

Периодический рецензируемый научно-технический журнал «Электроника и электрооборудование транспорта» является коллективным членом Академии электротехнических наук РФ.

Учредитель и издатель – Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод».

Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для апробации кандидатских и докторских диссертаций.

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ N ФС 77-29963
от 17 октября 2007 г.

Главный редактор:
В.А. Осипова

Редакционный совет:

М.П. Бадер, д.т.н., профессор
В.Я. Беспалов, д.т.н., профессор
А.С. Веденеев, д.ф.-м.н., доцент
Л.А. Герман, д.т.н., профессор
Ю.М. Иньков, д.т.н., профессор
В.В. Калугин, д.т.н., доцент
А.А. Ковалев, д.т.н.
К.Л. Ковалев, д.т.н., доцент
В.Н. Козловский, д.т.н., доцент
А.С. Космодамианский, д.т.н., профессор
А.И. Попов, д.т.н., профессор
В.Т. Пенкин, д.т.н., доцент
С.Т. Рембеза, д.ф.-м.н., профессор
В.И. Сарбаев, д.т.н., профессор
М.В. Шевлюгин, д.т.н., доцент

Выпускающий редактор:
Р.А. Валиулин

Редакция:
140070, Московская область,
Люберецкий район, п. Томилино,
ул. Гаршина, д. 11.

Тел./факс: (495) 500-40-20
E-mail: npptez@mail.ru
Сайт: www.npptez.ru

Журнал издается в электронном виде.
Адрес сайта: eet-journal.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

Герман Л.А., Серебряков А.С., Осокин В.Л., Дулепов Д.Е.
Переключаемая двухступенчатая фильтрокомпенсирующая установка на посту секционирования тяговой сети железных дорог переменного тока..... 2

Сурайкин А. И., Сурайкин А. А.
Импульсный источник питания для широкого применения 8

Ахтырский С. А.
Моделирование электромагнитного привода исполнительных механизмов систем топливоподдачи среднеоборотных дизелей 12

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ

Васильев Г.В.
Методика обработки больших данных от мобильного приложения в реальном времени..... 17

Чебоксаров А.Н.
Способ расчета основных параметров гибридной силовой установки для специальных транспортных средств..... 21

Абрамян А.Э.
Использование альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте 25

ДИАГНОСТИКА И ИСПЫТАНИЯ

Николаев П.А., Козловский В.Н., Подгорный А.С.
Совершенствование метода испытаний бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям 30

Николаев П.А., Подгорный А.С., Козловский В.Н., Саксонов А.С.
Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей в процессе эк..... 37

Ким К.К., Михайлов Ю.А.
Модель участка контактной сети для исследования эффективности грозозащиты пунктов питания схем сигнализации и управления железной дорогой..... 43

ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ;

Рыжова Е.Л.
Экологические аспекты энергосбережения в технологических установках 49

ИНФОРМАЦИЯ

Ростех разработал новые антенные системы для водного и железнодорожного транспорта..... 52

О 16-й международной выставке "ЭлектроТранс"..... 53

Электрооборудование транспортно-технологических средств – книги по дисциплине..... 56

Перечень статей, напечатанных в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» в 2022 году..... 58

Переключаемая двухступенчатая фильтрокомпенсирующая установка на посту секционирования тяговой сети железных дорог переменного тока

// SWITCHING TWO-STAGE FILTER COMPENSATING INSTALLATION AT THE SECTIONING STATION OF RAILWAYS TRACTION NETWORK OF ALTERNATING CURRENT //

Герман Л.А., д.т.н., профессор, филиал Самарского государственного университета путей сообщения в Нижнем Новгороде, г. Нижний Новгород

Серебряков А.С., д.т.н., профессор, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Нижний Новгород

Осокин В.Л., к.т.н., Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Нижний Новгород

Дулупов Д.Е., к.т.н., Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, г. Нижний Новгород

С конца 1970 годов в тяговом электроснабжении переменного тока железных дорог России стали включать многофункциональные установки поперечной емкостной компенсации (КУ) или фильтрокомпенсирующие установки (ФКУ) в тяговой сети на постах секционирования [1] Кроме основной задачи – компенсации реактивной мощности (КРМ) и снижения потерь мощ-

ности они стали выполнять важную задачу повышения пропускной способности железной дороги за счет повышения напряжения в тяговой сети. При этом расширились требования к расчетам и конструктивному выполнению КУ на постах секционирования. За многие годы добавлены эффективные технические решения в системе тягового электроснабжения с постами секционирования и установками поперечной емкостной компенсации, в том числе и по переключаемой установкой, о чем пойдет речь в этой статье. Особенность переключаемой двухступенчатой установки в том, что при последовательном соединении двух ступеней мощность КУ уменьшается, а для увеличения мощности КУ вторую ступень отключают. Рассмотрим правила расчета мощности и конструктивные особенности переключаемой установки фильтрокомпенсирующей установки (ПФКУ).

Ключевые слова: переключаемая двухступенчатая фильтрокомпенсирующая установка, компенсация реактивной мощности, система тягового электроснабжения, пост секционирования контактной сети, численный метод решения дифференциальных уравнений.

Since the late 1970s, multifunctional installations of transverse capacitive

compensation (CC) or filter-compensating installations (FCI) in the traction network at sectioning posts have been included in the traction power supply of alternating current of Russian railways. In addition to main task – reactive power compensation (RPC) and reducing power losses – they began to fulfill the important task of increasing the capacity of the railway by increasing the voltage in the traction network. At the same time, the requirements for calculations and structural implementation of CC at the sectioning stations have expanded. Over many years, effective technical solutions have been added in the traction power supply system with sectioning stations and transverse capacitive compensation installations, including switching installation, which will be discussed in this article. The peculiarity of switching two-stage installation is that when two stages are connected in series, the CC power decreases, and the second stage is turned off to increase the CC power. The power calculation rules and design features of switching filter-compensating installation (FCI) are considered.

Keywords: switching two-stage filter compensating installation, reactive power compensation, traction power supply system, contact system of sectioning station, numerical method for solving differential equations.

1. Нормативные документы по компенсации реактивной мощности

Правила по компенсации реактивной мощности требуют [2]: «... Значения соотношения потребления активной и реактивной мощностей (tgφ) определяются в виде предельных значений коэффициента реактив-

ной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, соблюдение которых обеспечивается покупателями электрической энергии (мощности) – потребителями услуг по передаче электрической энергии (далее – потребители) посредством соблюдения режимов потребления электрической

энергии (мощности) либо использования устройств компенсации реактивной мощности. При этом значение коэффициента реактивной мощности, генерируемой в часы малых суточных нагрузок электрической сети, устанавливается равным нулю...».

Для условий тяговых подстанций 110кВ установлено значение

$tg\varphi = 0,5$ [2]. Это значит, что реактивная мощность тяговой сети должна быть не более 50% от её активной мощности, и если она превышает указанное значение, то для выполнения [2] необходимо установить КУ. Мощность КУ определяются по формуле:

$$Q_{КУ} = P_{CP} (tg\varphi_{Ф} - tg\varphi_{Н}), \quad (1)$$

где P_{CP} – активная мощность; $tg\varphi_{Ф}$ – фактический и нормативный $tg\varphi$.

Так как у существующего электроподвижного состава (ЭПС) $tg\varphi = 0,8$, то на всех тяговых подстанциях следует устанавливать КУ. Следует добавить, что на основании ГОСТ [3] на отечественный электровоз его $\cos\varphi = 0,9-0,95$. Более того, зарубежные электровозы, работающие на отечественных ж.д., имеют повышенные значения $tg\varphi$, в частности в [4] дан фактический материал по работе «САПСАН» и его потреблению реактивной мощности. Однако до сегодняшнего момента в тяговой сети отечественных ж.д. мало, что изменилось по повышенному потреблению реактивной мощности. Поэтому в связи с тенденцией повышения грузонапряженности и высокоскоростного движения на железных дорогах проблема КРМ в тяговом электроснабжении переменного тока в настоящее время усиливается.

2. Требования КРМ в системе тягового электроснабжения

Установки ФКУ на постах секционирования контактной сети переменного тока позволяют дополнительно реализовывать следующие функции (по сравнению с КУ на тяговых подстанциях): повышения уровня напряжения и снижения потерь электроэнергии в тяговой сети. В связи с тем, что при снижении напряжения мощность КУ резко снижается, то в отраслевых документах (в ОАО РЖД) измерения минимального напряжения производят на конкретном токоприемнике электровоза, а мощность КУ определяется с приведением к номинальному напряжению. В 2011г вышла Инструкция [5] по расчету ФКУ, где устанавливались новые правила расчета мощности ФКУ –

для соблюдения заданной пропускной способности межподстанционной зоны тяговой сети. В 2015г сформирован стандарт СТО [5], использующий основные положения указанной Инструкции, в которой мощность ФКУ определялась

$$Q_{КУ2} = U_{НОМ}^2 (U_{МИН.НОРМ} - U_{ФЭ}) / (U_{МИН.НОРМ} \cdot X_{ВХ}) \quad (2)$$

где $U_{НОМ}$ – номинальное напряжение ФКУ; $(U_{МИН.НОРМ}$ – минимальное допустимое напряжение на токоприемнике; $U_{ФЭ}$ – фактическое минимальное напряжение на токоприемнике; $X_{ВХ}$ – входное индуктивное сопротивление системы электроснабжения до ФКУ.

Таким образом, мощность КУ стала определяться с целью не допускать напряжение менее допустимого значения $U_{мин}$.

В [5] указано: «Минимальное допустимое напряжение на токоприемнике электроподвижного состава принимают равным 21 кВ (среднее значение за 3 минуты), а для расчетных участков с максимальной скоростью движения пассажирских поездов свыше 160 км/ч – равным 24 кВ (среднее значение за 1 минуту). По всей видимости, в это СТО следует добавить норматив, связанный с нормой напряжения в 19 кВ, то есть там, где разрешено на токоприемнике минимальное напряжение 19кВ, также применять формулу (2).

В результате расчета по формуле (2) мощность КУ превышает в 1,3-1,5раза значение мощности, полученной по формуле (1).

С ростом тяжеловесного движения и соответственно с повышением тяговых нагрузок встала задача ещё большего повышения напряжения для нормализации условий движения тяжеловесного состава. Решением этой проблемы явилось увеличение мощности КУ на посту секционирования примерно в два раза и более. Однако, в этом случае появилась опасность повышенных напряжений свыше 29кВ при снижении тяговой нагрузки. Поэтому реализация увеличенных мощностей КУ потребовала выполнения их регулируемыми. В настоящее время на сети ж.д. известны два типа регулируемых КУ: плавно регулируемый статический генера-

тор реактивной мощности (СГРМ) на транзисторах. Переключаемая двухступенчатая установка СГРМ работает более чем на 25 ПС и показала эффективность в повышении пропускной способности. Однако, она характеризуется повышенной стоимостью и повышенными потерями активной мощности. Поэтому рассматривается альтернативный вариант – переключаемая установка – ПФКУ, успешно работающая более 7 лет на консольном участке тяговой сети системы 2х25кВ Сергач-Шумерля Горьковской ж.д.[7].

3. Схемное решение ПФКУ на вакуумных выключателях

ПФКУ, показанная на рис.1, с двумя конденсаторными секциями 4 и 5 и реактором 8 фильтра третьей гармоники (фильтровым реактором) выполнена с переключателем второй секции 5 [6]. Выключатель 3 вакуумный на 27,5 кВ, остальные выключатели также вакуумные, но на 10 кВ. Для пуска и режима переключения ступеней в ПФКУ предусмотрен пусковой резистор 9.

Рассмотрим кратко режимы работы ПФКУ. Пусть в исходном режиме, т.е. в режиме минимальной мощности включены выключатели 3 и 7, а выключатели 6 и 10 отключены. В этом положении обе секции включены последовательно и мощность ПФКУ минимальная.

Чтобы перейти на режим максимальной мощности, следует отключить секцию 5, оставив в работе одну секцию 4. Для этого включается выключатель 10, затем отключается выключатель 7 и после этого включается выключатель 6. В заключительном этапе рассматриваемой коммутации отключается выключатель 10 и в работе остаётся только одна секция 4. Так происходит достаточно надежный переход с меньшей мощности ПФКУ на большую.

Чтобы теперь перейти с большей мощности на меньшую мощность, т.е. подключить последовательно с первой секцией 4 вторую секцию 5, необходимо выполнить следующие операции: включить выключатель 10, отключить выключатель 6, включить выключатель 7, и затем после всех выполненных операций отключить выключатель 10.

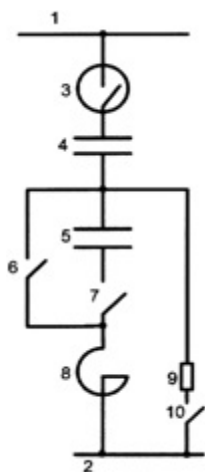


Рис. 1. Переключаемая двухступенчатая ПФКУ с вакуумными выключателями

Особенностью данной ПФКУ является то, при коммутации, т.е. при включении и отключении установки, а также при изменении её мощности пусковой резистор 9 включается параллельно реактору 8.

4. Переключаемая ПФКУ с тиристорным ключом

С целью повышения ресурса работы коммутационной аппаратуры и упрощения схемы управления было предложено заменить электромеханические вакуумные выключатели в системе переключения секций конденсаторов на бесконтактные тиристорные ключи. Особенностью схемы с тиристорным выключателем является то, что при использовании в качестве коммутирующих выключателей биполярных тиристорных ключей выключение последних в процессе коммутации секций происходит в момент перехода тока ключа через нуль, т.е. в момент максимального напряжения на работающей секции конденсаторов при нулевом напряжении на отключённой секции, что вызывает появление постоянных составляющих напряжения на обеих конденсаторных секциях. Эти постоянные составляющие напряжения в установившихся и переходных режимах значительно повышают напряжения на конденсаторах по сравнению с расчетными значениями и делают напряжения на конденсаторах несинусоидальными, что снижает эксплуатационную надежность ПФКУ [7].

Поскольку указанное явление ранее не было известно, то возникла

необходимость его исследовать. Для исследования завершающей стадии процесса коммутации при переходе от максимальной мощности к минимальной была составлена схема замещения ПФКУ, показанная на рис. 2,а. На рис.2,б приведена схема для моделирования коммутационных процессов в схеме на рис.2,а в интегрированном пакете Mathcad. На этой схеме (рис.2,б) последовательно включённые линейный резистор R3 (пусковой резистор) и выключатель Q3, показанные на рис.2,а, заменены одним нелинейным резистором R3(t), параметры которого задаются программой в интегрированном пакете Mathcad.

На рис.2 введены следующие обозначения: R1 и L1-активное сопротивление и индуктивность тяговой подстанции и системы внешнего электроснабжения; C1 и C2 – ёмкости конденсаторов первой и второй секций ПФКУ; L2 – индуктивность фильтрового реактора; R3 – активное сопротивление пускового резистора; u – питающее напряжение.

Для схемы замещения на рис.2,б были составлены дифференциальные уравнения, описывающие завершающий процесс коммутации:

$$L1 \frac{di_1}{dt} + R1 \cdot i_1 + uc1 + R3(t) \cdot i_3 = u = U_m \sin(\omega t), \quad (3)$$

$$i_1 = i_2 + i_3. \quad (4)$$

На основании уравнений (3) и (4) можно записать:

$$L1 \frac{di_1}{dt} + R1 \cdot i_1 + uc1 + R3(t) \cdot (i_1 - i_2) = u = U_m \sin(\omega t). \quad (5)$$

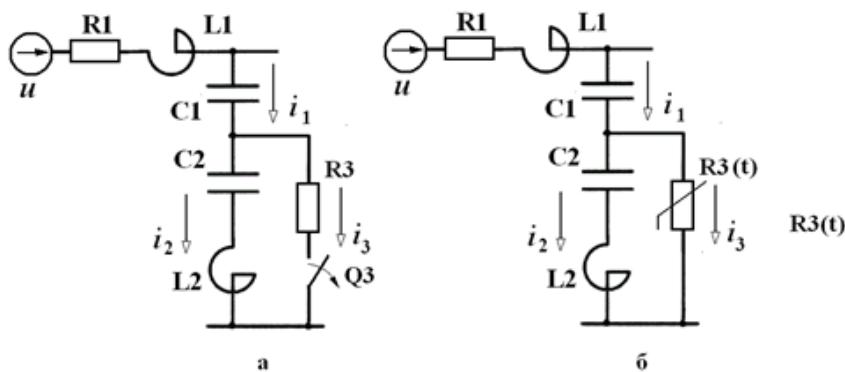


Рис.2. Схема замещения для исследования переходного процесса при переключении ПФКУ с максимальной мощности на минимальную мощность (а) и расчётная схема для моделирования в пакете Mathcad (б)

Окончательно получим дифференциальное уравнение в форме Коши $\frac{di_1}{dt} = \frac{U_m \sin(\omega t) - R1 \cdot i_1 - uc1 - R3(t) \cdot (i_1 - i_2)}{L1}$. (6)

Аналогично запишем уравнение для контура, включающего в себя элементы C2, L2, R3(t):

$$L2 \frac{di_2}{dt} + uc2 - R3(t) \cdot i_3 = L2 \frac{di_2}{dt} + uc2 - R3(t) \cdot (i_1 - i_2) = 0, \quad (7)$$

или в форме Коши:

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{R3(t) \cdot (i_1 - i_2) - uc2}{L2}. \quad (8)$$

Для напряжений на конденсаторах C1 и C2 запишем:

$$\frac{duc1}{dt} = \frac{1}{C1} \cdot i_1 \quad \frac{duc2}{dt} = \frac{1}{C2} \cdot i_2. \quad (9)$$

Дифференциальные уравнения (6), (8) и (9) были решены в интегрированном пакете Mathcad методом численного интегрирования. Для интегрирования использовался метод Рунге-Кутты четвёртого порядка. Программа расчёта с применением стандартной функции **rkfixed** приведена на рис. 3. Параметры элементов заданы в начале программы. Как видно из рис.3, ёмкости конденсаторов C1 и C2 взяты равными.

В программе на рис.3 введены следующие компьютерные переменные: $x_0 = i_1$; $x_1 = i_2$; $x_2 = uc1$; $x_3 = uc2$. Начальные условия (НУ) и производные функции задаются в виде векторов **x** и **D(t,x)**. Для вектора функций первых производных **D(t,x)** в скобках указывается сначала переменная, по которой берётся

```

Распунтирование конденсатора C2
u(t) := 25000*sqrt(2)*sin(314t)    C1 := 12*10^-6    L2 := 0.1
L1 := 0.01    R1 := 1    C2 := 12*10^-6
R3(t) := | 70 if t <= 0.046
          | 10000 if t >= 0.046

x := (0)
      (0)
      (0)
      (0)
      (0)

D(t,x) := [ (u(t) - x2 - R1*x0 - R3(t)*(x0 - x1)) / L1
            (u(t) - x2 - R1*x0 - x3) / L2 - (u(t) - x2 - R1*x0 - R3(t)*(x0 - x1)) / L2
            x0 / C1
            x1 / C2 ]

Z := rkfixed(x, 0, 1, 100000(n := 0, 100.. 100000)
in := Z_n,1    i2n := Z_n,2    tn := Z_n,0    uc1n := Z_n,3    uc2n := Z_n,4
un := 25000*sqrt(2)*sin(314*tn)
    
```

Рис. 3. Программа интегрирования дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты для схемы на рис.2,б

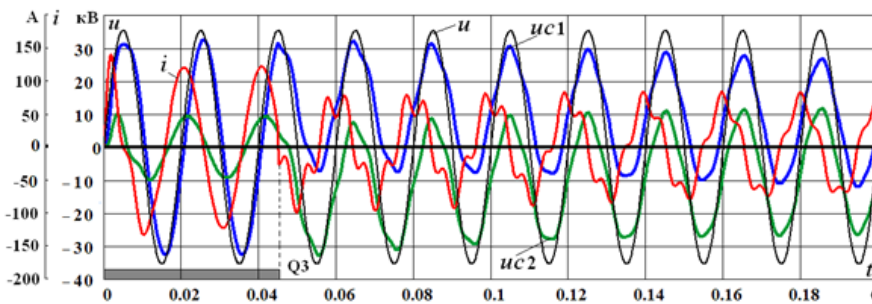


Рис. 4. Процесс переключения ФПКУ с максимальной мощности на минимальную мощность. Завершающий этап – отключение Q3

производная (t) , а через запятую указывается функция, от которой берётся производная (x) .

В скобках функции **rkfixed** интегрирования дифференциальных уравнений перечисляются через запятую: вектор начальных условий, начальная и конечная точки интервала интегрирования, число точек, не считая нулевой точки, и функция первых производных искомых функций. Решение системы уравнений получается в виде матрицы **Z**, содержащей 5 столбцов. Первый столбец матрицы соответствует времени t , второй – току i_1 , третий – току i_2 , четвёртый и пятый – напряжениям $uc1$ и $uc2$ на конденсаторах $C1$ и $C2$.

По результатам расчёта на рис.4 построены кривые тока i и напряжений $uc1$ и $uc2$ на конденсаторах $C1$ и $C2$. Включённое положение ключа $Q3$ показано на рис. 4 затемнённой

полосой. Ключ $Q3$ выключается в момент времени 0,046 с. Из рис. 4 видно, что при переключения ФПКУ с максимальной мощности на минимальную мощность после выключения пускового резистора $R3(t)$ на конденсаторах $C1$ и $C2$ появляются постоянные составляющие, увеличивающие напряжения на конденсаторах.

Причина появления этих перенапряжений заключается в следующем. Значение сопротивления пускового резистора $R3(t) = 70$ Ом во включенном состоянии невелико по сравнению с сопротивлением конденсатора $X_{C2} = 1/\omega \cdot C2 = 1/314 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 265$ Ом. Поэтому участок второй секции, включающий элементы $C2, L2, R3$ (имеет эквивалентное сопротивление $Z2 = 68e^{j17deg}$ Ом. В то же время емкостное сопротивление первой секции составляет Ом. Таким образом, эквивалентное

сопротивление второй секции оказывается намного меньше по сравнению с эквивалентным сопротивлением первой секции. Кроме того фазы эквивалентных сопротивлений сдвинуты на угол

$90^\circ - 17^\circ = 73^\circ$, т.е. почти на четверть периода.

Таким образом, в момент отключения ключа $Q3$ на рис.4 при токе равном нулю напряжение на конденсаторе $C1$ будет максимальным, а на конденсаторе $C2$ – очень небольшим. За счёт этой большой разницы напряжений и возникают постоянные составляющие, что и видно на рис.4. Если ёмкость $C2$ будет больше, чем $C1$, то постоянные составляющие уменьшатся, однако, в расчётах, ради наглядности процессов, ёмкости конденсаторов взяты одинаковыми.

Проведенный анализ процессов показал, что для исключения постоянных составляющих необходимо, чтобы перед отключением ключа $Q3$ напряжения на конденсаторах $C1$ и $C2$ должны быть близкими друг другу. Этого можно добиться, если перед отключением ключа $Q3$ значительно увеличить сопротивление пускового резистора, так чтобы оно было по значению не меньше сопротивления, а значительно больше его -раза в три-четыре, т.е. около 1000 Ом.

Исходя из сказанного, для недопущения возникновения постоянных составляющих напряжение на конденсаторах и повышенных значений бросков напряжения на них значение сопротивления пускового

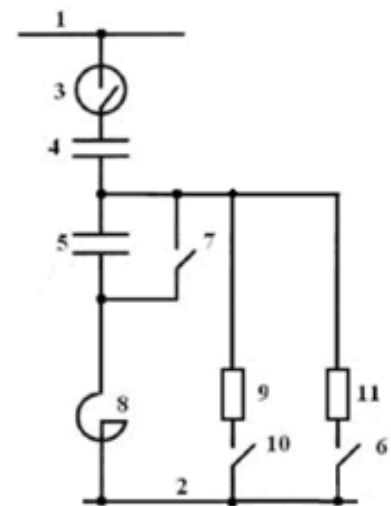


Рис. 5. ФПКУ с демпфирующим резистором

резистора перед его отключением должно быть увеличено. Авторами предложено и запатентовано устройство [8], в котором для достижения указанной цели дополнительно введён демпфирующий резистор, который подключен параллельно пусковому резистору (рис.5). Как следует из рис.5, в этом случае необходимо в схеме, приведённой на рис.1 добавить только один элемент – демпфирующий резистор.

На рис.6 приведена программа расчёта переходного процесса для предложенной схемы. Поскольку резисторы 9 (пусковой) и 11 (демпирующий) включены параллельно, то программа расчёта двух схем отличается только алгоритмом изменения параметров эквивалентного резистора $R3(t)$ (рис.2,6).

На рис.7 показан процесс переключения ФПКУ с максимальной мощ-

ности на минимальную мощность для схемы с демпфирующим резистором, рассчитанный по программе, приведённой на рис.6. Включение демпфирующего резистора 11 ключом 6 (рис.5) на рис.7 показано затемнённой полосой, где ключ 6 обозначен как Q4. Отключение ключа Q4 происходит когда ток i становится равным нулю. Как видно из рис.7, процесс переключения происходит спокойно без перенапряжений.

Таким образом, доказана эффективность введения демпфирующего резистора 11 по рис 5. Заметим, что для исключения постоянных составляющих демпфирующий и пусковой резисторы могут быть также подключены последовательно.

Выводы

1.Для повышения пропускной способности железных дорог пе-

ременного тока на посту секционирования тяговой сети включают регулируемую установку поперечной ёмкостной компенсации (переключаемую фильтрокомпенсирующую установку – ПФКУ) с двумя последовательно включенными секциями конденсаторов. Для повышения надежности ПФКУ коммутационную аппаратуру выполняют высоковольтными двунаправленными тиристорными ключами (ТК).

2.На основании исследований переходных режимов в пакете Mathcad показано, что при отключении ТК в режиме перехода от максимальной мощности к минимальной появляются постоянные составляющие напряжения на обеих секциях, повышающие напряжение на конденсаторах по сравнению с расчетными значениями.

3. Для предотвращения указанного явления предложено добавить в схему демпфирующий резистор 600-1000 Ом с вакуумным выключателем параллельно пусковому резистору и в зависимости от режима работы включаются вакуумными выключателями 10 кВ или пусковой резистор, или демпфирующий резистор.

Литература

1. Бородулин Б.М., Герман Л.А., Николаев Г.А. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1983, 183 с.
2. Приказ Минпромэнерго №49 о компенсации реактивной мощности
3. ГОСТ №55364-2012. Электровозы. Общие технические требования
4. Герман Л.А., Серебряков А.С. Регулируемые установки ёмкостной компенсации в системах тягового электроснабжения железных дорог. М.: Учебно-методический центр образования на железнодорожном транспорте, 2015. – 316 с.
5. СТО РЖД 07.022.2-2015 Методика выбора мест размещения и мощности
- 6 Патент RU № 2 656 368 С2 от 01.07.2016. Установка ступенчатая поперечной ёмкостной компенсации (Герман Л. А., Серебряков А.С. и др). : Оpubл. 05.06.2018 Бюл. № 16
7. Серебряков А. С., Осокин В.Л., Дулепов Д.Е. Переходный процесс в установке компенсации реактив-

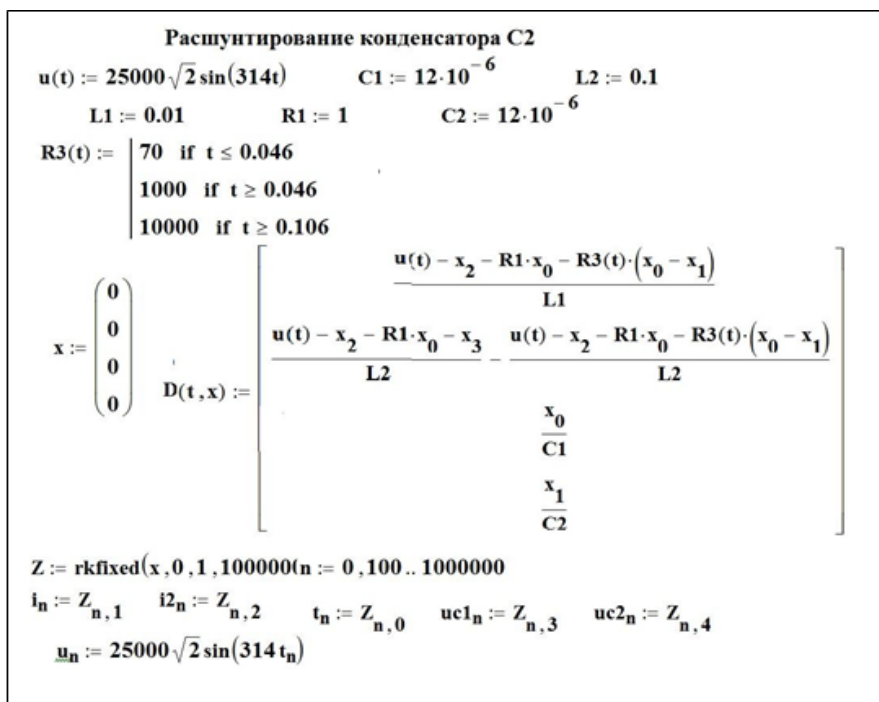


Рис. 6 программа расчёта переходного процесса для предложенной схемы ПФКУ на рис.5

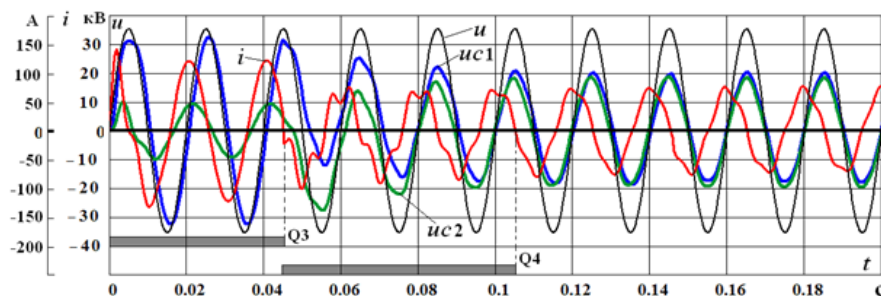


Рис.7. Процесс переключения ФПКУ с максимальной мощности на минимальную мощность для схемы с демпфирующим резистором

ной мощности с последовательным включением конденсаторов при расшунтировании одного из них. Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021, №4.с.84-91.

8. Патент RU № 2 774 405 С1 от 22.02.2022. Установка ступенчатая поперечной емкостной компенсации (Серебряков А.С, Герман Л. А., и др.). : Оpubл. 21.06.2022. Бюл. № 18.

Герман Леонид Абрамович.

Родился в 1937 году. В 1959 году окончил Московский институт инженеров транспорта (МИИТ) по специальности «Инженер путей сообщения – электромеханик». Защитил докторскую диссертацию по теме «Теория и практика совершенствования режима системы тягового электроснабжения переменного тока с установками емкостной компенсации». Доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии железнодорожного транспорта» филиала Самарского государственного университета путей сообщения в Нижнем Новгороде, член-корреспондент Российской академии транспорта. Автор более 390 научных трудов, 100 изобретений и патентов. Имеет 2 пражительственные награды.

Серебряков Александр Сергеевич.

Родился в 1939 году. В 1961 году окончил Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева по специальности «Электрификация промышленных предприятий и установок». Доктор технических наук, профессор. Защитил докторскую диссертацию на тему «Методы и средства диагностики изоляции электрических машин и аппаратов их защиты». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ. Удостоен знаков «Почетному железнодорожнику» и «Лучший изобретатель железнодорожного транспорта». В настоящее время работает профессором кафедры «Электрификация и автоматизация» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета (НГИЭУ) Автор более 400 научных работ, в том числе 10 книг-учебников и учебных пособий для вузов. Имеет более 50 авторских свидетельств СССР и патентов РФ на изобретения.

Дулепов Дмитрий Евгеньевич.

Родился в 1986 году. В 2008 году окончил Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Кандидат технических наук, доцент. В 2013 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности фильтрокомпенсирующих установок в тяговой сети переменного тока». В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электрификация и автоматизация» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета (НГИЭУ). Опубликовал 18 печатных работ, 1 монографию, получил 7 патентов на изобретение.

Осокин Владимир Леонидович.

Родился в 1975 году. В 1998 году окончил Нижегородскую государственную сельскохозяйственную академию. Кандидат технических наук, доцент. В 2011 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Повышение эффективности функционирования электрических подогревателей воды путем разработки стенда для их тестирования». В настоящее время работает доцентом кафедры «Электрификация и автоматизация» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета (НГИЭУ). Опубликовал 140 печатных работ, 4 монографии, получил 23 патента на изобретение.

German Leonid.

Born in 1937. In 1959 he graduated from the Moscow Institute of Transport Engineers (MIIT) with a degree in Railway Engineering – Electromechanics. He defended his doctoral dissertation on the topic "Theory and practice of improving the mode of the AC traction power supply system with capacitive compensation installations." Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering and Technology of Railway Transport, branch of the Samara State University of Railway Transport in Nizhny Novgorod, Corresponding Member of the Russian Academy of Transport. Author of more than 390 scientific papers, 100 inventions and patents. Has 2 government awards.

Serebryakov Alexander.

Born in 1939. In 1961 he graduated from the Nizhny Novgorod State Technical University. R. E. Alekseeva, specialty "Electrification of industrial enterprises and installations." Doctor of technical sciences, professor. He defended his doctoral dissertation on the topic "Methods and tools for diagnosing the insulation of electrical machines and devices for their protection." Corresponding member of the Academy of Electrotechnical Sciences of the Russian Federation. He was awarded the badges "Honorary Railway Worker" and "Best Inventor of Railway Transport". Currently works as a professor at the Department of Electrification and Automation of the Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University (NGIEU). Author of more than 400 scientific papers, including 10 textbooks and teaching aids for universities. He has more than 50 USSR copyright certificates and RF patents for inventions.

Dulepov Dmitry.

Born in 1986. Graduated in 2008 Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. In 2013, he defended his Ph.D. thesis on the topic "Improving the efficiency of filter-compensating installations in an AC traction network". Currently he works as the head of the department "Electrification and Automation" of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (NGIEU). Published 18 printed works, 1 monograph, received 7 patents for invention.

Osokin Vladimir.

Born in 1975. Graduated in 1998 Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. In 2011 he defended his Ph.D. thesis on the topic "Improving the efficiency of electric water heaters by developing a stand for testing them." Currently, he works as an assistant professor at the Department of Electrification and Automation at the Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University (NGIEU). Published 140 publications, 4 monographs, received 23 patents for inventions.

Импульсный источник питания для широкого применения

// SWITCHING POWER SUPPLY FOR WIDE APPLICATION //

А. И. Сурайкин,
Национальный
исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва,
г. Саранск

А. А. Сурайкин
Национальный
исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва,
г. Саранск

В статье приводятся результаты разработки малогабаритного им-пульсного источника питания на основе SPICE-макромодели. Проведено компьютерное имитационное моделирование с представлением временных диаграмм. Предлагается универсальное и, вместе с тем эффективное схемотехническое решение с минимальным количеством навесных компонентов.

