

Кроме всего прочего, в данном случае отпадает необходимость составлять кинетическое уравнение (в настоящее время не существует четких рекомендаций относительно правой части кинетического уравнения!), стохастическое дифференциальное уравнение Ито, определять коэффициенты сноса, диффузии, решать уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова, которое, как известно, имеет относительно простое решение лишь в ряде частных случаев, не представляющих особого интереса для практики.

В завершении необходимо заметить, что предлагаемый метод не требует решения задачи идентификации класса случайного процесса. Здесь требуется разъяснение: решая основную задачу стохастической теории прогнозирования ресурса, приходится накладывать определенные ограничения на класс случайного процесса, так, например, если предполагается, что изучаемый процесс является стационарным в широком смысле, то это значит, что, как минимум, первые два момента процесса не зависят от временной координаты, а это, очевидно, ограничение. Далее предполагается, что процесс является нестационарным, скажем, аддитивным: и это тоже ограничение, потому что реальные физические процессы, регистрируемые в эксперименте, как правило, допускают представление в виде аддитивно-мультипликативной модели, т.е. в виде процесса с реономными математическим ожиданием и дисперсией.

Выводы

Предлагаемый метод инвариантен относительно структуры случайного процесса в том смысле, что позволяет обрабатывать как узкополосные, так и широкополосные, как стационарные, так и нестационарные случайные процессы, учитывая особенности их профиля (а значит, и порядок приложения нагрузки) и поэтому может быть положен в основу инженерных расчетов на прочность по критерию многоциклового усталости при воздействии случайных процессов произвольной структуры.

Литература

1. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных воздействиях. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.: ил. – (Б-ка расчетчика/ Ред. кол.: Н.Н. Малинин (пред.) и др.).
2. Дмитриченко С.С., Борисов Ю.С., Русанов О.А. Накопление повреждений и характеристики сопротивления усталости узлов и деталей мобильных машин// Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003, №8.
3. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надежности судовой техники. — Л.: Судостроение, 1980. — 178 с.
4. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: Физматгиз, 1960. – 883 с.
5. Питухин А.В. Вероятностно-статистические методы механики разрушения и теории катастроф в инженерном проектировании. Петрозаводск: изд-во ПетрГУ, 1998. - 304 с.
6. Сильвестров И.Н. Расчет ресурса и длительной прочности с использованием критерия повреждаемости// Проблемы машиностроения и надежности машин, 2006, №6, С. 116-118.
7. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М., 1977. 232с.

Моделирование устройства балансировки Li-Ion аккумуляторной батареи с коммутируемыми конденсаторами для электромобиля

Варламов Д.О.

Университет машиностроения
8(916)513-72-16, varlamovd@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены принцип работы и способ построения схемы моделирования устройства балансировки с коммутируемым конденсатором для Li-Ion аккумуляторной батареи в программе Matlab Simulink. Сделаны выводы о возможности применения устройства балансировки для аккумуляторной батареи

электромобиля.

Ключевые слова: устройство балансировки, коммутируемый конденсатор, литиевый аккумулятор, моделирование.

Аккумуляторные батареи (АБ) электромобилей состоят из множества последовательно соединенных аккумуляторов, при массовом производстве которых невозможно добиться идентичности их характеристик. Емкость, внутреннее сопротивление, скорость саморазряда и деградации однотипных аккумуляторов всегда незначительно, но отличаются.

В АБ на борту электромобиля аккумуляторы работают в различных температурных режимах работы, что также влияет на их характеристики. Наиболее характерно это влияние проявляется при разбиении АБ на несколько модулей последовательно соединенных аккумуляторов и размещении их в разных отсеках электромобиля (в подкапотном пространстве, в багажнике, в салоне и т.д.).

Для того чтобы минимизировать разброс характеристик аккумуляторов, разработчики электромобилей стараются комплектовать АБ из аккумуляторов одной производственной партии, а для равномерного температурного распределения на аккумуляторах стараются оптимизировать конструкцию блока АБ и систему вентиляции.

Несмотря на прилагаемые усилия, при длительной эксплуатации АБ возникает проблема разбаланса аккумуляторов, которая понижает эффективность использования АБ на борту электромобиля.

