vehicles based on data on actual fuel consumption]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 93–101. (In Russ.).
3. Zuev, S. M., Maleev, R. A., Chernov, A. E. (2022) *Energeticheskaya effektivnost' sistem elektrooborudovaniya avtonomykh ob'yektov* [Energy efficiency of electrical equipment systems of autonomous objects]. Moscow: INFRA-M, 170 p.
4. Puzakov, A. V. (2021) [Analysis of the dynamic characteristic curve of the vehicle power supply system]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 87–91. (In Russ.).
5. Puzakov, A. V., Kopylov, K. E. (2023) [Formation of the structure and testing of the load cycle of the car power supply system]. *Gruzovik* [Truck]. Vol. 1, pp. 3–9, <https://doi.org/10.36652/1684-1298-2023-1-3-9>. (In Russ.).
6. Tarasik, V. P., Puzanova, O. V. (2020) [The influence of the driving mode of the car on its fuel efficiency]. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University]. Vol. 1(66), pp. 76–85. (In Russ.).
7. Terenchenko, A. S., Anikeev, S. A. (2022) [Modern international requirements for limiting carbon dioxide emissions and fuel consumption of vehicles]. *Transport na alternativnom toplive* [Alternative fuel transport]. Vol. 1(85), pp. 60–65. (In Russ.).
8. Asmus, T. W., Borgnakke, K., Clarke, S. K. (1988) *Toplivnaya ekonomichnost' avtomobiley s benzinovymi dvigatelyami* [Fuel efficiency of automobiles with gasoline engines]. Moscow: Machine building, 504 p. (In Russ., transl. from Engl.).
9. Chernov, A. E., Akimov, A. V. (2019) [Improving the energy efficiency of the electrical equipment system of motor vehicles]. *Izvestiya MGTU MAMI* [Proceedings of MSTU MAMI]. Vol. 1(39), pp. 67–76. (In Russ.).
10. Cho, G.-J., Wi, H.-S., Lee, J., Park, J.-Il and Park, K.-S. (2009) Effect of Alternator Control on Vehicle Fuel Economy. *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*. Vol. 17. No. 2, pp. 20–25. (In Engl.).
11. Li, B., Yang, D., Kong, W. and Lian, X. (2013) Research of Intelligent Automotive Alternator Control System to Reduce the Fuel Consumption. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 321–324, pp. 1578–1582, [10.4028/www.scientific.net/AMM.321-324.1578](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.321-324.1578). (In Engl.).
12. Sales, L. et al. (2017) Evaluation of the Influence of an Alternator with Mechanical Decoupling on Energy Consumption and CO₂ Emission in a Flex Fuel Vehicle. *SAE Technical Paper 2017-36-0116*. (In Engl.).
13. Sayahan, A. and Asaei, B. (2013) An intelligent alternator control approach for fuel consumption reduction. *13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Wroclaw, Poland, 1–3 November 2013, pp. 296–300, <https://doi.org/10.1109/EEEIC-2.2013.6737925>. (In Engl.).
14. Wang, Y. et al. (2016) Real-Time Vehicle Energy Management System Based on Optimized Distribution of Electrical Load Power. *Applied Sciences*. Vol. 6, no. 10: pp. 285, <https://doi.org/10.3390/app6100285> (In Engl.).
15. Wang, Y. et al. (2018) A strategy of electrical energy management for internal combustion engine vehicle based on driving cycle recognition and electrical load perception. *Advances in Mechanical Engineering*. Vol. 10(11). <https://doi.org/10.1177/1687814018809236> (In Engl.).

Информация об авторе:

Андрей Владимирович Пузаков, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0002-9754-8165, **Researcher ID:** G-3297-2015, **Scopus Author ID:** 57212170587

e-mail: and-rew78@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 09.04.2023; принята в печать: 31.07.2023.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Andrey Vladimirovich Puzakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Cars, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-9754-8165, **Researcher ID:** G-3297-2015, **Scopus Author ID:** 57212170587

e-mail: and-rew78@yandex.ru

The paper was submitted: 09.04.2023.

Accepted for publication: 31.07.2023.

The author has read and approved the final manuscript.