Ключевые слова: импульсный источник питания, широтно-импульсная модуляция, ШИМ-контроллер, макромодель, имитационное моделирование.

The article provides results of engineering design of small-sized switching power supply on base SPICE macros. Done computer imitation design with represented time-diagram. Propose a universal and effective schematic design with minimal amount external parts.

Keywords: switching power supply, pulse width modulation, PWM-controller, spice macros, imitation simulation.

Введение

Основным движущим фактором разработки малогабаритного импульсного источника питания (ИП) широкого применения является требование отсутствия избыточности конструкции. Следствие этого – более низкая стоимость производства. Для решения данной задачи необходимы оригинальные схемотехнические решения, позволяющие, с одной стороны, получить все требуемые параметры при минимизированных затратах, с другой стороны, использовать многие передовые достижения в области импульсной преобразовательной техники [1].

При разработке малогабаритного ИП необходимо, прежде всего, решить концептуальную задачу, решением которой будет синтез экономичной и эффективной модели [2].

В процессе изготовления и отладки макетного образца ИП, возникает проблема отвода тепла, выделяющегося в малом объёме. Здесь необходимо учитывать много факторов включая температуру нагрузки, например, нагрев светодиодов, если источник применяется для управления светодиодным освещением. Источником

тепла, кроме того, в малогабаритном светодиодном светильнике, кроме самих светодиодов, всегда является сам ИП. В соответствии с вышесказанным, к малогабаритным ИП можно сформулировать следующие требования:

- изоляция светодиодов от корпуса устройства освещения;
- при необходимости гальваническая изоляция нагрузки (светодиодов) от схемы управления;
- высокий КПД;
- малые габариты, обеспечивающие возможность встраивания в малогабаритный корпус;
- наличие корректора коэффициента мощности (активного или пассивного), так как могут быть варианты с применением аккумуляторных батарей;
- низкая себестоимость в массовом производстве.

В качестве нагрузки мы будем рассматривать светодиоды (сверхъяркие), как наиболее востребованный и распространённый, на сегодняшний день, источник освещения.

Расчёт источника питания и компьютерное моделирование

В связи с тем, что реализация современного высокоэффективного,

конкурентоспособного импульсного ИП невозможна без применения микросхем импульсных источников питания, то важен выбор наиболее подходящей микросхемы ШИМ-контроллера. Практически все ведущие фирмы-производители электронной компонентной базы (ЭКБ) выпускают управляющие ИС для импульсных источников питания. Номенклатура таких ИС огромна и выбор, как правило, связан с определением отношения – цена/требуемые характеристики. В этой связи интерес представляет такая микросхема, как TPS92210. Эту ИС выпускает такая известная фирма как Texas Instruments. При анализе параметров вышеуказанной микросхемы необходимо ориентироваться на техническую информацию компании Texas Instruments на микросхему TPS92210 [3]. Практический интерес к этой микросхеме связан ещё и с тем, что она обладает широким набором функций, включая наличие корректора коэффициента мощности и уникальными характеристиками, позволяющими гибко реализовывать различные ИП для многих компактных вариантов нагрузок, включая светодиод-

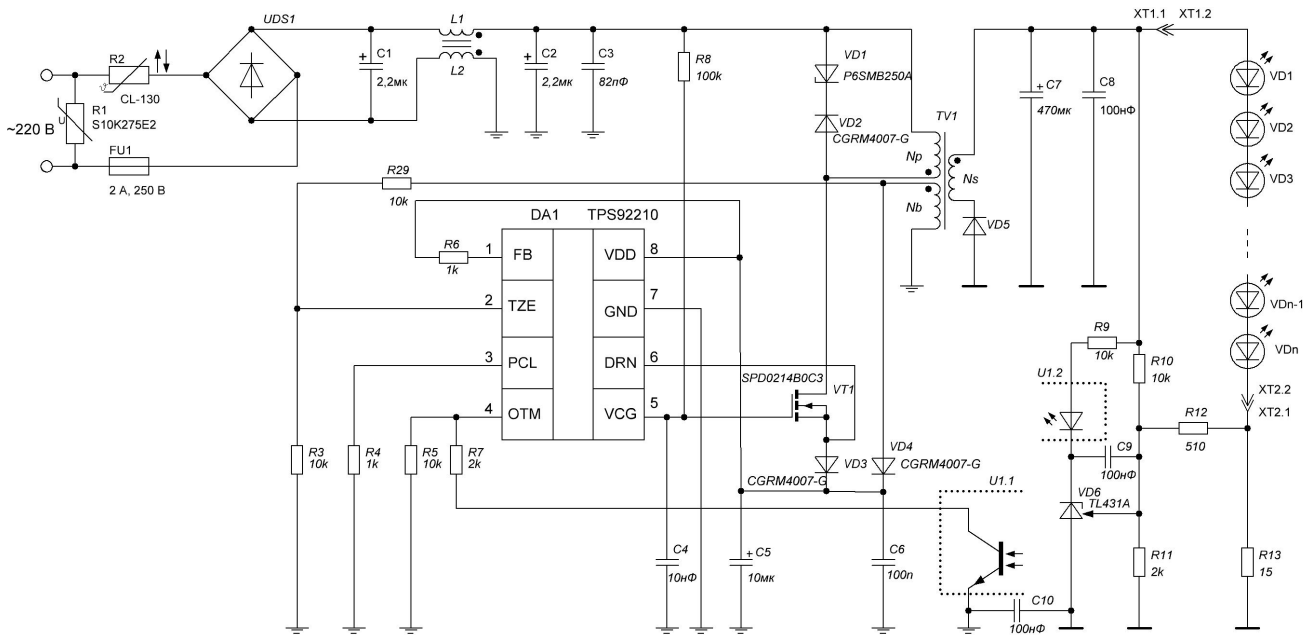


Рисунок 1 – Упрощённая принципиальная электрическая схема импульсного ИП на основе микросхемы TPS92210

ные светильники бытового и промышленного назначения.

Упрощённая принципиальная электрическая схема ИП на основе микросхемы ШИМ-контроллера типа TPS92210 приведена на рисунке 1. Следует отметить – данная микросхема не требует внешнего датчика тока для автоматической стабилизации тока светодиодов. Эта функция реализована непосредственно в самой микросхеме.

Для оптимизации того или иного схематехнического решения импульсного ИП целесообразно провести расчёт с применением компьютерного имитационного моделирования на основе макромоделей микросхемы TPS92210. Однако на сайте производителя (Texas Instruments) отсутствует какая-либо информация по SPICE-макромоделям микросхемы TPS92210.

Таким образом, для реализа-

ции компьютерного моделирования была выполнена разработка SPICE-макромоделей микросхемы TPS92210 для применения в составе САПР TINA-TI [4]. Применение указанной САПР связано тем, что это свободно распространяемая некоммерческая САПР с хорошо отлаженными вычислительными алгоритмами. Разработка SPICE-макромоделей микросхемы TPS92210 выполнена на основе блочно-иерархического

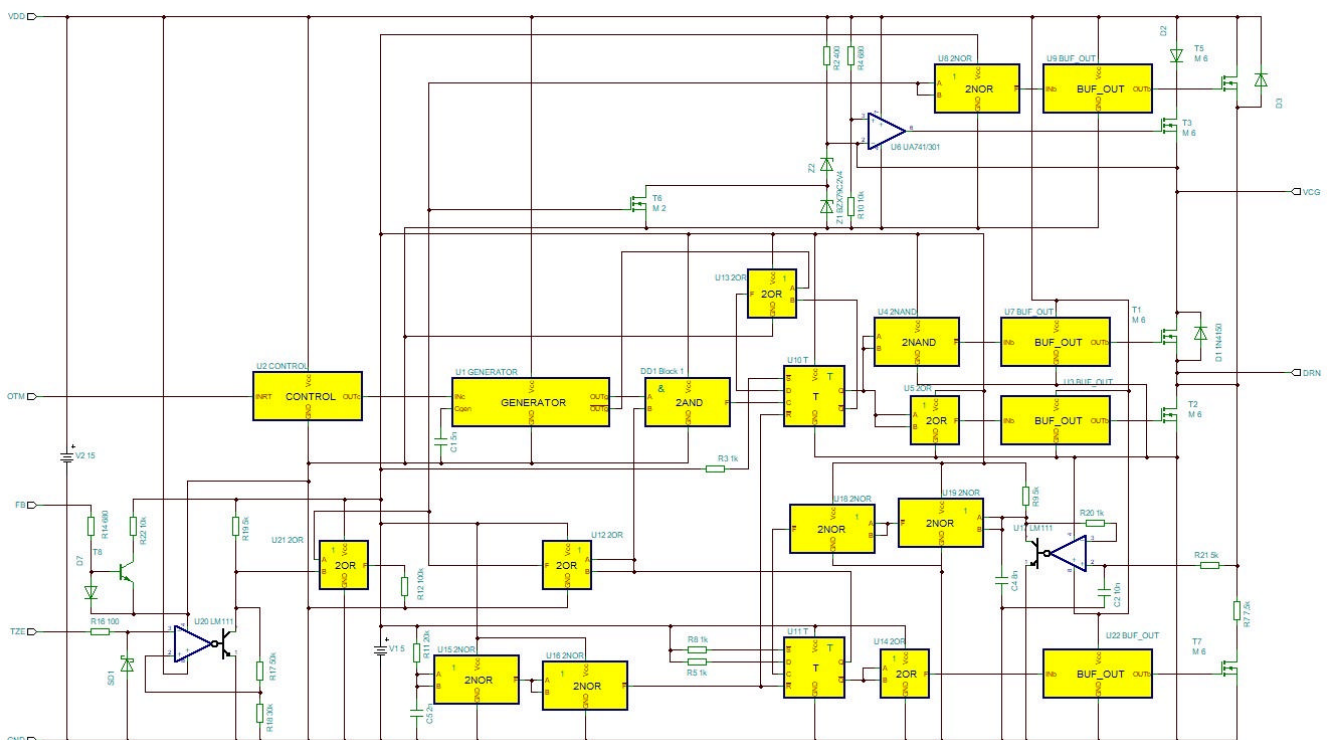


Рисунок 2 - Структурная схема SPICE-макромоделей (2-й уровень иерархии) микросхемы TPS92210

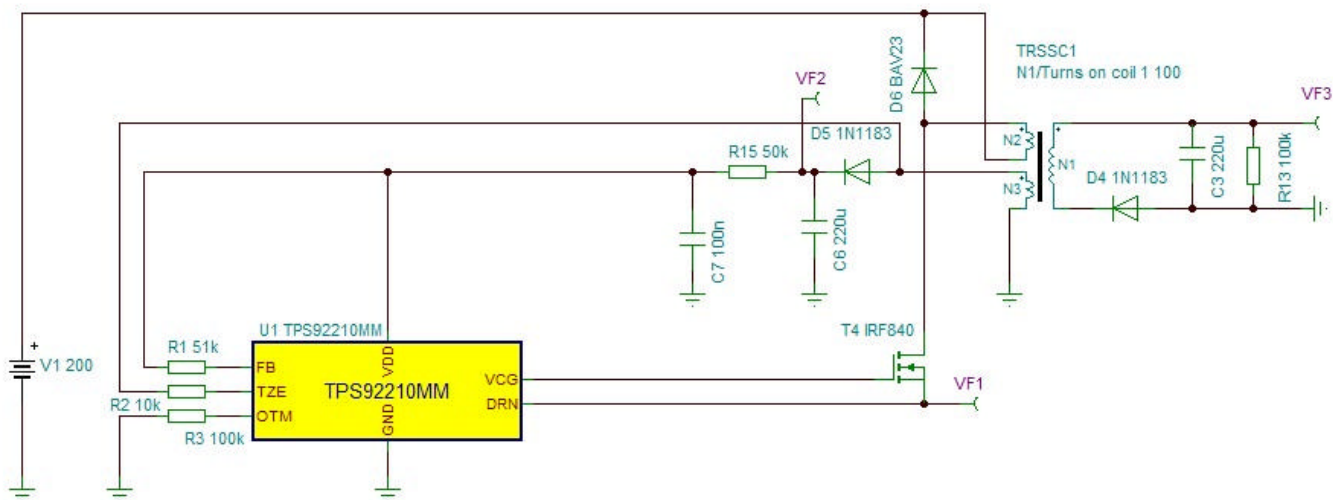


Рисунок 3 – Имитационная модель импульсного ИП на основе макромодели микросхемы TPS92210

принципа. Структурная схема разработанной SPICE-макромодели (2-й уровень иерархии) микросхемы TPS92210 приведена на рисунке 2.

Макромодель микросхемы TPS92210, как и большинства других микросхем подобного класса, представляет собой функциональную схему, содержащую три уровня иерархии:

- первый уровень – уровень элементов, на которых выполнены принципиальные электрические схемы функциональных узлов;
- второй уровень – функциональный уровень, представляющий собой фактически функциональную схему микросхемы TPS92210;

- третий уровень – уровень микросхемы как устройства («чёрного ящика») на котором можно выполнять схемы различных источников питания.

Удобство трёхуровневого представления SPICE-макромодели микросхемы TPS92210 обусловлено тем, что при проведении имитационного моделирования, можно достаточно быстро вносить те или иные схемотехнические поправки на различных уровнях схемной иерархии.

На рисунке 3 приведена имитационная модель импульсного ИП на основе SPICE-макромодели микросхемы TPS92210 для анализа в САПР TINA-TI. Эта модель позволяет проводить анализ и расчёт основных

режимов работы импульсного ИП с применением навесных компонентов из состава встроенных библиотек САПР TINA-TI.

Имитационное моделирование разрабатываемого малогабаритного и эффективного импульсного ИП позволяет формировать временные диаграммы в различных временных интервалах обеспечивая, тем самым, как анализ начального режима работы (инициализация), так и установившийся (стационарный) режим работы ИП в пределах, заданных техническими требованиями, то есть проводить оценку режима стабилизации рабочего тока светодиодов [5].

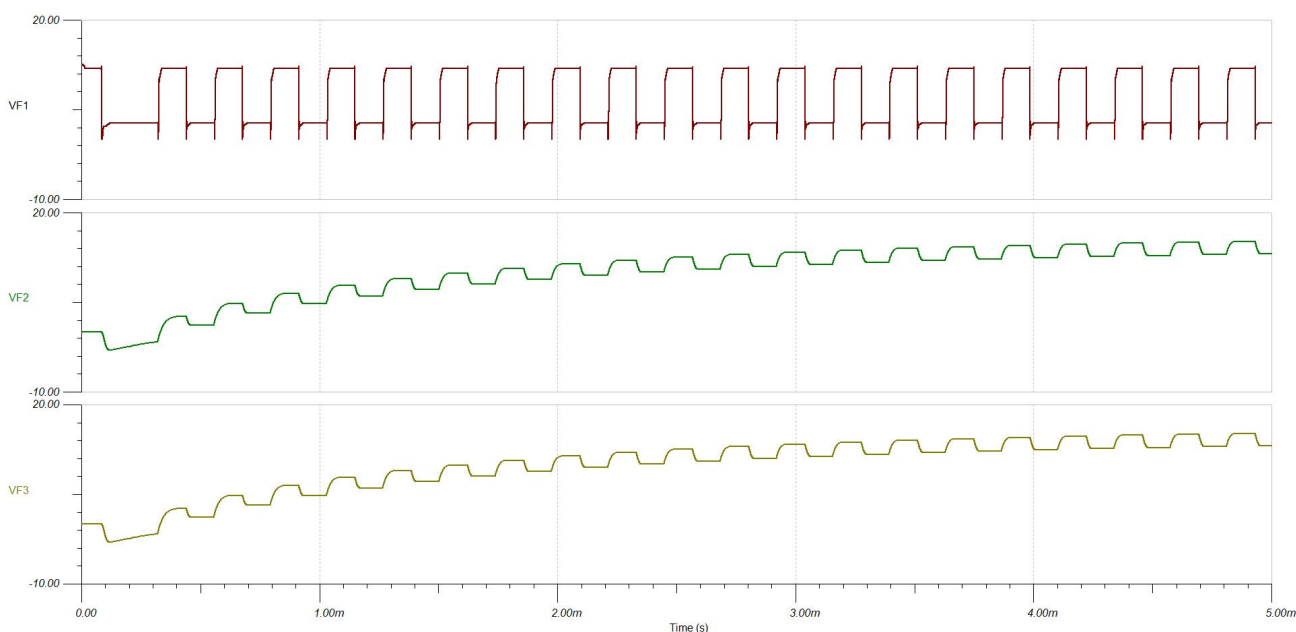


Рисунок 4 – Временные диаграммы работы импульсного ИП на основе микросхемы ШИМ-контроллера TPS92210: на истоке МОП-транзистора (VF1); на обмотке обратной связи (дополнительной обмотке) трансформатора (VF2); на вторичной обмотке трансформатора (VF3)

На рисунке 4 приведены временные диаграммы перехода источника питания на стационарный режим. Сигналы получены в разных точках, в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 3.

Проведённый анализ полученных результатов моделирования позволил в первом приближении провести расчёт алгоритма работы малогабаритного импульсного ИП и определить основные требования к навесным компонентам микросхемы ШИМ-контроллера, включая МОП-транзистор и трансформатор. Эти требования входят и являются неотъемлемой частью общих требований к высококачественным малогабаритным импульсным источникам питания:

1. Диапазон напряжения питания: 90 – 250 В (переменное);
2. Число последовательно включенных светодиодов: 7;
3. Прямое падение напряжения на одном светодиоде: 3,6 В;
4. Полное падение напряжения на светодиодах: $U_{LED} = 7 \times 3,6 = 25,2$ В.
Начальный режим работы ИС TPS92210:
 1. Номинальная частота работы ШИМ: $f_{SW} = 5 \div 250$ кГц;
 2. Номинальный рабочий ток светодиодов: $I_{LED(AVE)} = 350$ мА;
 3. Изменение тока светодиодов при изменении напряжения питания (обычно от 15 % до 30 % относительно $I_{LED(AVE)}$): $\Delta i = 0,3 \times 350 = 105$ мА;
 4. Минимальное значение КПД: 80 %.

Заключение

Применение SPICE-макромодели микросхемы TPS92210, приведённой на рисунках 2 и 3 позволило с приемлемой точностью выполнить моделирование и расчёт различных схемных решений малогабаритного импульсного ИП для компактных осветительных устройств и выбрать оптимальный вариант.

Форма и размер макетного образца и рабочей печатной платы были выбраны исходя из размера корпуса разрабатываемого ИП и устройства освещения. Монтаж нагрузки (светодиодов) был проведён на отдельных печатных платах с учётом их габаритов.

Литература

1. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2008. – 256 с., ил.
2. Сурайкин А. И., Курынов Б. В., Сеськин М. В., Сурайкин А. А. Высокоэффективные источники питания для светодиодного освещения // Электроника и электрооборудование транспорта, 2020, № 3, С.25-28.
3. Техническая инф. по ИС TPS92210. Электронный ресурс. Режим доступа: www.ti.com/TPS92210.
4. Техническая инф. по САПР TINA-TI. Электронный ресурс. Режим доступа: www.ti.com/tool/TINA-TI.
5. Сурайкин А. И., Курынов Б. В., Сеськин М. В., Курнаев В. В. Регулирование тока нагрузки в устройствах питания светодиодных светильников // XLVIII ОГАРЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ: Материалы научной конференции. В 3-х частях. Составитель А. В. Столяров. Ответственный за выпуск П. В. Сенин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2020. – С. 76–84.

Сурайкин Александр Иванович

Родился в 1963 году. В 1985 году окончил Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, по специальности «Полупроводники и диэлектрики», в 1998 году защитил кандидатскую диссертацию по теме «СБИС видеопроцессора для приёмников телевизионных сигналов», Опыт работы – 37 лет. В настоящее время работает ведущим инженером-конструктором КБ разработки структур и изделий ОКБ АО «Орбита», доцент кафедры электроники и

наноэлектроники Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва. Автор 93 научных работ, 10 патентов (из них 4 свидетельства об официальной регистрации топологий ИС).

Сурайкин Алексей Александрович

Родился в 1999 году. В 2021 году окончил Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, направление подготовки «Электроника и наноэлектроника». Опыт работы – 1,5 года. В настоящее время работает инженером. Автор 24 научных статей, стипендиат правительства РФ.

Suraikin Alexander Ivanovich

Was born in 1963. In 1985 he graduated from the Mordovian State University. N. P. Ogareva, majoring in "Semiconductors and dielectrics", In 1998 he defended his thesis on the topic "VLSI video processor for television signal receivers", Work experience - 37 years. Currently, he works as a leading design engineer at the Design Bureau for the Development of Structures and Products of the Orbita Design Bureau, Associate Professor at the Department of Electronics and Nanoelectronics of the National Research Mordovian State University named after A.I. N. P. Ogaryova. Author of 93 scientific papers, 10 patents (including 4 certificates of official registration of IC topologies).

Suraikin Alexey Alexandrovich

Was born in 1999. In 2021, he graduated from the Mordovian State University. N. P. Ogaryova, direction of training "Electronics and Nanoelectronics". Experience - 1.5 years. Currently working as an engineer. Author of 24 scientific articles, scholarship holder of the Russian government.

Моделирование электромагнитного привода исполнительных механизмов систем топливоподачи среднеоборотных дизелей

// MODELING OF ELECTROMAGNETIC DRIVE OF ACTUATORS OF FUEL SUPPLY SYSTEMS OF MEDIUM-SPEED DIESEL ENGINES //

Ахтырский С.А., к.т.н., доцент, Коломенский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» г. Коломна

В статье рассмотрена математическая модель электромагнитного привода затвора топливной аппаратуры ДВС совместно с блоком силовых ключей, позволяющая проводить детальный анализ влияния устройств управления на

процессы, происходящие в электромагните. В качестве силового ключа выбрана запатентованная ранее схема «полумост с рекуперативным размагничиванием». Проведенные эксперименты показали достаточное для инженерной практики совпадение экспериментальных и расчетных исследований, что свидетельствует о корректности созданной модели.

Ключевые слова: электромагнитный привод; моделирование электромагнитного привода; блок силовых ключей; математическая модель электромагнитного привода; силовой ключ

The article considers a mathematical model of the electromagnetic gate drive of the internal combustion engine fuel equipment together with a block of power keys, which allows a detailed analysis of the influence of control devices on the processes occurring in the electromagnet. The previously patented "half-bridge with regenerative demagnetization" scheme was chosen as a power key. The experiments carried out showed a sufficient coincidence of experimental and computational studies for engineering practice, which indicates the correctness of the created model.

Keywords: electromagnetic actuator; simulation of electromagnetic actuator; power keys block; mathematical model of an electromagnetic actuator; power key

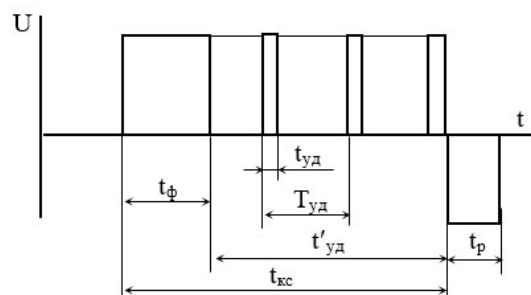
При разработке и исследованиях систем подачи топлива с электронным управлением в КИ (Ф) МПУ существенное внимание уделяется расчетным исследованиям электромагнитного привода форсунок и дозирующих клапанов [1,2]. Моделирование протекающих в них процессов значительно сокращают затраты времени и средств на проведение экспериментальных исследований, особенно, когда речь заходит о выборе формы и рациональных длительностей управляющих сигналов, влияющих не только на энергоэффективность, но и на габариты и надежность работы привода.

Разработанная в КИ (Ф) МПУ математическая модель позволяет проводить расчетные исследования электромагнита в совокупности с блоком силовых ключей, при этом учитываются не только параметры самого электромагнита, но и геометрические размеры устройства подачи топлива и схемные особенности электронной части блока управления [3].

Микроконтроллер системы управления формирует командный сигнал, состоящий из трех частей: форсирующей, удерживающей и намагничивающей (рисунок 1).

Целесообразность подачи сигнала такой формы обусловлена стремлением повысить энергоэффективность и быстродействие привода: так, например, форсирующий импульс имеет длительность t_{ϕ} , равную времени срабатывания электромагнита при отпирании, удерживающие импульсы

длительностью $t_{уд}$ и скважность следования этих импульсов $Q_{уд}$ обеспечивают надежное удержание якоря в притянутом состоянии малым током, что, опять же, влияет на потребляемую мощность, так как именно удерживающая составляющая командного сигнала $t'_{уд}$ оказывается самой большей по длительности. Размагничивающая ступень длительностью t_p обеспечивает



t_{ϕ} – длительность форсирующей ступени; $t'_{уд}$ – длительность удерживающей ступени; $t_{уд}$ – длительность удерживающего импульса; $T_{уд}$ – период следования удерживающих импульсов; t_p – длительность размагничивающей ступени; $t_{кс}$ – длительность командного сигнала.

Рисунок 1. Форма командного сигнала

принудительное изменение направления тока в обмотке на противоположное и, несмотря на усложнение схемы, значительно повышает быстродействие при возврате якоря в исходное состояние.

В КИ (Ф) МПУ были разработаны несколько вариантов схем блоков силовых ключей, и при управлении быстродействующим электромагнитным приводом среднеоборот-

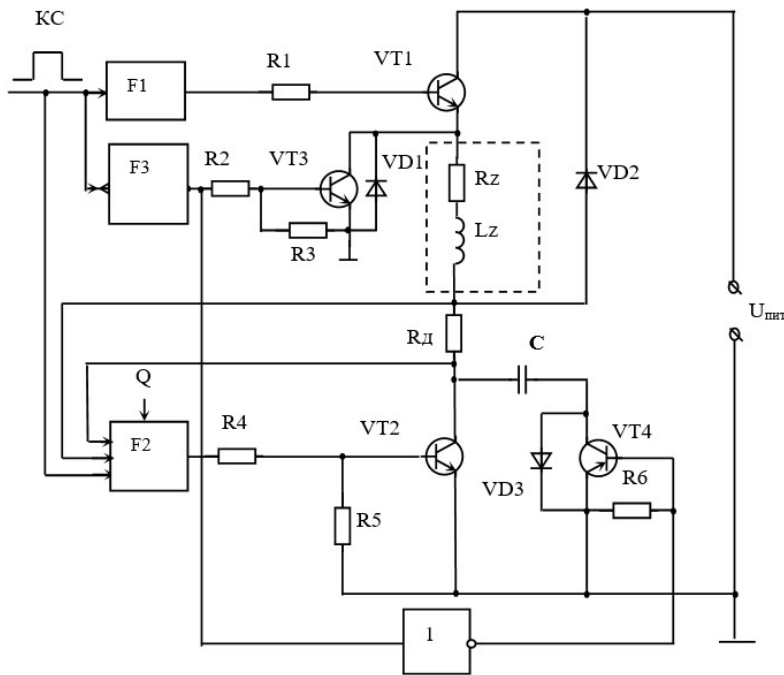


Рисунок 2. Функциональная схема блока силовых ключей

ных дизелей наилучшим образом себя зарекомендовала схема «полумост с рекуперативным размагничиванием» (рисунок 2) [4].

Устройство содержит два формирователя импульсов F1 и F2, формирователь F3 одиночных прямоугольных импульсов, четыре транзисторных ключа VT1–VT4, электромагнит, представленный собственной индуктивностью L_z и активным сопротивлением R_z , накопительный конденсатор C, датчик тока нагрузки R_d , инвертирующий блок и другие элементы, обеспечивающие требуемый режим работы схемы и направления протекания тока по обмотке электромагнита.

В исходном состоянии формирователи F1, F2, F3 имеют на своих выходах низкий уровень сигнала, поэтому транзисторные ключи VT1–VT4 закрыты, обмотка электромагнита обесточена, конденсатор C разряжен.

При поступлении переднего фронта командного сигнала от микроконтроллера на входы формирователей F1 и F2, последние начинают вырабатывать импульсы, и на их выходах появляется высокий уровень сигнала. Транзисторы VT1 и VT2 открываются, и ток от источника питания поступает в обмотку электромагнита. Конденсатор C остается все еще разряженным. По мере нарастания тока увеличивается па-

дение напряжения на датчике тока нагрузки R_d . Как только ток в обмотке достигнет заданного уровня форсирующего тока, формирователь F2 закрывается, что в свою очередь приводит к запираанию ключа VT2. Транзистор VT1 при этом остается открытым, и ток электромагнита, не меняя своего направления, замыкается по двум контурам: через ключ VT1, диоды VD1 и VD2, а так же через конденсатор C и открытый диод VD3. Конденсатор C при этом заряжается. Максимальное значение напряжения, до которого может зарядиться конденсатор C, равно значению напряжения источника питания. По мере заряда конденсатора C ток в обмотке электромагнита уменьшается. При достижении тока в обмотке уровня удерживающего тока, формирователь F2 снова открывает ключ VT2.

Процесс отпирания и запираания ключа VT2 повторяется до тех пор, пока не закончится действие высокого уровня командного сигнала. По окончании его действия, ток в обмотке электромагнита начинает быстро спадать, так как к ней подключается противо-ЭДС заряженного конденсатора C. Напряжение на обмотке электромагнита при этом скачкообразно возрастает, меняя свою полярность, до уровня напряжения на конденсаторе C. По заднему фронту

командного сигнала формирователи F1 и F2 закрывают транзисторные ключи VT1 и VT2, а сигнал с выхода формирователя F3 открывает транзисторные ключи VT3 и VT4. Именно транзисторные ключи VT3, VT4 и конденсатор C образуют размагничивающую цепь. Заряженный конденсатор C начинает разряжаться на обмотку электромагнита, меняя направление тока на противоположное, тем самым размагничивая магнитопровод. Амплитуда размагничивающего тока и его продолжительность зависят от величины емкости накопительного конденсатора C и индуктивности обмотки электромагнита к моменту начала размагничивания. Оптимальный уровень размагничивающего тока для каждой отдельной конструкции электромагнита устанавливаются экспериментально путем выбора необходимой емкости конденсатора C из условия обеспечения наибольшего быстрого действия электромагнитного клапана при его запираании. Резисторы R1–R6 в данной схеме используются для обеспечения заданных режимов работы транзисторных ключей.

При разработке математической модели приняты некоторые допущения, основными из которых являются следующие:

1. В установившемся режиме работы магнитный поток Φ распределяется равномерно по всему сечению магнитопровода.
2. В динамике эффект вытеснения магнитного потока Φ учитывается расчетом глубины проникновения поля в магнитопровод.
3. Ферромагнитные элементы конструкции привода перед подачей форсирующего импульса считаются не полностью размагниченными, при этом остаточная индукция в сердечнике выбирается по результатам экспериментальных исследований.
4. Величина потока рассеяния Φ учитывается с помощью расчетного коэффициента, зависящего только от геометрических размеров магнитной цепи.
5. Потери, связанные с наличием вихревых токов, учитываются путем включения параллельно индуктивности намагничивания шунтирующего активного сопротивления: при

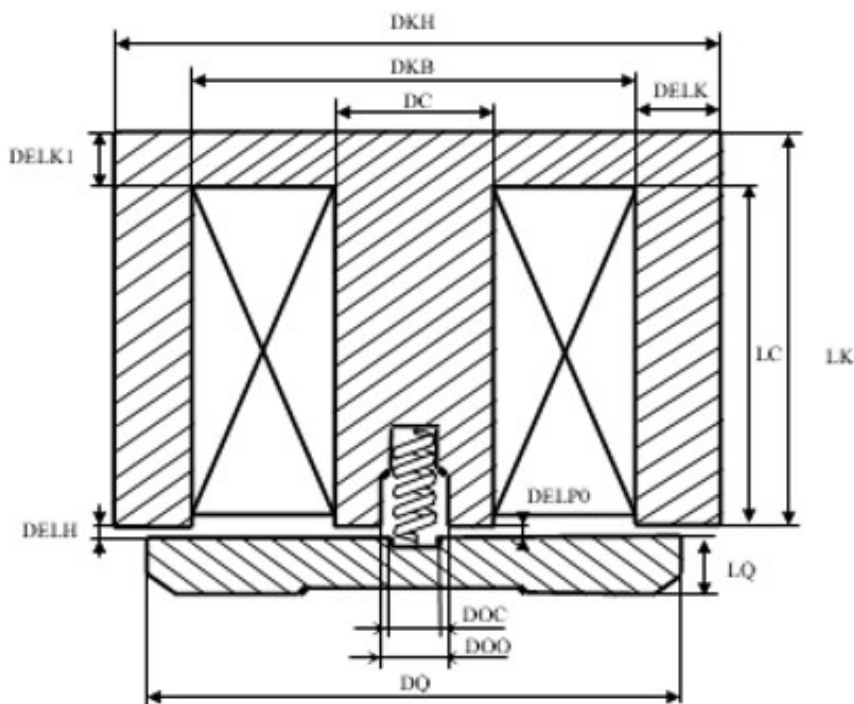


Рисунок 3. Расчетная схема электромагнитного привода
DKH-диаметр корпуса наружный; DKB-диаметр корпуса внутренний;
DC-диаметр сердечника; DQ-диаметр якоря; LK-длина корпуса; LC-длина сердечника; LQ-толщина якоря; DOC-диаметр отверстия в сердечнике;
DOQ-диаметр отверстия в якоря; DELK- толщина корпуса; DELK1- толщина основания магнитопровода; DELK2-толщина нижней крышки; DELPO- величина рабочего воздушного зазора якорь-сердечник; DELH- величина рабочего воздушного зазора якорь-кромка корпуса.

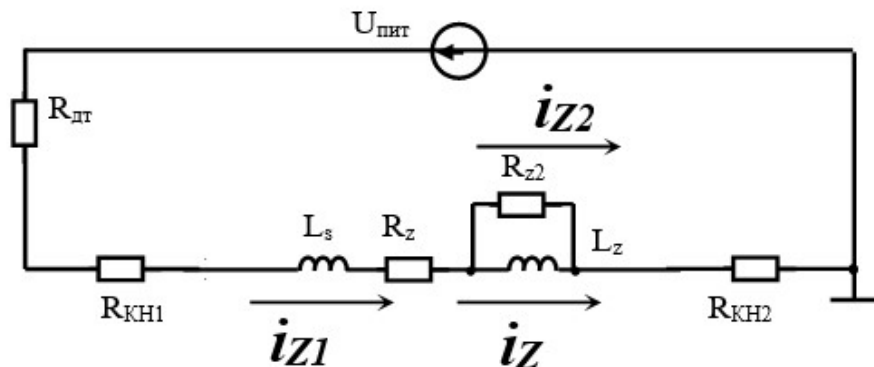


Рисунок 4. Расчетная схема на этапе формирования форсирующего тока

Этап формирования намагничивающего тока характеризуется замкнутым состоянием ключей SW1, SW2 и разомкнутым состоянием ключей SW3 и SW4. При протекании тока в обмотке магнитный поток в цепи якоря развивает в рабочем зазоре силу, притягивающую якорь к сердечнику. Сила тяги нарастает со скоростью, зависящей от скорости нарастания магнитного потока или индукции в сердечнике.

