

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

д.т.н. Чернов А.Е.¹, к.т.н. Акимов А.В.²

¹НОЧУ ВО «Экономико-энергетический институт», Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», Москва, Россия

eoqe@mospolytech.ru

В статье рассматриваются основные направления повышения эффективности систем электрооборудования (СЭ) и систем энергоснабжения (СЭС) автотранспортных средств (АТС) традиционной конструкции, использующих для движения двигателя внутреннего сгорания (ДВС), основные тенденции развития АТС. Приводятся технические решения, направленные на снижение расхода топлива. Проводится анализ используемой в настоящее время СЭС, отмечая ее основные недостатки. Показано, что увеличение максимального тока отдачи генераторной установки до 20 А приводит к увеличению расхода топлива двигателем на 10–15 %. Расход топлива на привод генераторной установки на современных автомобилях с бензиновыми двигателями в городе достигает 20 % от общего расхода топлива. Дана методика имитационного моделирования СЭС в эксплуатации и анализа концепции управления системой электроснабжения, направленной на снижение расхода топлива. Приведены основные пути увеличения эффективности СЭС, использующей разработанный регулятор напряжения, встроенный в щиток управления ЩУ-5. Преимуществом разработанного регулятора напряжения является существенное расширение диагностических функций. Это индикация повышенного напряжения сети, так как работа блока управления системы впрыска топлива уже при напряжении 17,5 В приводит к выходу его из строя, а стоимость этого блока составляет более 9000 руб., что существенно выше стоимости регулятора напряжения. Многофункциональный регулятор напряжения имеет функцию контроля роста нагрузки. Эта функция обеспечивает стабильную работу двигателя в режиме принудительного холостого хода и исключает ударные нагрузки на ремень привода генератора. В схему регулятора напряжения введена защита от короткого замыкания в цепи контрольной лампы. В многофункциональном регуляторе напряжения введена тепловая защита, увеличивающая надежность работы генераторной установки в тяжелых режимах эксплуатации при повышенной температуре окружающей среды.

Ключевые слова: система электроснабжения, энергетическая эффективность, расход топлива, регулятор напряжения.

Введение

Повышение энергетической эффективности систем электрооборудования (СЭ) и систем энергоснабжения (СЭС) приводит к снижению расхода топлива и загрязнения окружающей среды автотранспортных средств (АТС). Загрязнение атмосферы АТС происходит за счет испарения топлива и масел при заправке АТС и топлива при заполнении автозаправочных станций, выбросов продуктов сгорания от работающих двигателей внутреннего сгорания (ДВС), выбросов вредных веществ при заряде аккумуляторных батарей, попадания частиц твердых углеводородов при истирании шин, покрытий автомагистралей. Кроме того, происходит акустическое засорение окружающей среды, которое захватывает все автомагистра-

ли и близлежащие к ним районы, а также тепловое загрязнение за счет излучения тепла от нагретых поверхностей ДВС, радиатора и автомобиля. Также АТС наносит ущерб воздушной среде и за счет того, что для сжигания топлива в ДВС автомобиля необходим кислород, который поступает из атмосферы.

Рассматривая основные тенденции развития АТС в последние десятилетия, можно выделить несколько ключевых направлений, связанных как с совершенствованием АТС с ДВС, так и с созданием новых видов транспортных средств, таких как электромобили, автомобили с комбинированными энергоустановками, беспилотные автомобили. Сегодня в экспертной и научной среде не утихают споры относительно будущего автомобилестроения.

Часть экспертного сообщества считает, что будущее за интенсификацией развития проектов автомобилей, построенных с применением электротехнологий, часть небезосновательно указывает на еще недостигнутый предел развития традиционных АТС с ДВС. Обобщенный анализ российской практики эксплуатации и традиционных АТС и автомобилей на электро-технологиях показывает, что все же в настоящее время наибольшие перспективы в плане совершенствования конструкции имеют именно традиционные автомобили с ДВС [1, 2]. Значительные территории, сложные климатические условия, не достаточная развитость инфраструктуры существенно ограничивают возможности применения электро-автомобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками. Ведущими экспертами отрасли определено, что наибольший ресурс развития автомобилей на электротехнологиях заложен в крупных городах с населением более миллиона человек, коих в РФ не так много. Таким образом, становится понятно, что наиболее актуальные, комплексные отраслевые задачи по-прежнему связаны с обеспечением роста эксплуатационных характеристик АТС традиционной конструкции, в том числе через повышение энергетической эффективности и топливной экономичности.

Цель исследований

Анализ основных направлений повышения эффективности систем электрооборудования и систем энергоснабжения автотранспортных средств традиционной конструкции, использующих для движения двигателя внутреннего сгорания.

Методы и средства проведения исследований

В настоящее время для снижения расхода топлива используются следующие технические решения:

- применение электропривода (электромобили);
- применение гибридного привода (гибридные автотранспортные средства);
- оптимизация работы систем электрооборудования, оказывающих влияние на расход топлива двигателя внутреннего сгорания.