Системы электроснабжения с интеллектуальными алгоритмами, обеспечивающие повышение энергетических показателей, описаны в статье [1], а тенденции развития диагностики этих систем – в статье [2].

Негативное влияние разбаланса может быть отражено на следующем примере: если при движении электромобиля напряжение на одном из аккумуляторов опустится до заданного нижнего уровня, ниже которого может произойти необратимая деградация АБ, система обеспечения безопасности электромобиля принудительно разомкнет цепь разряда АБ и электромобиль не сможет продолжить движение [3]. Тот факт, что напряжения на отдельных аккумуляторах будут выше заданного нижнего допустимого предела, свидетельствует о наличии неиспользуемого заряда в отдельных аккумуляторах. Наличие остаточного неиспользуемого заряда в аккумуляторах говорит о неэффективном использовании АБ. Следовательно, электромобиль с разбалансированной АБ сможет проехать меньшее расстояние, чем электромобиль с АБ, у которой напряжения на аккумуляторах (при полном заряде АБ) одинаковы.

Для выравнивания степени заряда и напряжений на отдельных аккумуляторах в АБ используются специальные устройства балансировки. Классификация устройств балансировки приведена в статье [4]. Моделирование устройств балансировки других типов представлены в статьях [5] и [6].

Рассмотрим схему и принцип работы конденсаторного устройства балансировки напряжений, моделированию которого посвящена статья.

Структурная схема этого устройства представлена на рисунке 1. На каждую пару последовательно соединенных аккумуляторов в АБ подключаются блоки “переноса заряда”, включающие в себя два коммутационных ключа и коммутируемый конденсатор.

Конденсатор постоянно переключается между двух аккумуляторов, доставляя, таким образом, заряд от аккумуляторов с большим зарядом к аккумуляторам с меньшим зарядом, постепенно выравнивая на них заряд. При этом каждый такой блок нуждается в простом управлении коммутацией силовых ключей. Несколько блоков “переноса заряда” могут быть использованы для последовательной цепи аккумуляторов высоковольтной АБ. Т.к. аккумуляторы $V_2 \dots V_{n-1}$ делят свой блок “переноса заряда” с двумя соседними аккумуляторами, то заряд может путешествовать от одного конца последовательной цепи до другого.

Недостатком этой схемы является потребность в большом периоде времени на транспортировку заряда, в том случае если аккумулятор с наибольшим зарядом и аккумулятор с наименьшим зарядом находятся с разных сторон последовательной цепи аккумуляторов. В

этом случае заряд будет “путешествовать” через каждый аккумулятор с затратой времени и эффективности.

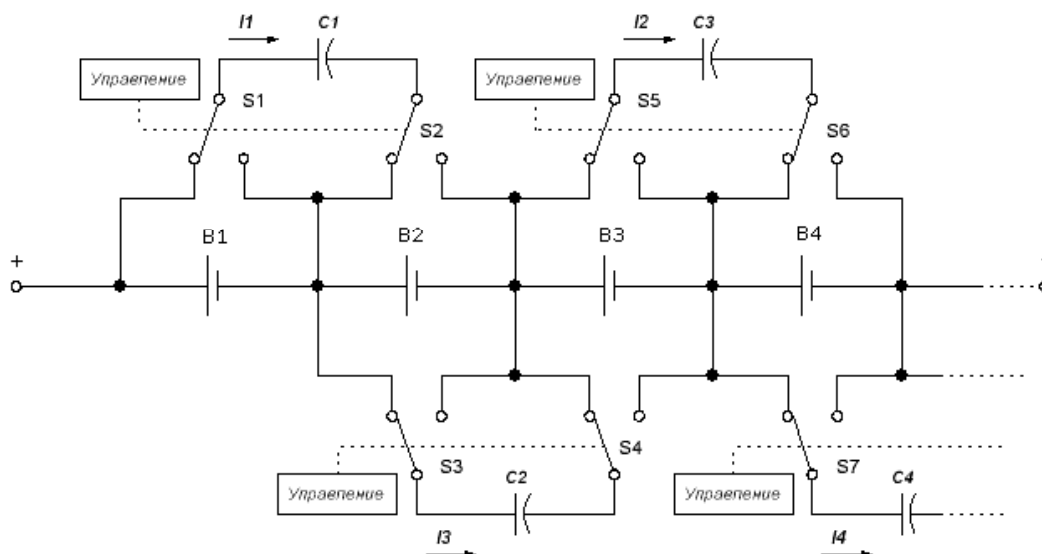


Рисунок 1 – Структурная схема устройства балансировки с одним коммутируемым конденсатором на каждую пару аккумуляторов