Намагничивающий ток, протекающий через транзисторные ключи SW1, SW2 и обмотку электромагнита, равен $i_{sw1} = i_{sw2} = i_{z1}$. (1)

Скорость изменения потокосцепления потока намагничивания:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{U_{num} - \frac{d\Psi_s}{dt} - i_z(R_z + 2R_{кн})}{1 + \frac{R_z + 2R_{кн}}{R_{z2}}}. (2)$$

Скорость изменения потокосцепления потока рассеяния:

$$\frac{d\Psi_s}{dt} = U_{num} - \frac{d\Psi}{dt} - i_z(R_z + 2R_{кн}). (3)$$

На этом этапе ток заряда конденсатора $i_c = 0$, и напряжение $U_c = 0$. (4)

Ток через транзисторные ключи SW3, SW4 отсутствует: $i_{sw3} = i_{sw4} = 0$. (5)

Скорость изменения магнитного потока якоря: $\frac{d\Phi_a}{dt} = \frac{1}{W} \frac{d\Psi}{dt}$. (6)

Магнитный поток якоря:

$$\Phi_a = \Phi_a(t_0) + \frac{d\Phi_a}{dt} \int_{t_0}^t dt. (7)$$

Индуктивность намагничивания:

$$L = \frac{w^2}{R_{\Sigma}}. (8)$$

В этом выражении w – число витков обмотки, а R_{Σ} – суммарное магнитное сопротивление, которое включает в себя магнитные сопротивления отдельных участков электромагнита, а именно: сердечника, якоря, корпуса, паразитного и рабочего зазоров.

Магнитное сопротивление участков магнитопровода, имеющих длину l и площадь S , определяется по формуле: $R_M = \int_b^a \frac{dl}{\mu\mu_0 S}$. (9)

При этом значение магнитной проницаемости μ , входящей в фор-

этом его величина корректируется на каждом шаге расчета в зависимости от глубины проникновения поля в магнитопровод.

Расчетная схема блока силовых ключей изображается со следующими упрощениями:

1. Транзисторные ключи VT1–VT4 представлены последовательным соединением идеального ключа SW и его активного сопротивления во включенном состоянии $R_{кн}$.

2. Токи утечки закрытого транзисторного ключа не учитываются.

3. Электромагнит представлен собственной индуктивностью L_z , активным сопротивлением R_z , индук-

тивностью рассеяния L_s и шунтирующим активным сопротивлением R_{z2} для учета потерь, связанных с наличием вихревых токов.

При моделировании необходимо учитывать конструкцию электромагнитного привода дозатора топлива – на рисунке 3 представлена конструкция электромагнита клапана газодизеля с подробным обозначением его элементов.

В соответствии с описанным выше принципом работы блока силовых ключей, его расчетная схема при подаче на ее входы форсирующего импульса, выглядит следующим образом (рисунок 4).

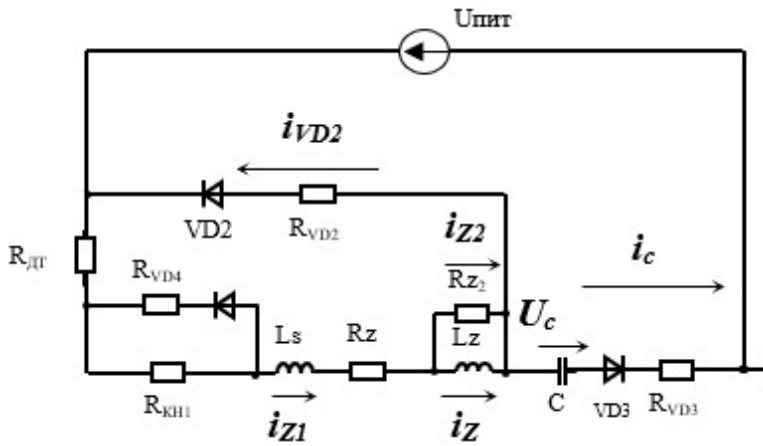


Рисунок 5. Расчетная схема на этапе формирования удерживающего тока

мулу расчета магнитного сопротивления любого участка магнитной цепи RM , определяется в зависимости от индукции B в данном сечении S с помощью характеристики намагничивания материала магнитопровода. Характеристика намагничивания разбита на два участка, каждый из которых аппроксимирован приближенными уравнениями. В предлагаемой модели один из участков зависимости $\mu(B)$ аппроксимирован полиномом 6-го порядка, имеющим вид:

$$\mu(B) = a_0 + a_1 \cdot B + a_2 \cdot B^2 + a_3 \cdot B^3 + a_4 \cdot B^4 + a_5 \cdot B^5 + a_6 \cdot B^6, \quad (10)$$

где $a_0 \dots a_6$ – эмпирические коэффициенты. Участок насыщения характеристики намагничивания описан экспоненциальной зависимостью вида:

$$\mu(B) = B_o \cdot (\mu_o + 3.33 \cdot 10^{-3} \cdot \exp(-5 \cdot (\frac{B_s - 1}{B_m - 1}))). \quad (11)$$

Расчет магнитной цепи позволяет также определить по формуле Максвелла величину тяговой силы, развиваемой электромагнитом в рабочем зазоре δ_p :

$$F_{\delta_p} = \frac{B_p^2 S_{\text{я}}}{2\mu_0} \quad (12)$$

Площадь поперечного сечения i -го участка S_i магнитопровода рассчитывается с учетом глубины проникновения магнитного поля GLU_i , то есть с учетом эффекта вытеснения магнитного потока:

$$GLU_i = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-7} \tau_z}{\mu_i}}, \quad (13)$$

$$\tau_z = \frac{L_z}{R_{z\Sigma}} \quad (14)$$

τ_z – постоянная времени цепи намагничивающего тока, L_z – текущее значение индуктивности намагничивания; $R_{z\Sigma}$ – активное сопротивление этой цепи.

Ток намагничивания

$$i_z = \frac{\Psi}{L_z}. \quad (15)$$

Сопротивление потерь на вихревые токи: $R_{z2} = (R_k || R_c) \cdot W^2$, (16)

где R_k и $R_c = f_4(l_v, S_v, \rho_c)$ – омические сопротивления корпуса и сердечника вихревым токам, учитывающие геометрические размеры короткозамкнутого витка, площадь поперечного сечения которого определяется с учетом эффекта вытеснения (GLU_i), и удельного омического сопротивления ферромагнитного материала рс.

Величина вихревых токов рассчитывается по формуле:

$$i_{z2} = \frac{d\Psi}{dt} \cdot \frac{1}{R_{z2}}. \quad (17)$$

Индуктивность рассеяния L_s зависит от величины индуктивности намагничивания L_z и коэффициента рассеяния σ :

$$L_s = 0,6L_z(\sigma_0 - 1)\sigma, \quad (18)$$

где 0,6 – эмпирический коэффициент.

Ток i_{z1} , потребляемый обмоткой электромагнита, рассчитывается по величине потокосцепления потока рассеяния: $i_{z1} = \frac{\Psi_s}{L_s}$. (19)

На этапе формирования удерживающего тока (рисунок 5) ключ SW2

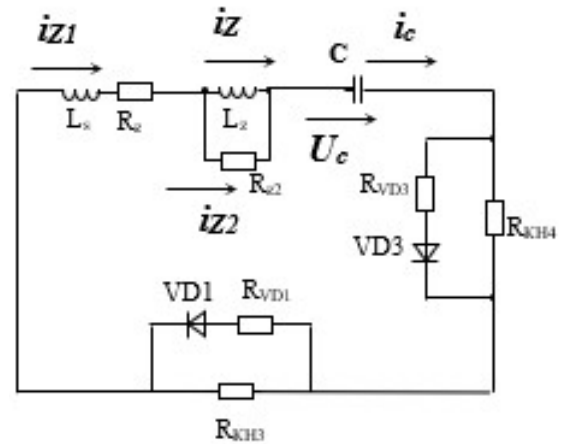


Рисунок 6. Расчетная схема на этапе формирования размагничивающего тока

открывается и закрывается в соответствии со скважностью входных управляющих сигналов; ключ SW1 остается открытым.

В этом случае ток заряда конденсатора и ток через диод VD3 равны току в обмотке $i_c = i_{z1}$.

Скорость изменения потокосцепления потока намагничивания:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{U_{\text{num}} - \frac{d\Psi_s}{dt} - U_c - i_z(R_z + R_{\text{КН}} + R_{\text{VD3}} + R_{\text{om}})}{1 + \frac{R_z + R_{\text{VD3}} + R_{\text{КН}} + R_{\text{om}}}{R_{z2}}}. \quad (20)$$

Скорость изменения потокосцепления потока рассеяния:

$$\frac{d\Psi_s}{dt} = U_{\text{num}} - U_c - \frac{d\Psi}{dt} - i_{z1} \cdot \frac{d\Psi_s}{dt} = U_{\text{num}} - U_c - \frac{d\Psi}{dt} - i_{z1}. \quad (21)$$

Скорость изменения напряжения на конденсаторе C: $\frac{du_c}{dt} = \frac{i_c}{C}$ (22)

Напряжение на конденсаторе C:

$$u_c = u_c(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_c dt. \quad (23)$$

Уравнения, необходимые для определения других величин, остаются такими же, как и на этапе формирования намагничивающего тока.

Расчетная схема для этапа формирования размагничивающего тока представлена на рисунке 6. Заряженный конденсатор C начинает разряжаться на обмотку электромагнита, меняя направление тока на противоположное, тем самым размагничивая магнитопровод. Токи через ключи SW3 и SW4 равны току в обмотке $i_{\text{SW3}} = i_{\text{SW4}} = i_{z1}$. Токи через ключи SW1 и SW2 отсутствуют.

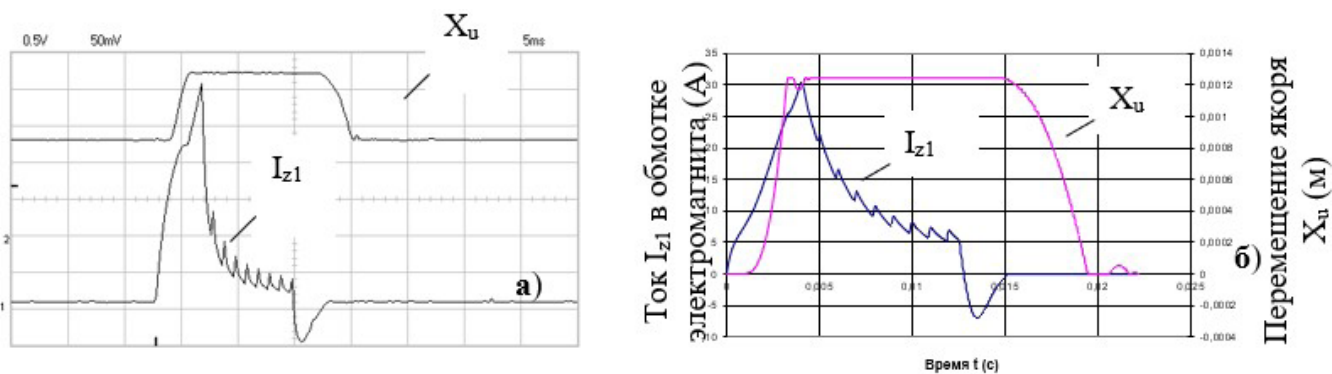


Рисунок 7. Ток в обмотке электромагнита I_{z1} и перемещение якоря X_u : совмещенные экспериментальные и расчетные диаграммы а) экспериментальные осциллограммы; б) расчетные диаграммы.

Уравнения, описывающие процессы на этапе формирования размагничивающего тока, аналогичны описанным выше, отличие лишь в суммарном сопротивлении цепи, ограничивающем ток.

Скорость изменения потокоцепления потока намагничивания:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{-U_c - \frac{d\Psi_s}{dt} - i_z \cdot (2 \cdot R_{KH} + R_z)}{1 + \frac{2 \cdot R_{KH} + R_z}{R_{z2}}} \quad (24)$$

Скорость изменения потокоцепления потока рассеяния:

$$\frac{d\Psi_s}{dt} = -U_c - \frac{d\Psi}{dt} - i_{z1} \cdot (R_z + 2 \cdot R_{KH}) \quad (25)$$

Результатом моделирования является массив, содержащий более двадцати изменяющихся во времени параметров, среди которых основными являются значения напряжения и тока в обмотке, перемещения якоря электромагнита, напряжения на накопительном конденсаторе, тока заряда конденсатора, величины тяговой силы, вихревых токов, а также значения мощности, рассеиваемой в обмотке, корпусе электромагнита и силовых ключах. Полученные результаты расчетных исследований позволяют выбрать рациональные значения основных конструктивных параметров электромагнитного привода, окончательная коррекция которых производится по экспериментальным данным.

Проведенные натурные исследования электромагнитного клапана, управляемого от выбранной схемы, показали, что расхождение экспе-

риментальных и расчетных характеристик составляет не более 12 %, что свидетельствует о корректности созданной модели (рисунок 7).

Литература

Кузин В. Е., Создание и исследование на дизелях системы импульсного электрогидравлического управления параметрами начальной фазы впрыска. Диссертация: Всесоюзный заочный политехнический институт, 1981.

Ахтырский С.А. Повышение быстродействия и энергоэкономичности микроэлектронных систем управления подачей жидкого и газообразного топлива в цилиндры среднеоборотных дизелей. Диссертация: Московский государственный открытый университет, 2003.

Ахтырский С.А., Кузин В.Е. «Расчетное моделирование электромагнитного привода затвора форсунок среднеоборотных дизелей». Материалы V Международной научно-практической конференции «Техника и технологии, политика и экономика: проблемы и перспективы», 2018.

Кузин В.Е., Ахтырский С.А, Данилов Д.С. Устройство управления электромагнитной форсункой. Патент №2210680

Ахтырский Сергей Александрович

Родился 8 ноября 1977 года, г. Коломна. В 1999 г. окончил Коломен-

ский институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» по специальности «Управление и информатика в технических системах». Кандидат технических наук. В 2003 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Повышение быстродействия и энергоэкономичности микроэлектронных систем управления подачей жидкого и газообразного топлива в цилиндры среднеоборотных дизелей». В настоящее время работает в Коломенском институте (филиале), стаж 18 лет. Доцент, диплом от 2009 г. Более 30 публикаций в различных журналах.

Sergey Aleksandrovich Akhtyrsky

Was born on November 8, 1977, Kolomna. In 1999, he graduated from the Kolomna Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University" with a degree in Management and Informatics in Technical Systems. Candidate of Technical Sciences. In 2003, he defended his Ph.D. thesis on the topic "Improving the Speed and Energy Efficiency of Microelectronic Control Systems for the Supply of Liquid and Gaseous Fuel to the Cylinders of Medium-Speed Diesel Engines". Currently, he works at the Kolomna Institute (branch), with 18 years of experience. Associate Professor, diploma from 2009. More than 30 publications in various journals.

Методика обработки больших данных от мобильного приложения в реальном времени

// METHODOLOGY FOR PROCESSING BIG DATA FROM A MOBILE APPLICATION IN REAL-TIME //

**Васильев Г.В.,
Комсомольский-на-Амуре
государственный университет,
г. Комсомольск-на-Амуре**

По мере распространения технологий, которые собирают и анализируют данные, расширяются и возможности бизнеса по анализу данных и извлечению из них новых идей. Сбор информации компании используют для целого ряда задач, включая лучшее понимание повседневных операций, принятие более обоснованных бизнес решений и изучение своих клиентов.

В этой статье автор рассказал о своей методике обработки больших данных от мобильного приложения в реальном времени. Автор разработал новое современное мобильное приложение для операционной системе Android. Мобильное приложение было написано на языке программирования Java в IDE Android Studio. Данное мобильное приложение применялось для исследований эффективности данной методике.

Предприятия умеют извлекать все типы данных практически из каждого укромного уголка. Наиболее очевидными источниками являются активность потребителей на их веб-сайтах, страницах в социальных сетях, телефонные звонки клиентов и живые чаты. Многим компаниям потребительские данные помогают лучше понять и удовлетворить требования своих клиентов. Анализируя поведение клиентов, а также огромное количество отзывов, компании могут быстро изменить свое цифровое присутствие, товары или услуги, чтобы они лучше соответствовали текущему рынку.

Автор провел анализ разных мобильных приложений в различных сферах деятельности [1-8]. Также

Для хранения больших данных, использовалась таблица NoSQL архитектуры, а именно хранилища типа key:value. Для обработки больших данных автор разработал новое программное обеспечение, которое было написано на языке программирования Python.

Сегодня предприятием необходимо разработать инфраструктуру, которая будет обеспечивать масштабируемость больших данных. А также иметь быстрый доступ к данным для последующей обработки и выявления потребностей клиента.

Ключевые слова: большие данные, NoSQL, Google Firebase, Google BigQuery, Java, Python, мобильное приложение.

As technologies that collect and analyze data increase, so does the ability of businesses to analyze data and extract new insights from it. Companies use information gathering for various purposes, including a better understanding of day-to-day operations,

автор проанализировал текущие решения по сбору данных и их хранение [9-16]. Автор предложит свою методику с помощью, которой можно будет повысить эффективность предприятия по анализу поведению клиентов.

Анализ данных

Данные можно разделить на несколько типов:

- Персональные данные. Эта категория включает личную информацию, такую как номера социального страхования и пол, а также личную информацию, включая Ваш IP-адрес, файлы cookie веб браузера и идентификаторы устройств (которые есть на вашем электронном устройстве, например, ноутбук или смартфон).

making better business decisions, and learning about their customers.

In this article, the author talked about his method of processing big data from a mobile application in real-time. The author has developed a new modern mobile application for the Android operating system. The mobile application was written in the Java programming language in the Android Studio IDE. This mobile application was used to study the effectiveness of this technique. A NoSQL architecture table was used to store big data, namely key:value storage. To process big data, the author developed new software that was written in the Python programming language.

Today, an enterprise needs to develop an infrastructure that will ensure the scalability of big data. And also have quick access to data for further processing and identifying customer needs. **Keywords:** microcircuit, active balancing devices, storage batteries, electric power system, algorithm.

Keywords: big data, NoSQL, Google Firebase, Google BigQuery, Java, Python, mobile application.

- Данные о взаимодействии. Этот тип данных подробно описывает, как потребители взаимодействуют с веб-сайтом компании, мобильными приложениями, текстовыми сообщениями, страницами в социальных сетях, электронной почтой, платной рекламой и маршрутами обслуживания клиентов.

- Поведенческие данные. Эта категория включает сведения о транзакциях, такие как история покупок, информация об использовании продукта, например, повторяющиеся действия и качественные данные, например, информация о движении мыши.

- Данные об отношении. Этот тип данных включает показатели удовлетворенности потребителей, критерии покупки и многое другое.

Компании собирают данные различными способами из многих источников. Некоторые методы сбора носят высокотехнологичный характер, в то время как другие носят более дедуктивный характер. Хотя в этих процессах часто используется сложное программное обеспечение. Компании используют изобилие методов для сбора и обработки данных о клиентах по метрикам, проявляя интерес к типам данных, начиная от демографических данных и заканчивая поведенческими данными. Данные о клиентах можно собирать тремя способами:

- напрямую спрашивая клиентов;
- косвенно отслеживая клиентов;
- добавляя другие источники данных о клиентах к своим собственным данным.

Разработка программного обеспечения

Далее будет представлена разработка нового современного мобильного приложения для работы в финансовой сфере. Данное мобильное приложение собирает поведенческие данные пользователей. Для хранения данных использовалась NoSQL таблица. Также будет разработано программное приложение для получения, анализа и обработки данных о пользователях из NoSQL таблицы.

Некоторый функционал в мобильном приложении использует сервис Firebase от Google. Google Firebase – это набор инструментов, которые поддерживают разработку мобильных и веб-приложений.

Первым этапом для реализации процесса сбора данных по поведению пользователя в мобильном приложении, является аутентификацией. Аутентификация – процедура проверки подлинности, например:

- проверка подлинности пользователя путём сравнения введённого им пароля (для указанного логина) с паролем, сохранённым в базе данных пользовательских логинов;
- подтверждение подлинности электронного письма путём проверки цифровой подписи письма по открытому ключу отправителя;
- проверка контрольной суммы файла на соответствие сумме, заявленной автором этого файла.

Технология аутентификации обеспечивает контроль доступа к системам, проверяя, совпадают ли учетные

данные пользователя с учетными данными в базе данных авторизованных пользователей или на сервере аутентификации данных. При этом аутентификация обеспечивает безопасность информационных систем.

Существует несколько типов аутентификации. В целях идентификации пользователей обычно используется идентификатор пользователя, а проверка подлинности происходит, когда пользователь предоставляет учетные данные, такие как пароль, который соответствует его идентификатору пользователя. Практика запроса идентификатора пользователя и пароля известна как однофакторная проверка подлинности. В последние годы компании усилили аутентификацию, запрашивая дополнительные факторы аутен-

Identifier	Providers	Created	Signed In	User UID
t3@g.ru	✉	Feb 2, 2022	Feb 2, 2022	tYNTot1HFKHkByShyOTNb3ZoW2
t4@g.ru	✉	Feb 2, 2022	Feb 2, 2022	b1NTxB82qwWkoWfTjtj1XIDRDma...

Рис. 2. Таблица пользователей

тификации, такие как уникальный код, который предоставляется пользователю через мобильное устройство при попытке входа в систему, или биометрическую подпись, такую как сканирование лица или отпечаток пальца. Это известно как двухфакторная аутентификация.

На рисунке 1 представлен процесс регистрации в мобильном приложении.



Рис. 3. Окно авторизации



Рис. 1. Процесс регистрации

На рисунке 2 можно увидеть, что пользователь "t3g.ru" добавился в таблицу пользователей.

User UID будет служить для прохождения аутентификации пользователя во время совершения некоторых действий в мобильном приложении.

Далее, с помощью этих данных можно уже авторизоваться (рисунок 3–4).

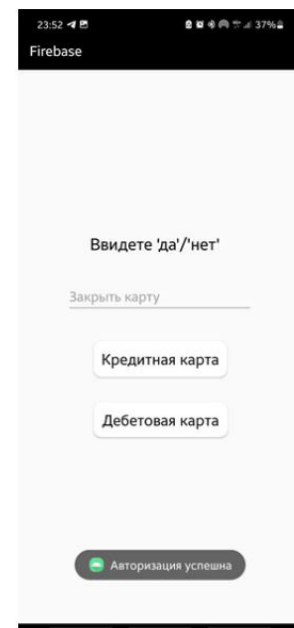


Рис. 4. Успешная авторизация

```
findViewById(R.id.credit_btn).setOnClickListener(view -> {
    if(answer.getText().toString().equals("да"))
        myRef.child("users").child(user.getUid()).child("card_action").child("credit")
            .child("close").setValue(1);
});
```

Рис. 5. Код записи значения в таблицу

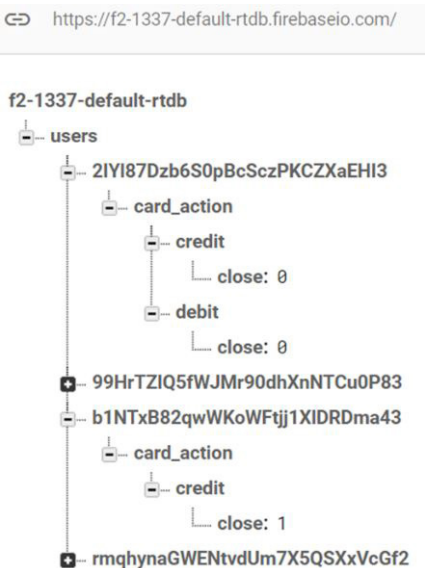


Рис. 6. Структура таблицы



Рис. 7. Ввод данных

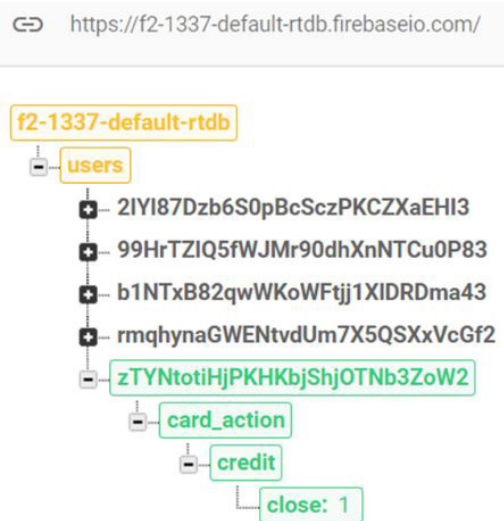


Рис. 8. Добавление данных в таблицу



Рис. 9. Изменение данных

После регистрации и авторизации пользователем в мобильном приложении можно отслеживать определенные действия пользователя. Например, действие открытие карты. Если вести слово "да" и на-

жать на кнопку "Кредитная карта", то в таблице записывается соответствующая запись. На рисунке 5 представлена часть кода, которая записывает значение в таблицу.

На рисунке 6 представлена

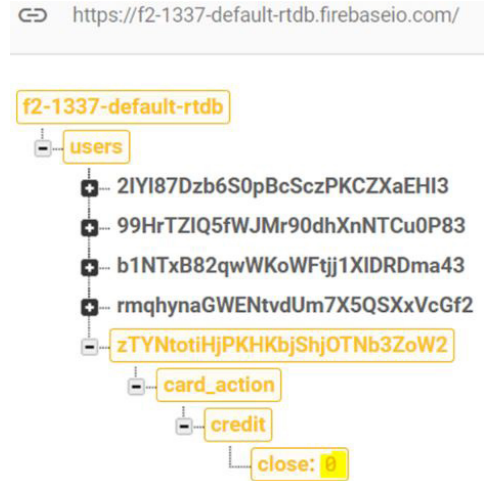


Рис. 10. Изменение данных в таблице

структура таблицы. Таблица является NoSQL архитектуры. В списке "users" хранятся значения привязанных UID пользователей. Далее для каждого пользователя есть два объекта "credit" и "debit", то есть кредитная и дебетовая карта. Значение 0 в числовой переменной "close" означает, что карта открыта, а значение 1 означает, что карту нужно закрыть.

Преимущества такой таблицы является, что она работает в реальном времени. На рисунках 7-8 представлен процесс добавления данных в таблицу.

На рисунках 9-10 представлен процесс изменения данных в таблице.

После чего можно получать и обрабатывать данные. На рисунке 11 представлен результат выполнения программного обеспечения. Программное обеспечение считала данные о действиях пользователя из текущей таблицы.

Вывод

Сегодня необходимо собирать, хранить и обрабатывать огромное количество данных, чтобы конкурировать на рынке. Такие процессы необходимы для лучшего понимания клиента. Ведь те кто будет лучше понимать своего клиента, будут делать лучше продукт или услугу для них.

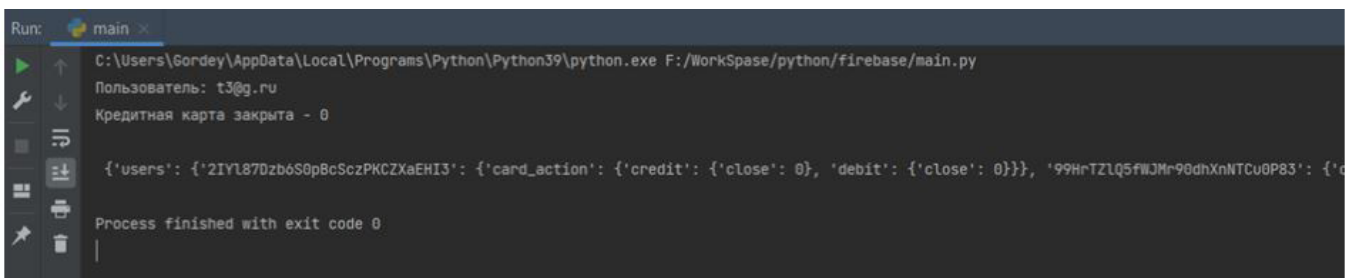


Рис. 11. Получение данных из таблицы

Тем самым развивать и сам бизнес или даже отрасль в целом.

Для разработки нового современного мобильного приложения для операционной системе Android применялись самые актуальные технологии и методики. Мобильное приложение было написано в IDE Android Studio на языке программирования Java. Для хранения большого объема данных использовалась NoSQL архитектура вида key:value. Для этой задачи была выбрана платформа Google BigQuery. Программное обеспечение для получения и обработки данных из NoSQL таблицы было разработано с помощью языка программирования Python.

Таким образом предприятие, которое работает в финансовой сфере легко сможет занять высокие позиции в рейтинге. Так как будет анализировать и понимать своего потребителя.

Литература:

1. Разумова О.И. Банковские мобильные приложения как средство цифровизации выдачи кредита в рамках проектного финансирования застройщиков // Заметки ученого. 2022. № 5. С. 101-109
2. Шадрин В.Г. Мобильные приложения банков как важнейший инструмент цифровых маркетинговых коммуникаций в финансовой сфере / В.Г. Шадрин, М.А. Кузин // Креативная экономика. 2022. Том 16. № 9. С. 3473-3486. DOI: 10.18334/ce.16.9.116302
3. Щетинин Н.С. Мобильное приложение для учета финансов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. № 3(29). С. 104-110
4. Крамаренко т.а. Разработка интеллектуальных мобильных приложений / Т.А. Крамаренко, Е.Л. Фешина, Т.В. Лукьяненко // Известия ЮФУ. технические науки. 2022. № 2(226). с. 249-259. DOI: 10.18522/2311-3103-2022-2-249-259
5. Широков С.А. Мобильное приложение "портфель инвестиций" / С.А. Широков, О.И. Белозеров // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2022. Том 2. С. 438-440
6. Дорохин М.А. Проектирование мобильного приложения для операционной системы android // Студенческий вестник. 2022. № 18-15 (210). С. 5-7

7. Зуева К.А. Сервисы для создания мобильных приложений / К.А. Зуева, В.Ю. Белаш // дневник науки. 2022. № 4(64)

8. Басшыкызы Д. Разработка мобильного приложения // Наука, техника и образование. 2022. № 3 (86). С. 39-40

9. Скрыпников А.В. Парсинг данных для мобильного приложения университета / А.В. Скрыпников, В.В. Денисенко, А.А. Берестовой // Вестник воронежского института ФСИН России. 2022. № 2. С. 126-132

10. Васильев Г.В. Сбор данных о погоде через API Openweather / Г.В. Васильев, В.Д. Бердоносов, А.В. Васильев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 86-88

11. Васильев, Г. В. Программный-аппаратный комплекс для сбора данных, которые применяются в обучении искусственного интеллекта в области энергетики / Г. В. Васильев, В. Д. Бердоносов // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12-16 апреля 2021 года / Редколлегия: Э.А. Дмитриев (отв. ред.), А.В. Космынин (зам. отв. ред.). – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – Ч. 3. – С. 163 – 165. DOI: 10.17084/978-5-7765-1480-7-2021-163

12. Винников М.Д. Проектирование базы данных для мобильного приложения / М.Д. Винников, К.В. Гудков // Современные информационные технологии. 2022. № 35 (35). С. 117-119. DOI: 10.46548/СIT-2022-0035-0030

13. Васильев Г.В. Оптимизированное хранение больших данных с помощью Apache Hive / Г.В. Васильев, А.В. Васильев // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 89-91. DOI: 10.17084/978-5-7765-1502-6-2022-89

14. Васильев Г.В. Параллелизм и отказоустойчивость в обработке больших данных / Г.В. Васильев, А.В. Васильев // Актуальные проблемы

информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности: Материалы I Международной научно-практической конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 257-260. DOI: 10.17084/978-5-7765-1488-3-2021-257

15. Дронов Р.Д. Сравнительный анализ субд, используемых для мобильных приложений / Р.Д. Дронов, А.Н. Петрова // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Международной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. С. 15-17

16. Васильев Г.В. Применение программной модели Map/Reduce в анализе больших данных в области медицины / Г.В. Васильев, А.В. Васильев // Актуальные проблемы информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности: Материалы I Международной научно-практической конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 2021. С. 260-263. DOI: 10.17084/978-5-7765-1488-3-2021-260

Васильев Гордей Владимирович

Родился в 1997 году. В 2020 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» по специальности «Информационная безопасность автоматизированных систем». В настоящее время работает в ООО «ХКФ Банк», аспирант ФГБОУ ВО «КНАГУ». Имеет Благодарственное письмо от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Vasilev Gordei Vladimirovich

Born in 1997. In 2020, he graduated from the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Komsomolsk-on-Amur State University with a degree in Information Security of Automated Systems. Currently, he works at HKF Bank LLC, a postgraduate student of FGBOU VO KnAGU. He has a Letter of Appreciation from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Способ расчета основных параметров гибридной силовой установки для специальных транспортных средств

// A METHOD FOR CALCULATING THE BASIC PARAMETERS
OF A HYBRID POWER PLANT FOR SPECIAL VEHICLES //

**Чебоксаров А.Н., д.т.н.,
Сибирский государственный
автомобильно-дорожный
университет
г. Омск**

Выполнено теоретическое обоснование способа расчета параметров гибридного силового агрегата для специальных транспортных средств при условии обеспечения работы специального оборудования на базе автомобильного шасси. Результаты проведенных исследо-

ваний позволяют определить мощность гибридного силового агрегата автомобильного шасси, мощность генератора и емкость АКБ, а также выбрать ДВС гибридного силового агрегата автомобильного шасси.

Ключевые слова: специальное транспортное средство, генератор, гибридный силовой агрегат, электрический двигатель, мотор-генератор.

The theoretical substantiation of the method for calculating the parameters

of a hybrid power unit for special vehicles has been carried out, provided that special equipment based on an automobile chassis is provided. The results of the conducted research allow us to determine the power of the hybrid power unit of the automobile chassis, the power of the generator and the capacity of the battery, as well as to select the internal combustion engine of the hybrid power unit of the automobile chassis.

Keywords: special vehicle, generator, hybrid power unit, electric motor, generator motor.

Введение

В настоящее время в мире ведется постоянная борьба за уменьшение зависимости от нефтепродуктов. Распространение получают электрические и гибридные автомобили. Развитие современной мобильной техники (строительной, аварийно-восстановительной, спасательной, военной и т.д.), позволяет быстро передвигаться и выполнять различные специфические (специальные) задачи это требует создания специальных транспортных средств (СТС). Следует обратить внимание, что современные СТС, также нуждаются в совершенствовании и повышении их экономичности [1, 2, 3].

В большинстве случаев в конструкции СТС используются электрические приводы (генераторы, электродвигатели) технологического оборудования, которые приводятся в действие от автомобильного ДВС. Одним из перспективных направлений развития СТС является создание специального оборудования с использованием элементов гибридных (электродвигатель и ДВС) силовых агрегатов автомобильного шасси. В совокупности, все это при-

водит к необходимости нахождения теоретической основы для создания современных СТС с гибридными силовыми агрегатами [3, 4, 5].