Наряду с преимуществами электромобилей и гибридных автомобилей, наиболее важными из которых являются топливная экономич-

ность и снижение эмиссии вредных выбросов, они имеют и существенные недостатки, а именно [3–5]:

- малый запас хода без участия первичного двигателя;
- проблемы с аккумуляторными батареями, возникающие в процессе эксплуатации и утилизации (большие токи саморазряда, зависимость напряжения от температуры, небольшой срок службы);
- сложная конструкция гибридных автомобилей (количество узлов и агрегатов больше, чем в традиционных автомобилях);
- большая масса по сравнению с автотранспортными средствами традиционной конструкции;
- высокая стоимость и сложность ремонта.

В противовес мнению о высокой экономичности электромобилей анализ показывает, что доля энергии топлива, используемого на электростанциях для движения автомобиля, не превышает 15 %. Это связано с потерей энергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах, в аккумуляторных батареях, электрических машинах. Для сравнения двигатель внутреннего сгорания в оптимальном режиме преобразует в механическую энергию около 40 % химической энергии топлива. По нашему мнению, которое основано на результатах многолетних исследований, электромобили и гибридные автотранспортные средства в течение будущих 20–30 лет не найдут широкого распространения. Это подтверждают и объемы производства электромобилей, например, в 2017 г. суммарный объем производства автомобилей с электрическим и гибридным приводом от общего объема составляет: в Японии 16 %, в США 10 %, в странах ЕЭС 8 %.

Классическая СЭС имеет следующие недостатки [6, 7]:

- отсутствие учета влияния генератора на расход топлива (при выборе уровня настройки регулятора напряжения);
- несовершенство концепции управления системой электроснабжения, направленной на снижение расхода топлива;
- отсутствие комплексного подхода к проектированию системы электроснабжения и учета взаимодействия с другими системами электрооборудования, влияющими на ее работу (системой пуска двигателя);

- малоэффективные методики расчета потребления топлива на работу системы электроснабжения в эксплуатации и ее испытаний;
- полное отсутствие оборудования, измеряющего расход топлива, приходящегося на работу системы электроснабжения.

Результаты исследований и их обсуждение

Расход топлива во многом определяется мощностью генераторной установки и аккумуляторной батареи в различных режимах движения АТС. Экспериментальные исследования показывают, что увеличение максимального тока отдачи генераторной установки до 20 А приводит к увеличению расхода топлива двигателем на 10–15 %. Расход топлива на привод генераторной установки на современных автомобилях с бензиновыми двигателями в городе достигает 20 % от общего расхода топлива. Это значение рассчитывается из следующих показателей:

- удельный расход топлива двигателем внутреннего сгорания (0,3–0,5 л/кВтч) по известным из теории конструкциям и практики эксплуатации автомобиля;

- КПД генераторной установки, находящегося в диапазоне от 0,4 до 0,5;
- мощность приемников электрической энергии в режиме город–зима–ночь (0,4–0,6 кВт);
- средняя скорость движения автомобиля, составляющая менее 22 км/ч (по данным Департамента автомобильного транспорта г. Москвы);
- расход топлива легковым автомобилем среднего класса, составляющий 10–12 л на 100 км.

В современных системах электроснабжения АТС, построенных по традиционной буферной схеме, целью управления является ограничение напряжения генератора на определенном уровне в зависимости от частоты вращения генератора и тока потребителей электроэнергии. С ростом температуры уровень напряжения настройки регулятора напряжения автоматически уменьшается. В традиционной СЭС аккумуляторная батарея не успевает компенсировать потерю заряда в процессе пуска ДВС из-за быстрого роста температуры (в подкапотном пространстве температура повышается до 50 °С после пуска, это происходит за 5–7 мин и напряжение настройки снижается с 15 В до 13 В) [8, 9]. Поэтому необходимо поддерживать повышенное напряжение, более длительное время (рис. 1).

