

$$2\pi \frac{r_0}{l} \lambda \frac{I r_0}{4kl} \text{Re} = \frac{I_p^2}{\pi r_0^2 A} e^{\frac{4l}{r_0 \sqrt{\text{Re}}}} \quad (16)$$

Из (16) получим:

$$r_0^4 = \frac{2I_p^2 k l^2}{\pi^2 A l \lambda \text{Re}} e^{\frac{4l}{r_0 \sqrt{\text{Re}}}} \quad (17)$$

Радиус канала определим из (17), используя метод простой итерации:

$$r_{n+1} = \left(\frac{2I_p^2 k l^2}{\pi^2 A l \lambda \text{Re}} e^{\frac{4l}{r_n \sqrt{\text{Re}}}} \right)^{1/4} \quad (18)$$

После определения радиуса канала легко определяется температура канала из уравнения (14) и напряженность электрического поля в канале:

$$E = \frac{I_p}{\pi \gamma_k r_0^2} \quad (19)$$

Формулы (14), (18) и (19) определяют основные свойства столба дуги при температурах $T_k \approx 8000 - 14000 \text{ K}$. В этом диапазоне температур принято использовать следующие эффективные значения “потенциала ионизации” $I = 6,2 \text{ эВ}$ и константы $A = 83 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, коэффициенты теплопроводности и вязкости задавались следующими значениями $\lambda = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Результаты расчетов по предлагаемой модели сопоставлялись с данными экспериментальных исследований плазмотронов, проведенных на стенде, и сравнивались с расчетами по эмпирической формуле, предложенной в работе [3].

Установлено, что результаты расчетов по предлагаемой модели с точностью до 10 % совпадают с экспериментальными данными, а эмпирическая формула в работе [3], дает значительную ошибку при токах меньше 3 А, это объясняется тем, что при ее получении использовались экспериментальные данные, полученные при испытаниях плазмотронов, работающих с токами от 2 до 30А.

Таким образом, предлагаемая модель позволяет производить оценочные расчеты параметров плазмотронов, особенно представляют интерес малые токи (менее 2 А) с точки зрения использования плазмотронов малой мощности.

Литература

1. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М.: Наука, 1987.
2. Энгель А., Штеенбек М. Физика и техника электрического разряда в газах, т.2: Пер. с нем. Под ред. Капцова Н.А. — М.; Л.: ОНТИ, 1936.
3. Романовский Г.Ф., Матвеев И.Б., Сербин С.И. Результаты экспериментальных исследований плазмотронов малой мощности. Труды Николаевского кораблестроительного института. Судовое машиностроение. Вып. 194, 1982. с.4-9.

Методика проектирования основных компонентов систем электроснабжения и пуска автотранспортных средств, учитывающая реальные условия эксплуатации, события и алгоритм

к.т.н. доц. Акимов А.В., к.т.н. Чернов А.Е.
МГТУ «МАМИ»
(495) 365-54-98, alexzander_66@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена методике проектирования генераторных установок, аккумуляторных батарей и стартерных электродвигателей автотранспортных

средств, включая электромашинные преобразователи различного типа и назначения, в условиях реальной эксплуатации. Разработанная авторами методика основана на использовании метода имитационного моделирования, позволяющего разбить эксплуатацию автомобиля на различные события (разгон, торможение, установившееся движение, стоянку на оборотах холостого хода, торможение двигателем и т.д.) на основании событий и экспериментальных ездовых циклов, полученных авторами на основании эксплуатационных исследований различных типов автомобилей составлен алгоритм эксплуатации. На основании алгоритма в любой конкретный момент времени можно рассчитать частоту вращения ротора генератора и ток нагрузки электропотребителей. Результаты эксплуатационных испытаний подтверждают адекватность разработанной авторами математической модели системы электроснабжения.

Ключевые слова: система электроснабжения, система электростартерного пуска, транспортное средство, алгоритм движения, ездовой цикл, генераторная установка.