Анализ публикаций

Известно [3], что специальные и специализированные автотранспортные средства, это специальные машины на базе автомобильных шасси, которые перемещают специальное оборудование (коммунальное, строительно-монтажное, пожарное, военное и др.) к местам применения по назначению, а также перевозят различные грузы.

Характерным примером современных СТС могут быть автомобильные краны типа КТА-25 и КТА-28, предназначенные для выполнения строительно-монтажных работ. Эти СТС, кроме автомобильного шасси, имеют в своем составе специальное оборудование – грузоподъемное оборудование и механизм привода (электрические двигатели), работающий от источника электрического тока. Во время работы, электродвигатели механизма привода крана получают электропитание от генератора приводимого в движение от ДВС автомобильного шасси [3].

Следует отметить [3], что к СТС постоянно выдвигаются требования, по повышению эффективности их эксплуатации. На это время путями повышения эффективности применения СТС может быть увеличение их:

- мобильности;
- надежности;
- простоты конструкции и эксплуатации;
- возможности выполнения задач по назначению в автономных условиях (в условиях отсутствия систем электроснабжения).

Основные положения, касающиеся выбора и обоснования параметров автомобилей с силовыми агрегатами, использующими двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и гибридные (электрические двигатели и ДВС одновременно) представлены в [4, 5, 6].

Согласно [6], изменение величины скорости автомобиля (СТС) от начала торможения V_1 до окончания V_2 приводит к изменению кинетической энергии СТС:

$$\Delta W_{cm} = \frac{m_{cm}}{2} \cdot (V_2^2 - V_1^2), \quad (1)$$

где m_{cm} – общая масса СТС, кг.

Понятно, что во время торможения $V_1 > V_2$ и кинетическая энергия СТС становится отрицательной $\Delta W_{см} < 0$, то есть СТС (а именно тормозные механизмы) отдает свою кинетическую энергию [5].

Если предположить, что СТС полностью останавливается ($V_1 = 0$ м/с), его кинетическую энергию, преобразуя выражение (1) можно определить как:

$$\Delta W_{см} = \frac{m_{см} \cdot V_{см}^2}{2}, \quad (2)$$

где $V_{см}$ – скорость СТС в начале торможения ($V_{см} = -V_1$), м/с.

При рекуперативном торможении электродвигатель автомобильного шасси СТС переключается в режим генератора. Кинетическая энергия СТС (2) преобразуется в электрическую и используется для зарядки АКБ [5].

Учитывая расходы на механическое трение в различных составляющих двигателя и трансмиссии гибридного автомобиля, дорожные условия и коэффициент полезного действия (КПД) генератора (мотор-генератора) около 80 % кинетической энергии СТС при таком торможении могут превращаться в электрическую энергию.

Выражения (1) и (2) представляют собой теоретическое обоснование целесообразности применения гибридных силовых агрегатов в конструкции автомобилей (автомобильных шасси). Однако экономические преимущества, относительно применения в конструкции именно СТС не освещают [4, 5].

Для определения динамичности автомобиля и любого другого СТС на базе автомобильного шасси в работе [2] в качестве критерия предложено использовать коэффициент динамичности. Но в указанной работе коэффициент динамичности определен только для автомобиля, который оборудован ДВС и не учитывается специфика динамики гибридного силового агрегата.

Анализ последних публикаций показал, что в них отсутствуют рекомендации по выбору и теоретическому обоснованию конструкции и характеристик специального оборудования СТС с использованием элементов гибридного силового агрегата автомобильного шасси.

Целью статьи является теоретическое обоснование способа расчета параметров гибридного силового агрегата для специальных автотранспортных средств при условии обеспечения работы специального оборудования элементами автомобильного шасси.

В настоящее время практически все автомобильные шасси СТС используют ДВС. Отлаженное производство, система технического обслуживания и ремонта, надежность этих двигателей в сочетании с механической (гидромеханической) трансмиссией почти не приводят к развитию других направлений создания силовых агрегатов. Также следует отметить, что прогресс в любой отрасли является поэтапным процессом развития с четко выделенными преимуществами, поэтому конечный успех использования того или иного силового агрегата в конструкции СТС измеряется успешно выполненными задачами с наибольшей эффективностью.

На данном этапе развития технологий гибридные и электрические силовые агрегаты применяют преимущественно в легковых автомобилях, а не на СТС.

Использование электрического привода в конструкции автомобильных шасси СТС ведет к значительным изменениям в технологиях производства из-за того, что АКБ, которые используются для питания электродвигателей привода колес автомобиля также могут применяться и для привода электрической части (электродвигателей привода, электрических систем управления, другого электрооборудования) технологического оборудования.

Рассмотрим основные параметры гибридного силового агрегата для СТС и способ их расчета по условию обеспечения работы специального оборудования и автомобильного шасси.

Определение мощности гибридного силового агрегата автомобильного шасси, необходимой для перемещения СТС в различных режимах движения

Общая мощность гибридного силового агрегата автомобильного шасси, необходимая для перемещения СТС в различных режимах

движения и условиях эксплуатации может быть определена следующим образом:

$$N_{суб} = N_{носм} + N_{дон}, \quad (3)$$

где $N_{носм}$ – мощность, необходимая для поддержания постоянной скорости движения $V_{носм}$, определяемая из зависимости [2, 3, 5]:

$$N_{носм} = \frac{V_{носм}}{\eta_{мп}} \cdot \left(m_{см} \cdot g \cdot f + \frac{C_x}{2} \cdot \rho \cdot F \cdot V_{носм}^2 \right), \quad (4)$$

где $\eta_{мп}$ – КПД трансмиссии;

C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

F – площадь лобового сопротивления СТС, м²;

$N_{дон}$ – дополнительная мощность, кВт.

Дополнительная мощность учитывает условия движения СТС и может быть определена по выражению:

$$N_{дон} = N_{разг} + N_{e1} + N_{e2} + N_{e3} + N_{e4}, \quad (5)$$

где $N_{разг}$ – мощность необходима для разгона СТС от до, кВт.

N_{e1} – мощность необходимая для сохранения постоянной скорости СТС во время движения на подъеме, кВт;

N_{e2} – мощность необходимая для обеспечения устойчивого поворота СТС с необходимой угловой и линейной скоростью, кВт;

N_{e3} – мощность необходимая для поддержки созданного рулевым управлением необходимого управляющего воздействия при повороте СТС, кВт;

N_{e4} – мощность необходимая для обеспечения преодоления других сопротивлений движению СТС, определяется с помощью зависимости приведенных [2].

Исходя из характеристик ДВС, электродвигателя (мотор-колеса, мотор-генератора) и учитывая особенности работы автомобильного шасси СТС оснащенного гибридным силовым агрегатом, и (3), принимаем:

$$N_{носм} = N_{ДВС}, \quad N_{дон} = N_{ЭД}, \quad (6)$$

где $N_{ДВС}$ – мощность ДВС, необходимая для разгона СТС от скорости от до $V_{носм}$ кВт;

$N_{эд}$ – суммарная мощность электрических двигателей, кВт.

Определение мощности генератора (мотор-генератора) и емкости АКБ автомобильного шасси при условии обеспечения работы специального оборудования

В связи с тем, что мотор-генератор автомобильного шасси предполагается использовать как резервный источник питания для специального оборудования СТС, мощность мотор-генератора не должна быть ниже мощности, потребляемой специальным оборудованием СТС:

$$N_{M-Г} \geq N_{CO} + N_{AKB}^3 \quad (7)$$

где N_{CO} – мощность, потребляемая специальным оборудованием СТС, кВт;

N_{AKB}^3 – мощность, необходимая для зарядки АКБ, кВт.

Тогда:

$$N_{M-Г} \geq N_{AKB} = I_{раз} \cdot U_{AKB} \quad (8)$$

где N_{AKB} – мощность АКБ, кВт;

$I_{раз}$ – сила тока разряда АКБ, А;

U_{AKB} – напряжение АКБ, В.

Характеристики АКБ (U_{AKB} и $I_{раз}$) возможно подобрать, соединив последовательно-параллельно аккумуляторы в единую батарею. В свою очередь, емкость АКБ определим через работу мотор-генератора и мотор-колес, которая расходуется на разгон в течение некоторого времени t до постоянной скорости. При этом будет расходоваться мощность $N_{эд}(t)$. Энергию, затрачиваемую мотор-генератором и мотор-колесом определяем по выражению:

$$E_{эдВ} = \int_0^{t_{пр}} N_{эдВ} dt, \quad (9)$$

где $t_{пр}$ – время разгона, с.

Ток разряда АКБ определяем:

$$I_{раз} = \frac{N_{эдВ}}{U_{AKB}}, \quad (10)$$

а емкость АКБ:

$$E_{AKB} = I_{раз} \cdot t. \quad (11)$$

Напряжение АКБ (U_{AKB}) возможно рассчитать по параметрам мотор-генератора. По условию последова-

тельного соединения аккумуляторов их количество определяется по выражению:

$$n_A = \frac{U_{AKB}}{U_A}, \quad (12)$$

где U_A – напряжение одного аккумулятора под нагрузкой, В.

Применение гибридного силового агрегата в автомобильном шасси СТС помимо своей основной функции дает возможность осуществлять питание специального оборудования. В качестве источников (резервных источников) в этом случае могут быть мотор-генератор и АКБ автомобильного шасси. При выборе характеристик АКБ и мотор-генератора следует исходить из того, что они должны обеспечивать ток нагрузки равный или больший, чем ток обеспечиваемый штатным генератором СТС.

Для обеспечения установленного режима заряда АКБ оптимальная величина электрического тока определяется по формуле:

$$I_{з АКБ} = 0,5 \cdot E_{AKB}. \quad (13)$$

Учитывая КПД, мощность мотор-генератора, необходимая для подзарядки АКБ определяется как:

$$N_{M-Г} = \frac{U_{M-Г} \cdot I_{з M-Г}}{\eta_{M-Г}}, \quad (14)$$

где $U_{M-Г}$ – напряжение мотор-генератора ($U_{M-Г} \approx 1,14 \cdot U_{AKB}$), В;

$I_{з M-Г}$ – зарядный ток мотор-генератора ($I_{з M-Г} = I_{з АКБ}$), А

$\eta_{M-Г}$ – КПД мотор-генератора.

При работе специального оборудования мотор-генератор гибридного силового агрегата автомобильного шасси должен одновременно обеспечить работу специального оборудования СТС и зарядку АКБ. В этом случае мощность, расходуемая на питание специального оборудования определяется с учетом условия (6). Мощность мотор-генератора автомобильного шасси можно определить как сумму мощностей, расходуемых для обеспечения работы специального оборудования СТС ($N_{CO} = N_{эCO}$) и зарядки АКБ с учетом выражений (13) и (14), как:

$$N_{M-Г} = N_{эCO} + N_{з АКБ}. \quad (15)$$

Определенную величину мощности генератора (мотор-генератора)

целесообразно округлить до ближайшего значения типоразмерного ряда в большую сторону в соответствии с [7].

Выбор ДВС гибридного силового агрегата автомобильного шасси

Во время движения СТС мощность двигателя внутреннего сгорания и мощность мотор-генератора можно определить через суммарную мощность гибридного силового агрегата автомобильного шасси [3, 4, 5]:

$$N_e^{зуб} = N^{зуб} = N_{эдВ} + N_{ДВС}. \quad (16)$$

С учетом [2, 8], в качестве критерия динамичности СТС оснащенного гибридным силовым агрегатом целесообразно установить коэффициент динамичности:

$$K_{дин}^{зса} = \frac{N_e^{зуб}}{N_{e0}} \leq K_{дин}^{max}. \quad (17)$$

Суммарную мощность автомобильного шасси СТС с учетом зависимости (17) можно определить как:

$$N_e^{зуб} = K_{дин} \cdot N_{e0} \quad (18)$$

Учитывая (15), (16), по разнице между суммарной мощностью силового агрегата автомобильного шасси и суммарной мощности электрических двигателей (мотор-генераторов) определяем суммарную мощность ДВС, по выражению:

$$N_e = N_e^{зуб} - N_{эдВ}. \quad (19)$$

По выражениям (16) – (19) определяем необходимую мощность ДВС автомобильного шасси СТС оснащенного гибридным силовым агрегатом.

Для выбора ДВС, который наиболее целесообразно использовать в СТС с гибридным силовым агрегатом, принимаем наиболее близкий по характеристикам мощности дизельный двигатель.

Заключение

Проведено теоретическое обоснование способа расчета основных параметров гибридного силового агрегата для специальных транспортных средств по условию обеспечения работы специального оборудования и автомобильного шасси.

Результаты проведенных исследований позволяют:

- определить мощность гибридного силового агрегата автомобильного шасси, которая необходима для перемещения СТС в разных режимах движения;
- определить мощность генератора (мотор-генератора) и емкость АКБ автомобильного шасси по условию обеспечения работы специального оборудования;
- выбрать ДВС гибридного силового агрегата автомобильного шасси.

Литература:

1. Фасхиев Х.А. Обоснование выбора рациональных параметров автомобиля при разработке технического задания / Х.А. Фасхиев. – Уфа: УГАТУ, 2013. – т. 17, №3 (56) – С. 117 – 122.
2. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов / М.А. Подригало, В.В. Шелудченко – Суми: СНАУ, 2015.– 213 с.
3. Краткий автомобильный справочник: Специальные и специализированные автотранспортные средства: Коммунальная техника, строительно-монтажная техника, спецтехника для нефтегазового комплекса, пожарная техника, автомастерские и автолаборатории / М.И. Грифф, И.А. Венгеров, В.С. Олитский и др. – М.: Автополис-плюс, 2005. – Т4. – 472 с.

4. К вопросу выбора мощности и алгоритма работы силовой установки гибридного автомобиля. В.В. Ломакин, А.А. Шабанов, А.В. Шабанов, / Журнал автомобильных инженеров. – №6 (83), 2013.

5. Бажинов А.В., Смирнов А.П., Сериков С.А., Игнатов А.В., Колесников А.В. Гибридные автомобили. – Харьков, ХНАДУ, 2008. – 327 с.

6. Кирсанов М. Н. Теоретическая механика / Под ред. А. И. Кириллова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 384 с.

7. ГОСТ 12139-84. Машины электрические вращающиеся. Ряды номинальных мощностей, напряжений и частот. – М.: Издат-во стандартов, 1985.– 6 с.

8. Рогозин И. В., Новичонок С. М., Гнатов А. В., Рогозина А. И. Способ расчета основных параметров гибридного силового агрегата для специализированных автотранспортных средств. // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2018. – №8. – С. 5 – 12.

Чебоксаров Алексей Николаевич

Родился в 1985 году. В 2007 году окончил ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (строительные, дорожные и коммунальные машины)».

Кандидат технических наук. В 2011 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Совершенствование технических средств диагностирования двигателей силовых установок и гидроагрегатов дорожно-строительных машин». Опыт работы - 13 лет в области эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов. В настоящее время является доцентом кафедры «Автомобильный транспорт» СибАДИ. Автор 40 научных трудов и обладатель 4 патентов.

Cheboksarov Alexey Nikolaevich

Was born in 1985. In 2007 he graduated from the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) with a degree in Service of transport and technological machines and equipment (construction, road and utility vehicles). Candidate of Technical Sciences. In 2011 he defended his Ph.D. thesis on the topic "Improvement of technical means for diagnosing engines of power plants and hydraulic units of road construction machines". Work experience - 13 years in the field of operation of transport-technological machines and complexes. Currently, he is an assistant professor at the Department of Automobile Transport at SibADI. Author of 40 scientific papers and holder of 4 patents.

Использование альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте

// USE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES IN RAILWAY TRANSPORT //

Абрамян А.Э.
Российский университет
транспорта (МИИТ),
г. Москва

Среди множества прорывных технологий особое внимание заслуживает идея использования альтернативных и возобновляемых источников энергии в сфере отечественного и зарубежного железнодорожного транспорта, как важного инновационного, конкурентоспособного, передового технологического

Важным звеном общественного производства во все времена является энергообеспечение, которое удовлетворяет участников производства по стоимостным и качественным характеристикам. Использование такого энергообеспечения служит предпосылкой и определяющим фактором экономического роста предприятия и отрасли.

Рассматривая любой исторический период развития общества, прослеживается тесная взаимосвязь между развитием энергетической отрасли и научно-техническим прогрессом. Использование тех или иных источников энергообеспечения возможно с тем условием, что для их потребления создано специальное техническое оборудование.

На закате 19 века человечество изобрело бензиновый и дизельный двигатель внутреннего сгорания, которые заложили фундамент процессу массовой моторизации, модернизации водного и железнодорожного транспорта, появлению автомобильного и авиационного видов транспорта, разработке новых машин и механизмов, использующих двигатели внутреннего сгорания. В результате этих явлений произошло резкое увеличение уровня использования и добычи нефтяного

элемента. Автором статьи представлены результаты анализа новейших технологических решений и опыта их внедрения в транспортной отрасли мировых держав.

Ключевые слова: возобновляемые и нетрадиционные источники энергии, водородное топливо, аккумуляторные батареи.

Among the many breakthrough technologies, the idea of using alternative and renewable energy

сырьевого ресурса. Нефтяное сырье отличалось высокими энергетическими характеристиками и относительной простотой переработки в всевозможные моторные и котельно-печные топлива, смазочные средства [4].

Позднее, во многих мировых державах наряду с активно развивающейся нефтяной промышленностью становится повсеместным добыча и переработка природного газа. Природный газ зарекомендовал себя как эффективное и экологически чистое топливо для выработки тепловой и электрической энергии, а также как подходящее сырье для химического производства.

Появление новых источников энергии не вытесняло старые из оборота, а лишь отодвигало их на второй план, давая возможность оставаться востребованными в тех сферах потребления, где это было экономически эффективным. Вследствие этого зародилась тенденция в мировой энергетике – применение разнообразных по структуре и сфере применения энергетических ресурсов.

Одним из крупнейших потребителей энергетических ресурсов по праву считается транспорт. Уже во второй половине 20 века на долю

sources in the field of domestic and foreign railway transport deserves special attention, as an important innovative, competitive, advanced technological element. The author of the article presents the results of the analysis of the latest technological solutions and the experience of their implementation in the transport industry of the world powers.

Keywords: renewable and unconventional energy sources, hydrogen fuel, batteries.

транспортной отрасли приходилось приблизительно 29 % потребления энергоресурсов. Нефть удовлетворяла 97–99 % энергопотребления всех видов транспорта. По наблюдениям специалистов, доля моторных топлив, используемых транспортными средствами в большинстве капиталистических стран, достигало 49–50% общего потребления нефтяных продуктов [2].

Ограниченные запасы нефти и специфика локализации нефтяных залежей при ежегодно растущем уровне объема добычи, а также невысокое качество нефтяного сырья на открываемых месторождениях привели к росту затрат на их разработку. Начинается процесс изменения структуры топливно-энергетического баланса в экономике. Происходит перевод большинства потребителей энергии с жидкого на твердое и газообразное топливо без особых крупных затрат и технических препятствий. В транспортной сфере острота энергетической ситуации оставалась в связи с зависимостью транспорта от нефтепродуктов [4].

Специалисты мировой энергетики прогнозировали в новом столетии сохранение роли двигателей внутреннего сгорания в транспортной отрасли. Нефтяное сырье будет

долгое время продолжать иметь важное значение в ресурсообеспечении транспортных средств. Вместе с этим, возрастет использование природного газа, природного битума, угля, горючего сланца, биомассы и других новых источников сырья для преобразования в моторные топлива. В научной литературе их начинают объединять определением «альтернативные источники сырья», а топлива, изготавливаемые на их основе, называют «альтернативные моторные топлива» [4].

С начала 21 века в развитых странах активно проводятся исследования в области изготовления и использования альтернативных моторных топлив. Учеными и производителями было предложено множество различных методов получения и применения большого спектра таких альтернатив. В качестве основных направлений исследований в этой области рассматривались пути расширения сырьевой базы, поиск энергоэффективных топливных ресурсов и рационализация их использования. Таким образом, подготавливались все условия для возможной замены топлива, производимого из нефтяного сырья.

Целью научного исследования является подтверждение целесообразности и высокой значимости внедрения зарубежных, а также развитие собственных технологических разработок в сфере применения альтернативных и возобновляемых источников энергии на транспорте.

В процессе научного исследования автором решаются задачи по проведению анализа отечественного и зарубежного опыта использования и разработок альтернативных и возобновляемых источников энергии, а также дается оценка возможных перспектив применения данных разработок в российском железнодорожном транспорте.

В целях всестороннего и глубокого анализа исследуемой проблемы автором используются общенаучные и эмпирические методы исследования:

- теоретический анализ литературы;
- классификация;
- сравнение;
- описание;

Для того чтобы в 2022 году определить перспективы использования нетрадиционного энергообеспечения в железнодорожной отрасли, проанализируем сложившиеся тенденции в мировой и Российской практике.

В ряде Европейских стран, где сегодня приблизительно 20% железнодорожных перевозок выполняется на дизельной тяге, всё чаще возникают настроения постепенно заменить тепловозы и дизель-поезда на более экологический подвижной состав.

Помимо традиционной системы электроснабжения от контактных проводов и контактных рельсов, современными альтернативными вариантами является использование водородных топливных элементов и тяговых аккумуляторов для питания железнодорожного транспорта. Имеют место также и гибридные разработки – дизель-контактный и дизель аккумуляторный подвижной состав, при эксплуатации которых выбросы углекислого газа присутствуют, но значительно меньше, чем у традиционной системы электроснабжения [1].

С 2018 года в немецкой Нижней Саксонии в эксплуатации находятся два моторвагонных поезда Coradia iLint, произведенных Французской компанией Alstom, с питанием от водородных топливных элементов. Остальные регионы Германии также проявляют интерес к инновацион-

ным видам поездов. Заказы на новые поезда кратно увеличиваются от года к году по всей стране. Например, к концу 2022 года количество таких поездов в провинции Рейн-Майн достигнет 27 единиц [1]. Сами инженеры Alstom позиционируют Coradia iLint как первый в мире пассажирский поезд, работающий на водородном топливе и вырабатывающий электроэнергию для тяги. При передвижении поезд демонстрирует нулевые значения уровня выбросов и минимальный уровень шума, выпуская при этом только пар и конденсированную воду в качестве выхлопных газов. Инновационными составляющими iLint являются такие элементы, как экологически чистое преобразование энергии, рациональное хранение энергии в батареях и интеллектуальное управление тяговой силой и свободной энергией. Данный проект активно поддерживается Министерством экономики и мобильности Германии [7]. Само финансирование осуществлялось непосредственно правительством Германии в рамках реализации Национальной программы инноваций в области технологий водородных и топливных элементов [5].

При получении водородного топлива принято различать тип водорода по цветовой гамме, в зависимости от специфики используемого источника энергии и показателей выбросов углекислого газа. Специалист-эксперт Торгового представи-

Таблица 1. Классификация видов водородного топлива в зависимости от источника энергии и его экологических характеристик [5].

Зеленый водород	Производится путем электролиза воды. Для процесса электролиза используется только электроэнергия возобновляемых источников, благодаря чему в процессе получения водорода не выделяется CO ₂ .
Серый водород	Производится из ископаемого сырья. Под воздействием тепла природный газ преобразуется в водород и CO ₂ , после чего CO ₂ выбрасывается в атмосферу, усиливая глобальный парниковый эффект. От производства 1 т. водорода выделяется 10 т. CO ₂
Голубой водород	Получение голубого водорода аналогично серому. Различие заключается в улавливании и хранении CO ₂ при производстве, избегая негативных выбросов в атмосферу.
Бирюзовый водород	Получают путем термического деления метана. Вместо CO ₂ происходит образование твердого углерода. Процесс считается углеродно-нейтральным в связи с подачей тепла, выделяемого из возобновляемых источников энергии в высокотемпературный реактор.

тельства РФ в ФРГ Тягусов М.М. приводит следующую классификацию основных видов водорода согласно цветовой гамме:

Мировой общественности стало известно о финансировании министерством экономики и энергетики Германии проекта разработки гибридного поезда Flirt Akku от компании Stadler, снабженного тяговыми аккумуляторными для использования на неэлектрифицированных участках. Максимальная дальность прохождения дистанции на участках без электричества достигает 185 км. После успешных испытаний, на региональном маршруте Шлезвиг-Гольштейн, где уровень электрификации маршрута не более 30 %, были запущены 55 аккумуляторных электропоездов Stadler «FLIRT Akku». Автономный пробег на питании от таких батарей в среднем достигает 150 км. Подзарядка аккумуляторов осуществляется от специально устроенных коротких контактных проводов на станциях либо от обычной контактной сети электрифицированного пути. Параллельно на юго-западе Германии протестирован аккумуляторный электропоезд Talent 3, построенный компанией Bombardier.

В то же время, решение об эксплуатации водородного поезда Alstom Coradia iLint принято в Ав-

стрии. После трехмесячного тестирования поезда на 4 региональных линиях страны Австрия становится второй европейской страной, одобрившей использование Coradia iLint и сделав важный шаг на пути к использованию зеленой альтернативы дизельным поездам. На Австрийском железнодорожном транспорте в эксплуатацию также принят поезд Desire ML Cityjet, разработанный компанией Siemens. Отличительной особенностью поезда является расположенные на крыше аккумуляторные батареи [3].

Сложившуюся тенденцию поддерживали Нидерланды, запланировавшие ввод в регулярную эксплуатацию всё те же пассажирские водородные поезда компании Alstom в 2021 году на маршрутном участке Гронинген-Стадсканал. В ходе тестирования водородных поездов специалисты из Нидерландов отметили их тихую работу и быструю зарядку, в следствие чего принято решение о замене дизельного подвижного состава.

Намерение перейти на водородные поезда в ближайшие 20 лет заявил госсекретарь Франции по вопросам транспорта – Жан-Батист Джеббари. Для региона Бургундия-Франш-Конте сделан большой заказ водородных поездов Coradia iLint на сумму 52 млн. евро.

В Португалии, совместными усилиями Университета Порту, Португальской ассоциации по продвижению водорода и компаний производителей CaetanoBus и NomadTech запланирован запуск водородных поездов на узкоколейных железных дорогах. Испытание первого поезда пройдет в 2023 году на маршруте Авейру-Сернада-да-Вуга.

Научно-исследовательский институт железнодорожной техники в Японии успешно провёл испытания гибридного поезда на топливных элементах и аккумуляторных батареях. В 2021 году компания East Japan Railway Company году приступила к испытаниям двухвагонного поезда, оборудованного топливными элементами и литий-ионными аккумуляторными батареями. Планируется, что в 2024 году такие поезда будут введены в эксплуатацию.

В Корею компаниями Hyundai Rotem и Hyundai Motor ведутся разработки в части применения топливных элементов в трамваях. Аналогичные проекты сегодня реализуются и в высокотехнологичном Китае.

На частично электрифицированных участках Европы активно передвигаются поезда, получающие питание от тяговых аккумуляторных батарей. Это стало возможным благодаря всё той же компании East

Таблица 2. Сравнительный анализ преимуществ альтернативной тяги

Источники энергии	Основные преимущества	Варианты применения
Аккумуляторные батареи	Простой способ зарядки от токоприемника на оборудованных контактной сетью участках. Не высокие требования в дополнительной инфраструктуре	Маневровая работа на станциях со значительным простоем
Топливные элементы	Значительно большая дистанция пробега, чем у аккумуляторных батарей. Возможна заправка большого количества поездов. Заправка водородом занимает меньше времени, чем зарядка аккумуляторов	Маневрово-вывозная работа при дальности пробега не более 200 км. Магистральные локомотивы и моторвагонные поезда для маршрутов с высокой протяженностью неэлектрифицированных отрезков пути. Беспрепятственное сообщение через границы стран, применяющих различные системы тягового электроснабжения.
Контактная сеть	Высокая доступная мощность. Процесс рекуперации энергии без необходимости её накопления. Минимальные габариты и вес по сравнению с аккумуляторными батареями и резервуарами с водородом. При эксплуатации большого количества поездов высокие показатели экономичности.	Высокоскоростные линии. Применение на тяжелых и длинносоставных грузовых поездах. Пассажирские перевозки при частоте более 2 поездов в час

- составлено автором с использованием источника [6]

Japan Railway Company, запустившая в 2017 году двухвагонные аккумуляторные электропоезда, позволившие обеспечить обслуживание недостаточно электрифицированных маршрутов.

Для железнодорожной сети Ливерпуля в Великобритании компанией Stadler Rail заказаны 52 электропоезда, 6 из которых обеспечены аккумуляторными батареями. На их основе специалисты перевозочного предприятия Merseyrail производят оценку эффективности использования тяговых аккумуляторов.

Использование энергетических технологий в транспортном комплексе США стало возможным благодаря заключенному в конце 2019 года договору между администрацией округа Сан-Бернардино (штат Калифорния), с компанией Stadler на поставку поезда, работающего на топливных элементах. Запуск в эксплуатацию запланирован на 2024 год. По сведениям источников, инженеры спроектировали поезд таким образом, чтобы батареи топливных элементов и запас водорода находились в центре трёх-секционного состава.

В Северной Америке интерес к переходу на водородные поезда также проявляет Канада. В 2020 году разработан и опубликован стратегический план использования водорода под названием Hydrogen Strategy for Canada, содержащий план мероприятий по переходу железнодорожного транспорта на экологически чистое топливо.

Тенденция к переходу на альтернативные источники питания прослеживается и на грузовом железнодорожном транспорте. Грузовой подвижной состав активно модернизируется в таких странах, как Япония, Канада, Китай, США, Украина, Польша.

Европейской консалтинговой компанией Roland Berger в 2019 году проведен сравнительный анализ технических характеристик топливных элементов и тяговых аккумуляторов для оценки преимуществ каждого из них. Для объективной оценки показателей выбросов углеродных соединений проводилось дополнительное исследование эффективности использования первоначального сырья и загрязняющих

выбросов.

В результате проведенного исследования сделаны выводы, что топливные элементы по сравнению с аккумуляторными батареями способны обеспечивать прохождение большей дистанции без дозаправки. Общее время на заправку сравнительно меньше, чем требуют аккумуляторные батареи. Конкуренция между моторвагонными поездами, оборудованными топливными элементами, и дизельными двигателями возможна при снижении стоимости выработки водорода. Использование транспортными предприятиями электролизных установок и заправочного оборудования поможет добиться такого результата.

По мнению экспертов энергетической отрасли, свои достоинства и недостатки имеют как традиционная система тягового электроснабжения, так и аккумуляторное питание подвижного состава. Каждый из этих способов энергообеспечения имеет право занимать определенную нишу. Для Российской железнодорожной отрасли вопрос энергообеспечения особенно актуален: в стране более 41 тыс.км. неэлектрифицированных железных дорог, что составляет приблизительно 50 % от их общей протяженности. Доля дизельного топлива в энергопотреблении ОАО «РЖД» составляет по некоторым подсчётам 30% или 2,4 млн.т. в год по состоянию на 2019 г. При работе двигателей количество выбросов достигают катастрофических 7,5 млн.т. CO₂ и прочих канцерогенов.

На железнодорожных участках пути с интенсивным движением эффективным решением является использование электрификации от контактной сети вопреки высоким капитальным затратам. С точки зрения экологической стороны вопроса, традиционная электрификация имеет наименьший уровень выбросов CO₂ при различных вариантах выработки электроэнергии.

На маршрутах с незначительной интенсивностью движения и продолжительным следованием рейсов целесообразно применение топливных элементов в качестве источника питания. Однако, необходимо учитывать их существенный недостаток в части двойного преобразования

энергии и, как следствие, определенный уровень потерь, в отличие от одноразового преобразования во время использования аккумуляторных батарей.

Сравнения тяговый привод с аккумуляторными батареями и привод с топливными элементами, специалисты отдают предпочтение первому варианту из-за минимальных выбросов CO₂. Однако, они также имеют недостатки в виде значительной массы аккумуляторов, ограничивающей дальность следования поездов. Рациональным решением представляется внедрение питания от батарей на контактно-аккумуляторном подвижном составе, а также на маневровых локомотивах, которые смогут использовать простои в течение дня для возможности подзарядки.

Значительным эффектом от внедрения на железнодорожном транспорте любого вида альтернативного питания считается существенное сокращение выбросов углекислого газа, чем так отличается использование дизельных двигателей. Однако говорить о полном устранении углеродного следа от железнодорожного и других видов транспорта рано, пока цивилизация не перейдет на использование источников питания с нулевыми выбросами при производстве электроэнергии. В современном мире в качестве примеров таких источников можно назвать гидроэлектростанции, геотермальные электростанции, солнечные и ветряные станции и другие. В странах, где руководство уделяет недостаточное внимание экологической ситуации, эксплуатация тепловозов и дизель-поездов будет долгое время продолжаться, чему способствует длительный срок службы подвижного состава. Уменьшить углеродный след от железнодорожного транспорта возможно благодаря методам стимулирования на государственном уровне замены дизельного подвижного состава, не дожидаясь окончания его срока службы [6].

Литература

1. Альтернативные источники энергии на железных дорогах. Центр научно-техниче-

ской информации и библиотек – филиал ОАО «РЖД». 21/2020. URL: https://www.usurt.ru/uploads/main/08i/5e6f73277ad5d/21_2020

2. Глобальная энергетическая проблема. /И.М. Александров, Н.М. Байков, А.А. Бесчинский и др. М.: Мысль, 1985. 239 с.

3. Железные дороги мира.–2020.– № 1-с.56-60 URL:<https://zdmira.com/news/stm-razrabatyvaet-silovuyu-ustanovku-na-tverdotsidnykh-toplivnykh-elementakh>.

4. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г.А. Терентьев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль–М.:Химия, 1989.–272 с.

5. Национальная водородная стратегия ФРГ как эффективный пример взаимодействия власти,

бизнеса и общества/ Тягусов М.М. Журнал «Бизнес. Общество. Власть». Октябрь 2021. № 4 (42).

6. Railway Gazette International. – 2019- № 11. – pp. 28-31.

7. Электронный ресурс сайта Alstom / URL: <https://www.alstom.com/solutions/rolling-stock/coradia-ilinttm-worlds-1st-hydrogen-powered-train>.

Артур Эдикович Абрамян

Родился в 1995 году. В 2016 г. окончил РУТ МИИТ, магистратуру, по специальности: «Строительство: Управление стоимостью и девелопмент в инвестиционно-строительном комплексе» – аспирант Российского университета транспорта, главный специалист-эксперт Управ-

ления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Московской области. Опыт работы более 10-ти лет.

Arthur Edikovich Abrahamyan

Born in 1995. In 2016, he graduated from RUT MIIT, master's degree, specialty: 'Construction: Cost Management and Development in the Investment and Construction Complex'–graduate student of the Russian University of Transport, chief specialist expert of the Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography for the Moscow Region. More than 10 years of experience.

Совершенствование метода испытаний бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям

// IMPROVING THE METHOD OF TESTING THE ON-BOARD ELECTRICAL COMPLEX OF VEHICLES FOR NOISE IMMUNITY TO ELECTROMAGNETIC INFLUENCES //

**Николаев П.А., д.т.н.,
АО «АВТОВАЗ»,
г. Тольятти**

**Козловский В.Н., д.т.н.,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара**

**Подгорный А.С., к.т.н.,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара**

В работе представлены основные результаты работы по совершенствованию метода испытаний бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям.