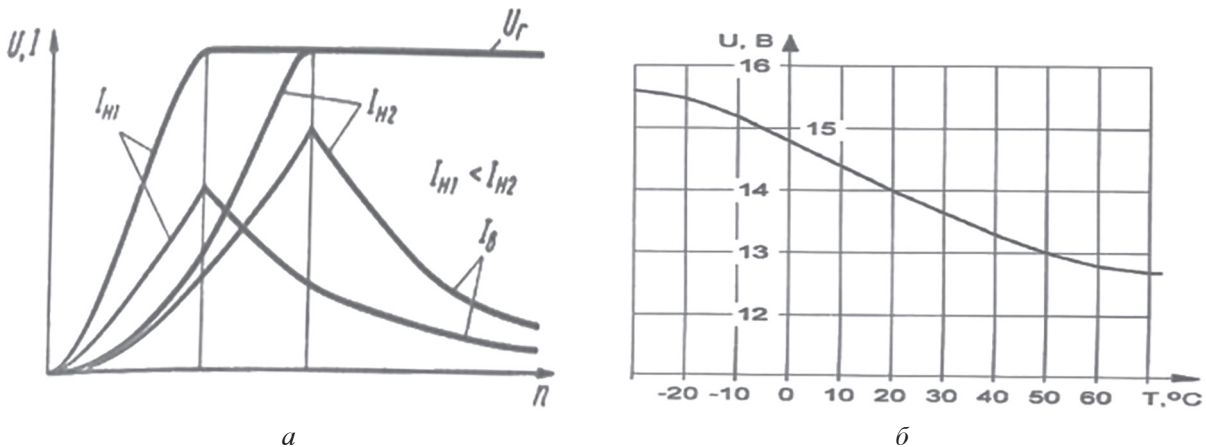


Рис. 1. Изменение напряжения настройки регулятора напряжения при изменении частоты вращения генератора, тока потребителей электроэнергии (а) и температуры воздуха в подкапотном пространстве (б)



Рис. 2. Классификационная схема принципов работы систем электроснабжения

Наиболее перспективным для снижения расхода топлива является оптимизация работы генераторной установки. На рис. 2 приведена классификационная схема принципов работы современных автомобильных СЭС.

В качестве цели управления для адаптивных систем обычно используется один из следующих параметров: рациональный расход топлива двигателем на привод генераторной установки, рациональный уровень стабильности напряжения в бортовой сети, обеспечение заданного зарядного состояния аккумуляторной батареи (степени заряженности). Указанные параметры определяют качество работы основных систем электрооборудования автотранспортных средств.

Рассмотрим один из возможных вариантов СЭС, обеспечивающей заданный уровень стабильности напряжения на приемниках электроэнергии (рис. 3). При включении одного из мощных приемников электроэнергии система управления увеличивает обороты холостого хода двигателя с 550 1/мин до 1000 1/мин. Этим достигается увеличение мощности, вырабатываемой генератором на оборотах холостого хода двигателя автомобиля, и, следовательно, снижение тока разряда, и повышение напряжения аккумуляторной батареи в данном режиме. На рис. 3 приведены токоскоростная характеристика генератора и вольт-амперная характеристика аккумуляторной батареи, поясняющие принцип работы системы. Точка 1 соответствует работе системы электроснабжения на минимальных оборотах холостого хода двигателя. Точка 2 соответствует работе систе-

мы электроснабжения на повышенных оборотах холостого хода двигателя. Напряжение на приемниках электроэнергии при работе двигателя на оборотах холостого хода равно напряжению аккумуляторной батареи [10].

Повышение энергетической эффективности СЭ АТС путем снижения их влияния на расход топлива за счет оптимизации алгоритмов управления СЭС предусматривает решение следующих задач:

- анализ существующих методов расчета и проектирования электрооборудования автотранспортных средств;
- разработка методики имитационного моделирования для исследования работы компонентов систем электроснабжения и пуска двигателя в эксплуатации;
- проверка адекватности математической модели;
- создание эффективных по критерию расхода топлива и токсичности отработанных газов способов управления напряжением генераторной установки автотранспортного средства.

Обзор современных методик исследования СЭС АТС показывает, что в настоящее время оценка качества их работы проводится по результатам балансных испытаний. Критериями оценки являются суточный баланс электроэнергии и удельный часовой разряд или заряд аккумуляторной батареи. Указанные параметры позволяют проводить лишь косвенную оценку качества работы систем электроснабжения в эксплуатации, так как основной задачей системы является надежное обеспечение потребителей электрической энергией

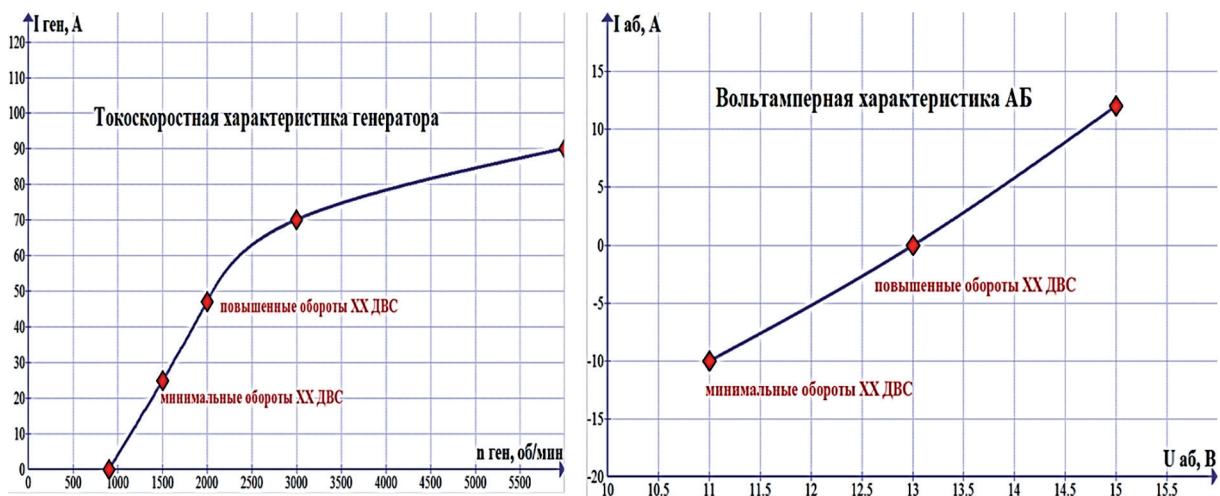


Рис. 3. Система электроснабжения, обеспечивающая заданный уровень стабильности напряжения на приемниках электроэнергии