Необходимость совершенствования существующих методик проектирования систем электроснабжения объясняется тем, что построены они без учета взаимосвязи и взаимного влияния входящих в СЭС основных компонентов, в связи с чем существенно усложняется решение многих практически значимых задач, например, современная методика выбора основных параметров и характеристик генераторной установки не позволяет достоверно моделировать ее взаимодействие с системой пуска силового агрегата автотранспортного средства в условиях реальной эксплуатации, а это не позволяет выбрать генераторную установку, стартерный электродвигатель и аккумуляторную батарею с оптимальными экологическими и энергетическими показателями, а также проводить выбор оптимального алгоритма управления систем электроснабжения и пуска.

Для моделирования работы СЭС применяется метод имитационного моделирования.

Разработка математической модели автомобильных систем электроснабжения и пуска включает следующие основные этапы:

- описание алгоритма эксплуатации систем;
- выбор шага дискретизации времени для каждого из событий алгоритма;
- разработку математической модели исследуемого объекта.

Анализ работы СЭС в эксплуатации позволяет выделить следующие факторы, оказывающие влияние на токораспределение, не зависящие от количества степеней свободы в системе:

- частота вращения ротора генератора n ;
- сопротивление нагрузки R_n , которое при пренебрежении его зависимостью от температуры функционально зависит от количества и состава включенных потребителей;
- температура электролита $t_{эл}$, которая при определенном режиме эксплуатации, месте установки аккумуляторной батареи (АБ) и наличии или отсутствии её утепления зависит от температуры окружающего воздуха $t_{окр}$, времени непрерывной работы ДВС $T_{р двс}$ и времени $T_{ст}$ непрерывной стоянки с неработающим двигателем;
- температура в подкапотном пространстве в месте установки генераторной установки $t_{ту}$, которая зависит от $t_{окр}$, $T_{р двс}$ и $T_{ст}$;
- время пуска ДВС T_n и ток стартера в режиме пуска I_c , которые зависят от времени непрерывной работы ДВС, времени непрерывной стоянки транспортного средства с неработающим двигателем и температуры окружающего воздуха.

Все рассмотренные факторы, за исключением температуры окружающего воздуха, зависят от особенностей эксплуатации автомобиля, которую предлагается рассматривать как цепь событий с изменяющейся случайным образом последовательностью.

На рисунке 1 представлена схема наиболее вероятных типовых событий, совокупность, последовательность и временные рамки которых могут составить основу для формирования

структуры системы и оптимизации ее параметров.

Далее рассмотрены условия завершения событий и состав факторов, изменяющихся при их наступлении, так как указанная информация необходима при разработке алгоритма, моделирующего изменение параметров эксплуатационного режима автомобиля, составляющего основу имитационной модели систем электроснабжения и пуска.