Вторым недостатком является потребность в большом количестве ключей:

$$(n-1) \cdot 4, \text{ где } n - \text{число аккумуляторов.}$$

Однако, несмотря на недостатки, эта схема является достаточно компактной. Для каждой пары АБ управляющий контур, коммутационные ключи и конденсатор могут быть объединены в отдельном модуле напротив аккумуляторов, заряды которых они выравнивают. При добавлении некоторого количества дополнительных аккумуляторов в последовательную цепь АБ могут быть добавлены и блоки “переноса заряда”.

Рассмотрим модель устройства балансировки с коммутируемым конденсатором в программе Matlab Simulink. Схема модели устройства представлена на рисунке 2.

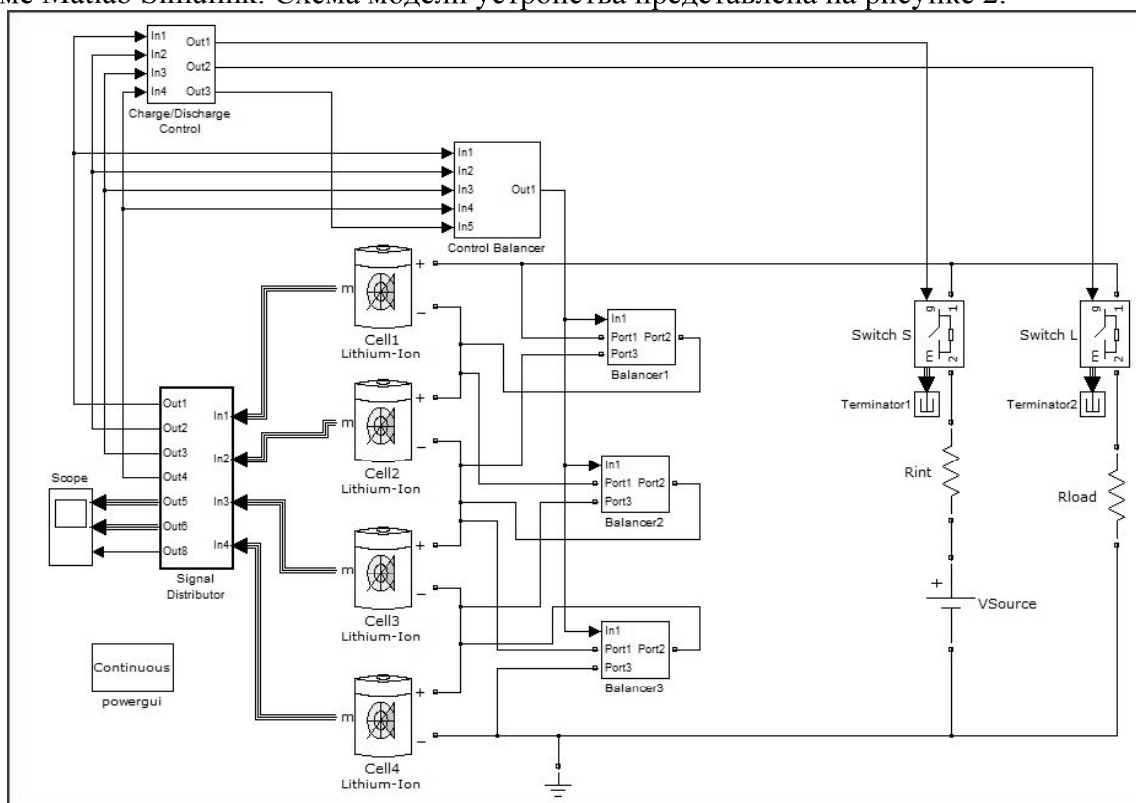


Рисунок 2 – Схема модели устройства балансировки с коммутируемыми конденсаторами

Зададим следующие условия моделирования:

- АБ состоит из 4-х аккумуляторов (Cell1-Cell4);
- тип аккумулятора – Li-Ion (используем стандартную модель из Matlab Simulink);
- номинальное напряжение – 3,6 В;
- емкость – 100Ач.