требуемого качества в различных режимах и условиях эксплуатации. Оценка режимов и условий эксплуатации АТС показывает целесообразность использования в качестве основных критериев оценки автомобильной СЭ и СЭС значение напряжения на потребителях электрической энергии и тока аккумуляторной батареи в эксплуатации, которые имеют собственные законы распределения вероятности. Такой подход к оценке качества СЭ АТС позволяет проводить обоснованный выбор характеристик СЭС. На рис. 4 приведены мгновенные значения напряжения и токов в бортовой сети автотранспортного средства.

Разработана методика имитационного моделирования СЭС в эксплуатации и анализа концепции управления системой электроснабжения, направленной на снижение расхода топлива [1]. Эта методика в качестве исходных данных использует ездовые циклы (рис. 5), полученные по результатам испытаний автотранспортных средств с ручными и автоматически коробками переключения передач.

Ездовые циклы не зависят от интенсивности движения и типа автотранспортного средства

и у водителей, имеющих стаж более пяти лет, они идентичны. Данные зависимости получены по результатам испытаний, проведенных в 2009–2017 гг. При имитационном моделировании применены численно-аналитические и нечетко-логические методы. Методика позволяет исследовать АТС, оборудованные системой стоп-старт и проводить расчет электроэнергии, полученной в результате применения системы рекуперации. По сравнению с существующими методами расчета рассматриваемая методика имеет особенности, связанные с большим количеством независимых переменных, обусловленных наличием различных компонентов, входящих в состав систем, каждый из которых характеризуется собственными входными и выходными факторами. Указанные обстоятельства приводят к увеличению числа измерений и числа ограничений, что значительно усложняет поиск вектора оптимальных параметров. В качестве целевой функции представляется наиболее целесообразным использовать расход топлива и массу СЭ. Для расчета работы СЭ в различных режимах движения автомобиля используется имитационное мо-



а



б

Рис. 4. Мгновенные значения напряжений (а) и тока (б) аккумуляторной батареи в бортовой сети автотранспортного средства

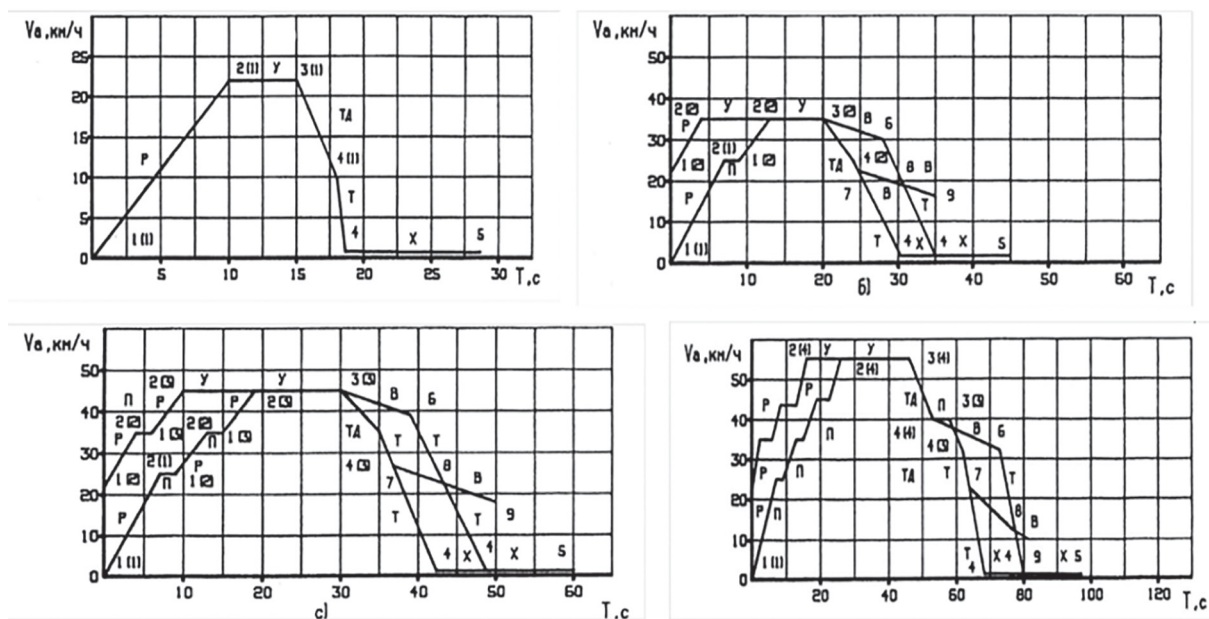


Рис. 5. Ездовые циклы автотранспортного средства при проезде участков маршрута на первой, второй, третьей и четвертой передачах

делирование, суть которого состоит в воспроизведении поведения исследуемой системы во времени на основе результатов анализа наиболее существенных взаимосвязей между ее элементами.