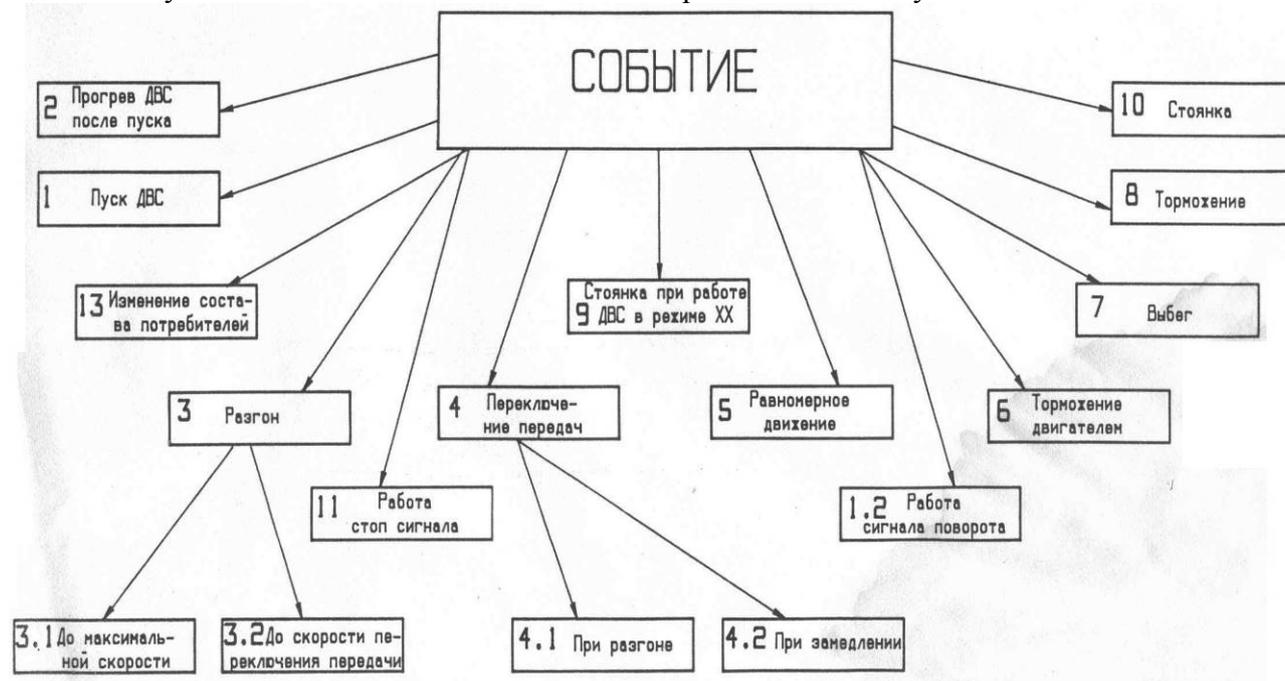


Рисунок 1 – Схема возможных событий при эксплуатации легкового автомобиля личного пользования

Первое событие – пуск ДВС. Событие заканчивается, когда текущее время события T_t становится равным продолжительности пуска ДВС $T_{п}$. Методика определения длительности события $T_{п}$ и среднего тока разряда АБ при пуске I_c рассмотрена ниже. Ранее ни одна из применяемых методик расчета не учитывала совместно работу и взаимное влияние наиболее важных систем электрооборудования, которые во многом определяют качество работы автотранспортного средства, а именно систем электроснабжения и пуска.

Второе событие – прогрев ДВС. В настоящее время для некоторых типов автотранспортных средств это событие не обязательно. Длительность события $T_{прг}$ может быть определена в соответствии с данными эксплуатации примерно равной 180 ... 240 секунд зимой и 30...60 секунд летом. При наступлении события частота вращения рассчитывается по средней эксплуатационной частоте прогрева ДВС, а R_n определяется по составу потребителей, работу которых необходимо обеспечить при питании электроэнергией от ГУ при холостом ходе ДВС.

Третье событие – разгон автомобиля. Возможны два пути развития, рассматриваемого события: разгон до установившейся (максимальной) скорости в ездовом цикле V_y и разгон до скорости переключения передачи $V_{пр}$. Таким образом, событие завершается, когда скорость автомобиля V_a станет равной V_y , либо $V_{пр}$.

При разгоне текущая частота вращения ротора генератора определяется следующим образом:

$$n = K_{гi} V_a, \quad (1)$$

где: $K_{гi}$ – коэффициент приведения частоты вращения для i -ой передачи, на которой осуществляется движение.

Четвертое событие – переключение передач. Оно происходит как при разгоне, так и при замедлении. Длительность события определяется временем переключения $T_{пр}$, которое рассчитывается по ездовым циклам. Частота вращения ротора генератора в любой момент времени данного события T_t вычисляется следующим образом:

$$n = K_{\Gamma i} V_{\text{пр}} + T_{\text{т}}/T_{\text{пр}} V_a (K_{\Gamma(i+1)} - K_{\Gamma i}), \quad (2)$$

где: $V_{\text{пр}}$ – скорость переключения передачи, определяется из ездового цикла;

$K_{\Gamma i}, K_{\Gamma(i+1)}$ – коэффициенты приведения частоты вращения, рассчитанные для передач, на которых осуществляется движение в предыдущем или последующем событиях.

Пятое событие – движение с установившейся скоростью. Длительность его определяется временем T_y , значение частоты вращения в течение события рассчитывается по формуле, приведенной выше.

Шестое событие – торможение двигателем. В соответствии с ездовыми циклами, а также данными эксплуатационных испытаний оно завершается при выполнении одного из следующих условий:

$$V_a = V_{\text{пр}}, \quad (3)$$

$$V_a = V_{\text{тр}}, \quad (4)$$

$$V_a = V_{\text{пов}}, \quad (5)$$

$$V_a = 0, \quad (6)$$

где: $V_{\text{тр}}$ и $V_{\text{пов}}$ – скорости начала торможения и начала поворота соответственно.