Установим следующие значения степеней заряда для аккумуляторов (Cell1-Cell4): Cell1=90%, Cell2=85%, Cell3=75%, Cell4=70% (АБ разбалансирована на 20%).

Заряд АБ должен производиться током 3А, до тех пор пока напряжение на каком-либо из аккумуляторов не достигнет 4,2В. Разряд АБ должен осуществляться током 20А, пока напряжение на каком-либо из аккумуляторов не опустится до 3В, после чего моделирование должно быть приостановлено.

Цепи заряда и разряда АБ.

Заряд АБ осуществляется от источника постоянного напряжения VSource (его внутреннее сопротивление задается резистором Rint) при открытии ключа Switch S. Разряд АБ осуществляется при подключении к ней нагрузки Rload посредством открытия ключа Switch L. Неиспользуемые выходы блоков ключей (и других блоков, выходы которых не используются) подаются на специальные заглушки - Terminator.

Величины сопротивлений Rint и Rload выбраны так, чтобы заряд АБ от источника VSource (20 В) осуществлялся током 3А, а разряд – током 20А.

Рассмотрим подсистемы, представленные на схеме (рисунок 2):

1. Подсистема Signal Distributor направляет сигналы от аккумуляторов (с информацией о напряжении (V, В) и степени заряда (%)) с мультиплексированных входов In1-4 на осциллограф (мультиплексированные выходы Out5-Out7). На подсистемы Charge/Discharge Control и Control Balancer она подает сигналы через выходы Out1-4 с информацией о напряжении на аккумуляторах. На выходы Out5 и Out6 подается информация соответственно о степени заряда (SOC,%) и напряжении (V, В) аккумуляторов. На выход Out7 подается значение разбаланса (максимальная разница между степенями заряда отдельных аккумуляторов).
2. Подсистема Charge/Discharge Control через выходы Out1 и Out2 управляет зарядом и разрядом АБ путем коммутации ключей S и L (заряд АБ – S открыт, L закрыт, при разряде – наоборот). При подаче на управляющий вход “g” ключа S (или L) сигнала лог. “0” – он закрывается, а при подаче сигнала лог. “1” – открывается.

Алгоритм работы этой подсистемы основан на измерении напряжений аккумуляторов Cell1-Cell4 и установлен в соответствии с условиями моделирования.

В момент начала моделирования должно соблюдаться условие: на выходах Out1 и Out2 подсистемы должны быть соответственно сигналы уровня лог. “1” и лог. “0”.

Как только (при заряде) напряжение на каком-либо аккумуляторе превысит допустимый уровень (4,2В), подсистема отключит АБ от источника напряжения и подключит нагрузку, посылая сигналы лог. “0” и лог. “1” соответственно с выходов Out1 и Out2.

Как только (при разряде) напряжение на каком-либо аккумуляторе опустится ниже допустимого уровня (3,2В), подсистема принудительно остановит моделирование.

3. Для балансировки АБ используется 3 одинаковых подсистемы Balancer1-Balancer3. Рассмотрим подсистему Balancer1 (рисунок 3). В подсистеме Balancer1 конденсатор C1 через порты Port1-Port3 поочередно подключается к аккумуляторам Cell1 и Cell2 (к Cell1 через Port1 и Port2, к Cell2 через Port2 и Port3). За подключение конденсатора к соответствующим портам отвечают ключи Switch1-Switch4, управляемые D-триггером Flip-Flop1, охваченного обратной связью. Частота коммутации ключей задается генератором импульсов Pulse Generator.
4. В подсистеме Control Equalizer находится логическая схема, которая на основе входных сигналов In1-In4 находит разницу между максимальным и минимальным напряжением на аккумуляторах - ΔU . Значение ΔU сравнивается с заданным пределом. Если оно меньше заданного предела (0,1В), то через свой выход подсистема Control Equalizer выключает

подсистемы Balancer1-Balancer3. Работа схемы осуществляется только по сигналам на вход In5 от подсистемы Charge/Discharge Control. Эти сигналы подсистема Charge/Discharge Control посылает в моменты окончания заряда и разряда АБ (из-за нелинейной зависимости напряжения аккумулятора от его степени заряда в такие моменты наблюдается максимальное значение величины ΔU). Таким образом, эта подсистема принимает решение о включении или выключении подсистем Balancer1- Balancer3 только в моменты достижения максимальных значений ΔU .