На графиках ездовых циклов цифрами указаны характерные точки движения при переключении передач, цифрами в скобках номера передач, на которых осуществляется движение (если номер передачи не указан движение осуществляется на нейтральной передаче), буквами обозначены этапы движения (р – разгон, у – движение с установившейся скоростью, тд – торможение двигателем, в – выбег, п – переключение передач, т – торможение, х – работа двигателя внутреннего сгорания в режиме холостого хода при стоянке автомобиля). При моделировании основных параметров эксплуатационного режима автомобиля, составляющих основу имитационной модели систем электропитания и пуска, используются следующие режимы движения автотранспортных средств:

- пуск двигателя;
- прогрев;
- разгон автомобиля;
- переключение передач;
- движение с установившейся скоростью;
- торможение двигателем;
- движение по инерции;
- стоянка при работе двигателя внутреннего сгорания автомобиля на оборотах холостого хода;

- стоянка с неработающим двигателем;
- изменение состава включенных потребителей без учета стоп-сигнала и сигнала поворота.

На основании ездовых циклов и режимов движения составлен алгоритм эксплуатации автомобиля, который используется для моделирования движения автотранспортного средства.

С помощью разработанной методики имитационного моделирования проведена оценка влияния различных принципов управления на расход топлива. Результаты исследования приведены ниже.

Применение способов регулирования напряжения, снижающих регулируемое напряжение при степени заряженности аккумуляторной батареи, достаточной для надежного пуска двигателя внутреннего сгорания, приводит к экономии топлива от 8 % до 11 %.

Применение системы, отключающей двигатель внутреннего сгорания при длительной стоянке автомобиля (система стоп–старт), дает экономию топлива 9–12 %.

Применение отключения генератора от бортовой сети при разгоне автомобиля снижает расход топлива на 2–3 %. Отключение потребителей (при низкой степени заряженности аккумуляторной батареи), работа которых не связана с безопасностью движения, снижает расход топлива на 2–3 %.

На рис. 6 приведены диаграммы, поясняющие снижение расхода топлива на работу системы электропитания при движении авто-

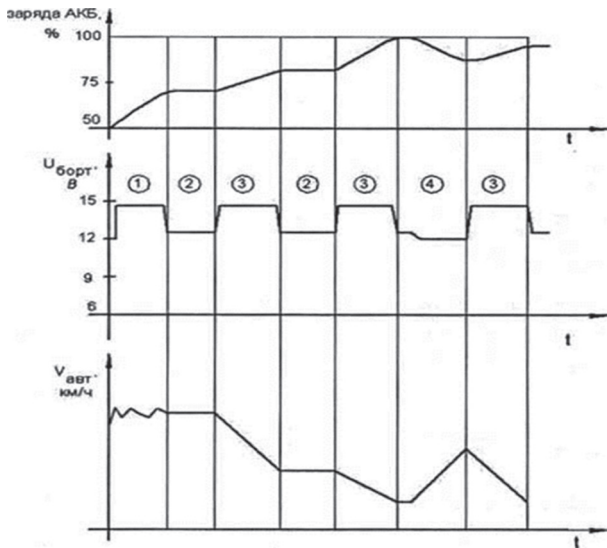


Рис. 6. Диаграммы, поясняющие снижение расхода топлива на работу системы электроснабжения при движении автомобиля в различных режимах

мобиля в различных режимах движения.

1 – низкая степень заряженности аккумуляторной батареи, напряжение настройки регулятора напряжения максимально и происходит интенсивный заряд;

2 – автомобиль движется с постоянной скоростью, степень заряженности аккумуляторной батареи достигла достаточно высокого уровня, напряжение настройки регулятора напряжения минимально, расход топлива снижается;

3 – автомобиль замедляется, двигатель внутреннего сгорания работает в режиме принудительного холостого хода, напряжение настройки регулятора напряжения максимально происходит интенсивный заряд аккумуляторной батареи;

4 – автомобиль ускоряется, потребители получают необходимую электрическую энергию от аккумуляторной батареи, генератор отклю-

чается от бортовой сети, происходит снижение расхода топлива.

Анализ результатов исследований показывает, что наиболее перспективными для снижения расхода топлива являются способы управления системой электроснабжения, направленные на управление напряжением настройки регулятора напряжения генераторной установки в зависимости от величины напряжения бортовой сети.