Ключевые слова: легковой автомобиль; бортовой электротехнический комплекс; электромагнитная совместимость.

The paper presents the main results of the work on improving the method of testing the on-board electrical complex of cars for noise immunity to electromagnetic influences.

Keywords: passenger car; onboard electrical complex; electromagnetic compatibility.

Рост значимости электротехнических и электронных систем и комплексов на автомобильном транспорте, развитие новых типов беспилотных транспортных средств, а также усложнение внешней электромагнитной обстановки определяют основные текущие вызовы и вызовы завтрашнего дня в плане развития автомобильных технологий. В условиях вышеизложенных аспектов увеличиваются вариации поражаемости автомобиля электромагнитными воздействиями. Поэтому обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) является одним из ключевых факторов в обеспечении конкурентоспособности автомобилей. Уже на этапе разработки автомобиль проектируется с учетом соответствующих критериев [1 – 7].

Для конструктора, разрабатывающего для конкретного рынка соответствующую модель, важно знать параметры электромагнитной обстановки в соответствующем регионе. Исходя из этого, к автомобилю предъявляются требования по ЭМС и в частности по помехозащищенности. В перечень основных требований входят параметры: частотный

диапазон, виды модуляции, уровень и длительность воздействия. В соответствии с заданными требованиями автомобиль до постановки в серийное производство проходит полный цикл тестирования на восприимчивость к электромагнитному излучению.

Выбор параметров ЭМС для испытаний, как правило, ведется на базе специализированных международных стандартов [1, 4, 6, 9]. В них прописаны обобщенные требования, позволяющие с учетом региональных законодательств и соответствующей электромагнитной обстановки обеспечить электромагнитную безопасность разрабатываемого автомобильного транспорта.

При испытаниях на помехоустойчивость автомобилей наиболее распространен метод воздействия электромагнитным излучением, потому что это соответствует наиболее приближенным условиям эксплуатации. В различных частотных диапазонах, тестирование производится в различных по физическим особенностям полеобразующих системах. До частот 20 – 30 МГц испытания проводят в полосковых

системах. Частными примерами которых являются ТЕМ-камеры и не симметричные полосковые линии (рисунок 1) [7, 8]. Особенностью структуры электромагнитного поля (ЭМП) является то, что силовые линии электрического поля замкнуты на поверхности проводников, а волна имеет поперечную структуру. Свыше 20 – 30 МГц применяются антенные системы, создающие вихревое ЭМП (рисунок 2). Существует альтернативный метод, основанный на инжекции объемного тока (ИОТ) (рисунок 3) [6], который более применим для исследовательских работ. Его суть заключается в наведении помех в жгутах проводов автомобиля с помощью высокочастотного трансформатора тока в локальном месте бортовой сети. С одной стороны это недостаток, потому что не производится интегральное воздействие на бортовой электротехнический комплекс автомобиля. С другой стороны, применение метода ИОТ позволяет выявить наименее помехозащищенную цепь, что довольно трудно сделать при полном облучении объекта испытаний. Существующее оборудование позволяет тести-



Рис. 1. Полосковые системы: а) неэкранированная несимметричная полосковая линия; б) симметричная экранированная полосковая линия (ТЕМ-камера)

Рис. 2. Испытания на помехоустойчивость автомобиля в полубезэховой камере с применением излучающих антенн

ровать в диапазоне частот 1 МГц – 2 ГГц.

Общий алгоритм испытаний воздействием электромагнитного излучения сводится к первоначальной калибровке ЭМП испытательной зоны в отсутствие объекта испытаний. В процессе которой на каждой частоте воздействия создается немодулированное ЭМП заданного уровня. Калибровка осуществляется по действующей составляющей принятого сигнала в некоторый промежуток времени t_1 :

$$E_d = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} E^2(t) dt}, \quad (1)$$

На практике t_1 выбирается не менее 500 мс. По достижению заданной электрической составляющей напряженности (E_d) запоминается соответствующая этому уровню мощность, подводимая к антенне.

Из-за особенностей испытательных систем калибровка ЭМП в полосковых системах осуществляется одним датчиком, так как структура поля между проводящими пластинами однородна по высоте. При применении излучающих антенн с частот 20 – 30 МГц до 2 ГГц используются четыре, и один в диапазоне 2 – 18 ГГц один (рисунок 4) [4]. В полубезэховых камерах, где излучение создается антеннами помимо прямой волны в зону расположения датчика приходит и отраженная от пола (рисунок 5). В этом случае суммарное поле равно:

$$E_{\Sigma} = E_{пр} + E_{орт}, \quad (2)$$

где $E_{пр}$ и $E_{орт}$ – прямая и отраженная электрические составляющие напряженности ЭМП.

Путь отраженной волны соответственно больше, чем прямой, поэтому в точку приема она приходит с задержкой:

$$\tau = \Delta/c, \quad (3)$$

где $c = 3 \times 10^8$ м/с – скорость света;

Δ – разности хода прямой и отраженной волн, которая определяется как

$$\Delta = |R_A - (r_1 + r_2)| = \left| \sqrt{l_A^2 + (h_A - h_1)^2} - \left(\sqrt{h_1^2 + \left(\frac{h_1 \times l_A}{h_A + h_1} \right)^2} + \sqrt{h_A^2 + \left(\frac{h_A \times l_A}{h_A + h_1} \right)^2} \right) \right|, \quad (4)$$

где R_A – расстояние от излучающей до приемной антенны (датчика) (рисунок 6); r_1 и r_2 – ход отраженной волны до и после плоскости падения соответственно; l_A – проекция R_A на горизонтальную плоскость; l_1 и l_2 – проекции r_1 и r_2 на горизонтальную плоскость; h_1 – высота излучающей антенны; h_A – высота приемной антенны (датчика).

Соответственно имеется некоторый набег фаз. В зависимости от частоты происходит сложение или вычитание амплитуд. При сложении волн в противофазе уровень ЭМП будет определяться разницей амплитуд пришедших волн. Поэтому для достижения необходимого уровня калибровки ЭМП необходимо на соответствующей частоте повышать

мощность сигнала. На практике это может привести к работе усилителя в перенапряженном режиме или, если лаборатория не имеет усилитель достаточной мощности, то невозможно будет достичь заданной напряженности ЭМП. Поэтому применяются для калибровки четыре датчика, разнесенные друг от друга вертикально на одной линии. Уровень поля калибруется уже не в одной точке, а интегрально по линии и определяется как среднее из четырех показаний всех датчиков. Мощность, отдаваемая усилителем, уже не имеет выраженных максимумов, как при калибровке с применением одного датчика (рисунок 7). В СВЧ диапазоне свыше 2 ГГц применение одного датчика обусловлено двумя причинами. Во-первых, для создания мощных полей с уровнем 100 В/м достаточно применение усилителя 200 Вт, что на данном этапе научно-технического развития не сложно реализуемо. Во-вторых, длина волны излучения меньше чем регламентированное расстояние между датчиками, из-за чего применение для калибровки четырех датчиков с целью оптимизации подво-

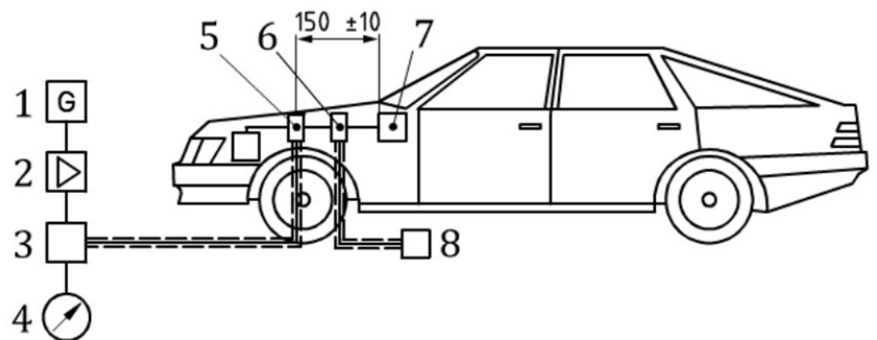


Рис. 3. Метод ИОТ: 1 – сигнальный генератор; 2 – широкополосный усилитель; 3 – направленный ответвитель; 4 – ваттметр; 5 – высокочастотный трансформатор ввода тока; 6 – измерительный трансформатор; 7 – испытываемая электротехническая система автомобиля; 8 – измерительный приемник

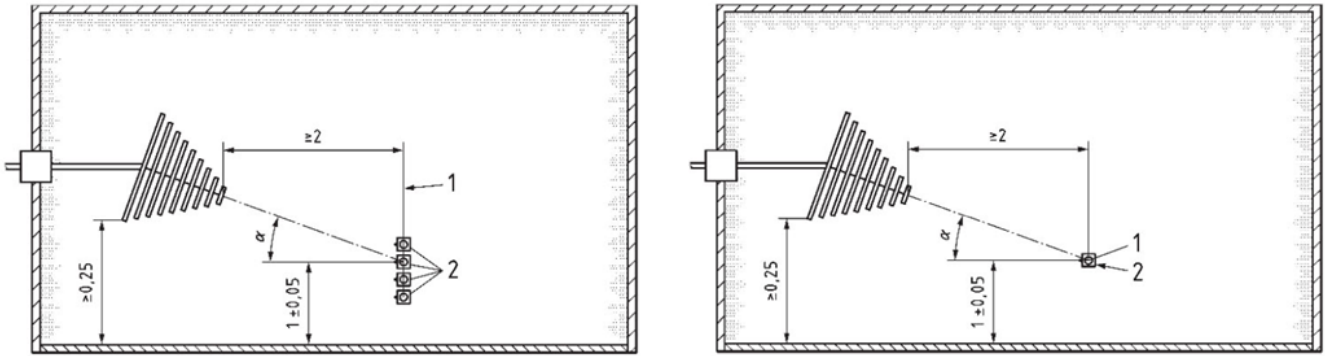


Рис. 4. Калибровка ЭМП: а) от 20-30 МГц до 2 ГГц; б) от 0,01 до 20-30 МГц (полосковая система не показана) и от 2 до 18 ГГц; 1 – контрольная линия (точка); 2 – датчик ЭМП

димой к антенне мощности не имеет смысла.

После калибровки в испытательную зону устанавливается автомобиль. В процессе тестирования к излучающей антенне на частотах воздействия подводится сигнал с мощностью, соответствующей калиброванному действующему уровню

ЭМП. Испытания проводятся модулированным и не модулированным электромагнитными полями [3], параметры которых приведены на рисунке 8. Как правило, немодулированным ЭМП воздействуют во всем заданном диапазоне частот. Амплитудно-модулированным ЭМП автомобиль тестируется до 800 – 1000

МГц. Импульсное воздействие первого типа осуществляется с 800 МГц до 2,7 ГГц, а второго типа с 1,2 ГГц до 18 ГГц. Перестройка несущей частоты производится с шагом не более 10%. Минимальное время воздействия на каждой частоте – 2 с.

Несовершенство метода испытаний электромагнитным излучением в диапазоне частот свыше 2 ГГц обусловлено несогласованным регламентированным подходом процедур калибровки с применением одного датчика и тестирования автомобиля импульсным воздействием, что может приводить к некорректным результатам.

Выражение (2) для электромагнитного поля в области датчика можно записать в комплексном виде

$$E_{\Sigma} = E_{\text{пр}} e^{j(\omega t - kr_1)} + E_{\text{отр}} e^{j(\omega t - kr_2 - \varphi)}, \quad (5)$$

где $k = k' - jk''$ – комплексное волновое число, определяющее потери электромагнитной волны [8]; r – модуль радиуса-вектора луча, пришедшего с некоторого направления. Для прямой волны r равно расстоянию от источника излучения до датчика, а для отраженной – расстоянию от излучающей антенны источника до отражающего пола поверхности и от пола до датчика; φ – изменение фазы колебаний при падении волны на отражающий пол. Если электрический вектор поля параллелен плоскости падения отражающего пола, то изменение фазы отраженного луча равно нулю, а если перпендикулярен, то изменение фазы составляет π .

С учетом потерь, (5) можно представить в виде:

$$E_{\Sigma} = E_{\text{пр}} e^{-k'' r_1} e^{j(\omega t - k' r_1)} + E_{\text{отр}} e^{-k'' r_2} e^{j(\omega t - k' r_2 - \varphi)}. \quad (6)$$

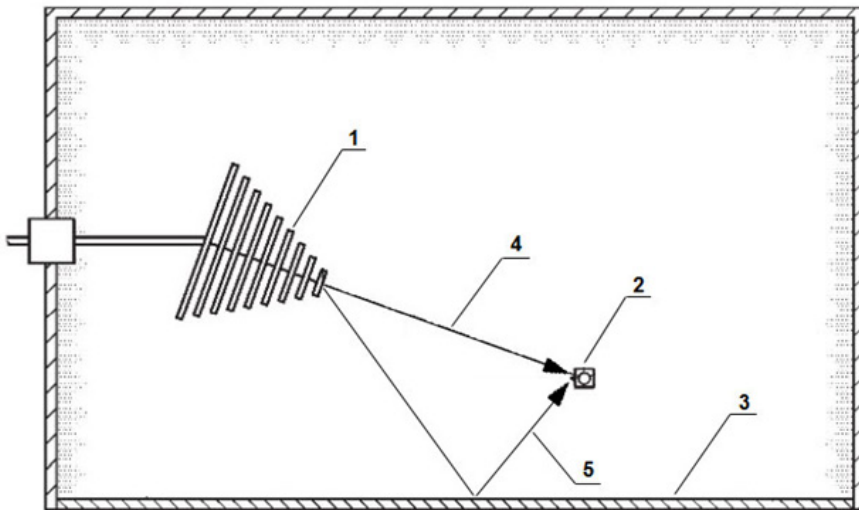


Рис. 5. Распространение волн: 1 – излучающая антенна; 2 – датчик ЭМП; 3 – металлический пол полубезэховой камеры; 4 – прямая волна; 5 – отраженная волна

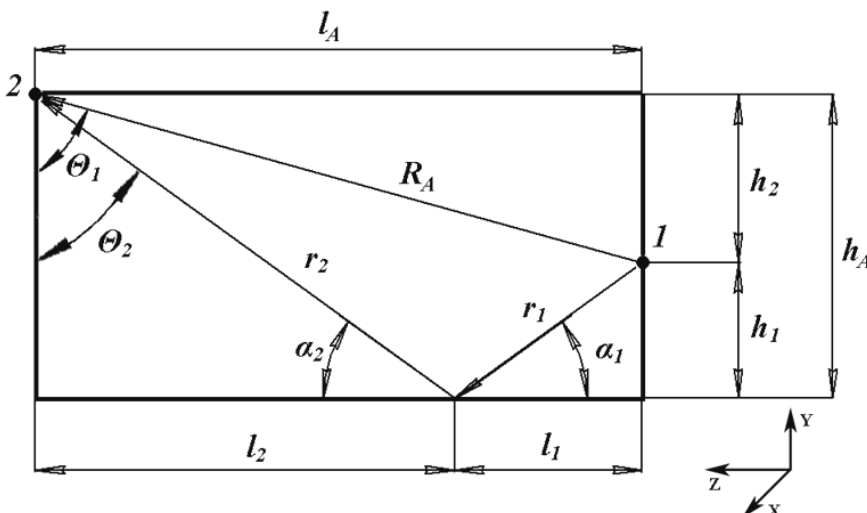


Рис. 6. Ход волн от излучающей до приемной антенны (датчика)

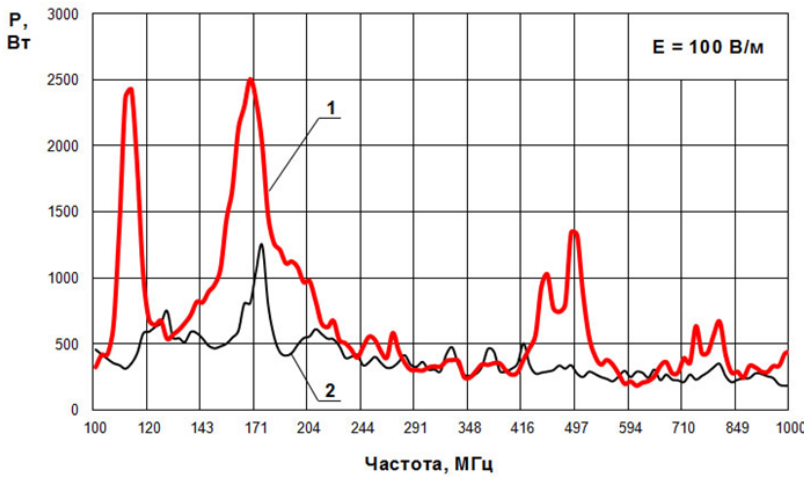


Рис. 7. Выходная мощность усилителя при калибровке ЭМП уровня 100 В/м: 1 – один датчик; 2 – четыре датчика

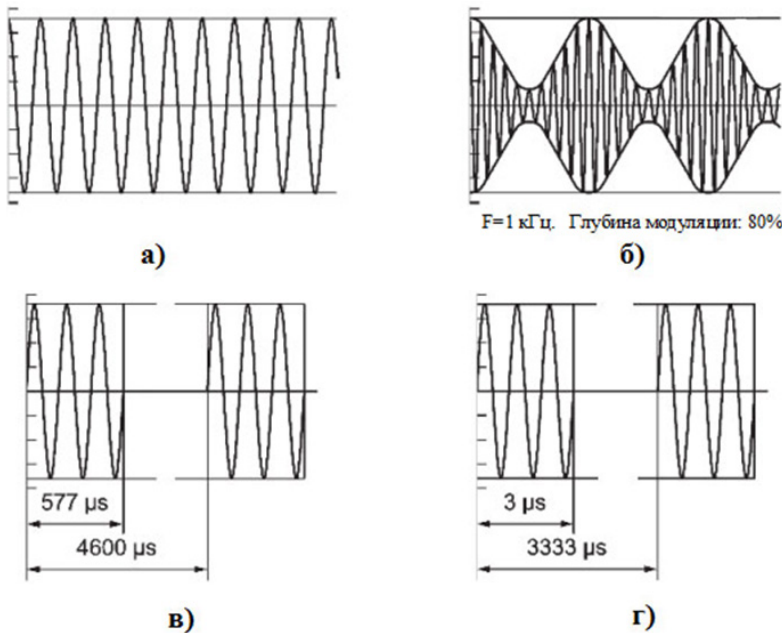


Рис. 8. Типовые виды воздействующих сигналов: а) немодулированный; б) амплитудно-модулированный; в) импульсно-модулированный (тип №1); г) импульсно-модулированный (тип №2)

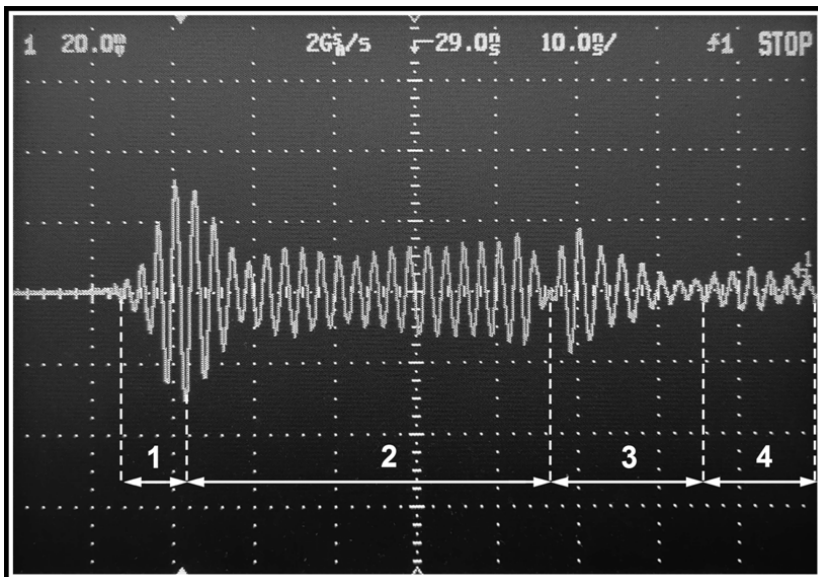


Рис. 9. Сигнал в точке приема при набеге фаз отраженной волны 180 град: 1 – прямая волна; 2 – суперпозиция прямой и отраженной волн; 3 – отраженная волна; 4 – эховый фон

Соответственно

$$E_{\text{пр}} e^{-k' r_1} = E_{\text{max.пр}} \text{ и } E_{\text{отр}} e^{-k' r_2} = E_{\text{max.отр}}$$

Если прямая и отраженные волны приходят в зону датчика в противофазе, то

$$k' r_1 - (k' r_2 + \varphi) = \pi$$

Переходя от комплексных амплитуд к мгновенным значениям, преобразованный в датчике суммарный сигнал будет иметь вид

$$E_{\Sigma} = E_{\text{max.пр}} \cos(\omega t) |_{t \in [0; t_1 - \tau]} + E_{\text{max.отр}} \cos(\omega t + \pi) |_{t \in [\tau; t_1]} \quad (7)$$

или

$$E_{\Sigma} = E_{\text{max.пр}} \cos(\omega t) |_{t \in [0; t_1]} - E_{\text{max.отр}} \cos(\omega t) |_{t \in [\tau; t_1]} \quad (8)$$

Подставив (8) в (1) получим действующее значение калиброванного уровня ЭМП, получим

$$E_d = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} E_{\text{max.пр}}^2(\omega t) dt - \frac{2}{t_1 - \tau} \int_{\tau}^{t_1} E_{\text{max.пр}}(\omega t) dt + \frac{1}{t_1 - \tau} \int_{\tau}^{t_1} E_{\text{max.отр}}^2 \cos^2(\omega t) dt} \quad (9)$$

Интегрирование второго и третьего члена ведется в интервале $[\tau - t_1]$, т.к. отраженная волна доходит до датчика с задержкой по времени τ . Но на практике длительность время калибровки t_1 много больше τ . Следовательно задержкой можно пренебречь. Продолжая дальнейшие рассуждения можно показать, что так как калибровка ведется немодулированным синусоидальным сигналом, то в диапазоне частот свыше 2 ГГц период колебаний много меньше времени калибровки. Поэтому интегрирование корректно вести по одному периоду колебаний. Исходя из сказанного, в (9) все три подкоренных члена есть квадраты действующих значений соответствующих составляющих сигналов. Тогда

$$E_d = \sqrt{\frac{E_{\text{max.пр}}^2}{2} - \frac{2}{2} E_{\text{max.пр}} E_{\text{max.отр}} + \frac{E_{\text{max.отр}}^2}{2}} \quad (10)$$

Как видно с учетом допущений, действующее значение калиброванного сигнала для случая сложения в противофазе, есть разница действующих значений прямого и отраженного сигналов

$$E_d = \frac{E_{\text{max.пр}} - E_{\text{max.отр}}}{\sqrt{2}} = E_{\text{д.пр}} - E_{\text{д.отр}} \quad (11)$$

Уже в процессе самих испытаний в диапазоне свыше 2 ГГц на автомобиль воздей-

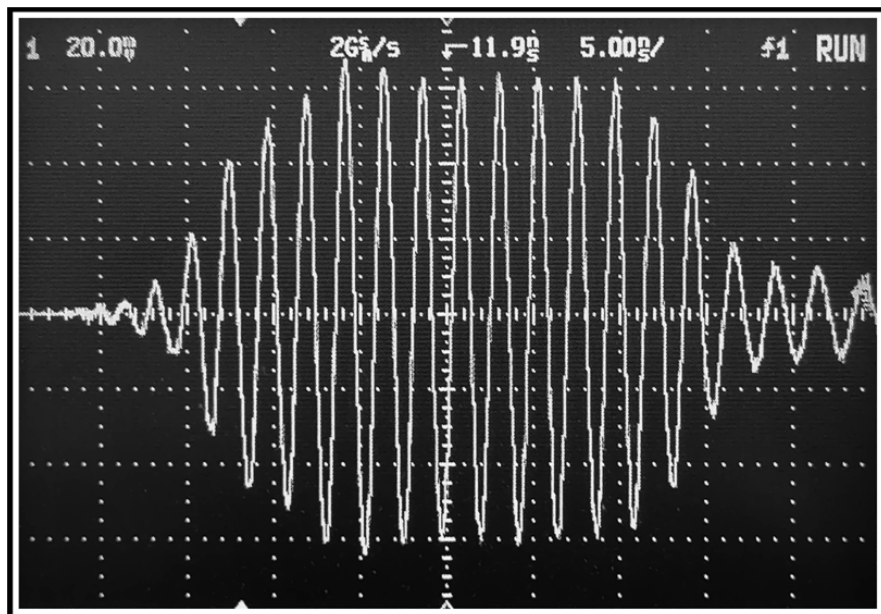


Рис. 10. Суммарный сигнал калибровки при сложении прямой и отраженной волн в фазе

ствуется импульсно-модулированный сигнал с параметрами (тип №1): длительность – 577 мкс и период – 4600 мкс, или тип №2 с параметрами 3 мкс и 3333 мкс соответственно (рисунк 8). На той несущей частоте, где при калибровке прямая и отраженная волны сложились в противофазе, прямая волна доходит раньше на τ , но ее действующее значение равно

$$E_{д.пр} = E_{д} + E_{д.отр} \quad (12)$$

и соответственно больше требуемого $E_{д}$ на $E_{д.отр}$. Как видно, объект испытаний в течении τ , которое составляет не более 10 нс, находится под более высоким уровнем воздействия, чем требуется. Только после τ , когда к автомобилю приходит отраженная волна, уровень электромагнитного излучения становится равный калиброванному $E_{д}$. На заданной несущей частоте при минимальном времени воздействия 2 с, автомобиль облучается 600ми импульсами.

Вышеизложенное подтверждается экспериментальными исследованиями, представленными на рисунке 9. На осциллограмме характерны четыре промежутка времени. Первый соответствует приходу прямой волны в точку приема. Во втором, дошедшая с задержкой τ , отраженная волна складывается в противофазе с прямой. Это прослеживается по уменьшению амплитуды суммарного сигнала. Конец второго

промежутка времени характеризуется окончанием импульса прямой волны, т.к. происходит полное вычитание обеих составляющих волн. В третьем промежутке времени преобладает отраженный сигнал, а в четвертом наблюдается эховый фон от элементов различных поверхностей окружающего пространства.

Если нарушение работоспособности автомобиля происходит в интервале времени воздействия только прямой волны с более высоким уровнем, чем требуется по калибровке, то зачастую происходит неправильная интерпретация результатов тестирования, т.к. в этом случае сбой или отказ сопоставляется с воздействием калиброванного уровня поля. Это происходит из-за того, что рассмотренный эффект ранее не был изучен применительно к испытаниям автомобилей, и лаборатории руководствуются прописанными процедурами стандартов.

При сложении волн в фазе наблюдается обратная ситуация. Действующее значение напряженности калиброванного поля равно

$$E_{д} = E_{д.пр} + E_{д.отр} \quad (12)$$

Во время испытаний в промежутки времени τ на автомобиль воздействует меньшее по амплитуде $E_{д.пр}$ по сравнению с $E_{д}$. Затем, после прихода $E_{д.отр}$, уровень ЭМП возрастает до калиброванного значения (рисунок 10). В этих случаях, при

нарушении работоспособности автомобиля, происходит корректная интерпретация результатов тестирования.

Экспериментальные исследования в безэховой камере АО «АВТОВАЗ» доказали возможность неправильной интерпретации результатов испытаний. Калибровка ЭМП и испытания автомобиля проводились в диапазоне частот от 2 до 3 ГГц и при двух различных отражающих покрытиях пола: металл и радиопоглощающий материал (РПМ) (рисунки 11 и 12).

На рисунке 13 представлены графики выходной мощности, подаваемой на антенну для калиброванного уровня 100 В/м в диапазоне от 2 до 3 ГГц при расстоянии 3 метра от антенны до датчика поля. Кривая №1 соответствует мощности для варианта поверхности с металлическим полом, а кривая №2 – при покрытии пола РПМ. В частотных диапазонах, где кривая №1 выше, чем №2, происходит вычитание прямой и падающей волн. Этот вывод основывается на том, что для варианта поверхности с металлическим полом усилителю приходится увеличивать выходную мощность для достижения требуемого калиброванного уровня 100 В/м. Применение же радиопоглощающего материала уменьшает отраженную составляющую. Поэтому преобладающий процент мощности кривой №2 сосредоточен в прямой волне.

Рассуждая соответствующим образом, очевидно, что в частотных диапазонах, где кривая №2 выше, чем №1, происходит сложение прямой и падающей волн.

При испытании автомобиля с применением калибровочной кривой мощности №1 в диапазоне частот от 2,925 – 2,975 ГГц происходило нарушение работоспособности электромеханического усилителя рулевого управления. Проблема характеризовалась сбоем датчика момента с переходом электроусилителя рулевого управления в режим «ОТКАЗ». При применении калибровочной кривой мощности №2 и покрытии пола радиопоглощающим материалом, нарушения работоспособности электромеханического усилителя рулевого управления не

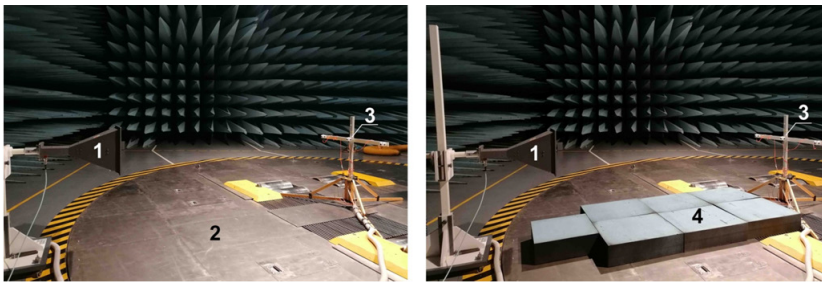


Рис. 11. Общий вид эксперимента калибровки напряженности электрического ЭМП: 1 – излучающая антенна; 2 – металлический пол; 3 – датчик; 4 – РПМ градиентного типа

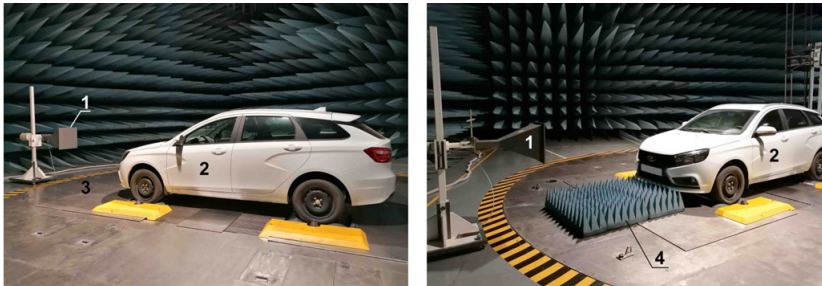


Рис. 12. Испытания на помехоустойчивость автомобиля: 1 – излучающая антенна; 2 – автомобиль; 3 – металлический пол; 4 – РПМ рассеивающего типа

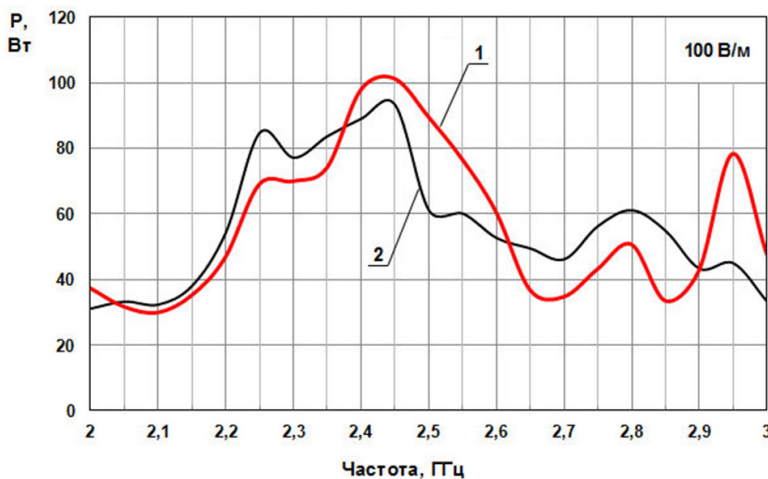


Рис. 13. Калибровка уровня ЭМП для напряженности 100 В/м: 1 – металлический пол; 2 – покрытие пола РПМ

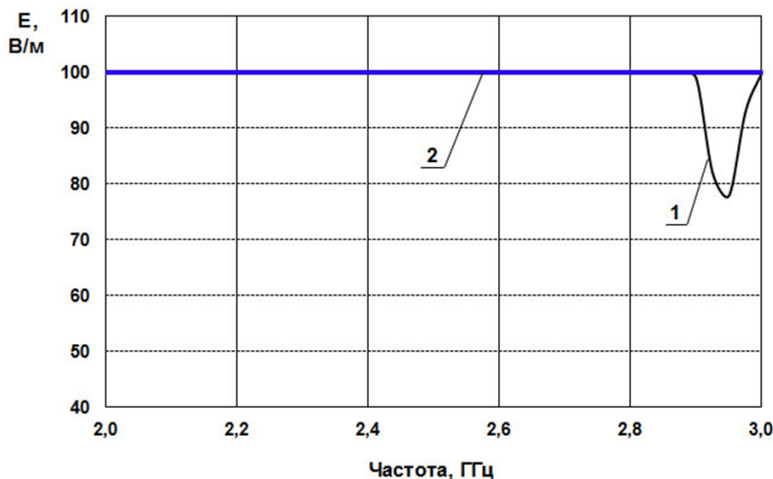


Рис. 14. Помехоустойчивость электромеханического усилителя рулевого управления в составе автомобиля: 1 – сброс с переходом в режим «ОТКАЗ»; 2 – максимальный уровень воздействующего ЭМП

было. Из чего следуют, что поставленный эксперимент является подтверждением влияния на функционирование автомобиля прямой волны в промежутке времени задержки т.

Проведенные исследования показали вероятность некорректной интерпретации результатов испытаний на помехоустойчивость автомобилей в СВЧ диапазоне. Для исключения этого предлагается проводить калибровку ЭМП и испытания в диапазоне частот свыше 2 ГГц с применением на полу радиопоглощающих материалов, позволяющим уменьшить отраженную составляющую. При применении РПМ градиентного типа, имеющего типовое затухание не менее 20 дБ, неравномерность амплитуды ЭМП будет составлять не более 10% от требуемого значения. Для обеспечения высокой стабильности уровня ЭМП во время испытаний необходимо применять РПМ рассеивающего типа с типовыми характеристиками затухания 40 дБ. В этом случае неравномерность будет не более 1% (рисунок 15).

Для исключения общей систематической некорректной интерпретации результатов тестирования автомобилей на помехоустойчивость в области частот свыше 2 ГГц необходимо внести коррективы, в части применения радиопоглощающих материалов на полу, в методику испытаний, регламентируемую стандартами ISO.