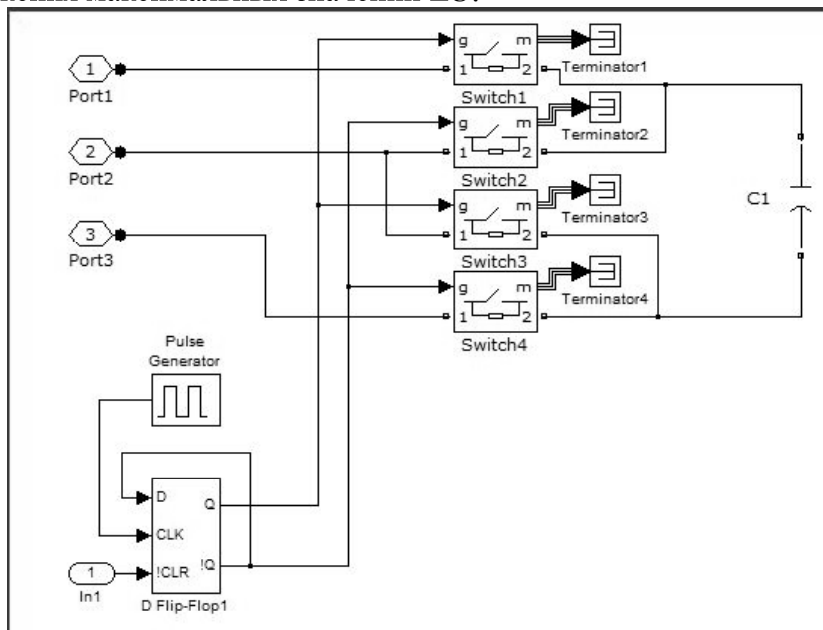


Рисунок 3 – Подсистема Balancer1

На схеме модели устройства балансировки также находится блок Powergui. Он представляет собой графический интерфейс пользователя пакета моделирования энергетических систем. Он необходим для задания типа и параметров моделирования (шаг интегрирования). Его параметры были выбраны по умолчанию.

Результаты моделирования:

На рисунке 4 представлены полученные в ходе моделирования осциллограммы степени заряда, напряжения и величины разбаланса по степени заряда при работающем устройстве балансировки. Как видно из осциллограммы, время заряда АБ до момента, когда напряжение на одном из аккумуляторов (Cell1) достигло 4,2В, составило $2,5 \cdot 10^4$ сек. За это время величина разбаланса снизилась с 20% до 2%. Время разряда АБ составило $1,75 \cdot 10^4$ сек. За время разряда величина разбаланса снизилась до 0,5%.