Разработан принцип управления напряжением настройки регулятора напряжения в зависимости от степени заряженности аккумуляторной батареи. Принцип работы системы электроснабжения поясняется диаграммой изменения во времени напряжения в бортовой сети (рис. 7, а) и суммарных потерь в генераторе, регуляторе напряжения, аккумуляторной батарее и бортовой сети при движении автомобиля в городском режиме эксплуатации зимой (рис. 7, б). После пуска двигателя автомобиля напряжение в бортовой сети непрерывно измеряется и сравнивается с пороговыми значениями, характеризующими зарядное состояние аккумуляторной батареи. Когда напряжение в бортовой сети уменьшается ниже определенного уровня (аккумуляторная батарея заряжена менее чем на 75 %) в бортовой сети устанавливается на заданное время повышенный уровень регулируемого напряжения. Средние потери в элементах системы электроснабжения с традиционным (849.3702) и разработанным регулятором напряжения, встроенным в разработанный регулятор напряжения, встроенным в ЩУ-5 в городском режиме эксплуатации зимой, приведены в таблице. Расчет потерь, распределение потерь в системе электроснабжения проведены для автомобиля ВАЗ 1117

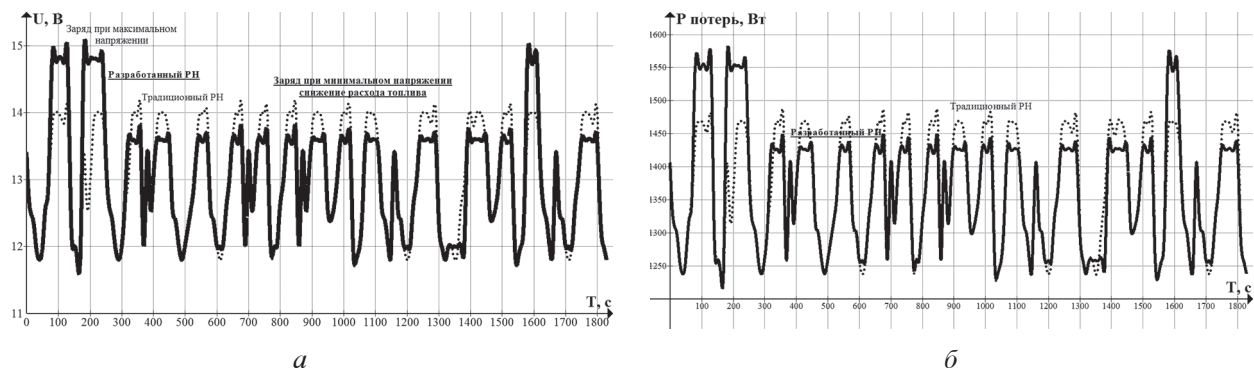


Рис. 7. Диаграмма изменения во времени напряжения в бортовой сети (а) и суммарных потерь в системе электроснабжения (б) при движении автомобиля ВАЗ 1117 с двигателем 21126 мощностью 72 кВт в городском режиме эксплуатации зимой с генератором 9402.3701-06 с традиционным регулятором напряжения 849.3702 и разработанным регулятором напряжения, встроенным в ЩУ-5

Таблица

Средние потери в элементах системы электроснабжения с традиционным (849.3702) и разработанным регулятором напряжения, встроенным в ЩУ-5 в городском режиме эксплуатации зимой

Наименование потерь	Потери с 849.3702, Вт	Потери с разработанным ЩУ-5, Вт	Относительное снижение потерь, %
Обмотка статора	1420	1307	7,9577
Обмотка ротора	150	1400	6,5333
Регулятор напряжения и выпрямительный блок	63	53	15,6508
Аккумуляторная батарея	30	22	25,1000
Суммарные потери	2391	2223	7

(двигателем 21126 мощностью 72 кВт) с генератором 9402.3701-06 и аккумуляторной батареей номинальной емкостью 44 АЧч.

Для повышения топливной экономичности и как следствие улучшения экологических показателей системы электроснабжения разработан многофункциональный регулятор напряжения ЩУ-5, использующий алгоритм автоматизированной корректировки напряжения настройки регулятора в зависимости от напряжения в бортовой сети при разряде аккумуляторной батареи (принципы регулирования напряжения по разработанному алгоритму описаны выше). Разработанный регулятор напряжения может работать в различных схемах систем электроснабжения с дополнительными диодами и без них. Новый регулятор напряжения позволяет облегчить режим пуска двигателя внутреннего сгорания, так как при пуске регулятор отключает выходной ключ, уменьшая ток разряда аккумуляторной батареи. Одной из отличительных особенностей многофункционального регулятора напряжения является возможность понижения частоты вращения, при которой напряжение генератора достигает номинального значения. Это достигается за счет повышения начального тока, проходящего через обмотку возбуждения генераторной установки. Оптимизация режима широтно-импульсной модуляции выходного транзистора регулятора обеспечивает оптимальные частоты возбуждения генератора, особенно при пуске двигателя с включенной дополнительной нагрузкой, что не позволяет сделать существующие генераторные установки, оснащенные регуляторами типа Я212 А11Е, 361.3702. Включение измерительной цепочки регулятора напряжения непосредственно на вывод «плюс» генераторной установки позволяет улучшить качество выходного напряже-

ния. Появляющийся в этом случае небольшой ток разряда аккумуляторной батареи на входные цепи регулятора напряжения составляет 3,2 мкА, что за год составляет 0,03 А·ч и существенно ниже суточного саморазряда аккумуляторной батареи. Одним из наиболее важных преимуществ разработанного регулятора напряжения является существенное расширение диагностических функций, особенно индикация повышенного напряжения сети, так как работа блока управления системы впрыска топлива уже при напряжении 17,5 В приводит к выходу его из строя, а стоимость этого блока составляет более 9000 руб., что существенно выше стоимости регулятора напряжения [11]. Существующие регуляторы напряжения типа Я212 А11Е, 361.3702 не обеспечивают индикацию повышенного напряжения. Многофункциональный регулятор напряжения имеет функцию контроля роста нагрузки. Эта функция обеспечивает стабильную работу двигателя в режиме принудительного холостого хода и исключает ударные нагрузки на ремень привода генератора. В схему регулятора напряжения введена защита от короткого замыкания в цепи контрольной лампы [12]. В многофункциональном регуляторе напряжения введена и тепловая защита, увеличивающая надежность работы генераторной установки в тяжелых режимах эксплуатации при повышенной температуре окружающей среды [13]. Существующие регуляторы напряжения не имеют тепловой защиты.

В новом регуляторе напряжения применена принципиально новая элементная база, что позволяет не только повысить его надежность, но и улучшить качество выходного напряжения. Так, применение в выходном каскаде регулятора полевого транзистора и быстродействующего диода Шоттки позволило уменьшить пульсации

выходного напряжения с 2 В (Я212А11Е или 361.3702) до 0,43 В и изменить диапазон мгновенных значений напряжений с 10–18 В (Я212 А 11Е или 361.3702) до 13–15 В для многофункционального регулятора напряжения. Пульсации напряжения снижают эффективность работы и срок службы потребителей электроэнергии. Особенно это касается электронных систем управления, так как возникновение магнитно-электрических помех при повышенном уровне пульсаций напряжения приводит к ошибкам в работе или выходу из строя.

Выводы

Решение задачи повышения эффективности работы АТС с ДВС актуально в настоящее время.

Предложен ряд методов повышения эффективности работы АТС с ДВС, основанных на увеличении функций, реализованных в СЭС.

Разработан регулятор напряжения генератора, имеющий расширенные функциональные возможности для повышения эффективности работы АТС с ДВС.

Литература

1. Чернов А.Е. Методология повышения энергетической эффективности систем электрооборудования автотранспортных средств: дис. ... докт. техн. наук. М., 2018. 290 с.
2. Зуев С.М., Шматков Ю.М., Малеев Р.А., Хортов В.П., Лавриков А.А., Варламов Д.О. Электрооборудование и электроника автомобилей в основных терминах с их объяснением на русском и английском языках. Учебный справочник. М.: Московский Политех, 2017. 196 с.
3. Чернов А.Е. Методика определения степени заряженности аккумуляторной батареи автотранспортного средства в эксплуатации // Грузовик. 2017. № 5.
4. Акимов А.В., Варламов Д.О., Зуев С.М. Конструкция, описание работы и проведение диагностики системы электростартерного пуска современных транспортных средств. Учебное пособие. М.: Московский Политех, 2017. 52 с.
5. Чернов А.Е. Автоматизированный контрольно-измерительный стенд для исследования автомобильных и автобусных генераторных установок // Грузовик. 2017. № 5.
6. Чернов А.Е. Качество и надежность систем электроснабжения автономных объектов // Грузовик. 2012. № 3.
7. Skvortsov A.A., Khortov V.P., Zuev S.M. High-voltage starting systems of combustion engines. Inter-

national Journal of Pure and Applied Mathematics, 2016, Vol. 111, № 3, pp. 455–465.

8. Чернов А.Е. Многофункциональный регулятор напряжения для генераторных установок нового поколения большегрузных автомобилей // Грузовик. 2012. № 3.
9. Хортов В.П., Скворцов А.А., Зуев С.М. Высоковольтные системы пуска двигателей внутреннего сгорания // Автомобильная промышленность, 2016, № 10. С. 24–27.
10. Чернов А.Е. Оптимизированная система электроснабжения для автотранспортных средств // Грузовик. 2010. № 6.
11. Шматков Ю.М., Зуев С.М., Лавриков А.А. Исследование работы системы электростартерного пуска транспортных средств. Методические указания. М.: Московский Политех, 2017. 20 с.
12. Чернов А.Е., Акимов А.В., Кротов А.Н. Многофункциональный регулятор напряжения для генераторных установок нового поколения // Известия МГТУ «МАМИ», 2009. № 2 (10).
13. Чернов А.Е., Акимов А.В., Кротов А.Н. Адаптивные алгоритмы регулирования напряжения в системах электроснабжения АТС // Известия МГТУ «МАМИ», 2011. № 9.