Литература

1. Regulation No. 10. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility. Addendum 9. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2017. 170 p.
2. Regulation No. 116. Anti-theft and alarm systems. Addendum 115. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2019. 95 p.
3. ISO 11451-1. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 1: General principles and Terminology. Third edition. Geneva, 2015. 25 p.
4. ISO 11451-2. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 2: Off-vehicle radiation sources. Third edition. Geneva, 2015. 25 p.
5. ISO 11451-3. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 3: On-board transmitter

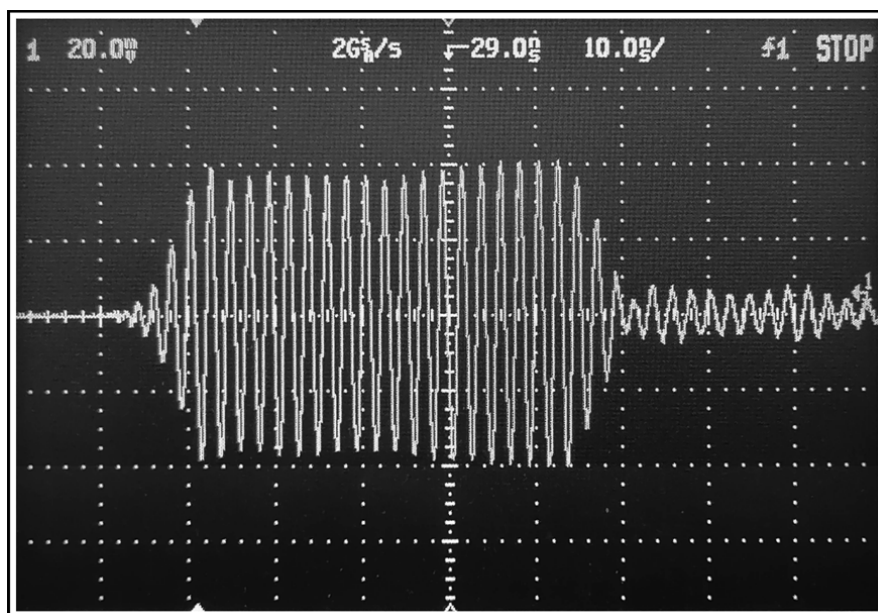


Рис. 15. Сигнал в точке приема при использовании на полу РПМ рассеивающего типа для случая сложения прямой и отраженной волн в противофазе

«АВТОВАЗ». Автор более 100 научных трудов, в том числе 23 патентов.

Kozlovskiy Vladimir

Was born in 1976. In 1999 he graduated from the Togliatti Polytechnic Institute with a degree in «Electrical equipment for cars and tractors». Doctor of technical sciences. In 2010 he defended his doctoral dissertation on the topic «Ensuring the quality and reliability of the electrical system of cars». Work experience is 20 years. At present he works as the head of the «Department theoretical and general electrical engineering» of Samara State Technical University (SamSTU). He is the author of 400 scientific works, of which more than 300 are in the editions of the Higher attestation commission, 20 monographs, 40 articles in the international Scopus and Web of Science databases.

Podgorny Aleksandr

Was born in 1992. In 2014 he graduated from PVGUS Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education with a degree in «Autoservice». Candidate of Technical Science. In 2019 he defended his thesis on «Improving the control system of the on-board electrical complex of cars for noise immunity to electromagnetic influences». Work experience is 5 years. At present he works as a researcher at the Department of «Theoretical and General Electrical Engineering» of the Samara State Technical University. He is the author of 17 works, 10 of which are in the editions of the Higher Attestation Commission, 2 patents for invention.

Nikolaev Pavel

Was born in 1977. In 2000 he graduated from Samara State Aerospace University majoring in «Radio engineer». He is doctor of technical sciences. In 2012 he defended the dissertation, the theme is «Provision of electromagnetic compatibility of automobile ignition systems». He has 19 years of work experience. At present he works as the head of the electromagnetic compatibility bureau of PJSC AVTOVAZ. He is author of 100 scientific works, including 23 patents.

simulation. Third edition. Geneva, 2015. 54 p.

6. Козловский, В.Н. Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания скорости / В.В. Дебелов, В.В. Иванов, В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.Е. Ютт // Грузовик. 2013. № 12. С. 19-23.

7. ISO 11451-4. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 4: Bulk current injection (BCI). Third edition. Geneva, 2013. 8 p.

8. Николаев П.А., Кечиев Л.Н. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств – М.: Грифон, 2015. – 424 с.

9. Ковнеристый Ю.К., Лазарева И.Ю., Раваев А.А. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения – М.: Наука, 1982. – 165 с.

Козловский Владимир Николаевич

Родился в 1976 году. В 1999 году окончил Тольяттинский политехнический институт по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов». В 2010 году защитил докторскую диссертацию по теме «Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей». Опыт работы – 20 лет. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного

технического университета (СамГТУ). Автор 400 научных работ, из них более 300 в изданиях ВАК, 20 монографий, 40 статей в международных базах Scopus и Web of Science.

Подгорний Александр Сергеевич

Родился в 1992 году. В 2015 году окончил ФГБОУ ВО «ПВГУС» по специальности «Автосервис». Кандидат технических наук. В 2019 году защитил диссертацию по теме «Совершенствование системы контроля бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям». Опыт работы – 5 лет. В настоящее время работает научным сотрудником кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета. Автор 17 работ, из них 10 в изданиях ВАК, 2 патента на изобретение.

Николаев Павел Александрович

Родился в 1977 году. В 2000 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет по специальности «Радиоинженер». Доктор технических наук. В 2012 году защитил докторскую диссертацию на тему «Обеспечение электромагнитной совместимости автомобильных систем зажигания». Опыт работы – 19 лет. В настоящее время работает начальником бюро электромагнитной совместимости ПАО

Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей в процессе эксплуатации

// THE PROBLEM OF NOISE IMMUNITY OF THE ON-BOARD ELECTRICAL COMPLEX OF PASSENGER CARS DURING OPERATION //

Николаев П.А., д.т.н.,
АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

Подгорний А.С., к.т.н.,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара

Козловский В.Н., д.т.н.,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара

Саксонов А.С.,
Самарский государственный
технический университет,
г. Самара

В статье актуализируется проблема помехоустойчивости электротехнического комплекса современных конструкций легковых автомобилей в процессе эксплуатации

Ключевые слова: автомобиль, электротехнический комплекс, электромагнитная совместимость, помехоустойчивость, эксплуатация.

The article actualizes the problem of noise immunity of the electrical complex of modern passenger car designs during operation.

Keywords: car, electrical complex, electromagnetic compatibility, noise immunity, operation.

В процессе проектирования, при испытаниях электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость, можно сопоставить воздействие и нарушение работоспособности электротехнических систем, а затем провести исследования и разработать решения по повышению помехоустойчивости. В процессе эксплуатации возникают естественные, по сути непреодолимые трудности связанные с идентификацией проблем электромагнитной совместимости (ЭМС).

Из всех однозначно идентифицированных случаев нарушения помехоустойчивости, в 40% обратная связь была дана от водителей, которые смогли сопоставить нарушение работоспособности с электромагнитным воздействием и в 60% заключения были сделаны на основании глубокого анализа проблемы. Причем в более чем 80% случаев анализу подвергались автомобили, находящиеся в гарантийном обслуживании. В существующую статистику отказов электротехнического комплекса ав-

томобилей, связанных с нарушением помехоустойчивости практически не попадают автотранспортные средства (АТС) находящиеся за пределами

гарантийного срока эксплуатации. Между тем порядка 60% парка легковых автомобилей в России имеют дату выпуска 2010 г. и ранее.

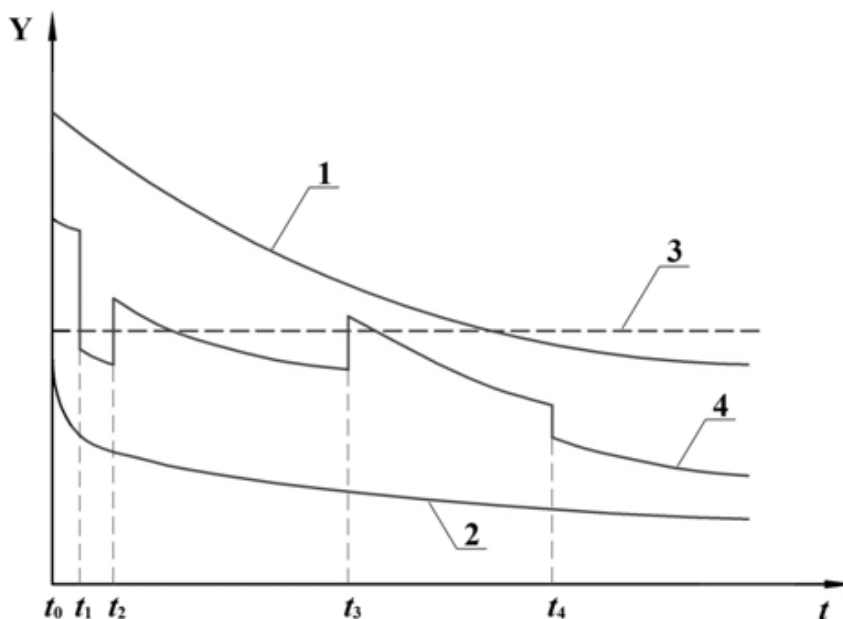


Рис. 1. Диаграмма изменения помехоустойчивости электротехнического комплекса автомобилей в процессе эксплуатации:
1 – максимальный предел; 2 – минимальный предел; 3 – предельно-допустимый уровень; 4 – частная реализация помехоустойчивости

При всем при этом, имеющаяся экспертная и статистическая информация позволяет сделать первичный вывод о том, что помехозащищенность электротехнического комплекса автомобилей в процессе эксплуатации, со временем ухудшается. Соответствующие обобщенные зависимости приведены на рисунке 1. Они справедливы для любого параметра ЭМС (ось ординат), но как правило, это или напряженность электрической составляющей поля, или напряжение электростатического разряда, т.к. в основном на данные воздействия производится тестирование АТС и для них в международных стандартах [1, 6] определены предельно-допустимые значения. Для внешнего электромагнитного поля это 30 В/м, а для электростатического разряда 15 и 25 КВ.

Кривая 1 (рис. 1) показывает усредненный максимальный предел параметра помехоустойчивости. Время t_0 соответствует выпуску нового АТС. Любой автопроизводитель обеспечивает выпуск своей продукции, которая как минимум соответствует установленным требованиям по обеспечению ЭМС [1, 2, 6 – 9]. В тоже время, многие компании имеют внутренние стандарты, которые прописывают более жесткие уровни помехоустойчивости, закладывая тем самым более высокую надежность [11, 12], что и объясняет максимум параметра Y в t_0 . Ограничение по верхней границе кривой 1 определяется экономическим подходом к решениям задач обеспечения ЭМС [13, 14]. Внутренние требования ведущих автопроизводителей варьируются в пределах от 50 В/м до 100 В/м при обеспечении функционального класса А.

Любая партия или выборка автомобилей имеет разброс по параметрам помехоустойчивости электромагнитным воздействиям. Диапазон значений, лежащих ниже предельно-допустимого уровня до кривой 2 в t_0 , соответствует наихудшей продукции, которая обусловлена отклонениями от технических требований изделий и процессов сборки. Как показывает опыт, у тех автопроизводителей у которых жесткие внутренние требования ЭМС, вероятность несоответствия международным тре-

бованиям сошедшей с конвейера продукции составляет $P \leq 0,053$.

Кривая 3 (рисунок 1) демонстрирует частную реализацию помехоустойчивости конкретного автомобиля и в общем случае является кусочно-непрерывной функцией. Вне точек разрыва функция помехоустойчивости монотонно убывает. Данная зависимость обусловлена процессами старения, приводящих к увеличению сопротивлений контактов, нарушению фильтрации и ухудшению эффективности экранирования.

Точки разрыва первого рода характерны для случаев, когда событие мгновенно или быстро изменяет параметры помехоустойчивости. Это, как и процессы старения, так и внесение изменений в конструкцию или программное обеспечение АТС. Точки разрыва первого рода могут появляться во всем периоде эксплуатации АТС, начиная уже с момента покупки. Владелец уже на начальном этапе может поставить дополнительное электрооборудование, что приведет к изменению импеданса бортовой сети, или заменить штатное электрооборудование на тюнингованное, или сделать чип-тюнинг. Как правило, подобные вмешательства ухудшают параметры ЭМС. При этом может происходить и повышение помехоустойчивости, например, из-за применения навесных защитных или декоративных элементов экрана, или при замене отказавшего в процессе эксплуатации электрооборудования.

Проблемы помехоустойчивости можно классифицировать по признаку их распознавания: идентифицируемые, косвенно идентифицируемые и гипотетические.

Идентифицируемые однократные или систематические проблемы однозначно сопоставляются с электромагнитным воздействием уже в процессе эксплуатации авто-

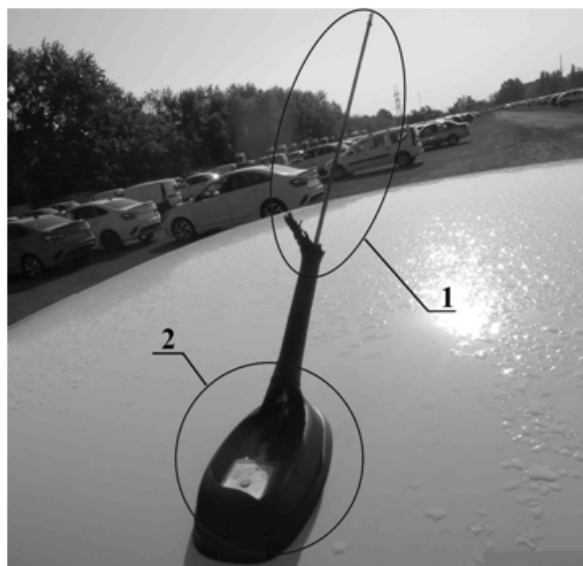


Рис. 2. Результат прямого попадания молнии в автомобиль: 1 – термическое разрушение верхней части антенны; 2 – термическое разрушение основания антенны

мобилей. Иногда имеют место быть ситуации, когда проблема помехоустойчивости от электромагнитного воздействия очевидна даже не имеющему соответствующие знания человеку. Наглядным примером является последствие попадания молнии в автомобиль (рисунок 2), где видно термическое разрушение верхней части и основания приемной антенны. Это очень редкое событие, но даже имеющаяся статистика показывает, что основной канал распространения тока идет через радиоприемную вибраторную антенну. В этом случае ток протекает не только по кузову автомобиля, но и в бортовой сети, выводя из строя даже хорошо помехозащищенные электротехнические системы. Решением, позволяющим уменьшить вероятность прямого попадания молнии в АТС, является применение антенны типа «акул плавник».

Часто в эксплуатации сопоставить проблему ЭМС с электромагнитным воздействием удается однозначно, если источник является стационарным, например, ЛЭП или РЭС, а нарушение работоспособности электротехнического комплекса происходит систематически вблизи этого источника.

К косвенно идентифицируемым проблемам помехоустойчивости электротехнического комплекса автомобилей относятся те, где слу-

чившееся событие по ряду признаков с высокой вероятностью сопоставляется с электромагнитным воздействием. Здесь уже привлекаются эксперты ЭМС, которые делают выводы на основании изучения образцов и анализа сопутствующих событию обстоятельств, или повторении аналогичного проявления нарушения работоспособности в лабораторных условиях. Наиболее характерны гарантийные случаи систематического выхода из строя электрооборудования, когда владельцы недобросовестно пользуясь порядком прописанным в законе о защите прав потребителей, пытаются вернуть обратно автомобили производителю и используют при этом преднамеренные мощные электромагнитные воздействия, например, высоковольтные импульсные разряды или напряжение промышленной частоты 220 В.

К гипотетическим проблемам помехоустойчивости относятся те, где по отношению к случившемуся событию выдвигается несколько равновероятных гипотез, одна из которых допускает влияние электромагнитного воздействия. Особенностью является то, что при исследовании таких проблем, характер нарушения работоспособности невозможно повторить полностью. Это самые сложные случаи нарушения помехоустойчивости электротехнического комплекса автомобилей. Здесь высока вероятность ошибки заключения и этим объясняется низкий процент выявления эксплуатационных проблем ЭМС. Например, при движении АТС появлялись пропуски искрообразования в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания. Это может быть вследствие коллизии программы контроллера системы управления, плохом составе топливно-воздушной смеси, проблем в элементах системы зажигания, или из-за электромагнитного воздействия. Здесь все гипотезы равновероятны и даже при более детальном исследовании и последующем исключении из рассмотрения одной или двух, оставшиеся имеют одинаковый процент достоверности.

Несмотря на малую статистику проблем ЭМС в эксплуатации автомобилей, систематизация имеюще-

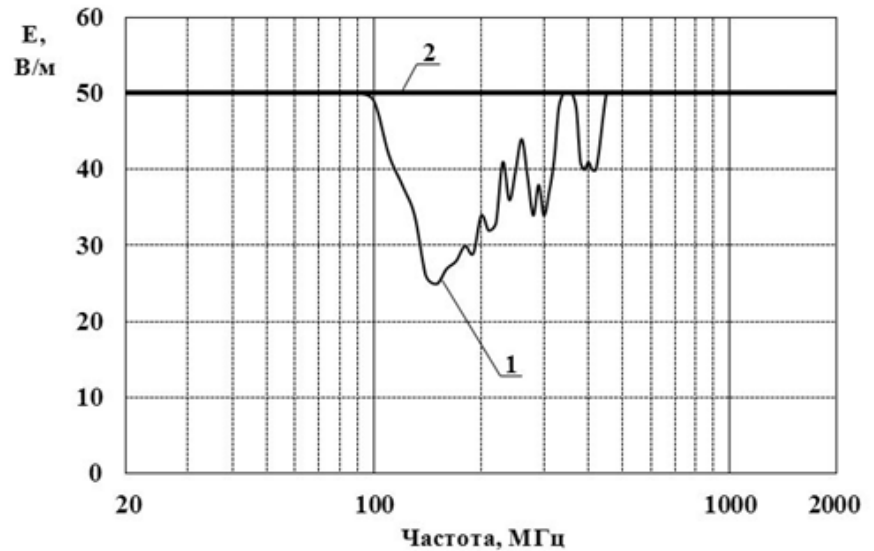


Рис. 3. Характеристики помехоустойчивости системы безопасной парковки: 1 – плохой контакт провода заземления (класс С); 2 – требуемый уровень функционального класса А

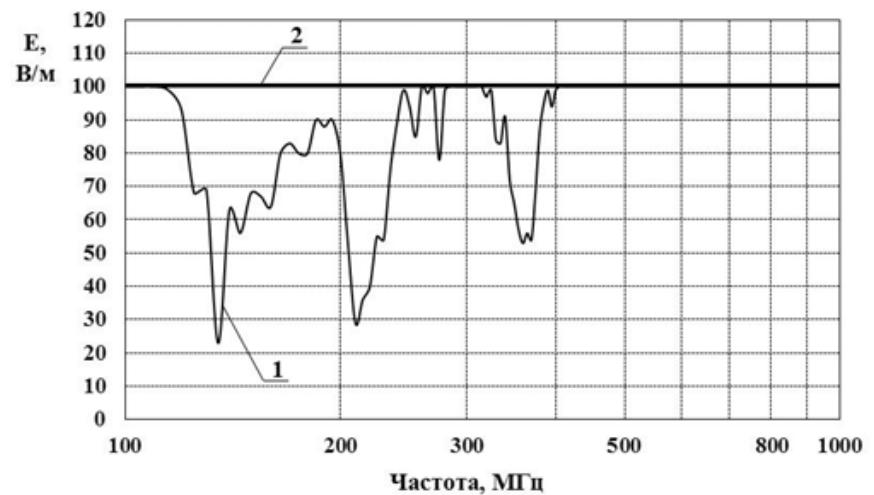


Рис. 4. Характеристики помехоустойчивости контроллера системы управления двигателем АТС: 1 – отсутствие контакта конденсатора входного фильтра с печатной платой по каналу датчика положения колечка вала (класс D); 2 – требуемый уровень функционального класса В

гося объема данных позволяет выделить три основных фактора, влияние которых определяет наибольшее количество случаев нарушений работоспособности бортового электротехнического комплекса. Это отклонения от документации при изготовлении продукции, процессы старения, а также нерегламентированное вмешательство в конструкцию. При всех факторах в нормальной электромагнитной обстановке АТС может эксплуатироваться без нарушений работоспособности, но при более жестких параметрах воздействий возникают проблемы.

Отклонения от документации в процессе изготовления продукции равновероятно как у производителя

автокомпонентов, так и у конечного автопроизводителя. Исследования позволяют сделать вывод о том, что если АТС произведено в соответствии с требованиями регламентированных стандартов качества, и владелец не производит несанкционированного вмешательства в его конструкцию, то с вероятностью $P \geq 0,8$ АТС в течении гарантийного срока оно будет соответствовать требованиям ЭМС.

На рисунке 3 приведен пример проблемы ЭМС системы безопасной парковки из-за плохого контакта провода заземления, выражавшейся в прерывании во время воздействия акустического сигнала, сигнализирующего о наличии препятствия. По

классификации в соответствии с ISO 16750-1 [9] это соответствует функциональному классу помехоустойчивости С.

Процессы старения происходят вследствие воздействий агрессивных сред, механических и термических нагрузок. Как правило, происходит комплексное влияние на электрооборудование. В зависимости от условий конкретный фактор может быть преобладающим и ускорять общий процесс старения. Примером этому является эксплуатация в зимнее время года, когда автомобиль подвергается многократному воздействию термоциклов. Вследствие попеременного расширения и сжатия материалов происходит нарушение контактов элементов схем электрооборудования.

На рисунке 4 приведен случай нарушения работоспособности контроллера системы управления двигателем из-за отсутствия контакта конденсатора входного фильтра с печатной платой по каналу датчика положения коленчатого вала. Из-за чего двигатель при электромагнитном воздействии останавливался (класс D). Пробег автомобиля составлял более 100 тыс.км. Для контроллера системы управления двигателем допускается до 50 В/м функциональный класс А, а с 50 В/м до 100 В/м – класс В.

Третий фактор, определяют самими владельцы, внося изменения в конструкцию автомобиля, и тем самым снижая помехоустойчивость. Он включает в себя нерегламентированное подключение сертифицированного электрооборудования в бортовую сеть, применение несертифицированных устройств и чип-тюнинг.

Нерегламентированное подключение сертифицированного электрооборудования характерно в основном для АТС неполных комплектов «норма» и «стандарт». Владелец, через некоторое время после покупки доукомплектовывает свой автомобиль, приобретая электрооборудование на вторичном рынке. Если подключение в бортовую сеть производится не у официального дилера, с большой вероятностью это происходит не в соответствии с документацией. Наи-

более распространенная ошибка связана с подключением проводов заземления, когда соединяются по одноточечной последовательной схеме сильноточные и слаботочные устройства. Вторая по распространенности типовая ошибка допускается при подключении штатной мультимедийной системы к CAN-шине для получения данных с навигационного модуля. Очень часто не применяется, регламентированная документацией, витая пара, а длина проводов выбирается необоснованно длинной. Соответственно данный участок цепи является слабо защищенным. Наведенные электромагнитные помехи искажают информацию в CAN-шине, нарушая обмен данными между бортовыми системами, что влияет на их работоспособность. В [14] рассмотрен пример, когда во время электромагнитного воздействия система ABS при выполнении внутреннего счетчика количества «Error frame» отключалась от управления. Нормальная работоспособность восстанавливалась только после очередного пуска двигателя, что соответствовало функциональному классу D.

Применение несертифицированных устройств нашло широкое распространение из-за их доступной цены. Спектр номенклатуры данной продукции достаточно широкий и охватывает категории мультимедиа, охраны, зарядки, парковки, ауди-

о-видеорегистрации и т.п. Их низкая цена обусловлена применением производителем недорогой элементной базы и технологий. В том числе минимизируются затраты на обеспечение ЭМС. Помимо того, что несертифицированные устройства, как правило, не соответствуют требованиям ЭМС автомобильной продукции (рисунок 5), они создают высокий уровень помех в бортовой сети АТС (рисунок 6). В совокупности с внешними воздействиями, создаваемые помехи от несертифицированных устройств могут вызывать нарушения работоспособности штатного электрооборудования. Несмотря на то, что проводимые лабораторные исследования пока не подтвердили фактов проблем ЭМС из-за комплексного воздействия, но проводимый анализ имеющихся данных позволяет отнести их по классификации к гипотетическим проблемам помехоустойчивости.

Нагляден пример зависания блока ЭРА ГЛОНАСС. С позиции ЭМС данная проблема соответствует функциональному классу E, т.к. для восстановления работоспособности зависшего блока необходимо отключение/включение всех источников электроэнергии, в том числе и его внутренней аккумуляторной батареи, что является мелким ремонтом. Анализ статистических данных, полученных от официальных дилеров автомобилей LADA показал, что в

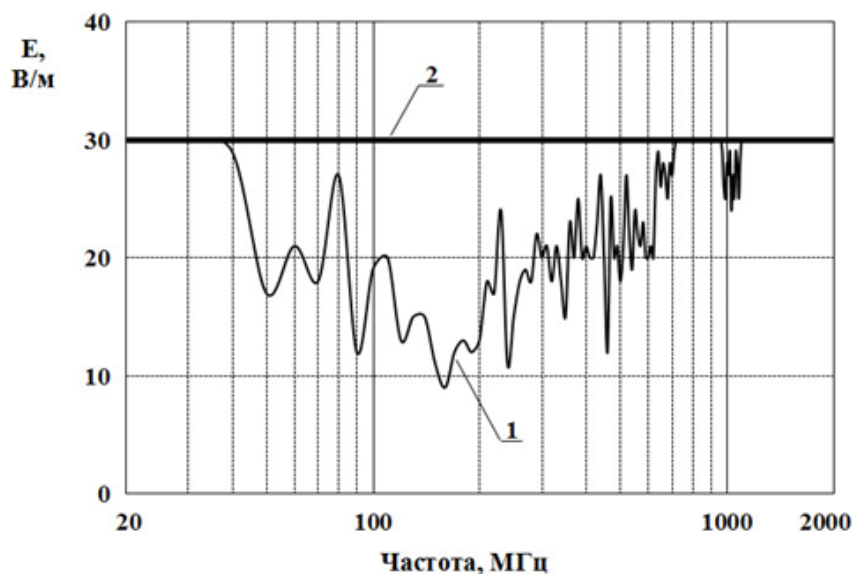


Рис. 5. Характеристики помехоустойчивости видеорегистратора (пр-ва Китай): 1 – прекращение записи (класс С); 2 – требуемый уровень функционального класса А (международные Правила R10-06)

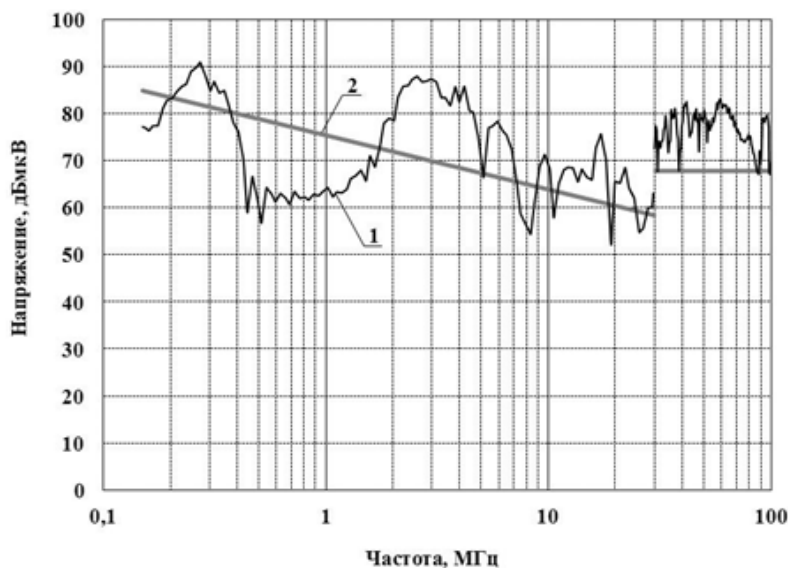


Рис. 6. Помехи в бортовой сети электропитания АТС: 1 – измеряемые помехи; 2 – предельно-допустимый уровень

34% случаев проблемы происходили на тех АТС, где применялось подключение несертифицированных устройств в штатную бортовую розетку. В лабораторных условиях воспроизвести аналогичное нарушение работоспособности не удалось, в частности и из-за того, что владельцы не передавали на исследования свои приобретенные несертифицированные устройства.

Чип-тюнинг является программным несанкционированным вмешательством в АТС с целью настройки специальных режимов работы электрооборудования под конкретного пользователя. В измененных алгоритмах, которые не проверяются всесторонне, появляются тупиковые ветви. При воздействии помех возникают неопределенности в работе программы, что приводит к ее зависанию. По введенной классификации эти проблемы также относятся к гипотетическим, т.к. водители, сделавшие чип-тюнинг, не обращаются по вопросам гарантии. Пока единственным путем их исследования является сбор информации из открытых источников, ее анализ и сопоставление с базой опыта ЭМС специалистов.

Результаты исследований, приведенные на рисунках 3–5, получены в лаборатории ЭМС АО «АВТОВАЗ». АТС, укомплектованное соответствующим электрооборудованием, подвергалось немодулированному электромагнитному воздействию с

шагом перестройки по частоте 10 МГц. Результаты уровня помех, представленные на рисунок 6 получены при следующих параметрах измерительного приемника: квазипиковый детектор, ширина полосы пропускания 120 КГц в диапазоне 9,5 КГц – 30 МГц и 9 КГц в диапазоне 30–100 МГц, шаг перестройки по частоте логарифмический 3 %.

Представленный материал показывает важность изучения вопросов электромагнитной совместимости бортового электротехнического комплекса автомобилей в процессе эксплуатации. Сложность определения проблем и малая статистика определяют актуальность разработки новых методов, позволяющих выявлять нарушения работоспособности электрооборудования при электромагнитном воздействии.

Литература

1. Regulation No. 10. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility. Addendum 9. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2017. 170 p.
2. Regulation No. 116. Anti-theft and alarm systems. Addendum 115. Revision 6. UNITED NATIONS. Geneva, 2019. 95 p.
3. ISO 11451-1. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 1: General principles and Terminology. Third edition. Geneva, 2015. 25 p.

4. ISO 11451-2. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 2: Off-vehicle radiation sources. Third edition. Geneva, 2015. 25 p.

5. ISO 11451-3. Road vehicles. Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy. Part 3: On-board transmitter simulation. Third edition. Geneva, 2015. 54 p.

6. ISO 10605. Road vehicles. Test methods for electrical disturbances from electrostatic discharge. Second edition. Geneva, 2008. 50 p.

7. CISPR 25. Vehicles, boats and internal combustion engines – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers. Fourth edition. Geneva, 2016. 156 p.

8. ISO 7637-2. Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling. Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only. Third edition. Geneva, 2011. 48 p.

9. ISO 16750-1. Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment. Part 1: General. Second edition. Geneva, 2006. 20 p.

10. ISO 16750-2. Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment. Part 2: Electrical loads. Fourth edition. Geneva, 2012. 28 p.

11. Product specification 36-00-808. Resistance to electrical disturbances and electromagnetic compatibility instructions concerning electrical, electronic and pyrotechnic equipment. RENAULT. 2008. 124 p.

12. Procurement specification 9.90110. Automotive electric and electronic devices. Fiat Group Automobiles. 2007. 56 p.

13. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering. New Jersey: John Wiley & Sons. 2009. 844 p.

14. Николаев П.А., Кечиев Л.Н. Электромагнитная совместимость автотранспортных средств – М.: Грифон, 2015. – 424 с.

Козловский Владимир Николаевич.

Родился в 1976 году. В 1999 году окончил Тольяттинский политехни-

ческий институт по специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов». В 2010 году защитил докторскую диссертацию по теме «Обеспечение качества и надежности системы электрооборудования автомобилей». Опыт работы – 20 лет. В настоящее время работает заведующим кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета (СамГТУ). Автор 400 научных работ, из них более 300 в изданиях ВАК, 20 монографий, 40 статей в международных базах Scopus и Web of Science.

Подгорний Александр Сергеевич.

Родился в 1992 году. В 2015 году окончил ФГБОУ ВО «ПВГУС» по специальности «Автосервис». Кандидат технических наук. В 2019 году защитил диссертацию по теме «Совершенствование системы контроля бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям». Опыт работы – 5 лет. В настоящее время работает научным сотрудником кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета. Автор 17 работ, из них 10 в изданиях ВАК, 2 патента на изобретение.

Николаев Павел Александрович.

Родился в 1977 году. В 2000 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет по специальности «Радиоинженер». Доктор технических наук. В 2012 году защитил докторскую диссертацию на тему «Обеспечение электромагнитной совместимости автомобильных систем зажигания». Опыт работы – 19 лет. В настоящее время работает начальником бюро элек-

тромагнитной совместимости ПАО «АВТОВАЗ». Автор более 100 научных трудов, в том числе 23 патентов.

Саксонов Александр Сергеевич.

Родился в 1996 году. В 2014 году окончил бакалавриат Тольяттинского государственного университета по специальности «Электроэнергетика и электротехника». В 2018 году – магистратуру Тольяттинского государственного университета по специальности «Электроэнергетика и электротехника». Аспирант. Опыт работы – 3,5 лет. В настоящее время является младшим научным сотрудником научно-исследовательского сектора кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Самарского государственного технического университета. Автор 10 научных работ.

Kozlovskiy Vladimir.

Was born in 1976. In 1999 he graduated from the Togliatti Polytechnic Institute with a degree in «Electrical equipment for cars and tractors». Doctor of technical sciences. In 2010 he defended his doctoral dissertation on the topic «Ensuring the quality and reliability of the electrical system of cars». Work experience is 20 years. At present he works as the head of the «Department theoretical and general electrical engineering» of Samara State Technical University (SamSTU). He is the author of 400 scientific works, of which more than 300 are in the editions of the Higher attestation commission, 20 monographs, 40 articles in the international Scopus and Web of Science databases.

Podgorny Aleksander.

Was born in 1992. In 2014 he graduated from PVGUS Federal State

Budgetary Educational Institution of Higher Education with a degree in «Autoservice». Candidate of Technical Science. In 2019 he defended his thesis on «Improving the control system of the on-board electrical complex of cars for noise immunity to electromagnetic influences». Work experience is 5 years. At present he works as a researcher at the Department of «Theoretical and General Electrical Engineering» of the Samara State Technical University. He is the author of 17 works, 10 of which are in the editions of the Higher Attestation Commission, 2 patents for invention.

Nikolaev Pavel.

Was born in 1977. In 2000 he graduated from Samara State Aerospace University majoring in «Radio engineer». He is doctor of technical sciences. In 2012 he defended the dissertation, the theme is «Provision of electromagnetic compatibility of automobile ignition systems». He has 19 years of work experience. At present he works as the head of the electromagnetic compatibility bureau of PJSC AVTOVAZ. He is author of 100 scientific works, including 23 patents.

Saksonov Alexander.

Born in 1996. In 2014 graduated from the Togliatti State University majoring in «Electric Power and Electrical Engineering». In 2018 master's degree from the Togliatti State University majoring in «Electric Power and Electrical Engineering». Post graduate 3.5 years work experience He is the junior researcher in the research sector of the Department of «Theoretical and General Electrical Engineering», the Samara State Technical University. He is the author of the 10 scientific papers.

Модель участка контактной сети для исследования эффективности грозозащиты пунктов питания схем с сигнализации и управления железной дорогой

// A MODEL OF A CONTACT NETWORK SECTION FOR STUDYING THE EFFECTIVENESS OF LIGHTNING PROTECTION OF POWER SUPPLY POINTS ALARM CIRCUITS AND RAILWAY CONTROL //

**Ким К.К., д.т.н., проф.,
«Петербургский
государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
г. Санкт-Петербург**

**Михайлов Ю.А., к.т.н., доцент,
«Петербургский
государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I»,
г. Санкт-Петербург**

Для определения количества грозовых перенапряжений, возникающих на защищаемых пунктах питания систем сигнализации и управления железной дорогой, необходимо проанализировать процесс затухания волн напряжения, бегущих от места попадания молнии в опору контактной сети до защищаемого пункта. Данное затухание обусловлено импульсной короной на проводах, потерями в земле и возможностью перекрытия линейной изоляции.

1. Введение

При электропитании систем сигнализации и дистанционного управления движением на железной дороге задействованы понижающие трансформаторы 10/0,25 кВ, которые располагаются на опорах контактной сети. На этих же опорах зачастую подвешиваются провода ВЭЛ 10 кВ. Данное решение приводит к упрощению подключения данных трансформаторов и позволяет одними и теми же мероприятиями ре-

При построении модели участка контактной сети, подвергшегося удару молнии, применимы компьютерные программы, предназначенные для расчета электрических цепей. Применение этих программ открывает новые возможности анализа возникновения и движения волн в линиях при грозовых разрядах и получения вероятностных оценок возникающих грозовых перенапряжений. В данной работе предпринята попытка определить эффективность мер повышения надежности грозозащиты пунктов питания схем сигнализации и управления железной дорогой с помощью компьютерного моделирования грозовых перенапряжений.

Ключевые слова: модель, грозозащита, пункт питания, молния, опора, сопротивление заземления, трансформатор, перенапряжение, фазная изоляция, защитный разрядник.

We show that the analysis of the attenuation of thunderstorm waves during the run from the place of the lightning strike to the line support to the protected

ализовать грозозащиту контактной сети и ВЭЛ 10 кВ. Для грозозащиты трансформаторов на их вводах 10 кВ используются вентильные разрядники.

Известно, что, если на опорах ВЭЛ используются грозозащитные устройства, их сопротивление заземления (R_3) не должно быть больше 20 Ом [1].

При срабатывании вентильного разрядника ток молнии стекает в землю и на конструкции опоры

object plays a role in determining the number of dangerous thunderstorm impacts. The processes occurring in this case are nonlinear in nature due to the consumption of wave energy by the pulse corona on the line wires and losses in the ground, as well as possible overlaps of linear insulation during the wave run along the line. When constructing a model of a section of a contact network that has been struck by lightning, the computer programs designed to calculate electrical circuits are used. The use of these programs opens up new possibilities for analyzing the occurrence and movement of waves in lines during lightning discharges and obtaining probabilistic estimates of emerging lightning overvoltages. In this paper we made an attempt to determine the effectiveness of measures to improve the reliability of lightning protection of power supply points of alarm circuits and railway control using computer simulation of lightning overvoltages.

Keywords: model, lightning protection, power point, lightning, support, grounding resistance, transformer, overvoltage, phase isolation, protective arrester.

и корпусе расположенного на ней трансформатора появляется импульсное напряжение, равное напряжению на сопротивлении R_3 . Один вывод обмотки низкого напряжения трансформатора имеет потенциал его корпуса, поэтому данное импульсное напряжение прямо передается в низковольтную цепь питания систем сигнализации и дистанционного управления, установленных в шкафу. Расчетное значение тока грозового разрядника

10 кВ при ударах молнии в пролеты, удаленные от места установки разрядника, составляет 3–5 кА, поэтому импульс грозового перенапряжения на низковольтной обмотке трансформатора и подключенном к нему оборудовании может достигать 100 кВ. Защитные устройства в низковольтной цепи не всегда эффективно выполняют свои функции. Раздельное заземление разрядника и корпуса трансформатора не во всех случаях может быть выполнено, из-за того, что в большинстве случаев единственным заземляющим устройством рядом с путевым полотном, являются рельсы.

Для повышения эффективности грозозащиты промежуточных пунктов питания необходимо уменьшить количество срабатываний вентильного разрядника, находящегося на одной опоре с трансформатором, а также снизить величину тока через этот разрядник. Одной мер для выполнения этих условий является дополнительные разрядники, которые устанавливаются на опорах, соседних с пораженной. Назначение этих разрядников – перехват волн перенапряжений. Эффективность такой меры определяется предельно возможными перенапряжениями и вероятностями перенапряжений с

различными кратностями, которые, в свою очередь, определяются ожидаемым количеством попаданий молнии в линию и амплитудой тока молнии, причем последняя имеет случайный характер, а также параметрами линии и установленных грозозащитных устройств.

Известно, что при определении количества опасных грозовых воздействий требуется учитывать затухание волн напряжения, бегущих от места попадания молнии в опору контактной сети до защищаемого пункта. Из-за нелинейного характера этого процесса, обусловленного импульсной короной на проводах линии, потерями в земле, а также возможными перекрытиями линейной изоляции при пробеге волны по линии, расчету аналитическими методами свойственна значительная трудоемкость [2].

В настоящее время созданы компьютерные программы, предназначенные для расчета электрических цепей, способные учитывать нелинейность всех этих процессов. Применение этих программ открывает новые возможности анализа возникновения и движения волн в линиях при грозовых разрядах и получения вероятностных оценок возникающих грозовых перенапряжений.

В данной работе сделана попытка определить эффективность упомянутых выше мер повышения надежности грозозащиты пунктов питания схем сигнализации и управления железной дорогой с помощью компьютерного моделирования грозовых перенапряжений.

2. Построение компьютерной модели контактной сети при ударе молнии

Модель контактной сети состоит из четырех блоков: 1) схемы стекания тока молнии по пораженной опоре; здесь разрядный промежуток моделирует пробой линейной изоляции между опорой и фазным проводом, 2) схемы участка воздушной линии от места попадания в нее молнии до защищаемого пункта, 3) схемы участка линии, отходящего от места попадания молнии в противоположном направлении, 4) схемы опоры, на которой расположены трансформатор и защитный разрядник.

Общий вид рассматриваемого участка цепи показан на рис. 1а.

На рис. 1б показана эквивалентная схема места удара молнии в опору. Амплитуду и форму тока молнии формируют два функциональных генератора (первый – форму фронта, второй – форму спада волны). На вы-

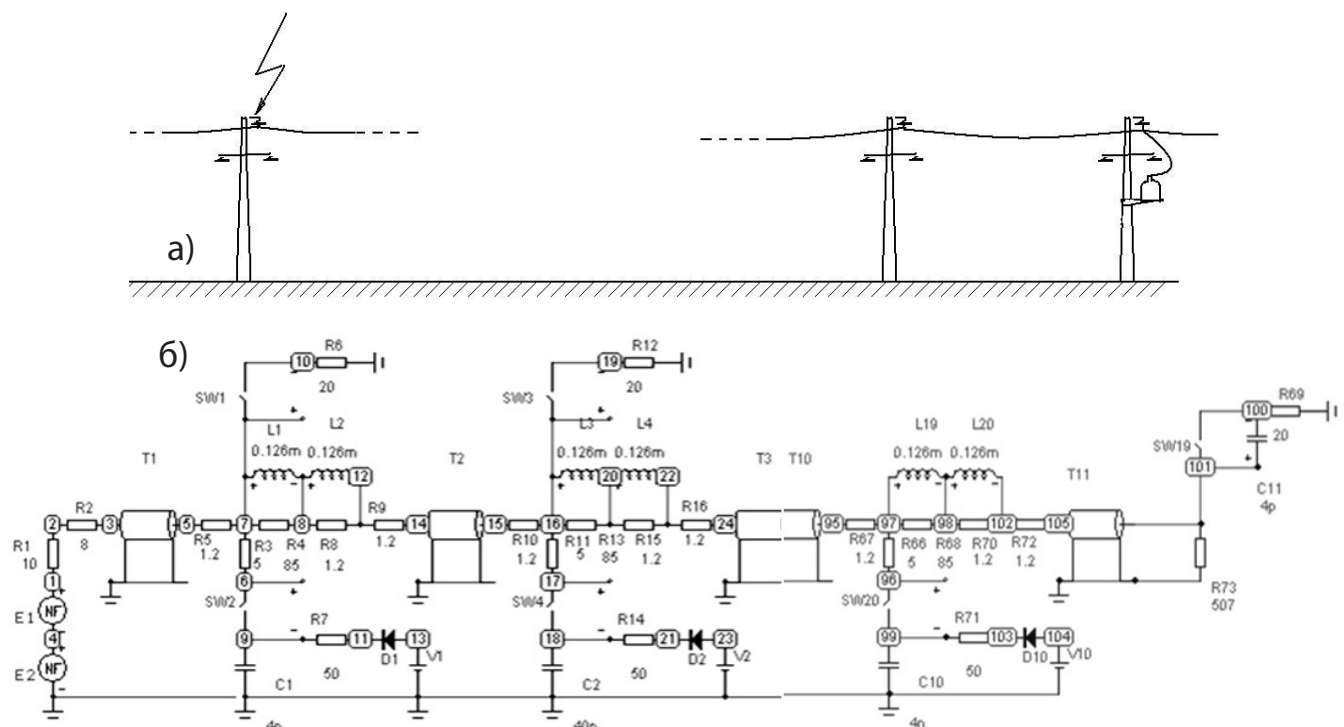


Рис. 1. а) эскиз участка воздушной линии, пораженной молнией, б) ее эквивалентная электрическая схема

ходе – стандартная волна тока молнии 1,2/50 мкс. Диапазон изменения амплитуды тока молнии от 5 до 150 кА. Сопротивление канала главной стадии разряда молнии составило 400 Ом.

В случае ВЭЛ 10 кВ при попадании молнии в опору, в большинстве случаев, наблюдается обратное перекрытие линейной изоляции между опорой и фазным проводом. Падение напряжения на заземлении и потенциал на вершине пораженной молнией опоры (ее импульсное сопротивление принято равным 20 Ом) может при этом достигать нескольких миллионов вольт. В обе стороны от места попадания молнии в линию распространяются волны грозового перенапряжения, вызывая перекрытия изоляции на соседних опорах. По мере удаления от места удара молнии волны сглаживаются по форме и уменьшаются по амплитуде за счет появления короны на проводах и потерь энергии волны в земле.

Падение напряжения на индуктивности опоры Лоп влияет только на вероятность обратного перекрытия и практически не влияет на амплитуду волны, добежавшей до защищаемого объекта. С учетом этого, в случае обратного перекрытия с пораженной молнией опоры на фазный провод амплитуда волны U_B определится приближенно по формуле:

$$U_B = \frac{R_M \times R_3}{R_M + R_3} I_M,$$

где I_M – амплитуда тока молнии, $R_M = 1/G_M$ – сопротивление канала молнии,

$R_3 = \frac{0,5 Z_B \times R_{3и}}{0,5 Z_B + R_{3и}}$ – эквивалентное сопротивление току молнии относительно земли, Z_B – волновое сопротивление линии, $R_{3и}$ – импульсное сопротивление заземления опоры.

Для расчетов требуется задать закон распределения величин тока молнии I_M при ударах молнии в опору. В литературе неоднократно предлагались различные формулы для аппроксимации результатов измерений тока молнии. Комиссией МЭК рекомендовано использовать логарифмически-нормальное распределение вероятности того события, что при одном ударе молнии амплитуда первого импульса тока превысит значение, заданное I_M :

$$P(I_M) = \int_0^{lg I_M} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp [-(lg I_M - lg I_{Mcp})^2] \frac{1}{2\sigma^2} d(lg I_M), \quad (1)$$

где $lg I_{Mcp} = 1,48$ – среднее значение логарифма амплитуды тока молнии в первом импульсе, $\sigma = 0,27$ – стандарт отклонения величины $lg I_M$ для первого импульса.

Для уменьшения трудоемкости расчетов для выражения (1) было подобрано следующее аппроксимационное выражение:

$$P(I_M) = \exp (-0,03 \times I_M + 0,17). \quad (2)$$

Для распределения вероятности превышения крутизны тока молнии AI_M при первом импульсе Международная комиссия МЭК рекомендовала принять закон, аналогичный по виду формуле (1):

$$P(AI_M) = \int_0^{lg(AI_M)} \frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \exp [-(lg AI_M I - lg AI_{Mcp})^2] \frac{1}{2\sigma_a^2} d(lg AI_M)$$

с параметрами: $lg AI_{Mcp} = 1,1$, $\sigma_a = 0,255$.

Для этого закона также была подобрана аппроксимация в виде экспоненциальной функции:

$$P(AI_M) = \exp (-0,11 \times AI_M + 0,72). \quad (3)$$

Как показали предварительные расчеты по формуле (3), влияние крутизны тока молнии в данном расчете лежит в пределах точности задания исходных данных, поэтому вариация величины AI_M в работе не производилась.

Для расчета критических значений напряженности электрического поля, превышение которой обуславливает корону на проводах, заряда на единицу длины провода и критического напряжения можно использовать следующие формулы: $E_{кр} = 24,6 \times 10^5 \times (1 + 0,301/\sqrt{0,01 \times r})$, где r – радиус провода в мм; $q_{кр} = 2\pi \epsilon_0 r E_{кр}$; $U_{кр} = r E_{кр} \ln(2hr)$, где h – высота подвеса провода в м.

Коэффициент 24,6 учитывает негладкость многожильного провода;

для гладкого провода он на 22 % выше.

Для короны отрицательной полярности зависимость $q(u)$ можно аппроксимировать формулой:

$$q/q_{кр} = u/U_{кр} + 0,375 \times (u/U_{кр} - 1)^{5/3}$$

при $u > U_{кр}$.

Из этой формулы найдем динамическую емкость коронирующего провода:

$$C_d = dq/dt = C_r \times [1 + 0,625 \times (u/U_{кр} - 1)^{2/3}], \quad (4)$$

где C_r – удельная емкость некоронирующего провода.

Канал молнии в модели замещается эквивалентным источником тока I_M , вероятность превышения которого при первом импульсе распределена по закону: $P(I_M) = \exp(-0,03 \times I_M + 0,17)$.

Распределение длительности фронта токов молнии, учитывая невысокую прочность изоляции и связанное с этим малое предпробивное время гирлянды, не учитывалось. Фронты всех волн принимались по длительности равными 1,2 мкс.

В модели параллельно генератору тока включена эквивалентная проводимость G_M , зависящая от амплитуды тока молнии (табл. 1, согласно РУ по грозозащите линий электропередачи 1999 г.).

Индуктивность конструкции опоры $L_{оп}$ принята равной: $L_{оп} = 0,65 \times h_{пр} = 6 \times 10^{-6}$ Гн, где $h_{пр}$ – высота подвеса верхнего провода. Импульсное сопротивление опоры принято равным 20 Ом. Считая, что рельс – двухлучевой протяженный заземлитель, импульсный коэффициент заземлителя был принят, равным единице. Часть линии слева от точки удара молнии была замещена сопротивлением, равным волновому сопротивлению канала фаза-земля: $Z^B = 507$ Ом, а правая часть линии – представлялась цепной схемой. Часть этой схемы, а также рассчитанные графики деформации грозовой волны при движении по линии приведены на рис. 2.

Таблица 1

Проводимость канала молнии в зависимости от амплитуды тока молнии

Амплитуда тока молнии, I_M , кА	10	20	40	80	100 и выше
Удельная проводимость канала молнии $G_M = 1/Z_M$, См	1/2000	1/1000	1/600	1/500	1/400

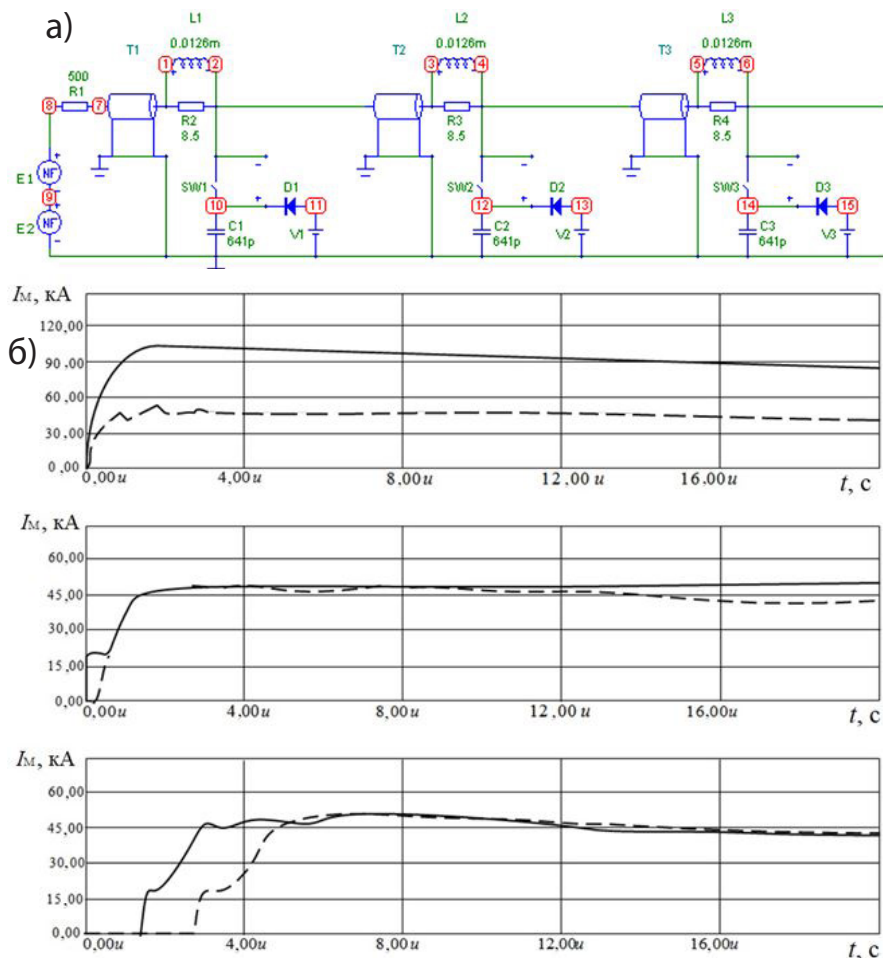


Рис. 2. а) часть расчетной цепной схемы участка линии с учетом деформации волн за счет потерь в земле и на импульсную корону на фазном проводе, б) примеры расчета деформации волны (прерывистая линия) при пробеге по линии.

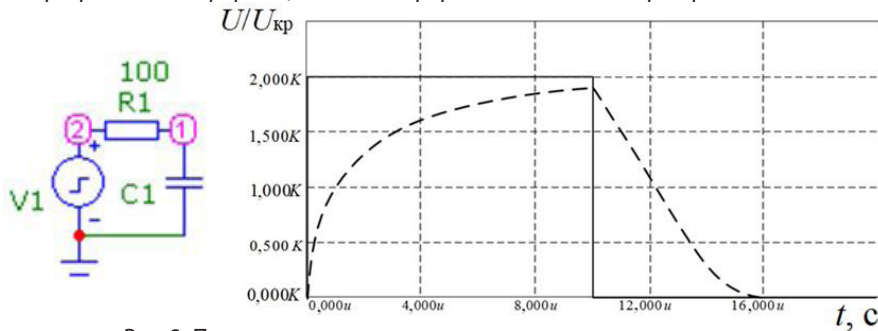


Рис. 3. Проверка модели нелинейной емкости чехла короны в простейшей RC цепи

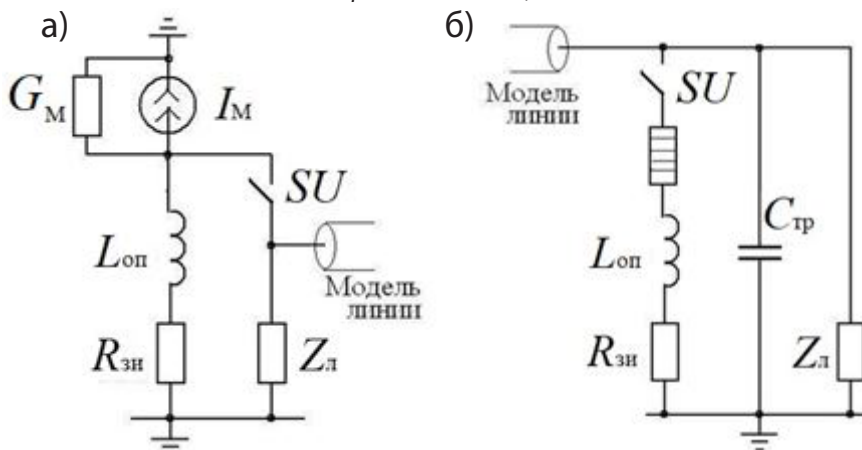


Рис. 4. а) схема модели опоры, пораженной молнией, б) схема модели опоры с установленным трансформатором и разрядником

Ячейки цепной схемы являются четырехполюсниками, эквивалентными одному пролету линии длиной $l_{np} = 100$ м с параметрами: активное сопротивление $R_{np} = 0,12$ Ом, индуктивность $L_{np} = 178$ мкГн, емкость $C_{np} = 641$ пФ. В конце каждой ячейки подключены сосредоточенные элементы, учитывающие наличие на пути волны по пролету потерь в земле и потерь, вызванных появлением импульсной короны на проводах. Кроме того, подключается модель разрядного промежутка линейного изолятора последовательно с сопротивлением заземления опоры. Потери энергии в земле, которые зависят от временной производной тока на фронте волны тока, учитывались цепочкой из последовательно включенных активных сопротивлений, шунтированных индуктивностями [3]. Данные потери зависят от частоты тока, поэтому постоянные времени этих контуров выбрали с учетом этой зависимости. При превышении напряжения на проводе критического значения $U_{кр}$ в модель вводится емкость C_d между проводом и землей, которая учитывает потери энергии на импульсную корону. Согласно [4] емкость C_d нелинейно зависит от напряжения на проводе:

$$C_d = C_r \times [1 + 0,625 \times (U/U_{кр} - 1)]. \quad (5)$$

Однако компьютерная модель нелинейной емкости предусматривает задание зависимости емкости от напряжения только в виде полинома. Для упрощения для формулы (5) была подобрана аппроксимация полиномом второго порядка:

$$C_d = C_r \times [1,2 + 0,45 \times C (U/U_{кр} - 1) + 0,026 \times (U/U_{кр} - 1)^2]. \quad (6)$$

Сравнение графиков, построенных по (5) и (6), показало, хорошую аппроксимацию в интервале значений $1,2 \leq U/U_{кр} \leq 6$.

На рис. 3а приведен пример RC цепи, в которой в качестве нелинейной емкости включен конденсатор с принятой зависимостью емкости от напряжения. Из графика на рис. 3б видно, что такая нелинейность существенно изменяет ход переходного процесса (прерывистая кривая).

Величина сопротивления заземления $R_{зи}$ равна 20 Ом, индуктивность конструкции опоры $L_{оп}$ – 6 мкГн. Волновое сопротивление канала фаза – земля $Z_{л}$ принято равным 507 Ом. Эквивалентное сопротивление канала молнии $Z_{м} = 400$ Ом.

На рис. 4 изображены схемы модели опоры, пораженной молнией, и опоры, где установлен защищаемый трансформатор с вентильным разрядником (SU).

Разрядник на опоре, где установлен трансформатор, представляется аналогично искровому промежутку на других опорах выключателем, замыкающим путь тока волны с провода на землю при достижении напряжения на проводе пробивного уровня $U_{разр} = 50$ кВ. Нелинейное сопротивление имитирует остающееся напряжение на разряднике, а сопротивление $R_{зи}$ – сопротивление заземления опоры. Защищаемый трансформатор учитывается подключением его входной емкости $C_{тр} = 1 \times 10^{-9}$ Ф [2].

3. Расчет среднегодового числа срабатываний вентильного разрядника на опоре, защищаемой от прямых ударов молнии в линию, с использованием построенной модели

Расчет ожидаемого среднегодового числа срабатываний разрядника на опоре с трансформатором проводился в соответствии с методикой, изложенной в [4].

Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

При выборе параметров ячейки цепной схемы замещения линии 10 кВ принимались следующие исходные данные:

- погонные параметры линии: $R = 1,176$ Ом/км, $L = 1,64 \times 10^{-3}$ Гн/км, $C = 6,99 \times 10^{-9}$ Ф/км;
- волновое сопротивление канала фаза–земля при отсутствии короны – $Z_{в} = 507$ Ом, при наличии короны – $Z_{вк} = 400$ Ом;
- эквивалентное сопротивление канала молнии принято равным 500 Ом (ориентировано на опасные токи молнии порядка 80 кА). Импульсное сопротивление заземления опор – 20 Ом;
- индуктивность тела опоры $L_{оп} = 6$ мкГн (в расчетах не учитывалась)

- сопротивление, вносимое землей, учитывалось одним сопротивлением $R_{з} = 85$ Ом, шунтированным индуктивностью $L_{з} = 0,126$ мГн, что обеспечивало частотную зависимость $Z_{з}$ в диапазоне спектра частот спада грозовой волны [4];
- при начале коронирования провода (при $U_{кр} \geq 185$ кВ) к линии подключается емкость ($C_{д}$), имитирующая емкость чехла короны, зависящую от напряжения. Формула этой зависимости для ячейки, эквивалентной длине участка линии длиной 1000 м, имеет вид:

$$C_{д} = 6,41n \times \left[1,2 + 0,45 \times \left(\frac{UC_1}{185} - 1 \right) + 0,026 \times \left(\frac{UC_1}{185} - 1 \right)^2 \right].$$

Для линии с высотой подвески проводов $h_{ср}$ и среднем числе ударов молнии в 1 км² земной поверхности, равным 6,7 в течение 100 грозовых часов, расчет ожидаемого количества прямых ударов молнии выполнялся по выражению, приведенному в [5]. Для линии длиной 100 км оно составило 32 удара.

Учитывая возможность прихода волны и справа, и слева от защищаемой опоры, при длине этих участков $l_n = 30$ км имеем: $n_{пум} = 2 \times 30 \times 32 / 100 = 19,2$ ударов молнии в год в участ-

ки, примыкающие к защищаемой опоре. Учитывая невысокую прочность линейной изоляции 10 кВ, можно приравнять последствия удара молнии прямо в фазный провод в пролете линии к попаданию молнии в опору, ближайшую к месту удара.

4. Некоторые соображения

Количество срабатываний разрядника определяется количеством ударов, способных создать волну, достигающую защищаемого объекта с амплитудой, превышающей напряжение срабатывания разрядника. Чтобы определить, какая доля ударов молнии в определенную опору приведет к срабатыванию разрядника, необходимо смоделировать удар молнии в эту опору и движение возникшей волны от точки удара до разрядника. Для нахождения величины тока $I_{м}$, способного создать волну напряжения, амплитуда которой при подходе к месту установки разрядника превысит его напряжение срабатывания, необходимо при моделировании варьировать амплитуду тока молнии в точке удара. Умножив вероятность превышения этой величины тока молнии $P(I_{м})$ на среднегодовое число ударов молнии в данную опору, можно найти ожидаемое количество срабатываний разрядника, вызванных ударами молнии в

Таблица 2

Параметры линии электропередачи

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Величина
Номинальное напряжение линии	$U_{ном}$	кВ	10
Расчетный радиус провода	$r_{пр}$	м	$6,9 \times 10^{-3}$
Высота подвески верхнего провода на опоре	$h_{пр}$	м	10
Средняя высота подвески проводов	$h_{ср}$	м	8
Длина линии	l_n	км	30
Длина пролета	$l_{пр}$	м	100
Число грозовых часов в году на трассе ЛЭП	$T_{гр.ч.}$	час	40
Напряжение начала общей короны	$U_{кр}$	кВ	185
Импульсное пробивное напряжение изолятора ПФ-6А при импульсе 1,2/50 мкс	$U_{пр.имп.}$	кВ	130
Пробивное напряжение разрядника РВП-10	$U_{разр}$	кВ	50

эту опору. Повторяя эту операцию применительно к каждой опоре линии и суммируя полученные результаты, можно определить ожидаемое число срабатываний разрядника от всех ударов молнии в линию.

Доли опасных волн для защищаемых опор зависят от их удаленности от места удара молнии. Также нужно учитывать возможность перекрытия изоляторов линии при пробеге волны мимо каждой из опор, а также отражение волн от мест перекрытия.

В дальнейших исследованиях предполагается оценить эффективность установки дополнительных разрядников на ближайших к трансформатору соседних опорах путем сравнения результатов расчета для схем с добавленной моделью этих разрядников и без нее.

В описанной модели остались неучтенными случаи одновременного перекрытия изоляции на двух или трех фазах линии, а также случаи возникновения индуцированных перенапряжений при разрядах молнии, происходящих вблизи трассы линии. Учет этих случаев предполагается произвести в последующем.

Выводы

Построенная модель участка контактной сети при ударе молнии в заземленную опору с использованием компьютерных программ, предназначенных для расчета электрических цепей, способных учитывать нелинейность исследуемого процесса, позволяет определить степень сглаживания по форме и уменьшения по амплитуде волн тока по мере удаления от места удара молнии за счет появления короны на проводах и потерь энергии волн в земле.

Для модели подобрана удобная для расчетов аппроксимация закона распределения величин тока молнии I_m при ударах молнии в опору.

Модель позволяет рассчитать число срабатываний защитного раз-

рядника, установленного на одной опоре с трансформатором и оценить эффективность грозозащитных мероприятий.

Литература

1. Правилам устройства электроустановок (ПУЭ-7). Министерство энергетики Российской Федерации, приказ от 8 июля 2002 г. № 204.

2. Базуткин, В.В., Кадомская, К.П., Костенко, М.В., Михайлов, Ю.А. Перенапряжения в электрических системах и защита от них. – СПб.: Энергоатомиздат, 1995. – 320 с.

3. Корсунцев, А.В., Новикова, А.Н. Методические вопросы расчета грозоупорности воздушных линий электропередачи. Сборник докладов «Грозозащита в районах с высоким удельным сопротивлением грунта». – Апатиты: КФАН СССР, 1981. – С. 6-25.

4. Ефимов, Б.В. Грозовые волны в воздушных линиях. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2000. – 134 с.

5. Костенко, М.В., Богатенков, И.М., Михайлов, Ю.А., Халилов, Ф.Х. Итоги науки и техники. Серия «Электрические станции и сети». – М.: ВИНТИ, 1987. – 109 с.

Ким Константин Константинович

Родился в 1958 году. Окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И.Калинина по специальности «инженерная электрофизика». Доктор технических наук, профессор, член-корр. АЭН РФ, член IEEE. Защитил докторскую диссертацию «Электродинамика и характеристики систем электродвижения со сверхпроводящими обмотками и магнитным подвесом». В настоящее время работает заведующим кафедрой «Электротехника и теплоэнергетика» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС). Автор более 700 научных трудов, из них 312 патентов на изобретение.

Kim Konstantin Konstantinovich.

Born in 1958. Graduated from the Leningrad Polytechnic Institute named after. M.I. Kalinin with a degree in engineering electrophysics. Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member. AEN RF, member of IEEE. He defended his doctoral dissertation “Electrodynamics and characteristics of electric propulsion systems with superconducting windings and magnetic suspension.” Currently he works as the head of the Department of Electrical Engineering and Thermal Power Engineering at the St. Petersburg State University of Transport of Emperor Alexander I (FSBEI HE PGUPS). Author of more than 700 scientific papers, including 312 invention patents.

Михайлов Юрий Александрович

Родился в 1935г. В 1959 г. окончил Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «техника высоких напряжений». Кандидат технических наук, доцент. В 1968г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование внутренних перенапряжений на электрооборудовании подстанций высокого напряжения». В настоящее время доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» ПГУПС. Имеет свыше 100 печатных научных трудов.

Mikhailov Yuri Alexandrovich

Born in 1935. In 1959 he graduated from the Leningrad Polytechnic Institute named after. M.I. Kalinin, majoring in high voltage engineering. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. In 1968 defended his Ph.D. thesis on the topic “Study of internal overvoltage’s on electrical equipment of high-voltage substations.” Currently, he is an associate professor at the Department of Electrical Engineering and Thermal Power Engineering at PGUPS. He has over 100 published scientific works.

Экологические аспекты энергосбережения в технологических установках

// ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ENERGY SAVING IN TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS //

**Рыжова Е.Л., доцент, к.т.н.,
Петербургский государственный
университет путей сообщения
Императора Александра I,
г. Санкт-Петербург**

В статье производится оценка экологических аспектов, анализируя которые автор приводит главные направления снижения природоемкости производства. Сделан вывод, что целесообразно комплексное решение проблемы устранения экологических последствий использования энергоресурсов, объединив все мероприятия, направленные на экологизацию технологических установок. При этом применение энергетиче-

ских технологий одновременно направлено на снижение потребления электрической и тепловой энергии, повышение эффективности производственных процессов и снижение их природоемкости.

Ключевые слова: технологические установки, энергосбережение, экологизация, природоемкость, вторичные энергетические ресурсы, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность.

The article evaluates environmental aspects, analyzing which the author cites the main directions of reducing the environmental intensity of production. It is concluded that a comprehensive

solution to the problem of eliminating the environmental consequences of the use of energy resources is advisable by combining all measures aimed at the greening of technological installations. At the same time, the use of energy technologies is simultaneously aimed at reducing the consumption of electric and thermal energy, increasing the efficiency of production processes and reducing their environmental intensity.

Keywords: technological installations, energy saving, greening, environmental intensity, secondary energy resources, renewable energy sources, energy efficiency.

На сегодняшний день применяемые технологии энергосбережения позволяют значительно сократить расходы на электроэнергию. Энергетика – основа современного народного хозяйства, но она является и главным загрязнителем и разрушителем окружающей среды. В настоящее время добыча, транспортировка и использование нефти и природного газа и угля неизменно связаны с огромным объемом и масштабом негативного воздействия на экологию. Продолжаются споры о допустимости экологических рисков, связанных с атомной энергетикой, строительством гидроэнергетических объектов. Даже направления развития энергетической отрасли на основе возобновляемых источников энергии подвергается критике, так как экологически небезопасны вредящие птицам и «загрязняющие горизонт» ветровые установки, утилизация солнечных батарей и так далее [1].

Показатели воздействия на окружающую среду

Безусловным «лидером» негативных влияний на экологию по всей энергетике, являются топливные отрасли и, в первую очередь, нефтедобывающая промышленность, где происходит постоянный рост объема сжигаемых нефтяных газов, и как следствие, пренебрежение проблемами экологии большинства нефтяных предприятий. При этом влияние на окружающую среду техногенных катастроф огромно – в среднем 50 аварий в год без тенденции к их уменьшению. Объем твердых отходов угольной промышленности продолжает непрерывно увеличиваться, что не оправдано ни ростом добычи угля, ни снижением качества его производства.

Теплоэлектростанции, которые вырабатывают электрическую энергию для технологических установок – первые в списке наиболее загрязненных производств. Поэтому использование тепловой

и электрической энергии должно быть рациональным, чтобы минимизировать вредное воздействие на окружающую среду. Лучше всего перейти к современным экологическим решениям, которые позволяют оптимизировать использование электроэнергии в производственных установках, а также уменьшить выбросы в атмосферу углекислого газа при работе оборудования. Только повсеместное энергосбережение может оказать экономический и экологический эффект, что в дальнейшем позволит сократить затраты и время на проекты энергосбережения. Поэтому вывод о том, что уровень негативных воздействий на экологическую обстановку со стороны топливно-энергетического комплекса увеличивается, является обоснованным. Таким образом, снижение производства топлива, энергии и их экономия окажет наиболее положительный экологический эффект. Но важно – можно ли такое со-

кращение обеспечить без снижения производства и при приемлемых экономических условиях [2, с. 58-60].

Анализ экологических аспектов энергосбережения

Экологический подход при использовании технологических установок предполагает одновременное улучшение эффективности производственного процесса и уменьшение его природоемкости. От любого энергосберегающего решения, как правило, возникает положительный экологический эффект. Таким образом, при определении целесообразности и приоритетности затрат на энергосбережение следует производить анализ и оценку экологических аспектов. Первым аспектом энергосбережения является возможность не создавать новых топливных баз, транспортных и распределительных сетей топливоснабжения. Вторым важнейшим экологическим аспектом энергосбережения – уменьшение выбросов парниковых и загрязняющих газов за счет экономии энергоресурсов, внедрения в производственные процессы инновационных энергоэффективных технологий и оборудования. Третий аспект энергосбережения заключается в сохранении гидросферного пространства при неуклонном увеличении использования воды для производственных и хозяйственных целей. Энергоемкие предприятия, выпускающие черные, цветные металлы, химические, нефтяные, лесоперерабатывающие отрасли, предприятия по производству продукции легкой промышленности, бытовые сточные воды – основные источники загрязнения водных ресурсов вредными веществами. Поэтому экономия сжигаемого топлива и энергоносителей, повышение уровня водоочистки на предприятиях способствуют уменьшению загрязненности гидросферы. Охрана водоемов от загрязнения нефтью и нефтепродуктами – отдельный аспект влияния энергетики на экосистемное равновесие природных вод [3, с. 94; 4].

Мероприятия по снижению природоемкости

В современных условиях в странах с технически развитыми техно-

логиями многократно возрастает потребление электроэнергии, ископаемого топлива. Компенсация или устранение экологических последствий использования энергоресурсов должны производиться на основе принципиальных подходов к уменьшению природоемкости:

1. Внедрение более современных малоотходных и энергосберегающих технологических установок во всех секторах экономики, уменьшение доли энергоемких технологий в производственных процессах. Наряду с экологическим эффектом, инновационные технологии энергосбережения обеспечивают качественное, конкурентоспособное производство, улучшение условия труда, обеспечивают оптимальное энергопотребление во времени, снижают риск аварийных ситуаций, создавая экологическое равновесие.

2. Изменение производственной структуры с сокращением количества природоемких высокоотходных технологий, изготовление экологичной продукции с длительным сроком службы, использование которой после износа возможно в производственном цикле.

3. Производство без отходов и утилизация вторичных энергоресурсов (ВЭР), совместимость различных производств, улучшение очистки сред от загрязнений техногенного происхождения, разработка и внедрение эффективных очистных и утилизационных систем уничтожения конечных отходов с целью максимального их применения в качестве ВЭР, создание в промышленности высокозамкнутых циклов потоков сырья, продукции и отходов с рациональным использованием компонентов и всех типов энергии без нарушений экологического баланса. Использование вторичных энергоресурсов обеспечивает трехкратный экологический эффект, сохраняя органические ресурсы Земли для их использования следующими поколениями там, где пока нет им альтернативы, без необходимости строительства новых энергетических объектов, оказывающих загрязняющие воздействия, с очищением биосферы с помощью уменьшения или исключения на нее антропогенных воздействий.

4. Максимальное применение источников возобновляемой энергетики, в соответствии с местными видами топлив и условиями региона, в которых они используются.

Каждое направление в отдельности может решить только локальные задачи. Чтобы снизить природоемкость производства необходимо объединить все эти мероприятия и комплексно решать задачи по устранению экологических воздействий использования энергоресурсов [2, с. 58; 3, с. 29, 82].

Преимущественными мероприятиями по развитию малоэнергоемкого сектора национальной экономики является применение энергосбережения, повышения энергоэффективности производства за счет перехода на изготовление новых изделий, для создания которых потребуются меньшие энергозатраты, наиболее глубокая переработка сырья. Для предприятий нефтегазовой отрасли необходимы: замена энергоемких технологических установок энергоэкономными, снижение объема сжигаемых газов, экономии энергии, что дает огромный экономический эффект. Модернизация технологических установок, необходимая для энергосбережения, экономически очень выгодна, так как инновационная высокотехнологичная техника не только будет превосходить прежнюю по энергоэффективности, но и будет экономичнее по всем видам расходов, более надежна при эксплуатации, обеспечит лучшее качество изделий, оптимальные условия работы [2, с. 60; 5].

Заключение

Внедрение современных экологических энергетических эффективных технологий снизит энергопотребление электроэнергии и тепла, что в итоге позволит тепловым электростанциям вырабатывать меньше энергии, сжигая меньше природного газа. Итак, использование современных энергоэффективных технологических установок, бытовых устройств, нестандартных источников энергии, новых видов топлива, применение эффективного энергосбережения и многое другое – все это будет способствовать замене энергоресурсов, добыча и перера-

ботка которых чрезвычайно вредны для окружающей среды и каждого из нас. Это отношение к проблемам энергосбережения и экологической безопасности, использование их огромных резервов в России позволит обновить промышленное оборудование, уменьшить расходы на электроэнергию, вредные выбросы в атмосферу, экономично расходовать природные ресурсы, а также радикально снизить негативные последствия воздействия энергетики на экологию, а следовательно, снизить вред здоровью людей [3, с. 19; 4].

Литература

1. Энергосбережение и экология. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecoportal.su/news.php?id=94884/> (дата обращения: 30.01.2023).

2. Ушаков В.Я. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности: социально-экономические, организационные и правовые аспекты: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 280 с. С.58-60

3. Шаповалов, С.В. Энергосбережение и энергосберегающие технологии : учеб. пособие / С.В. Шаповалов, О.В. Самолина, Н.А. Шаповалова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 99 с.

4. Экологические эффекты энергосбережения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studbooks.net/1255980/ekologiya/ekologicheskie_effekty_energoberezeniya/ (дата обращения: 30.01.2023).

5. Экологическое значение энергосбережения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s21798t9.html/> (дата обращения: 30.01.2023).

Рыжова Елена Львовна

Родилась в 1967 году. В 2000 году окончила Петербургский государственный университет путей сообщения, по специальности автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. Защитила кандидатскую диссертацию по теме «Создание компьютерного тренажера-имитатора для обучения безопасным приемам труда». (2006 г.). Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и теплоэнергетика» федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I». Автор 73 публикации, из них 18 учебно-методических и 55 научных работ. Имеет Благодарность Министра транспорта Российской Федерации.

Ryzhova Elena Lvovna

Was born in 1967. In 2000, she graduated from St. Petersburg State University of Railway Transport with a degree in automation, telemechanics and communications in railway transport. She defended her PhD thesis on the topic «Creation of a computer simulator-simulator for teaching safe labor practices». (2006). Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Electrical Engineering and Thermal Power Engineering» of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I». She is the author of the 73 publications, including 18 educational and methodological and 55 scientific papers. He has the Gratitude of the Minister of Transport of the Russian Federation.

Ростех разработал новые антенные системы для водного и железнодорожного транспорта

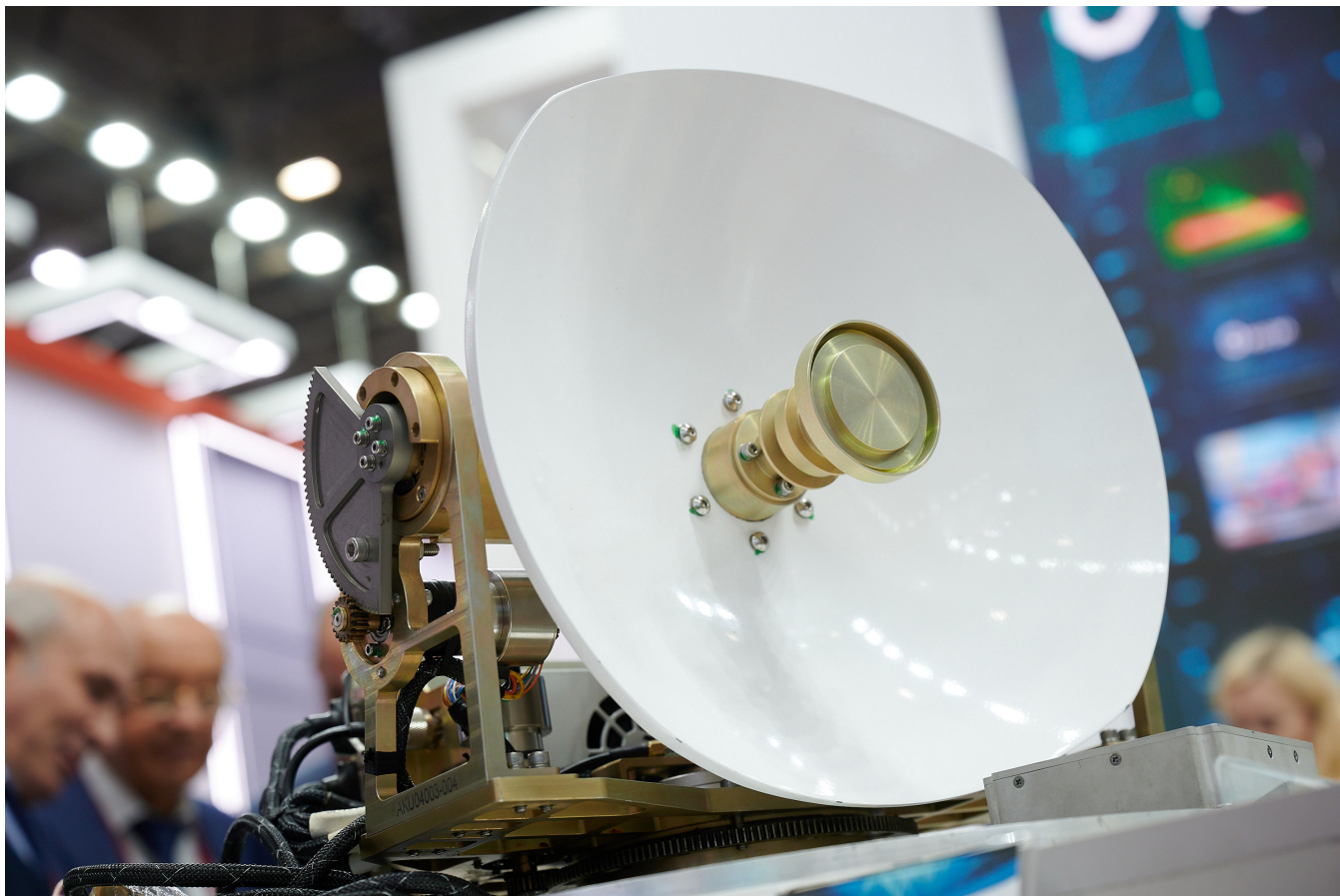


Фото: Виктор Молодцов

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех расширил линейку антенных систем спутниковой связи, предназначенных для различных видов транспорта. Разработаны две новые модификации оборудования – для малых речных и морских судов, а также компактная версия для автомобильного и железнодорожного транспорта. В 2023 году будет проведена подготовительная работа для начала серийного выпуска всей линейки изделий.

Новые антенные системы позволят пассажирам пользоваться высокоскоростным интернетом и стабильной связью, установленной через находящиеся на орбите отечественные спутники; получать доступ к различным мультимедийным сервисам, в том числе видео-конференц-связи, IP-телефонии, мониторинговой информации.

В составе «Росэлектроники» разработкой нового оборудования занимается концерн «Автоматика».

«Разработка данных изделий ведется в рамках постановления правительства РФ № 109 по созданию линейки антенных систем спутниковой связи для подвижных объектов с конца 2021 года. Мы уже имеем шесть устройств для установки на различные виды транспорта, включая автомобили, железнодорожные составы, вертолеты, самолеты малой и среднемагистральной авиации, морские и речные суда. К настоящему времени наше предприятие продолжит испытания антенных систем в составе мультимедийных комплексов на специально изготовленном опорно-поворотном стенде, который позволит симитировать работу изделия в движении на земле, в воздухе и на водной поверхности», – сказал ге-

неральный директор концерна «Автоматика» Андрей Моторко.

Оборудование также способно обеспечивать трансляции в прямом эфире различных культурно-массовых мероприятий и спортивных соревнований. Так, в августе 2022 года мультимедийный комплекс, разработанный в холдинге, использовался при проведении телетрансляции соревнований по танковому биатлону с полигона «Алабино». Новая морская антенная система может применяться в малогабаритной репортажной радиостанции для съемки парусных регат.

Источник: <https://rostec.ru/news/rostekh-razrabotal-novye-antennye-sistemy-dlya-vodnogo-i-zheleznodorozhnogo-transporta/>

О 16-й международной выставке "ЭлектроТранс"



16-я международная выставка "ЭлектроТранс": электрическая мобильность, продукция и технологии для электрического транспорта и метрополитенов!

Выставка пройдет **27-29 сентября 2023 г. в Москве** в Экспоцентре на Красной Пресне в рамках Российской недели общественного транспорта и городской мобильности. В 2022 г. в выставках и деловой программе "Недели" приняли участие 144 организации (94 со стендом). Количество посетителей – 3238 человек. О выставке 2022 г.

Выставка "ЭлектроТранс" организуется с 2009 года при содействии отраслевых ассоциаций, общественных движений, профсоюзов, федеральных и муниципальных органов

власти. Экспозиция и деловая программа интересны руководителям и специалистам предприятий городского общественного транспорта, муниципальных образований, федеральных органов исполнительной и законодательной власти, а также экспертам из проектных организаций, учебных заведений, поставщикам подвижного состава, продукции и услуг.

Цель выставки – предоставить эффективную коммуникационную площадку для общения специалистов, заинтересованных в сохранении и развитии городского электрического транспорта – от электросамоката до электрички.

Общественный транспорт, прежде всего, рельсовый – основа

транспортной сети современного города. Электрический общественный транспорт работает в 500+ городах мира. В нашей стране действуют 7 метрополитенов и более 100 трамвайных и троллейбусных предприятий. 75% населения России пользуются общественным транспортом, ежегодный пассажиропоток которого – 18.7 млрд поездок. 90% ВВП формируют урбанизированные территории: то есть города генерируют львиную долю благосостояния, а их экономический потенциал во многом определяется качеством городской транспортной системы.

Электрический общественный транспорт – трамвай (ЛРТ), троллейбус, электробус, метрополитен, фу-





никулёр, монорельс, канатная дорога, струнный транспорт, городская и пригородная электричка, с недавних пор – речные электрические суда – это самый экологичный и во многих случаях – самый эффективный способ обеспечения мобильности и устойчивого развития экономики городов. Придет время, когда он будет доминировать в транспортном потоке городов наряду с другими видами электрической мобильности.

Во всем мире и в нашей стране активно развивается коммерческий, служебный, коммунальный и личный электротранспорт, появляется все больше зарядных станций. С каждым годом расширяются соответствующие разделы выставки "ЭлектроТранс".

С 2019 года оргкомитет Российской недели общественного транспорта ежегодно выпускает информационный сборник "Российский общественный транспорт и городская мобильность".

Начиная с 2021 года оргкомитет выставок проводит дополнительные мероприятия по теме развития электрического транспорта. Так, 12 мая 2022 г. было проведено Всероссийское совещание по развитию электрического транспорта и зарядной инфраструктуры: диалог бизнеса и власти. 2-3 сентября 2021 года в Казани на базе КГЭУ прошло выездное заседание Научно-экспертного совета при Комитете Совета Федерации по экономической политике (рабочая группа Импортзамещение для нужд энергетики, ЖКХ и потребителей энергоресурсов), посвященное вопросам развития электрического транспорта и зарядной инфраструктуры. В 2023 году в мае в Сочи пройдет всероссийское совещание по развитию электрического транспорта и выставка "Электротранспорт Юга России".

К выставке выпускаются специальные номера газет и журналов.

Инвестиционный потенциал отрасли "электротранспорт и метрополитены" составляет около 200-250 млрд руб. ежегодно. Объем субсидий на поддержку пассажирских перевозок составляет около 70 млрд руб. ежегодно (65% из них идет на модернизацию пригородного железнодорожного сообщения). Транспортная стратегия России до 2030 г. предполагает увеличение доли поездок на общественном транспорте в крупнейших агломерациях страны на 15% по сравнению с 2019 годом. Кроме того она предусматривает активное внедрение цифровых сервисов. Ожидается, что к 2035 году доля пассажиров, использующих биометрическую идентификацию на пригородных, междугородних и международных перевозках составит 80%. В феврале 2023 г. Минтранс РФ предложил правительству к осени утвердить программу по замене общественного электротранспорта, бюджет которой оценивают в более 500 млрд руб.



В структуре городских и пригородных перевозок в среднем по стране доля метрополитена составляет 16%, пригородных электропоездов 9%, трамвайного и троллейбусного сообщения – по 7%.

Ключевой приоритет Адресной инвестиционной программы Москвы – развитие Московского метрополитена. На долю столицы приходится 100% поставок электробусов, 90% вагонов метро, 85% пригородных электропоездов, 70% трамваев. В 2019-2021 гг. введено в строй 57,9 км линий метро, 21 станция и 3 электродепо. Предусматривается стро-

ительство путепроводов, мостов, тоннелей (всего 84 объекта), 325 километров дорог, 55 ТПУ. 139 млрд руб. выделяется на развитие пригородного железнодорожного сообщения. В 2023 г. вводится в строй самая БКЛ метро – самая большая по длине линия метро в мире. Москва – первый город в нашей стране, приступающий к эксплуатации электробусов. Начиная с 2018 года город закупает по 300 электробусов ежегодно (1000 работает на маршрутах на конец 2021 г.), а с 2024 года прекратится закупка дизельных автобусов. По словам заместителя мэра

в правительстве Москвы М.С. Ликсутова, "Переход на электробусы в Москве – это новый этап в развитии подвижного состава наземного пассажирского транспорта. Результаты освоения этой технологии города будут использовать в течение десятилетий". Также на электромобили планируется перевести столичное такси и служебный транспорт.

К 2024 году в России планируется выпустить не менее 25 тыс. электромобилей и открыть более 9 000 зарядных станций для них.

Источник: <https://electrotrans-expo.ru/>



Электрооборудование транспортно-технологических средств – книги по дисциплине



Автомобильная электроника и электрооборудование. Системы

В пособии представлены основные сведения, особенности, принципы действия, эксплуатационные характеристики электрооборудования, электронные и микропроцессорные системы бортовой автоматики комплексных систем энергоснабжения и управления двигателями внутреннего сгорания современных автомобилей, системы освещения, световой и звуковой сигнализации.

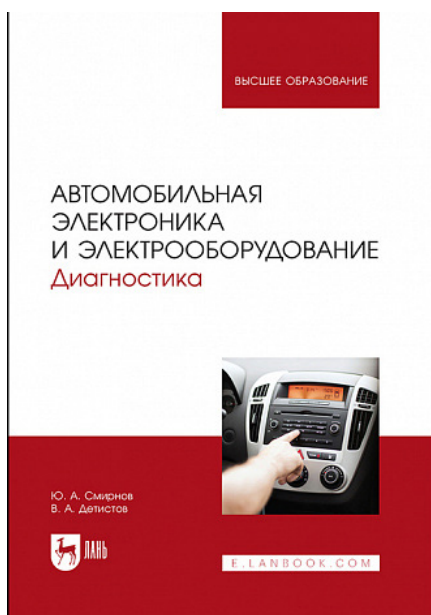
Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по укрупненной группе специальностей «Техника и технологии наземного транспорта».

Год издания: 2022

Авторы: Смирнов Ю. А., Детистов В. А.

Автомобильная электроника и электрооборудование. Диагностика

В пособии представлены основные сведения, особенности, принципы действия, эксплуатационные характеристики информаци-



онно-диагностической аппаратуры, электронные и микропроцессорные системы бортовой автоматики, диагностика систем управления агрегатами современных отечественных и зарубежных автомобилей.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по укрупненной группе специальностей «Техника и технологии наземного транспорта».

Год издания: 2022

Авторы: Смирнов Ю. А., Детистов В. А.

Электромагнитная безопасность на электрифицированной железной дороге. Общие проблемы электромагнитной безопасности в техносфере

Пособие написано по материалам авторов, многие годы сотрудничающих с крупными промышленными предприятиями в области исследования проблем электромагнитной безопасности. Включает общие вопросы, касающиеся электромагнитной безопасности в техносфере.

Книга предназначена для учащихся высших электротехнических



учебных заведений по направлениям подготовки бакалавров и магистров «Электроэнергетика и электротехника». Может быть использована аспирантами, научно-исследовательскими и практическими работниками, занятыми на объектах электрифицированной железной дороги.

Год издания: 2022

Авторы: Аполлонский С. М., Горский А. Н., Ким К. К.

Электротехника и электрооборудование транспортных средств

Книга представляет собой учебное издание, в котором с систематическими позициями представлены конструктивные решения основных систем электрооборудования транспортных средств, закономерности функционирования и особенности их работы. Целью данного учебного пособия является обобщение, систематизация вопросов конструкции диагностирования и обслуживания современных электронных и микропроцессорных систем электрооборудования автомобиля, дать определения основным понятиям,

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ



Р. Н. Сафиуллин
В. В. Резниченко
М. А. Керимов



E.LANBOOK.COM

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАРЯДНЫЕ И ПУСКОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ



В. Ф. Яковлев



E.LANBOOK.COM

описание некоторым электронным системам автомобиля.

Учебное пособие написано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования третьего поколения и предназначено для бакалавров и магистров направлений подготовки «Технология транспортных процессов», «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», специалистов направления «Наземные транспортно-технологические средства». Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам предприятий автомобильной промышленности, а также специалистам сервисных служб и всем, кто связан с эксплуатацией автотранспортных средств.

Год издания: 2022

Авторы: Сафиуллин Р.Н., Резниченко В.В., Керимов М.А.

Современные зарядные и пусковые устройства для автомобилей

В предлагаемом учебном пособии рассматриваются: устройство современных автомобильных аккумуляторных батарей и зарядных устройств, вопросы конфигурирования системы управления зарядным

устройством на базе контроллеров заряда, проектирование силового блока зарядного устройства. Рассмотрены также схемы современных пусковых устройств и электрические процессы, происходящие при совместной работе аккумуляторной батареи и пусковых устройств различного типа.

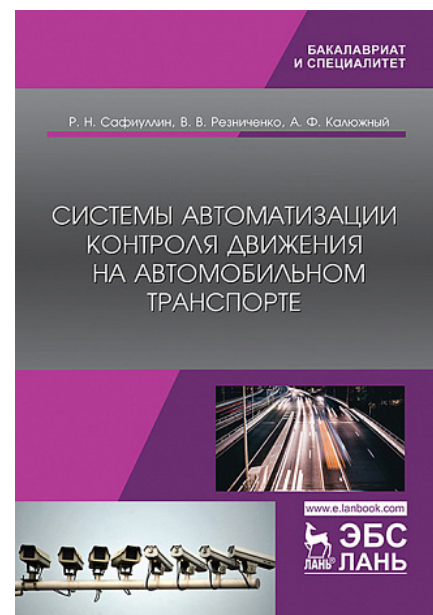
Информация, приведенная в учебном пособии, об автомобильных аккумуляторных батареях, зарядных и пусковых устройствах предназначена, прежде всего, студентам, обучающимся по направлениям подготовки высшего образования «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и «Электроэнергетика и электротехника».

Год издания: 2021

Авторы: Яковлев В.Ф.

Системы автоматизации и контроля движения на автомобильном транспорте

Представлены основные сведения о современных интеллектуальных транспортных системах на автомобильном транспорте, их особенностях и эксплуатационных характеристиках. Рассмотрены основные компоненты электронных систем управления движением ав-



томобильного транспорта на основе выявления общих принципов функционирования автоматических устройств. Дано описание систем автоматической фиксации административных нарушений в дорожно-транспортной сфере. Изложены особенности построения алгоритмов, оптимального управления транспортными средствами, а также отдельные аспекты теории передачи информации. В рассматриваемой предметной области анализируются конкретные примеры, направленные на выработку навыков применения математических методов при управлении техническими системами.

Монография предназначена для повышения качества подготовки студентов специальности «Наземные транспортно-технологические средства».

Книга представляет практический интерес для специалистов сервисных служб. Она будет полезна инженерно-техническим работникам, чья деятельность связана с эксплуатацией автомобильного транспорта.

Год издания: 2019

Авторы: Сафиуллин Р.Н., Резниченко В.В., Калюжный А.Ф.

Источник: <https://lanbook.com/catalog/discipline/elektrooborudovanie-transportno-tehnologicheskikh-sredstv/>

Перечень статей, напечатанных в журнале «Электроника и электрооборудование транспорта» в 2022 году

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
Раздел: Электроснабжение и электрооборудование				
1.	Анализ методик расчета фактической емкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей при различных температурах	Чебоксаров А.Н.	1	2-5
2.	Повышение эффективности эксплуатации силовых трансформаторов в системе тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ	Григорьев Н.П., Воприков А.В., Парфианович А.П., Трофимович П.Н.	1	6-9
3.	Регулируемая установка поперечной емкостной компенсации в тяговой сети переменного тока	Герман Л.А., Серебряков А.С., Карабанов А.А., Гончаренко В.П.	1	10-17
4.	Расчет и анализ процессов в многополюсном электромеханическом магнитореологическом демпфере	Нестеров С.А., Казаков Ю.Б., Филиппов В.А.	1	18-22
5.	Бесконтактная передача энергии на экипажи высокоскоростного магнитолевитационного транспорта	Никитин В.В., Васильев В.А., Чжао Тяньчжун	1	23-26
6.	Моделирование вентильно-индукторных электрических машин с сокращенным объемом начальной информации	Чавычалов М.В., Набоков А.Е., Зиновьева А.С.	1	27-31
7.	Анализ гистерезиса выходной емкости моп-транзисторов резонансных преобразователей для транспортных систем	Татуйко П.С., Федяева Г.А., Надточей А.Г., Княгинин Д.А.	1	32-35
8.	Конденсаторно-транзисторный модуль зажигания газового двигателя внутреннего сгорания	Нефедьев А.И., Шаронова В.Г., Гусев В.Г.	2	2-5
9.	Энергетический критерий выявления обрыва тиристорного плеча силового преобразователя электровоза переменного тока	Скорик В.Г., Малышева О.А., Супрун Д.А.	2	6-10
10.	Исследование работоспособности электромеханических систем движительно-рулевого комплекса бывшего в длительной эксплуатации обитаемого подводного аппарата	Лобынцев В.В., Фокин С.Г., Кичко С.А., Поляшов А.А., Дураков Д.Н., Куштан М.И., Буряков И.Н., Устинов В.С.	2	11-17
11.	Фильтрокомпенсирующая установка для повышения пропускной способности и снижения потерь мощности в тяговой сети железных дорог	Серебряков А.С., Герман Л.А., Дулепов Д.Е., Осокин В.Л.	2	18-22
12.	Способы визуального и автоматического контроля температуры оборудования электроподвижного состава	Степанов М.А., Степанов А.П., Криворотова В.В.	3	2-5
13.	Особенности устройства и работы четырехфазного вентильного двигателя переменного тока с несимметричной обмоткой	Гридин В.М.	3	6-10
14.	Моделирование энергоэффективной системы прямого управления моментом тягового асинхронного двигателя	Евстафьев А.М., Пугачев А.А.	3	11-17
15.	Силовая схема электровоза переменного тока с применением управляемого транзисторного преобразователя возбуждения	Михальчук Н.Л., Савоськин А.Н., Чучин А.А.	3	18-22
16.	Анализ методов решения задач оптимального управления движениям поезда	Лесов А.Т.	3	23-28
17.	Совершенствование конструкции секционного изолятора	Тарабин И.В., Титова Т.С., Терёхин И.А., Руммо А.А.	4-5	2-6

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
18.	Современная защита и автоматика установки продольной емкостной компенсации тяговой подстанции	Герман Л.А., Серебряков А.С., Осокин В.Л., Дулепов Д.Е., Петров Д.В.	4-5	7-13
19.	Неравномерное распределение нагрузки между выпрямительными агрегатами	Червонченко С.С., Фролов В.Я.	4-5	14-18
20.	Разработка обобщенной графоаналитической модели подсистемы мониторинга и управления системой электроснабжения метрополитена	Канаев А.К., Давыдова А.В.	4-5	19-23
21.	Степень работоспособности выпрямителя автомобильного генератора	Пузаков А.В.	4-5	24-28
22.	Специализированные микросхемы для активных устройств балансировки аккумуляторных батарей в автономных электроэнергетических системах	Зуев С.М., Варламов Д.О.	4-5	29-34
23.	Применение накопителей энергии в качестве аварийных источников питания на метрополитене	Кузнецов Г.Ю.	4-5	35-37
24.	Альтернативный алгоритм управления силовым преобразователем электровоза переменного тока в аварийных режимах	Супрун Д.А., Скорик В.Г., Буняева Е.В., Малышева О.А.	4-5	38-43
25.	Переключаемая двухступенчатая фильтрокомпенсирующая установка на посту секционирования тяговой сети железных дорог переменного тока	Герман Л.А., Серебряков А.С., Осокин В.Л., Дулепов Д.Е.	6	2-7
26.	Импульсный источник питания для широкого применения	А. И. Сурайкин, А. А. Сурайкин	6	8-10
27/	Моделирование электромагнитного привода исполнительных механизмов систем топливоподдачи среднеоборотных дизелей	Ахтырский С.А.	6	12-16
Раздел: Тенденции развития электроники и электрооборудования на транспортных средствах				
28.	Применение нейронных сетей для прогнозирования и оповещения событий информационной безопасности	Васильев А.В.	3	29-31
29.	Трамвай-поезд и перспектива его применения в транспортной системе Санкт-Петербурга	Макарова Е.И., Викулов И.П., Быльцева В.Д.	3	32-38
30.	Сравнение энергоэффективности электромобилей	Рагимов Э.А.	3	39-43
31.	Использование бортовых накопителей энергии на городском рельсовом транспорте	Шаряков В.А., Шарякова О.Л., Марков К.В.	4-5	44-48
32.	Методика обработки больших данных от мобильного приложения в реальном времени	Васильев Г.В.	6	17-20
33.	Способ расчета основных параметров гибридной силовой установки для специальных транспортных средств	Чебоксаров А.Н.	6	21-24
34.	Использование альтернативных источников энергии на железнодорожном транспорте	Абрамян А.Э.	6	25-29
Раздел: Электромагнитная совместимость				
35.	Исследование помехоустойчивости к внешним электромагнитным воздействиям канала управления скоростью, CAN-шины и электронного реле указателей поворота современного легкового автомобиля	Николаев П.А., Козловский В.Н., Подгорный А.С., Крицкий А.В.	3	44-48
Раздел: Проблемы качества и надежности, сертификация, стандартизация				
36.	Многофакторная оценка влияния дорожной обстановки на помехоустойчивость бортового электротехнического комплекса автомобилей	Николаев П.А., Козловский В.Н., Подгорный А.С., Саксонов А.С.	1	36-41

№ п/п	Название раздела, статьи	Авторы	№ журнала	Стр.
Раздел: Современные технологические процессы, оборудование, материалы				
37.	Оптимизация транспортировки грузов на примере применения электроники и электрооборудования в мультимодальных перевозках	Рахматуллин С.С.	1	42-46
38.	Новые системы изоляции тяговых двигателей	Рыжова Е.Л.	2	23-25
39.	Совершенствование системы контроля изоляции тяговых двигателей локомотивов	Прохор Д.И., Никитин В.В., Евстафьев А.М.	2	26-30
Раздел: Мехатронные системы, исполнительные устройства				
40.	Моделирование системы рекуперации энергии при торможении автомобиля с суперконденсатором	Вышков Ю.Д., Томилин М.М.	1	47-48
Раздел: Диагностика и испытания				
41.	Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования	Еркебаев А.	2	31-38
42.	Разработка вероятностно-статистической математической модели и критерия оценки соответствия бортового электрооборудования партии автомобилей по параметрам помехоустойчивости	Николаев П.А., Козловский В.Н., Подгорний А.С., Брачунова У.В.	2	39-43
43.	Применение вычислительных методов в прогнозировании тепловой нагрузки	Васильев А.В.	4-5	49-52
44.	Структурно-параметрический синтез системы управления ЭТК грузоподъемного механизма	Доманов В.И., Мурзаков Д.Г.	4-5	53-56
45.	Совершенствование метода испытаний бортового электротехнического комплекса автомобилей на помехоустойчивость к электромагнитным воздействиям	Николаев П.А., Козловский В.Н., Подгорний А.С.	6	30-36
46.	Проблема помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса легковых автомобилей в процессе эксплуатации	Николаев П.А., Подгорний А.С., Козловский В.Н., Саксонов А.С.	6	37-42
47.	Модель участка контактной сети для исследования эффективности грозозащиты пунктов питания схем сигнализации и управления железной дорогой	Ким К.К., Михайлов Ю.А.	6	43-48
Раздел: Электромагнитная совместимость				
48.	Электромагнитные процессы в бесконтактных двигателях постоянного тока с двумя индукторами	Гридин В.М.	2	44-48
Раздел: Вопросы энергосбережения и экологии				
49.	Экологические аспекты энергосбережения в технологических установках	Рыжова Е.Л.	6	49-51
Раздел: Информация				
50.	Ростех разработал новые антенные системы для водного и железнодорожного транспорта		6	52
51.	О 16-й международной выставке «ЭлектроТранс»		6	53-55
52.	Электрооборудование транспортно-технологических средств - книги по дисциплине		6	56-57
53.	«Электроника и электрооборудование транспорта» в 2022 году		6	58-60