Седьмое событие – выбег (движение по инерции). Учитывая, что в условиях городского движения с высокой интенсивностью использование выбега на четвертой передаче, а также при замедлении автомобиля до полной остановки без торможения на заключительной фазе ездового цикла маловероятно, рассматриваемое событие завершается при выполнении условий (3), (4), а также после преодоления поворота.

Восьмое событие – торможение, завершается при выполнении условий (5) или (6).

Девятое событие – стоянка при работе ДВС автомобиля в режиме х.х. (стоянка перед светофором или поворотом). Длительность стоянки определяется временем $T_{\text{хх}}$, которое рассчитывается по ездовым циклам.

В течение событий семь, восемь, девять соблюдается равенство:

$$n = n_{\text{хх}} \quad (7)$$

Десятое событие – стоянка с неработающим ДВС. Стоянка может быть как длительной (ночная стоянка, стоянка у места работы владельца транспортного средства и т.д.) и короткой (стоянка при движении по маршруту, например, при высадке пассажира). Продолжительность стоянки $T_{\text{ст}}$ и количество стоянок первого типа могут быть определены в соответствии с суточными графиками эксплуатации или по среднему времени движения в сутки, а второго типа – по количеству включений стартера за один час движения и коэффициенту, показывающему отношение времени работы ДВС ко времени эксплуатации. В течение рассматриваемого события частота вращения равна нулю, а R_n – сопротивлению потребителей, включаемых на стоянке.

События одиннадцать и двенадцать – включение и работа стоп-сигнала и сигнала поворота соответственно. Включение стоп-сигнала происходит всякий раз, когда осуществляется торможение, т.е. событие одиннадцать параллельно событию восемь. Длительность включения стоп-сигнала часто превышает длительность торможения, поэтому работа стоп-сигнала может протекать и параллельно событию девять, т.е. при стоянке автомобиля, например, на светофоре. Среднюю продолжительность $T_{\text{сс}}$ можно рассчитать по следующей формуле:

$$T_{\text{сс}} = 3600 K_{\text{т}}/K_{\text{ч}}, \quad (8)$$

где: $K_{\text{т}}$ – коэффициент времени работы потребителя;

$K_{\text{ч}}$ – количество включений потребителя за час работы двигателя автомобиля,

$$K_{\text{ч}} = K V_{\text{ср}}/1000; \quad (9)$$

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения для рассматриваемой категории эксплуатации;

K – количество включений потребителя на 1000 км.

Данные по $K_{\text{т}}$ и K для стоп-сигнала и других потребителей представлены.

Исходя из функционального назначения сигнала поворота, можно считать, что его включение и работа происходят параллельно событиям шесть, семь, восемь, девять, т.е. при замедлении и стоянке перед светофором с поворотом или поворотом. Средняя длительность работы сигнала поворота $T_{\text{сп}}$ и количество его включений могут быть рассчитаны по форму-

лам (8) и (9), если в качестве исходных использовать соответствующие данные литературы.

Тринадцатое событие – изменение состава включенных потребителей (без учета стоп-сигнала и сигнала поворота) в условиях интенсивного городского движения может происходить параллельно либо событию пять, либо событию девять.

Длительность включения и работы i -го потребителя T_i определяется по формулам (8) и (9), а вероятность включения в течение конкретного события (пять или девять) $P_{вкл}$ по следующей формуле.

$$P_{вкл} = K_q / 2 K_{мц}, \quad (10)$$

где: $K_{мц}$ – количество микроциклов разгон-замедление за один час движения в данных условиях эксплуатации.

$K_{мц}$ может быть определено при анализе схемы маршрута испытаний.

Пример схемы маршрута испытаний для легкового автомобиля приведен на рисунке 2.

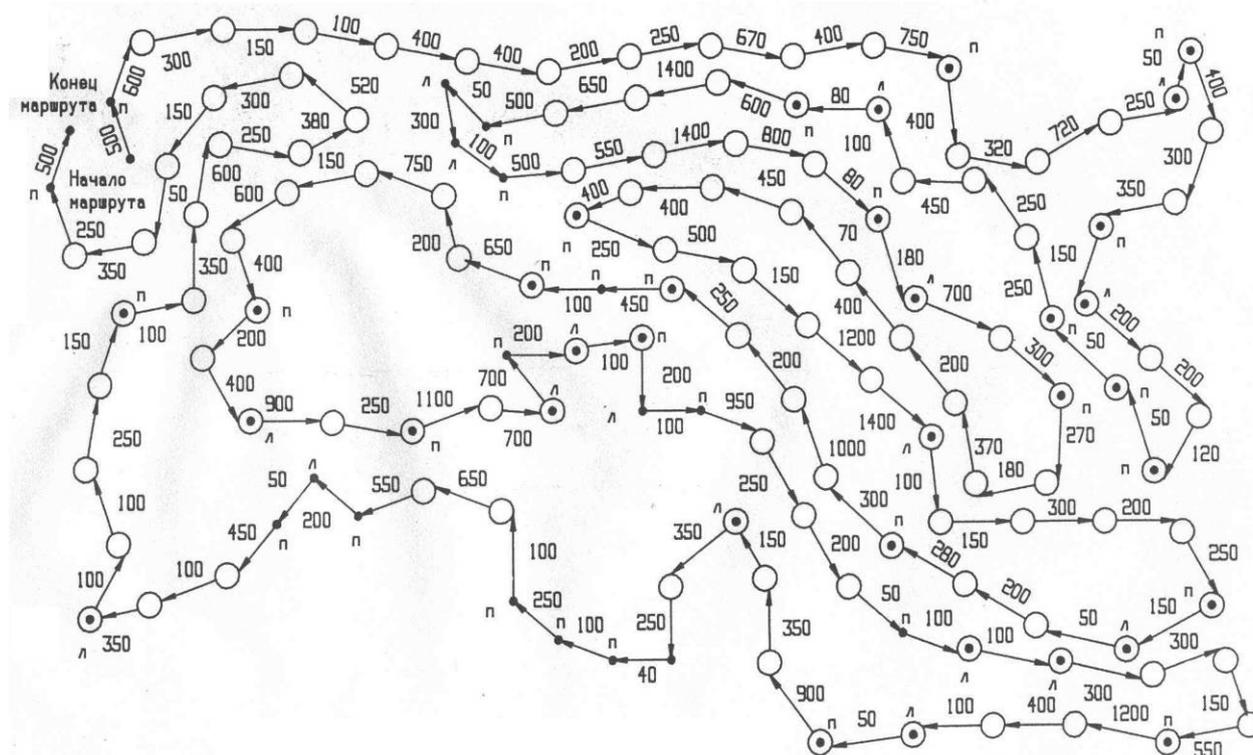


Рисунок 2 – Схема маршрута испытаний легкового автомобиля

Используя определенные автором ездовые циклы и данные эксплуатации, разработаны графики возможных ездовых циклов при проезде рассмотренных участков пути, представленных на рисунке 3.

В зависимости от типа и длины участка движения по нему может осуществляться по одному из возможных ездовых циклов (рисунок 3).

На основании приведенных графиков движения и очевидности того, что запуск ДВС может быть осуществлен только после стоянки с неработающим ДВС, а прогрев после запуска, остановка ДВС происходит, как правило, при неподвижном автомобиле и частоте вращения х.х. коленчатого вала ДВС, а также того, что включение стоп-сигнала возможно только при торможении, а сигнала поворота только на подъезде к повороту, можно составить алгоритм возможных последовательностей событий при эксплуатации автомобиля, которая представлена на рисунок 4.

На схеме окружностями изображены события. Цифры внутри окружностей обозначают номер события в соответствии с рисунком 1, а цифры под чертой – номера передач, на которых осуществляется движение. Прямыми линиями со стрелками изображены связи между событиями, причем наличие одной стрелки указывает на то, что события во времени происходят последовательно, а двух – параллельно. Линии с окружностями меньшего радиуса, чем

события, указывают на возможность проезда по участку без фазы движения с установившейся скоростью.

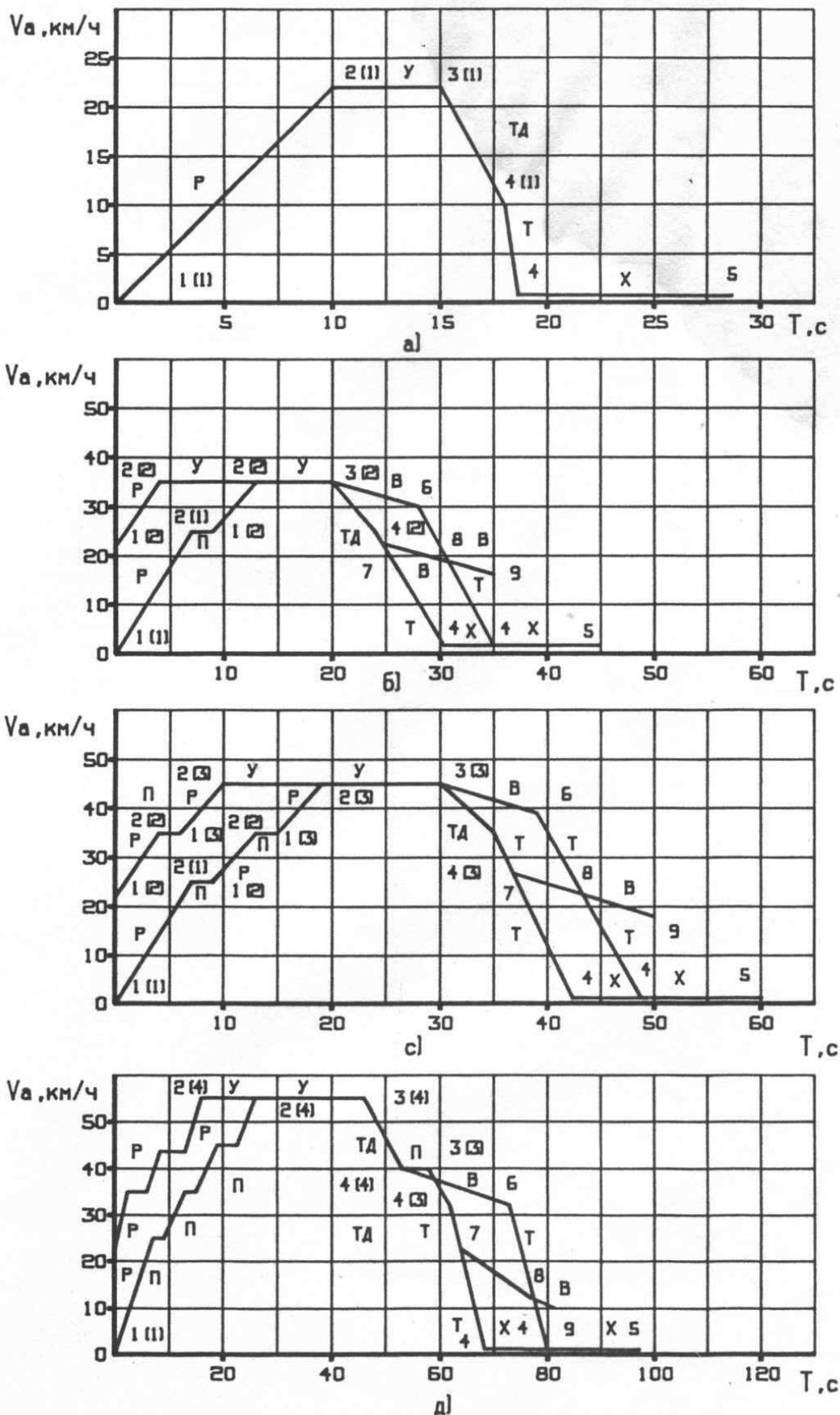


Рисунок 3 – Возможные графики проезда участков маршрута испытаний автомобиля на первой (а), на второй (Б), третьей (с) и четвертой (д) передачах

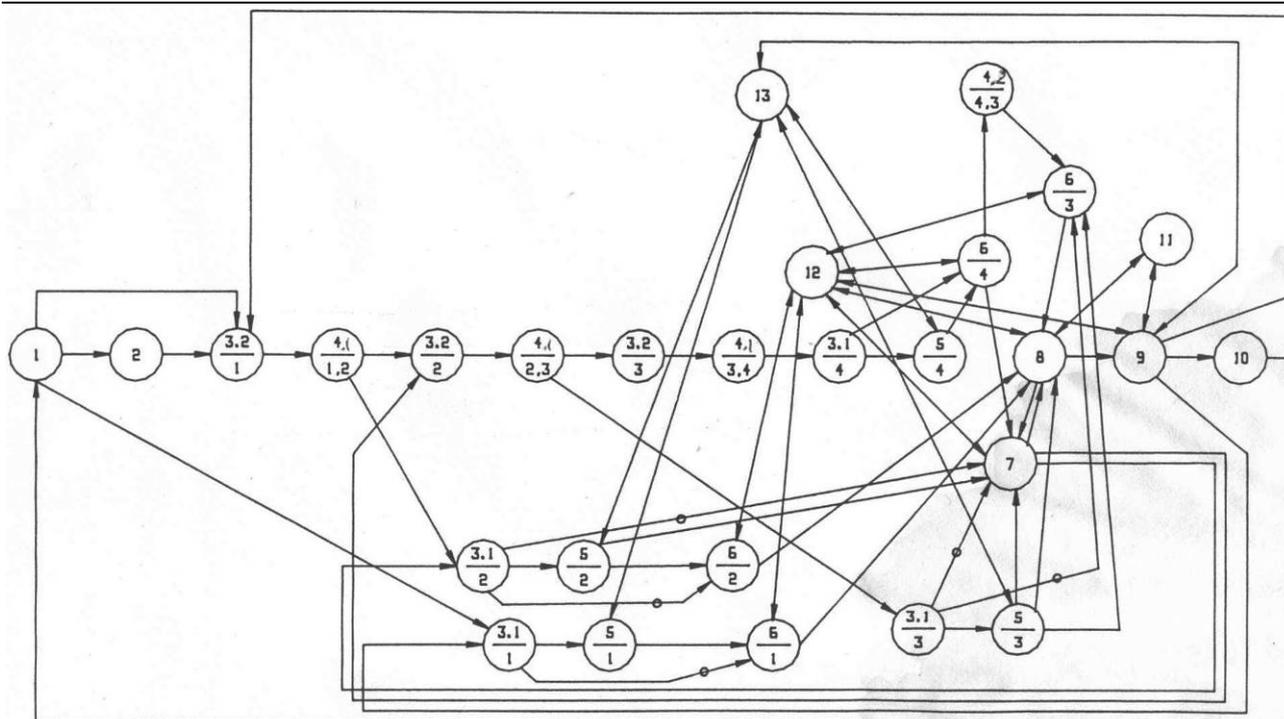


Рисунок 4 – Схема последовательностей совершения событий при эксплуатации легкового автомобиля

Выводы

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Приведенная методика проектирования генераторных установок, аккумуляторных батарей и стартерных электродвигателей автотранспортных средств, включая электромашинные преобразователи различного типа и назначения, позволяет учесть их работу в условиях реальной эксплуатации.

Разработанная авторами методика основана на использовании метода имитационного моделирования, позволяющего разбить эксплуатацию автомобиля на различные события (разгон, торможение, установившееся движение, стоянка на оборотах холостого хода, торможение двигателем и т.д.). На основании этих событий и экспериментальных ездовых циклов, полученных авторами на основании эксплуатационных исследований различных типов автомобилей, составлен алгоритм эксплуатации. Данный алгоритм в любой конкретный момент времени позволяет рассчитать частоту вращения ротора генератора и ток нагрузки электропотребителей.

Результаты эксплуатационных испытаний подтверждают адекватность разработанной авторами математической модели системы электроснабжения и пуска, учитывая их реальные условия эксплуатации.

Гидропривод вентилятора для системы охлаждения автомобильного двигателя

Труханов К.А.
МГТУ им. Н.Э.Баумана
email: trukhanov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования гидропривода вентилятора для охлаждения автомобильного двигателя и приведены схемные решения.

Ключевые слова: гидропривод вентилятора, охлаждение двигателя.

Вентилятор на автомобиле используется для повышения интенсивности охлаждения