References

1. Chernov A.E. *Metodologiya povysheniya ehnergeticheskoy ehffektivnosti sistem ehlektrooborudovaniya avto-transportnyh sredstv*: dis. ... dokt, tekhn. nauk [Methodology for improving the energy efficiency of motor vehicle electrical systems: Dissertation for Degree of Dr.Eng.]. Moscow, 2018. 290 p.
2. S.M. Zuev, YU.M. SHmatkov, R.A. Maleev, V.P. Hortov, A.A. Lavrikov, D.O. Varlamov. *Ehlektrrooborudovanie i ehlektronika avtomobilej v osnovnyh terminah s ih ob"yasneniem na russkom i anglijskom yazykah. Uchebnyj spravochnik* [Electrical equipment and automobile electronics in basic terms with their explanation in Russian and English. Training reference]. Moscow: Moskovskij Politekh Publ., 2017. 196 p.
3. Chernov A.E. Method of determining the state of charge of the battery of a motor vehicle in operation. *Gruzovik*. 2017. No 5.
4. A.V. Akimov, D.O. Varlamov, S.M. Zuev. *Konstrukciya, opisaniye raboty i provedeniye diagnostiki sistemy ehlektrostarternogo puska sovremennyh transportnyh sredstv* [Construction, description of work and diagnostics of the system of electric starter start of modern vehicles]. Uchebnoe posobie. Moscow: Moskovskij Politekh Publ., 2017. 52 p.

5. CHernov A.E. Automated test bench for the study of automotive and bus generator sets. *Gruzovik*. 2017. No 5.
6. CHernov A.E. Quality and reliability of power supply systems for autonomous objects. *Gruzovik*. 2012. No 3.
7. Skvortsov A.A., Khortov V.P., Zuev S.M. High-voltage starting systems of combustion engines. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2016, Vol. 111, No 3, pp. 455–465.
8. CHernov A.E. Multi-function voltage regulator for generator sets of new generation of heavy trucks. *Gruzovik*. 2012. No 3.
9. Hortov V.P., Skvorcov A.A., Zuev S.M. High voltage starting systems for internal combustion engines. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2016. No 10, pp. 24–27.
10. CHernov A.E. Optimized power supply system for motor vehicles. *Gruzovik*. 2010. No 6.
11. SHmatkov YU.M., Zuev S.M., Lavrikov A.A. *Issledovanie raboty sistemy ehlektrostarternogo puska trans-portnyh sredstv* [Study of the vehicle electric starter start system]. Metodicheskie ukazaniya. Moscow: Moskovskij Politekh Publ., 2017. 20 p.
12. CHernov A.E., Akimov A.V., A.N. Krotov. Multifunction voltage regulator for generator sets of a new generation. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2009. No 2 (10).
13. CHernov A.E., Akimov A.V., A.N. Krotov. Adaptive algorithms for voltage regulation in power supply systems of automotive transport systems. *Izvestiya MGTU «MAMI»*, 2011. No 9.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF VEHICLE ELECTRICAL SYSTEMS

DSc in Engineering **A.E. CHernov**¹, PhD in Engineering **A.V. Akimov**²

¹Non-state private educational institution of higher education «Economics and Energy Institute», Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

eope@mospolytech.ru

The article discusses the main directions of improving the efficiency of electrical systems (EES) and power supply systems (PSS) of motor vehicles (MV) of traditional design, using internal combustion engines (ICE) for movement, the main trends in the development of MV. There are shown technical solutions aimed at reducing fuel consumption. The analysis of the current PSS, indicating its main shortcomings is given. It is shown that increasing the maximum output current of the generator set to 20 A leads to an increase in engine fuel consumption by 10–15 %. Fuel consumption for the drive of the generator set on modern vehicles with gasoline engines reaches 20% of the total fuel consumption in the city. A method of simulation of EES in operation and analysis of the concept of power supply system management, aimed at reducing fuel consumption, is given. The main ways of increasing the efficiency of EES using the developed voltage regulator built into the control panel SCHU-5 are given. The advantage of the developed voltage regulator is a significant expansion of diagnostic functions. This is an indication of the increased voltage of the network, since the operation of the fuel injection system control unit already at a voltage of 17,5 V leads to its failure, and the cost of this unit is more than 9,000 rubles, which is significantly higher than the cost of the voltage regulator. Multi-function voltage regulator has the function of controlling the growth of the load. This function ensures the stable operation of the engine in the mode of forced idling and eliminates shock loads on the generator drive belt. The circuit voltage regulator has short-circuit protection in the circuit control lamp. In the multifunctional voltage regulator, thermal protection is introduced, which increases the reliability of the generator set operation in severe operating conditions at elevated ambient temperatures.

Keywords: power supply system, energy efficiency, fuel consumption, voltage regulator.