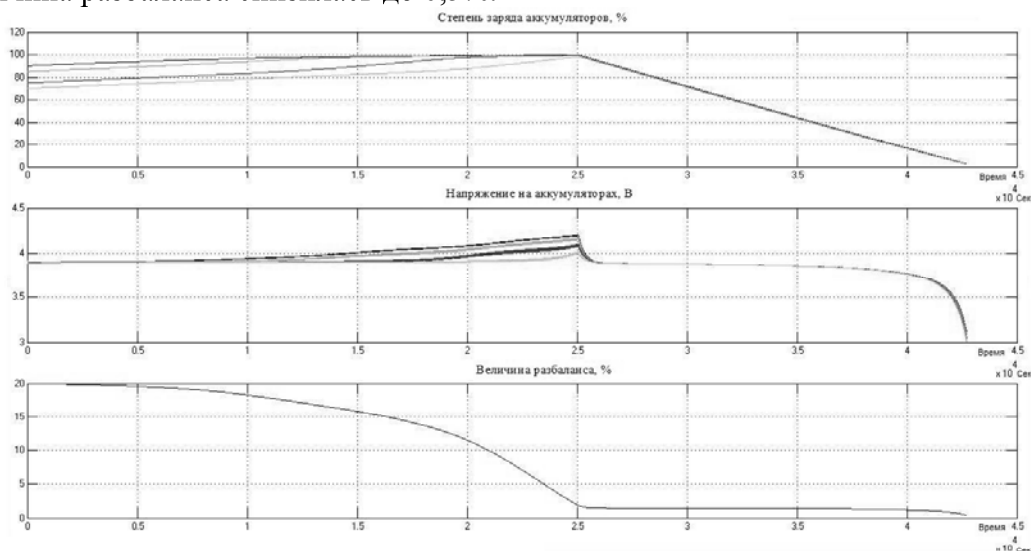


Рисунок 4 – Результаты моделирования при включенном устройстве балансировки

На рисунке 5 представлены полученные в ходе моделирования осциллограммы степени заряда, напряжения и величины разбаланса по степени заряда при выключенном устройстве балансировки. Как видно из осциллограммы, время заряда АБ до момента, когда напряжение на одном из аккумуляторов (Cell1) достигло 4,2В, составило $1,25 \cdot 10^4$ сек. Время разряда АБ составило $1,4 \cdot 10^4$ сек. Величина разбаланса постоянна и составляет 20%.

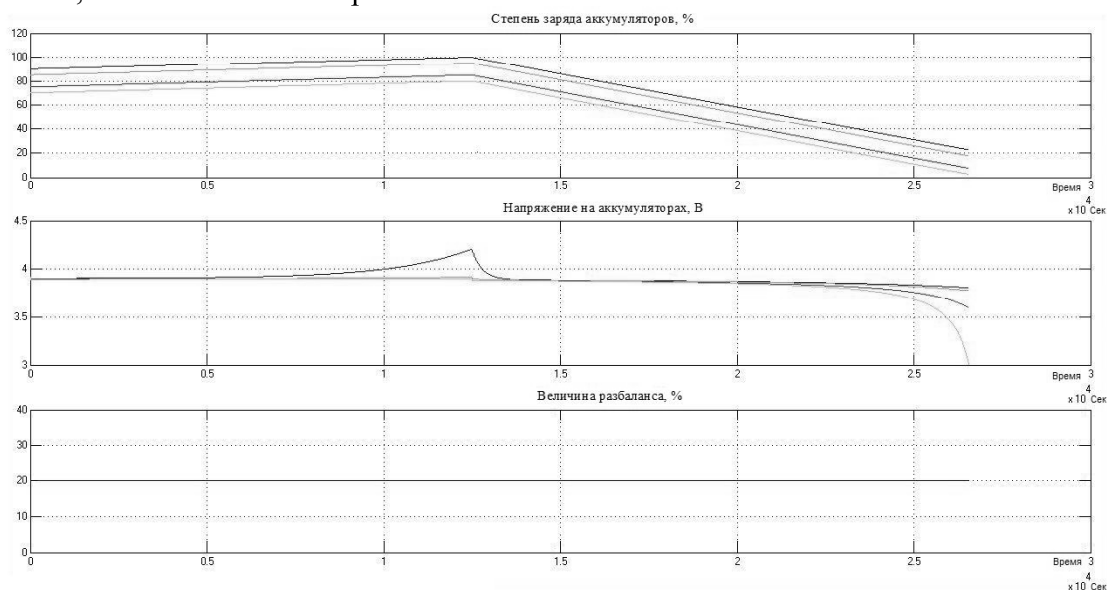


Рисунок 5 – Результаты моделирования при выключенном устройстве балансировки

Выводы

1. Использование устройств балансировки уменьшает величину разбаланса, следовательно, позволяет в полной мере использовать емкость аккумуляторов (продолжительность разряда сбалансированной АБ всегда больше, чем у несбалансированной).
2. Время заряда АБ при использовании устройства балансировки значительно возрастает. По этой причине балансировку следует производить не каждый цикл заряда и разряда, а по мере необходимости.
3. Производить балансировку аккумуляторов эффективнее на конечном этапе заряда и разряда АБ, когда разница между напряжениями на аккумуляторах увеличивается. При средней степени заряда АБ напряжения на разбалансированных аккумуляторах практически одинаковы.
4. Устройство балансировки с коммутируемым конденсатором может использоваться для АБ электромобилей, так как аккумуляторы в АБ электромобиля за каждый цикл работы проходят полный цикл заряда/разряда. Такие условия значительно повышают эффективность метода.
5. АБ гибридных автомобилей работают в среднем интервале степени заряда, поэтому разница между уровнями напряжений на аккумуляторах с разной степенью заряда будет незначительна, что делает для них применение метода “переноса заряда” малоэффективным.

Литература

1. Чернов А.Е., Акимов А.В. Качество и надежность электротехнических комплексов автономных объектов. / Журнал Известия МГТУ “МАМИ”, № 1(13), 2012г.
2. Клюкин П.Н. Современные тенденции развития автомобильной диагностики и их отражение в учебном процессе. / Известия МГТУ “МАМИ”, № 1(11), 2011г.
3. Варламов Д.О. Особенности построения системы управления тяговой батареей гибридного автомобиля. / Журнал “Автомобильных Инженеров”, (Часть1) № 5, 2007г.
4. Варламов Д.О. Анализ методов выравнивания заряда на аккумуляторных ячейках Li-Ion тяговой высоковольтной батареи. / Журнал “Автомобильная промышленность”, № 10, 2008г.
5. Варламов Д.О., Еременко В.Г. Моделирование резистивного устройства балансировки напряжений аккумуляторной батареи. / Журнал “Электротехника”, № 10, 2011г.

6. Варламов Д.О., Еременко В.Г. Устройство выравнивания напряжения на ячейках Li-Ion аккумуляторной батареи и его моделирование в программе P-Spice. / Материалы международной научно-технической конференции ААИ посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ» «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», МГТУ «МАМИ», 2011г.

Приближенный метод расчета шума впуска ДВС

к.т.н. доц. Вахитов Ю.Р., к.т.н. доц. Загайко С.А.
Уфимский государственный авиационный технический университет (г. Уфа)
8 (347) 273-05-53, vakhitov51@mail.ru, zenit_sz@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается приближенный метод расчета шума впуска ДВС, основанный на зависимостях между уровнем шума и параметрами потока воздуха во впускном патрубке двигателя, которые получены численными расчетами. Приведены погрешности предложенного метода.

Ключевые слова: приближенный метод, шум впуска ДВС, уровень шума, впускной патрубок, численный расчет.

В работе [1] описан приближенный метод расчета шума выпуска ДВС, который позволяет по сравнению с численным расчетом в сотни раз ускорить получение результата. На его основе был разработан метод расчета шума впуска ДВС.

Метод основан на определении шума впуска как суммы отдельных составляющих, каждая из которых представляет собой шум потока, скорость которого изменяется по синусоидальному закону.

Исходными данными для расчета является зависимость скорости потока газа на входе в патрубок от времени, полученная расчетом в системе имитационного моделирования двигателя "Альбея" [2], разработанной на кафедре "Двигатели внутреннего сгорания" Уфимского государственного авиационного технического университета. Полученная зависимость пересчитывается в зависимость избыточной скорости газа относительного среднего значения скорости за цикл. Затем зависимость раскладывается в ряд Фурье и находятся амплитуды составляющих ряда и соответствующие им частоты.

Таким образом, исходный поток газа заменяется несколькими, в каждом из которых средняя скорость газа меньше во столько раз, сколько гармонических составляющих учитывается в расчете. В этом случае суммарный расход газа во всех потоках равен расходу газа в исходном потоке.

Для каждой гармонической составляющей скорости потока газа находится значение звукового давления и выбираются несколько максимальных значений. Анализ результатов расчетов показал, что с достаточной для практики погрешностью можно ограничиться четырьмя составляющими скорости. Звуковое давление, создаваемое исходным потоком газа, находится как сумма этих четырех источников звука.

Для того чтобы исключить численные расчеты программным модулем системы имитационного моделирования, предварительно был проведен расчет излучаемого звукового давления потоков, скорости которых меняются по синусоидальному закону. При этом рассчитывались различные сочетания параметров потока: начальный диаметр, средняя скорость, частота колебаний скорости газа, амплитуда колебаний скорости газа и средняя температура газа, характерные для потоков воздуха во впускном патрубке ДВС.

По результатам численных расчетов были построены зависимости звукового давления от различных параметров, проведен их анализ и получены аппроксимирующие зависимости, или коэффициенты, учитывающие влияние того или иного параметра.

Расчеты, проведенные с разными диаметрами впускного патрубка, показали, что звуковое давление прямо пропорционально площади впускного патрубка или квадрату его диаметра, и, таким образом, значение звукового давления, приведенное по диаметру, может определяться по формуле: