



СБОРНИК НАУЧНЫХ
СТАТЕЙ

Выпуск XV



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
Институт радиотехнических систем и управления

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Выпуск XV

Таганрог
2021

УДК 681.51(06)

Редакционная коллегия:

Лобач В.Т., Корниенко В.Т. (отв. редактор)

Коллектив авторов: Проблемы современной системотехники –сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2021. – 62 с.

ISBN 978-5-9500797-11-5

Сборник содержит статьи молодых ученых, аспирантов, студентов и их руководителей по вопросам системотехники, дистанционного радиомониторинга, радиолокации и радионавигации, радиоэлектронной разведки и радиопротиводействия, комплексных систем охраны и безопасности объектов. Рассмотрены принципы построения и использования информационных систем и программного обеспечения в моделировании, разработке и эксплуатации радиосистем, представлены результаты практической реализации электроэнергетических, мехатронных и робототехнических систем.

За подбор и точность приведенных фактов, цитат и других данных, не подлежащих открытой публикации, авторы опубликованных материалов несут самостоятельную ответственность. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике с учетом авторской правки, проверены системой «Антиплагиат» пакета «Антиплагиат.ВУЗ». Большая часть статей имеет высокий уровень оригинальности (выше 60%), и лишь десять процентов статей имеют оригинальность ниже 50% с учетом заимствования из персональных авторских источников.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

ISBN 978-5-9500797-11-5

УДК 681.51(06)

© Коллектив авторов, 2021

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМАХ С АПЕРИОДИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ

Борисенко М.И., Геложе Ю. А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Нелинейные (релейные) системы, обеспечивающие перевод объекта из начального состояния $X(0)$ в конечное $X(T)$ за минимальное время, называются системами оптимального быстродействия. Методы их аналитического конструирования в фазовом пространстве изложены во многих работах [1], где для линейной части системы, содержащей интеграторы, инерционные и другие звенья, определены фазовые портреты процессов, линии переключения и структурные схемы систем оптимального быстродействия. При этом синтез систем осуществлён в предположении, что датчик выходной переменной системы линейный.

Рассмотрим, в отличие от этой работы, реализацию оптимальной системы в случае, когда датчик выходной переменной $y(t)$ имеет пилообразную характеристику с периодичностью 2π и линейная часть системы содержит интеграторы.

Как видно, структура фазового портрета для систем второго порядка с линейной частью, представляющей собой соединения двух интеграторов или одного интегратора и аperiodического инерционного звена и некоторые другие соединения звеньев, остаётся неизменной, а именно: все фазовые траектории расположенные выше линии переключения, реализуются при управлении “ $-\delta_m$ ”, а расположенные ниже – при управлении “ $+\delta_m$ ”. Поэтому, не нарушая общности, рассмотрим систему оптимального управления объектом, в динамическом отношении представляемую двумя последовательно включёнными интеграторами $G(p) = 1/p^2$. Ранее было показано, что в этом

случае управление процессами в соответствии с принципом управления не приводит к рассеиванию кинетической энергии в системе. Поэтому рассмотрение управления таким объектом представляет наибольший интерес.

На рисунке 1 для пилообразной характеристики датчика выходной переменной $y(t)$ приведён фазовый портрет оптимальных по быстродействию процессов, когда $G(p) = 1/p^2$, $|\delta(t)| \leq \delta_m$ и величина постоянно задающего воздействия $y_3 = \text{const}$ близка к π .

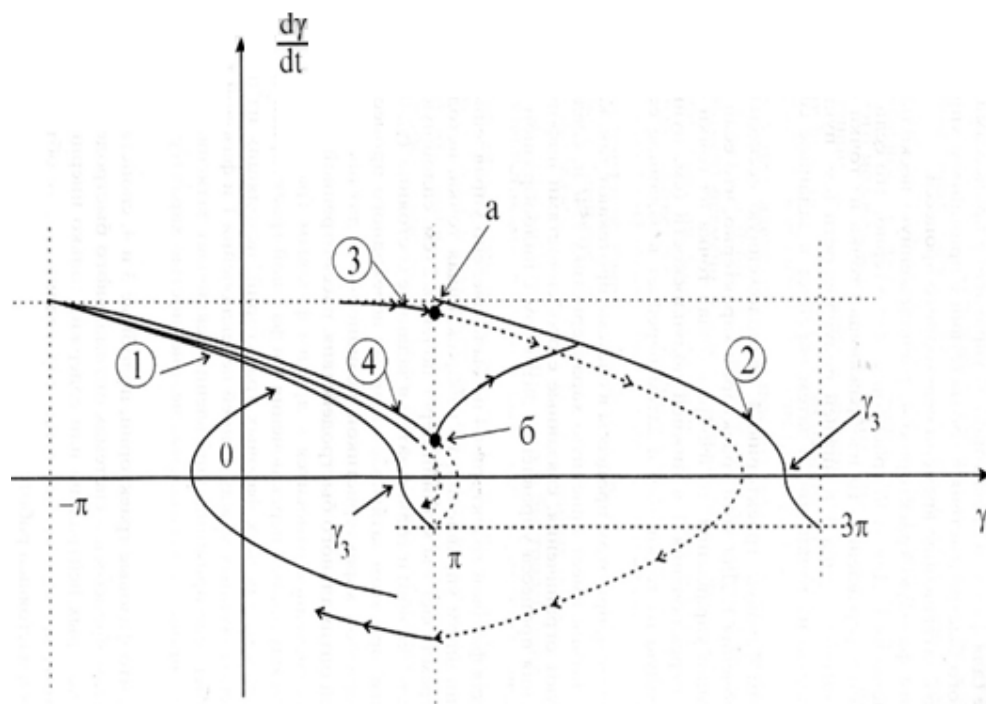


Рисунок 1 – Фазовый портрет процессов в системе

На этом рисунке сплошными линиями показаны фазовые траектории, отражающие процессы в системе оптимального быстрогодействия, а пунктирными – процессы при реализации принципа управления (изменения знака угловой скорости $d\gamma/dt$ на противоположный при достижении изображающей точкой абсциссы точки разрыва пилообразной характеристики, равной π). Линии переключения обозначены 1 и 2 для ветвей пилообразной характеристики датчика, соответствующих изменению ориентированных углов γ в пределах от $-\pi$ до $+\pi$ и от $+\pi$ до 3π .

Рассмотрим фазовую траекторию 3. Она в точке “а” пересекает вертикальную линию, координата привязки которой равна абсциссе точки разрыва пилообразной характеристики датчика. Точка “а” лежит ниже линии переключения 2. Причём ординаты точки “а” и точка пересечения этой линии переключения с упомянутой вертикалью близки по величине.

Если в точке “а” привести в действие реализацию принципа управления (см. пунктирную кривую, исходящую из точки “а”), то изображающая точка, достигнув практически заданного значения ориентационного угла γ_3 начнёт удаляться от него. Как видно из рисунка 4.3, целесообразно движение из точки “а” к линии переключения 2 (см. сплошную линию, исходящую из точки “а”) и затем в заданное состояние $(\gamma, 0)$. Таким образом, в рассмотренном случае (для фазовой траектории 3) управление процессами в системе оптимального быстрогодействия в соответствии с принципом управления приводит явно к затягиванию времени переходного процесса.

Рассмотрим фазовую траекторию 4, расположенную несколько выше линии переключения 1. Для этой траектории характерно, что если ввести в

действие принцип управления, то изображающая точка из точки “б” достигнет линии переключения 1 в нижней полуплоскости (пунктирная линия, исходящая из точки “б”) и затем перейдет в заданное состояние ($\gamma_3, 0$).

Таким образом, при этом процессы в системе протекают так, как будто позиционный датчик имеет линейную характеристику и, следовательно, но действуют ограничения, связанные с особенностями информационного обеспечения процесса управления датчиком с пилообразной характеристикой.

Если бы для фазовой траектории 4 не было введено управление в соответствии с принципом управления, то изображающая точка, исходящая из точки “б”, устремлялась бы к линии переключения 2 (см. сплошную линию, исходящую из точки “б”) и только затем в заданное состояние ($\gamma_3, 0$).

Как видим, при этом затягивается время переходного процесса в системе с пилообразной характеристикой позиционного датчика по сравнению с системой оптимального быстрогодействия, рассмотренной в /45 и 54/.

Всё вышеотмеченное относится к другим фазовым траекториям, расположенным между линией переключения 1 и фазовой траекторией 4.

Таким образом, для всех фазовых траекторий, исходящих из начальных точек, расположенных между линией переключения 1 и фазовой траекторией 4, применения принципа управления исключает затягивание времени переходного процесса, вызываемое нелинейностью характеристики датчика.

Отметим, что фазовые траектории, подобные 3 и 4, свойственны и фазовым портретам процессов в системах оптимального быстрогодействия, линейная часть которых нейтральна или содержит только инерционные звенья. Поэтому всё изложенное выше справедливо и для объектов, рассматриваемых в настоящей работе.

Вышеприведённые исследования показали, что существуют начальные условия, для которых управление процессами в системе в соответствии с принципом управления исключает затягивание времени переходного процесса, и, кроме того, существуют другие начальные условия, для которых это управление даёт явный проигрыш в быстродействии системы. На основании этого можно сделать вывод, что управление процессами в соответствии с принципом управления в системе оптимального быстрогодействия с датчиком выходной переменной, имеющим пилообразную статистическую характеристику, в общем случае нецелесообразно. Обеспечить адекватное управление можно, если учитывать величину угловой скорости $d\gamma/dt$ или

мгновенной расстройки по частоте ФАПЧ d/dt в момент времени, когда изображающая точка достигает точки разрыва пилообразной характеристики датчика (дискриминатора). Однако это не будет соответствовать принципу управления, согласно которому необходимы сведения лишь о знаке, а не о величине скорости изменения выходной переменной. Разработка других принципов управления не является задачей настоящей работы.

Таким образом, на основании проведённых исследований можно сделать вывод, что в системах оптимального быстродействия с пилообразными характеристиками датчиков выходных переменных нецелесообразно управление процессами в соответствии с принципом управления, но возможна разработка законов управления, которые позволят уменьшить (исключить) затягивание времени переходного процесса, вызванного особенностями информационного обеспечения процесса управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геложье Ю. А., Клименко П. П. Управление процессами в автоматических системах в критических режимах. Самоорганизация в условиях дефицита времени: Монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 264 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛОВ ТРАНКИНГОВЫХ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ

Лоншаков Д.А., Корниенко В.Т.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Транкинговые системы, использующие автоматическое распределение каналов связи между многими абонентами, нашли первоочередное применение для силовых структур и правоохранительных органов, а также в целях обеспечения связью представителей органов государственного управления всех уровней, удовлетворения потребностей ведомств и крупных корпораций, как промышленных, так и занимающихся вопросами охраны правопорядка, обороны, безопасности.

Наиболее известными стандартам цифровой транкинговой радиосвязи, на основе которых во многих странах, включая Россию, развернуты системы подвижной радиосвязи, являются: EDACS (фирмы Ericsson), Tetrapol (фирмы Matra Communication (Франция)), iDEN (фирмы Motorola), TETRA (Европейский институт стандартов связи), APCO25 (Ассоциация официальных представителей служб связи органов общественной безопасности).

В системах радиосвязи указанных стандартов применяются современные способы преобразования речи, большая спектральная эффективность за счет применения сложных видов модуляции сигнала, повышенная емкость систем связи, выравнивание качества речевого обмена по всей зоне обслуживания базовой станции, эффективные методы помехоустойчивого кодирования и защиты информации.

Требования по обеспечению секретности переговоров и защиты от несанкционированного доступа к системе с целью захвата управления системой и попыток вывести ее из строя, защита от «двойников» и ряд других функций обеспечиваются такими основными механизмами безопасности связи как шифрование и аутентификация абонентов.

Для сравнения особенностей обеспечения безопасности соединений мобильных абонентов рассмотрим наиболее широко используемые стандарты TETRA и APCO25, первый из которых использует частотно-временное представление физических каналов на основе временного метода разделения каналов в кадре, и второй из которых использует частотное разделение каналов. Каждый из этих стандартов, обладая высокими техническими характеристиками и широкими функциональными возможностями, имеет уникальные отличительные особенности. Основные технические характеристики стандартов TETRA и APCO25 сведены в табл.1 [1].

Вначале более подробно остановимся на особенностях обеспечения безопасности абонентских соединений для стандарта TETRA.

В зависимости от направления передачи данных (от абонентского терминала к базовой станции или наоборот) в системе протоколов TETRA различают 6 различных кадров, каждый из которых, как было указано ранее, состоит из двух полукадров. Кроме того поля командного управления и информационные поля в каждом кадре кодируются и шифруются, при этом информационные поля содержат 432 бита из 510 бит и представляют собой полезную нагрузку, а остальные поля кадров несут непроизводительную нагрузку и отвечают за управление мощностью, коррекцию фазы, частоты и синхронизацию. Размерность полей командного управления и информационных в различных полукадрах может составлять 84, 120 или 216 бит [1].

Семейство протоколов TETRA имеет такие механизмы обеспечения безопасности, как: аутентификация, поточное шифрование, использование сеансовых ключей, обеспечение секретности абонентов на основе временных идентификаторов номера абонента, что обеспечивает два уровня безопасности передаваемой информации:

- стандартный уровень, использующий так называемое шифрование радиоинтерфейса;
- высокий уровень, использующий так называемое сквозное шифрование.

Очевидно, что обеспечение этих двух уровней безопасности невозможно без жесткой синхронизации с использованием синхронизирующих и управляющих последовательностей кадра, а также помехозащищенного приема данных в каналах с помехами без размножения ошибок.

Средства защиты радиоинтерфейса семейства протоколов TETRA обеспечиваются стандартной процедурой, включающей механизмы аутентификации с формированием хэша и выделенного ключа, шифрования информации на основе использования поточного шифратора – скремблера с изолированным от канала связи генератором ПСП, а также обеспечения секретности абонентов на основе временных идентификаторов номера абонента.

Более высокий уровень защиты информации основывается на расширении функционала стандартной процедуры защиты.

Таблица 1. – Технические характеристики стандартов TETRA и APCO25

| параметр | Вид стандарта | |
|--|--|---|
| | TETRA | APCO 25 |
| диапазон частот, МГц | 380-385/390-395 МГц, для коммерческих организаций предусмотрены диапазоны 410-430/450-470 МГц, 806-876 МГц, 915-951 МГц. | 138-174, 406-512 или 746-869 МГц. |
| шаг сетки частот, кГц | 25 или 12,5 | 12,5 или 6,25 |
| число каналов связи на одну частоту | 4 при минимальном дуплексном разnose радиоканалов - 10 МГц | 1 |
| метод доступа к каналам связи | МДВР | МДЧР |
| вид манипуляции | $\pi/4$ -DQPSK при скорости модуляции 36 кбит/с. | четырёхпозиционная частотная модуляция по методу C4FM со скоростью 4800 символов в секунду (для полосы 12,5 кГц) четырёхпозиционная фазовая модуляция со сглаживанием фазы по методу CQPSK (для полосы 6,25 кГц) |
| тип вокодера | CELP (CodeExcitedLinearPrediction). Скорость цифрового потока на выходе кодека составляет 4,8 кбит/с. | IMBE (ImprovedMultiBandExcitation). Скорость кодирования – 4,4 кбит/с |
| число уровней криптозащиты | 2 | 4 |
| структура кадров | Полупакет Пакет = 2 полупакета Кадр = 4 пакета Мультикадр = 18 кадрам Гиперкадр = 60 мультикадров | преамбула кадр Суперкадр= 2 кадрам Маркер конца сообщения |
| длительность кадра, мс | 56,67 | 180 (длительность преамбулы 82,5) |
| синхронизация | поля обучающих и синхронизирующих последовательностей в полупакетах | статусные символы по 2 бита после каждых 70 бит |
| скорость, кбит/с | кодирования речи – 4,8; помехоустойчивого кодирования – 7,2; информационного потока данных – 28,8 | кодирования речи – 4,4; помехоустойчивого кодирования – 7,2; передачи кадра – 9,6 |
| задержка при установлении канала связи, мс | 300 | прямой связи – 500 через ретранслятор – 350 |

Такой высокий уровень защиты, предусматриваемый для специальных групп пользователей, осуществляется на основе сквозного шифрования, обеспечивая защиту речи и данных в любой точке линии связи между стационарными станциями и мобильными абонентами и основывается на формировании сеансовых ключей. Определенная дополнительная защита информации также обеспечивается возможностью переключения информационных каналов и каналов управления в процессе ведения сеанса связи.

Стандартная процедура обеспечения безопасности сеанса связи предусматривает следующие этапы:

- Базовая станция передает сгенерированное случайным образом кодовое слово на мобильный терминал;
- Мобильный терминал формирует хэш из принятого кодового слова с использованием индивидуального ключа, хэш отправляется на базовую станцию (одновременно формируется и выделенный ключ для потокового шифратора, который может использоваться для шифрования в течении сеанса связи);
- Базовая станция сравнивает принятое значение хэша с сформированным на базовой станции значением хэша;
- При совпадении двух хэшей осуществляется сеанс связи, при несовпадении – завершение соединения.

Недостатком стандартной процедуры является хранение на базовой станции индивидуальных ключей всех абонентов, что для однозоновой сети нормально, но для многозоновых сетей требует дополнительной передачи управляющей информации от одной базовой станции к другой.

В таком случае более эффективным является иерархическая система ключей, основанная на использовании сеансовых ключей, при которой одни ключи защищены другими.

Процедура высокого уровня безопасности сеанса связи предусматривает следующие этапы:

- Один центр аутентификации хранит все индивидуальные ключи абонентов и генерирует случайное кодовое слово;
- По данному кодовому слову и индивидуальным ключам абонентов в центре аутентификации формируется сеансовый ключ;
- Сеансовый ключ и кодовое слово из центра аутентификации передаются на соответствующую базовую станцию;
- На базовой станции генерируется случайным образом кодовое слово и вместе с принятым кодовым словом из центра аутентификации передаются на мобильный терминал;
- Мобильный терминал формирует из принятого кодового слова от центра аутентификации и индивидуального ключа сеансовый ключ (как в центре аутентификации), а затем по сформированному сеансовому ключу и принятому кодовому слову базовой станции формируется хэш, отправляемый на базовую станцию (одновременно формируется и выделенный ключ

потокowego шифратора, который может использоваться для шифрования в течении сеанса связи);

- Базовая станция сравнивает принятое значение хэша с сформированным на базовой станции значением;

- При совпадении двух хэшей осуществляется сеанс связи, при несовпадении – завершение соединения.

Из описания двух уровней защиты передаваемой информации семейства протоколов TETRA следует, что в процессе сеансов связи используются различные виды ключей шифрования:

- Индивидуальные ключи – используются для формирования хэша и хранятся на картах абонентов и базовой станции или центра аутентификации;

- Сеансовые ключи – используются для шифрования ключей, рассылаемых из центра аутентификации;

- Выделенные ключи – генерируются и используются для обеспечения защищенной связи типа точка-точка после успешной аутентификации;

- Статические ключи – используются для обеспечения защиты сигналов сигнализации пользовательской информации в системах без явной аутентификации;

- Групповые ключи – используются для шифрования информации при широкополосном вызове после успешной аутентификации.

При этом синхронизация ключей обусловлена следующими факторами:

- обеспечивается нумерация кадров и используется дополнительный внутренний счетчик;

- осуществляется синхронизация на временном интервале 60 с, – периоде повторения номеров кадров;

- используется дополнительный 16-разрядный внутренний счетчик, формирующий дополнительный код адреса, сцепляемый с номером кадра для обеспечения эффективной синхронизации передачи ключевой информации и расширения периода повторения временного интервала синхронизации;

- передаются показания внутреннего счетчика с определенным интервалом базовыми станциями для обеспечения начальной синхронизации и ее восстановления.

Обеспечение секретности абонентов осуществляется с использованием временных идентификационных номеров абонентов (24 бита), которые могут быть защищены с помощью шифрования, а при переходе абонента из зоны в зону эти идентификаторы передаются в служебных сообщениях между мобильными и базовыми станциями.

Теперь подробно остановимся на особенностях обеспечения безопасности абонентских соединений для стандарта GPRS 25.

Аналогично семейству протоколов TETRA, но со своими особенностями, в семействе протоколов GPRS 25 в обеспечении безопасности соединений абонентов играют свою роль аутентификация, поточное шифрование на основе использования режимов повышенной криптозащиты блочных алгоритмов шифрования, использование сеансовых ключей, обеспечение секретности

абонентов на основе идентификаторов номеров абонентов. При этом помехозащищенный прием данных в каналах с помехами без размножения ошибок обеспечивается непосредственным применением алгоритмов помехоустойчивого кодирования/декодирования ко всем полям кадра, а жесткая синхронизация обеспечивается статусными символами кадра, вставляемыми в него через каждые 70 бит.

Радиосвязь всегда начинается с передачи заголовка цифрового сообщения (преамбулы), затем посылаются группы суперкадров, после которых следует признак конца сообщения. Каждый кадр суперкадра состоит из 9 речевых фреймов 144 бита (полученных из 88 бит речевой информации и 56 бит корректирующего кода) [1].

Преамбула служит для начальной синхронизации передающей и приемной радиостанций, инициализации всех функций шифрования и передачи адресной информации.

Первый кадр суперкадра содержит кроме 9 речевых фреймов еще блок управления каналом связи, состоящий из 72 информационных бит и 168 бит корректирующего кода, а также блок низкоскоростного канала сигнализации, состоящий из 16 информационных бит и 16 бит корректирующего кода [1].

Второй кадр суперкадра содержит кроме 9 речевых фреймов еще блок низкоскоростного канала сигнализации и блок синхрослова шифрования, состоящий из 96 бит информации и 144 бит корректирующего кода [1].

Таким образом, за механизм обеспечения безопасности отвечает как преамбула, так и второй кадр суперкадра.

Преамбула содержит следующие поля: идентификатор сообщения (72 бита), идентификатор производителя (8 бит), идентификатор типа используемого алгоритма шифрования (8 бит), идентификатор ключа шифрования (16 бит), идентификатор разговорной группы (16 бит). Затем 120 бит преамбулы кодируются кодами Рида-Соломона и Голея, в результате чего длина прамбулы возрастает до 648 бит. После этого в начало закодированной преамбулы добавляется начальный синхропакет (48 бит) и сетевой идентификатор (64 бит) и в конце заполнитель (10 нулевых бит), что в итоге приводит к длительности преамбулы 770 бит. Окончательно вставляются в преамбулу через каждые 70 бит по 2 бита статусной информации (добавляется 22 статусных бита), в результате чего итоговая длина преамбулы составляет 792 бита, что при скорости передачи 9,6 кбит/с обеспечивает время передачи 82,5 с [1].

Блок шифрования второго кадра суперкадра содержит следующие поля: идентификатор сообщения (72 бита), идентификатор типа используемого алгоритма шифрования (8 бит), идентификатор ключа шифрования (16 бит). Поле блока шифрования содержит 96 бит информационных данных, необходимых для шифрования полезной речевой нагрузки речевых боков двух кадров суперкадра. Эта информация 96 бит подвергается двойному кодированию – сначала по алгоритму Рида-Соломона, а затем по упрощенному

алгоритму Хэмминга. В итоге размер данных для шифрования/дешифровки становится равным 240 битам [1].

Для осуществления шифрования/дешифрования используется криптографический шифратор DES, работающий в режимах: кодовой книги, обратной связи по выходу, обратной связи по шифротексту. Для обеспечения синхронизации используется скремблер-дескремблер синхронизации – 64 разрядный буферный регистр сдвига с обратной связью. Различные режимы работы алгоритма DES используются по следующим назначениям: для передачи данных – режим шифрования с обратной связью по выходу (как аналог потокового шифратора на основе скремблера/дескремблера с изолированным от канала связи генератором ПСП) обеспечивает минимум размножения ошибок при приеме; для генерации и передачи идентификационного кода – режим шифрования с обратной связью по шифротексту; для передачи ключей используется режим кодовой книги [1].

Аутентификация используется для обеспечения целостности управляющей информации, целостности данных и целостности данных о ключах шифрования. Так для контроля хронологического порядка сообщений обеспечивается передачей номеров сообщений, шифруемых вместе с сообщением. Для контроля целостности сообщений обеспечивается путем добавления к сообщению аутентификационного кода, генерируемого из самого сообщения с помощью одного из видов шифрования и своего ключа, добавляемого к сообщению и шифруемого вместе с сообщением. Так же аутентификация сообщений обеспечивается за счет индивидуального ключа радиостанции.

Дополнительное повышение криптостойкости системы связи гарантируется за счет использования подсистемы распространения ключей по радиоканалу (OTAR – Over the air rekeying), обеспечивающей также генерацию, распространение, архивирование и удаление криптографических ключей.

Обеспечение секретности абонентов осуществляется использованием идентификационных номеров абонентов, формируемой подсистемой адресации стандарта APCO 25. Адрес автономной радиостанции имеет 24 бита, что обеспечивает поддержку 16 млн. автономных адресов. Для адреса абонентской группы используются 16 бит, что дает возможность объединить в сеть 65 тыс. абонентских групп. Адресная информация встраивается в заголовок сообщения и в поле управления связью, которые периодически повторяются в процессе передачи сообщения. Для каждого абонентского устройства программируется собственный идентификатор устройства и абонентской группы, которые во время сеанса связи распознаются диспетчером. Абонентская радиостанция может иметь только один собственный идентификатор, но несколько идентификаторов абонентской группы.

Таким образом, проведя детальный анализ механизмов обеспечения безопасности протоколов двух транкинговых систем радиосвязи TETRA и APCO 25, выявлено, что обе обеспечивают широкие функциональные

возможности закрытия каналов связи, но имеют свои уникальные отличительные особенности, которые позволяют совершенствовать их уровни защиты и использовать новые технологии в их реализации [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи. – Москва. – 2000.

2. Корниенко В.Т., Кузьмина О.Н. Модель защищенного протокола передачи данных сети связных радиостанций. – Проблемы современной системотехники сборник научных статей. – Таганрог. – 2020. – С.42-49.

МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ УМНОГО ДОМА

Буряков С.В., Корниенко В.Т.
ИРТСУ ЮФУ, каф. РТС

Проанализированы современные системы умного дома, представляющие собой комплекс программно-аппаратных средств, формирующих несколько взаимосвязанных между собой подсистем [1,2]: подсистема управления освещением, подсистема управления электроприборами, подсистема управления охранно-пожарной сигнализацией, подсистема управления контролем доступа, подсистема управления видеонаблюдением, подсистема обслуживания абонентов телевизионных приемников, подсистема скремблирования и шифрования транспортного потока, подсистема генерации и управления ключами, подсистема безопасности аппаратно-программного обеспечения.

Программное обеспечение системы умного дома позволяет держать под контролем климат, освещение, водоснабжение, так же регулировать параметры безопасности, используя сигналы от различных датчиков, которые передаются от них на главный контроллер [3], который в свою очередь изменяет параметры исполнительных устройств системы. В работе рассмотрена система умного дома с децентрализованным управлением, состоящая из нескольких контроллеров, каждый из которых несет функции по управлению определенной зоной или группой устройств. В данной системе первый региональный контроллер отвечает за управление домашней автоматикой, второй региональный контроллер – видеосервер, отвечает за систему видеонаблюдения и контроллер подсистемы ограничения доступа (СОД) осуществляет передачу транспортного потока видео и данных пользователям системы по радиоканалу. Обобщенная структурная схема такой системы приведена на рис.1.

Повышение уровня защиты системы от несанкционированного доступа к предоставляемому содержимому, поступающему от умного дома к пользователям системы, обеспечивается трехуровневой подсистемой ограничения доступа путем защиты ключевых слов скремблирования с помощью их шифрования с применением основных персональных ключей.

Персональные ключи шифруются симметричным криптографическим алгоритмом и передаются в виде сообщения управления доступом. Дополнительную защиту путем шифрования ключа, которым шифровалось ключевое слово скремблера [4], обеспечивает формирование и передача сообщения условного доступа. Для разрабатываемой системы использована трехуровневая система защиты: 1й уровень – скремблирование, 2й – шифрование ключа скремблирования, 3й – шифрование ключа которым зашифрован ключ скремблирования. В качестве криптографического алгоритма используется AES [5].

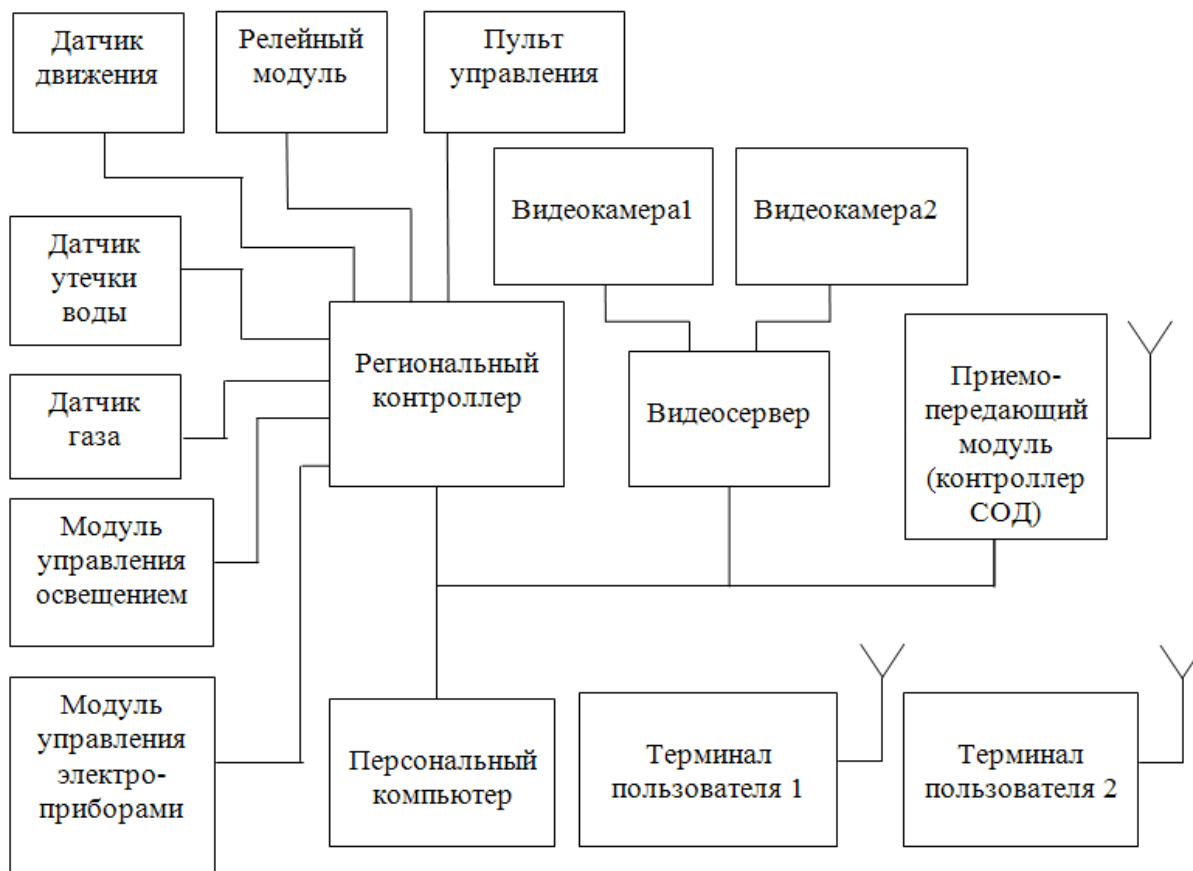


Рисунок 1. – Структурная схема рассматриваемой системы умного дома

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богданов, С. В.* Умный дом: монография / С. В. Богданов. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. : Наука и Техника, 2015. – 208 с.
2. *Черняк, А. А.* Система «Умный дом» // Молодой ученый. – 2020. – № 52 (342). – С. 51-53. – URL: <https://moluch.ru/archive/342/77055/> (дата обращения: 09.06.2021).
3. *Носкова, Н. В.* Стандарты беспроводных телекоммуникационных сетей [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н. В. Носкова; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. – Новосибирск: [б. и.], 2012. — 201с.

4.Корниенко В.Т., Корниенко С.В. Виртуальный прибор LABVIEW цифрового скремблера речевого сигнала. – Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2014. – №23. – С.185-188.

5.Корниенко В.Т., Кузьмина О.Н. Модель защищенного протокола передачи данных сети связанных радиостанций. – Проблемы современной системотехники сборник научных статей. – Таганрог. – 2020. – С.42-49.

УДК 621.43:629.113

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ОДНО ИЗ ВЕДУЩИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Шевчун Р.Р., Рассолов М.А., Лященко А.А., Полуянович Н.К.

Южный федеральный университет, Колледж прикладного профессионального образования

В работе проведено сравнения методов получения водорода, можно сделать вывод, что паровая конверсия наиболее оптимальный метод. Показано, что щелочной электролиз является наименее эффективным способом и наиболее дорогим способом. Но при этом имеет самую низкую температуру при производстве, выбрасывает минимум вредных веществ и на выходе водород получается практически без примесей. Возможность работы двигателя на бензо-водородных топливных компонентах в диапазоне бедных составов смесей позволяет снизить максимальную температуру цикла в камере сгорания ДВС, что существенно уменьшает концентрацию окислов азота в отработавших газах.

Водородная энергетика, электрохимический метод электролиза, микроконтроллер.

Водородное топливо может служить оптимальной заменой традиционных видов топлива [1, 2]. Водородная энергетика – одно из ведущих направлений по разработке экологически чистых способов получения энергии. Будучи самым распространенным элементом на Земле и в космосе, водород, тем не менее, остается почти невостребованным. Если в 2018 году в мире было добыто 4,4 миллиарда тонн нефти и 3,86 триллиона кубометров природного газа (метана), то объем производства водорода не превышает 70 миллионов тонн, то есть объем его выработки в 6285 раз меньше, чем нефти, и в 5514 раз меньше, чем газа.

Актуальность водородной энергетики заключается в том, что это не только назревший переход к освоению нового экологически приемлемого источника энергии, но и стимул к достижению более эффективного использования традиционных видов топлива, повышения КПД используемых двигателей и обеспечения более высокой степени экологической безопасности предприятий ТЭК и транспорта.

Преимущества водородной энергетики. *Высокая применимость.* Запасы водорода практически безграничны. Так как он встречается почти всюду, его можно использовать там, где он производится. В отличие от батарей, которые не могут хранить большое количество электроэнергии в течение продолжительного времени, водород можно производить из избыточной возобновляемой энергии и хранить в больших количествах.

Энергоэффективность. Например в автомобилях топливные элементы используют 40—60% энергии топлива, а также обеспечивают сокращение его расхода на 50%.

Избыток электроэнергии из ВИЭ можно хранить в виде водорода, а затем сжигать для выработки электроэнергии, когда это необходимо.

Недостатки водородной энергетики. *Стоимость производства водорода* (табл.1). Стоимость получения чистого вида водорода ставит наиболее сильные препятствия в его развитии. В качестве основных факторов обеспечения конкурентоспособности зеленого водорода рассматривается перспективное снижение капитальных затрат на электролизеры, а также стоимости электроэнергии из ВИЭ.

Таблица 1. Стоимость производства зеленого водорода по странам к 2050 году, евро за 1 кг

| Страна | Стоимость производства, евро за 1 кг |
|--|--------------------------------------|
| Аргентина, Канада, Россия | 1,5 |
| Австралия, Бразилия, Чили, Китай, Индия, Марокко | 1,25 |
| Франция | 2 |
| Германия | 2,25 |
| Польша | 2,5 |
| Япония | 2,75 |

Горючесть. По сравнению с бензином, природным газом и пропаном водород огнеопаснее в воздухе, малейшие трещины в баке могут привести к трагедии. Но поскольку водород очень легкий – примерно в 57 раз легче, чем пары бензина, – он может быстро рассеиваться в атмосфере, и это положительный для безопасности фактор.

Хранение и транспортировка. В заданном объеме водорода помещается значительно меньше, чем других видов топлива. Например, потребуется гораздо больший баллон с газообразным водородом, чтобы проехать заданное расстояние на автомобиле. Для решения этой проблемы сейчас модернизируют способы перевода водорода в жидкое или газообразное состояние.

Работающие решения. Пример работающей компактной установки, использующей водород, — мобильная электростанция H2One (рис.1), разработанная компанией Toshiba. Необходимую для электролиза энергию в ней вырабатывают

солнечные батареи, причём избыток электричества накапливается в аккумуляторе на случай неблагоприятных погодных условий.

Вырабатываемый водород направляется либо непосредственно на производство энергии, либо на хранение в специальный бак, тогда станция будет иметь запас как электроэнергии, так и водорода. Размеры станции H2One сравнительно небольшие. За час установка производит до 2 куб. м водорода, для чего потребляет 5 куб. м воды. Мощность установки составляет 55 кВт.



Рис.1 Электростанция H2One

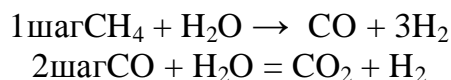
Что позволяет на основе станции H2One построить, например, эффективную и экологически чистую систему энергоснабжения дома или даже небольшого района. Она уже применяется на железнодорожной станции японского города Кавасаки, обеспечивая её электричеством и горячей водой. Если пожертвовать автономностью, то при помощи водородных станций можно решать серьёзные экологические проблемы – например, утилизировать продукт переработки бытовых отходов. Для этого в 2018 году во всё том же городе Кавасаки была создана установка H2Rex, обеспечивающая электроэнергией гостиницу KingSkyFront. Водород она получает не посредством электролиза, а по километровому трубопроводу с мусороперерабатывающего завода ShowaDenko. Там он вырабатывается из пластиковых отходов, поступающих, в том числе, из самого отеля. Кислород, необходимый для генерации электроэнергии, станция H2Rex берёт из атмосферного воздуха. Таким образом, коэффициент использования водорода достигает 96 %, а на выходе образуется обычная вода. Мощности такой установки достаточно для обеспечения электричеством около 100 домовладений. Наконец, весной 2020 года в городе Фукусима была запущена самая крупная в мире экспериментальная электростанция, работающая на водороде. Для питания электролизных установок на ней используются солнечные батареи общей мощностью 20 МВт, занимающие площадь 180 тыс. кв. м. Всего станция вырабатывает 1,2 тыс. куб. м водорода в час.

Перспективы использования водорода. Пока доля водородной энергетики относительно невелика. Да и сам водород сегодня не столько топливо, сколько сырьё для производства аммиака и метанола. Однако существующее положение вещей меняется и не исключено, что уже в среднесрочной перспективе водород сможет заменить природный газ. В частности, в Японии уже началось создание глобальной сети производства водорода для энергетических установок. Причём

для его транспортировки в жидком виде стране потребуется около 80 танкеров. В 2019 году в австралийском городе Гастингсе начато строительство специального водородного терминала. Сжиженный водород оттуда будет отправляться, в том числе и в Японию. Приведенный краткий обзор показывает, что с каждым годом наращивается потенциал водородной энергетики как в его производстве, так и применении.

Способы получения водорода. Рассмотрим несколько способов получения водорода.

1) Паровая конверсия

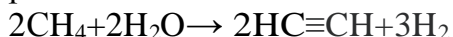


Более 50% всего водорода получается путём паровой конверсии воды и метана. При этом три основных составляющих (природный газ, водяной пар и кислород) смешиваются в определённых пропорциях.

Таким образом, часть природного газа сгорает вместе с кислородом, тем самым поддерживая необходимую температуру для продолжения химической реакции. Метан, не выгоревший во время реакции конверсии, реагирует с водяным паром, образуя оксид углерода (то есть сажу) и непосредственно водород.

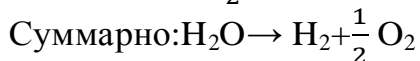
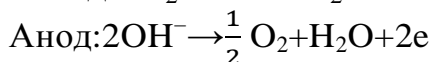
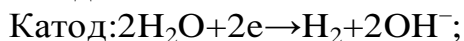
Простота и относительная лёгкость делает производство водорода путём паровой конверсии наиболее дешёвым из всех доступных.

2) Второй метод получения водорода – крекинг метана, простейшего по составу углеводорода. Благодаря специальному процессу сжиженный метан нагревается до температур выше 1000-1400 °С, после чего газ начинает разлагаться на водород и карбон.



Благодаря дешевизне метана, а также простому способу его получения, такой тип добычи водорода проще всего. Однако высокие температуры и потенциальная пожароопасность требуют дополнительных мер безопасности. К тому же, оборудование для полного процесса крекинга не из дешёвых.

3) Щелочной электролиз — процесс прохождения электрического тока через раствор электролита (20-30 % раствор KOH или NaOH) от анода к катоду, вследствие чего на них соответственно образуются газы водород и кислород:



Ниже в табл.2 приведено сравнение методов получения водорода

Вывод. На основе сравнения методов получения водорода, можно сделать вывод, что паровая конверсия наиболее оптимальный метод. Крекинг метана дороже паровой конверсии и выбрасывает в атмосферу больше углекислого газа, но при этом электроэнергия и теплота получаемая от АЭС более экологична, чем природный газ, который является невозобновляемым ресурсом. Щелочной электролиз является наименее эффективным способом и наиболее дорогим способом. Но при этом имеет самую низкую температуру

при производстве, выбрасывает минимум вредных веществ и на выходе водород получается практически без примесей.

Таблица 2. Сравнение методов получения водорода

| Название способа | КПД, % | Температура при производстве, К | Стоимость производства, \$/т | Источник энергии | *Вредные выбросы при производстве CO ₂ *кг/ H ₂ *кг |
|---------------------|--------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---|
| Паровая конверсия | 60-75 | 1100-1300 | 1200-1600 | Природный газ | 2,5 |
| Крекинг метана | 40-42 | 1270-1670 | 2300-3500 | Электроэнергия и теплота от АЭС | 8 |
| Щелочной электролиз | 20-30 | 350 | 3900-5100 | Электроэнергия | 0.5 |

**Потенциал глобального потепления представляет собой тепло, поглощаемое любым парниковым газом в атмосфере, кратное количеству тепла, которое могло бы быть поглощено углекислым газом (CO₂).*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колотушки Д.О., Полуянович Н.К., Береснев А.Л., Микроконтроллерное устройство для получения водорода. Заявка 2011125670/07, 22.06.2011. Оpubл. 27.01.2012 Бюл. №3 Патент на полезную модель RU 112905.

2. Колотушкин Д.О., Полуянович Н.К. Частотный способ получения водородного топлива микроконтроллерным устройством. Сб. научн. ст.-МНПК. «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления» г Туапсе 4-8 октября 2011г. Краснодар: Изд-й Дом-Юг, 2011.- 418с. (с.289-291).

3. Полуянович Н.К. Энергетическая электроника. Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электротехники. Таганрог, 2001.

4. Полуянович Н.К., Береснев А.Л., Притула А.Н. Адаптивная система озонирования воздуха для двигателя внутреннего сгорания. Патент на полезную модель RU 112948 U1, 27.01.2012. Заявка № 2011112408/06 от 31.03.2011.

5. Полуянович Н.К., Притула А.Н., Береснев А.Л., Дубяго М.Н. Энергетические и экологические характеристики систем электросинтеза озона. Южный федеральный университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра Электротехники и Мехатроники. Таганрог, 2017.

6. Петров В.В., Полуянович Н.К., Рассоха Д.П. Моделирование пленок газочувствительных материалов эквивалентными схемами. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2005. № 3. С. 15-18.

7. Притула А.Н., Полуянович Н.К. Исследование кинетических процессов электросинтеза озона в решении энергетических задач озонатора. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2012. № 4. С. 41-46.

8. Полуянович Н.К., Притула А.Н. Проектирование адаптивного устройства озонирования воздуха системы топливоподачи ДВС. Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 2 (127). С. 251-257.

УДК: 629.113

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ НАПИСАННОЙ В СРЕДЕ RHYTON

Быстрицкий А.В., Береснев А.Л.

ИРТСУ ЮФУ Таганрог

Процессы горения, встречающиеся в природе и в технике весьма многообразны. Принято делить их в соответствии с фазовым составом компонентов на группы; гомогенное горение (все участвующие в горении компоненты находятся в газовой фазе), гетерогенное горение (часть компонентов находится в твёрдой или жидкой фазе, другая часть в газообразной фазе), горение конденсированных систем (взрывчатые вещества, твёрдые ракетные топлива и др.) и горение СВС-систем.

Стремительное развитие техники в середине 20 века активизировало развитие науки о горении. Методы экспериментального исследования процессов горения создавались в неразрывной связи с развитием теории горения. На различных стадиях развития представлений о процессах горения соотношение между теорией и экспериментом менялось, однако всегда ощущался недостаток экспериментальных данных. Создание и развитие методов диагностики процессов горения является одной из актуальных задач научных и прикладных исследований. Для каждого конкретного вида горения в соответствии с начальным фазовым составом компонентов диагностические методы развивались с целью решения определенных научных и практических задач использования процессов горения.

Наибольшее распространение в практике нашли оптические методы исследования, отвечающие необходимости изучения быстропротекающих процессов горения. К таковым следует отнести фотографические методы в разных вариантах (скоростная и сверхскоростная фотография), теневые, интерференционные, спектральные методы, методы измерения температуры и ионизации в пламенах (бесконтактные и контактные). Данные методы можно и нужно применить к процессам горения топливовоздушной смеси в цилиндре ДВС.

В настоящее время существуют различные способы диагностики двигателей внутреннего сгорания. К перспективным способам можно отнести диагностику по пламени горения топливо-воздушной смеси. Процесс сгорания от начала и до конца неизбежно сопровождается свечением. Причем в первый момент источником свечения является искра возникающая между электродами свечи от которой возгорается топливовоздушная смесь (ТВС), далее источником света служит разогретое рабочее тело и нагретые от него элементы камеры сгорания. Интенсивность свечения и его спектр зависит от угла поворота коленчатого вала двигателя, количества топливно-воздушной смеси, поступившей в цилиндр, состава смеси, скорости распространения горения, угла опережения зажигания, энергии искры, появления детонации и ряда других факторов [1]. Таким образом становится ясно, что свет испускаемый камерой сгорания работающего двигателя является своеобразным индикатором, происходящих процессов. Общеизвестно, что из-за невозможности получения полностью гомогенной смеси в камере сгорания ДВС горение топлива имеет не равномерный характер. В тоже время далеко не всегда топливовоздушная смесь успевает сгореть полностью в цилиндре и догорает в выпускном коллекторе и если химические реакции успевают закончиться до момента их поступления к месту установки датчика кислорода, то и система управления двигателем и диагностические системы определяют данную ситуацию. как нормальное горение близкое к стехиометрическому [3]. Из этого следует, что фундаментальные исследования процессов горения невозможны без применения оптических методов. Спектральный состав излучения испускаемого, поглощаемого или рассеиваемого в пламени несет огромное количество информации о протекающих химических реакциях, позволяет определить состав и количество промежуточных и конечных продуктов горения, их температуру, давление и пространственное распределение [3]. Этот методы является бесконтактным, малоинерционным и высокочувствительным. Поэтому при диагностике и настройке двигателей внутреннего сгорания следует использовать оптические методы исследований.

В связи с бурным развитием цифровых технологий возможно для исследования процесса горения использовать высокоскоростную камеру высокосортная камера. Технологии фотосъемки и видеозаписи позволяют производить захват кадров с довольно высокой скоростью. Такая возможность позволяет произвести запись, наблюдение и затем и исследования такого быстротечного процесса как процесс горения смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. При помощи такой камеры удалось запечатлеть начальный момент воспламенения и распространения пламени в камере сгорания ДВС.[2] В результате с помощью камеры, имеющей высокое быстродействие, удалось получить серию кадров, характеризующих процесс горения.

На данном рисунке сделана выборка из полученных кадров различных тактов воспламенения в цилиндре ДВС. Можно увидеть, что быстродействие камеры позволило получить несколько информативных в момент воспламенения смеси. Полученные кадры имеют большую информативность

для исследования процессов горения смеси в цилиндре ДВС. Таким образом, используя оптические методы наблюдения за воспламенением в цилиндре ДВС, можно сделать вывод о том, что процесс горения в цилиндре ДВС при одинаковых условиях протекает различно. Это связано со сложностью настройки и управления ДВС.

Для дальнейшего исследования полученных кадров была написана программа в среде python. В основе обработки изображения был выбран алгоритм определения доминирующих цветов: метод k-средних. На данном этапе для анализа было выбрано два основных доминирующих цвета: красный и синий. Далее была проведена видеосъемка процесса горения в камере сгорания ДВС при работе двигателя на бензине и пропан бутане.

На рис. 1 показан результат обработки полученных с высокоскоростной камеры кадров при работе ДВС на бензине при стехеометрическом составе смеси. Можно заметить что в пиках горения синие и красные линии совпадают. Процесс горения в каждом такте воспламенения протекает по разному. Длительность активности синего цвета составляет 3-5 мс. Длительность активности красного цвета составляет 7-10 мс.

На рис. 2 показан результат обработки полученных с высокоскоростной камеры кадров при работе ДВС на пропан бутане при стехеометрическом составе смеси. Можно заметить преобладание красного цвета над синим. Это свидетельствует о не качественном горении смеси, связанной с подачей газовой смеси в камеру сгорания.

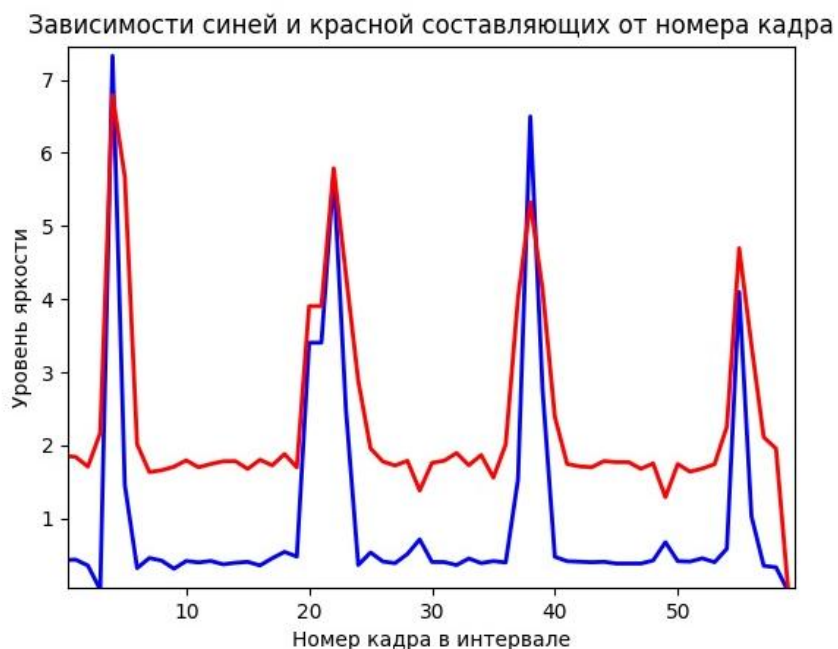


Рис 1 Результаты обработки кадров при работе ДВС на бензине при стехеометрическом составе смеси



Рис 2 Результаты обработки кадров при работе ДВС на пропан бутане при стехеометрическом составе смеси

Процесс горения в каждом такте также воспламенения протекает по разному. Длительность активности синего цвета составляет 5-8мс. Длительность активности красного цвета составляет 7-12мс. Можно заметить что пропан бутан имеет меньшую по сравнению с бензином скорость горения. Таким образом полученные результаты дают возможность провести анализ качества горения, скорости горения для дальнейшей модернизации процессов управления топливоподачей ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крива В.В., Береснев А.Л.* Оптимизация процесса горения смеси по цвету пламени. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 частях. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2016. С. 27-29.

2. *Быстрицкий А.В. Береснев А.Л. Быстрицкая Е.М.* Применение современных методов получения и обработки графической информации для исследования процесса сгорания в цилиндре ДВС материалы конференции Системотехника 2019. Таганрог 2019г

3. *Быстрицкий А., Береснев А.Л.* Исследование процессов сгорания смеси в цилиндре ДВС с помощью оптических средств. В сборнике: Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении ("ISMCA' 2019") Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог, 2019. С. 115-116.

4. *Быстрицкий А.В. Береснев А.Л. Быстрицкая Е.М.* Применение современных методов получения и обработки графической информации для

исследования процесса сгорания в цилиндре ДВС ("ISMCA' 2020") Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог, 2020.

УДК 62–987

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИДЕАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФИКА ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ БЕЗ ПОДЖИГА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Денисенко Н. С., Береснев А. Л.

Институт Радиотехнических Систем и Управления ЮФУ, г. Таганрог

Различные методы диагностики автомобилей развиваются уже несколько десятилетий. Одним из методов является проверка параметров двигателя по осциллограммам динамической компрессии в цилиндре без поджига топливовоздушной смеси. Именно данный метод позволяет определить состояние механических узлов двигателя внутреннего сгорания.[1] Опытный специалист без особого труда сможет проанализировать данную индикаторную диаграмму давления и на ее основании уже предполагать возможные неполадки. Однако это возможно в случае, когда диагност хорошо знаком с данной маркой, моделью или производителем двигателя. При современном многообразии двигателей определение категорий признаков нормальной индикаторной диаграммы становится довольно непростым делом. Именно поэтому необходимо математическое моделирование, позволяющее определить, исходя из различных данных, идеальный вид индикаторной диаграммы и отталкиваться от него в дальнейшем, как от эталонного.

Целью данной работы является создание компьютерной модели изменения давления в камере сгорания в зависимости от различных внешних и внутренних параметров. В ходе работы были поставлены следующие задачи:

- ✓ Произвести учет параметров окружающей среды;
- ✓ Произвести учет параметров, варьирующихся от конкретной марки двигателя ;
- ✓ Произвести учет условий работы двигателя;
- ✓ Произвести учёт параметров топлива;
- ✓ Рассчитать расход воздуха двигателя как еще один инструмент в помощи диагностики.

Научная новизна заключается в разработке модели, позволяющей получить идеализированную картину состояния давления в цилиндре без поджига топливовоздушной смеси для последующего сравнения данных модели с реально снятыми значениями давления с диагностируемого объекта при помощи специализированного диагностического оборудования.[2] На практике данный подход означает облегчение процесса диагностики авто. Диагностика благодаря моделированию может происходить быстрее, а

выявление неисправностей более точным и безошибочным. Это в свою очередь позволяет увеличить ресурс работы двигателя, а также уменьшить вредные выбросы, которые имеют место при работе авто при поломках.[3] Таким образом экологичность и экономичность эксплуатации отдельно взятого авто возрастает.[4]

Моделирование происходило с помощью программной среды MATLAB, где был написан код на соответствующем языке программирования. Сама программа записана с помощью 4 файлов-функций и одного итогового файла-скрипта.

Главной является файл-скрипт Main. В нем мы задаём различные константы, задаём запрос пользователю на введение данных, необходимых для построения модели, а также устанавливаем очерёдность вызова необходимых нам функций. В ходе работы программы у пользователя опрашиваются различные параметры. Например, параметры, касающиеся условий окружающей среды, такие как атмосферное давление. Учитываются также индивидуальные параметры двигателя, такие как степень сжатия, отношение длины шатуна к радиусу кривошипа, количество цилиндров и объём камеры сгорания.

Среди прочих учитываются параметры касающиеся непосредственно работы двигателя: температура и коэффициент остаточных газов, обороты двигателя и коэффициент наполнения. Особую важность представляют обороты и коэффициент наполнения. Коэффициент наполнения характеризует степень наполнения объёма камеры сгорания зарядом воздуха, который, помимо геометрических параметров двигателя, зависит и от степени открытия дроссельной заслонки.

Первой выполняет свою работу функция ThermodynamicComponent. Именно она выполняет основной расчёт всех данных [3-5].

Затем, имея нужные данные необходимо построить график изменения давления в зависимости от угла поворота коленвала, что выполняется при помощи функции GraphThermodynamic.

После этого, исходя из введенных данных производится расчет расхода воздуха при помощи функции AirConsumption, производимый всем двигателем, что может в дальнейшем соотнестись со снятыми значениями расхода воздуха непосредственно с объектах [6-9]. Окно диалога с пользователем программы и вывод результата теоретического расхода воздуха показаны ниже на рис. 1. Данный шаг необходим, так как не всегда становится возможным определить коэффициент наполнения без прямых измерений, однако это всегда можно сделать косвенно, исходя из данных по расходу воздуха.

```

Введите коэффициент наполнения:
ettv = 0.7
Ваш расход воздуха составляет: 1.715866 кг/с
Хотите вывести на экран еще один график с отличным коэффициентом наполнения?
Введите 1 чтобы сказать Да/0 чтобы сказать Нет: 1
Введите коэффициент наполнения:
ettv = 0.6
Ваш расход воздуха составляет: 1.470743 кг/с

```

Рисунок 1 Пример расчёта теоретически-верного расхода воздуха

Затем происходит опрос пользователя хочет ли он построить новый график с отличными коэффициентами наполнения или оборотами, что происходит при помощи функции VarTherm. В качестве реального объекта для модели использовался двигатель ВАЗ-2110. Результаты оформлены в виде трёх графиков, каждый из которых определяет зависимость давления, температуры и объёма камеры сгорания от угла поворота коленчатого вала. Данные группы графиков повторяются три раза для разных изменяющихся параметров работы двигателя. Ниже на Рисунках 2 и 3 представлены итоговые графики термодинамической составляющей давление при различных коэффициентах наполнения и оборотах двигателя. При создании графиков при различных коэффициентах наполнения использовались значения 0.8 (синий график), 0.6(красный график) и 0.9(желтый график). Как можно заметить, при уменьшении коэффициента наполнения идёт спад пика давления, что хорошо согласуется с реальными данными.[10] График температуры в камере сгорания и изменения объёма нужен, скорее для демонстрации правильной работы модели. Так, температура растёт, а объём уменьшается при приближении поршня к верхней мертвой точке. Далее идет группа графиков, демонстрирующая изменение процессов в камере сгорания в зависимости от оборотов коленчатого вала двигателя.[11] При изменении оборотов использовались значения 2500 об/мин, 1500 об/мин и 4000 об/мин. При увеличении оборотов давление увеличивается незначительно, однако спад давления более значителен при снижении оборотов. Таким образом становится ясным в каких диапазонах будет находиться пик давления в цилиндре

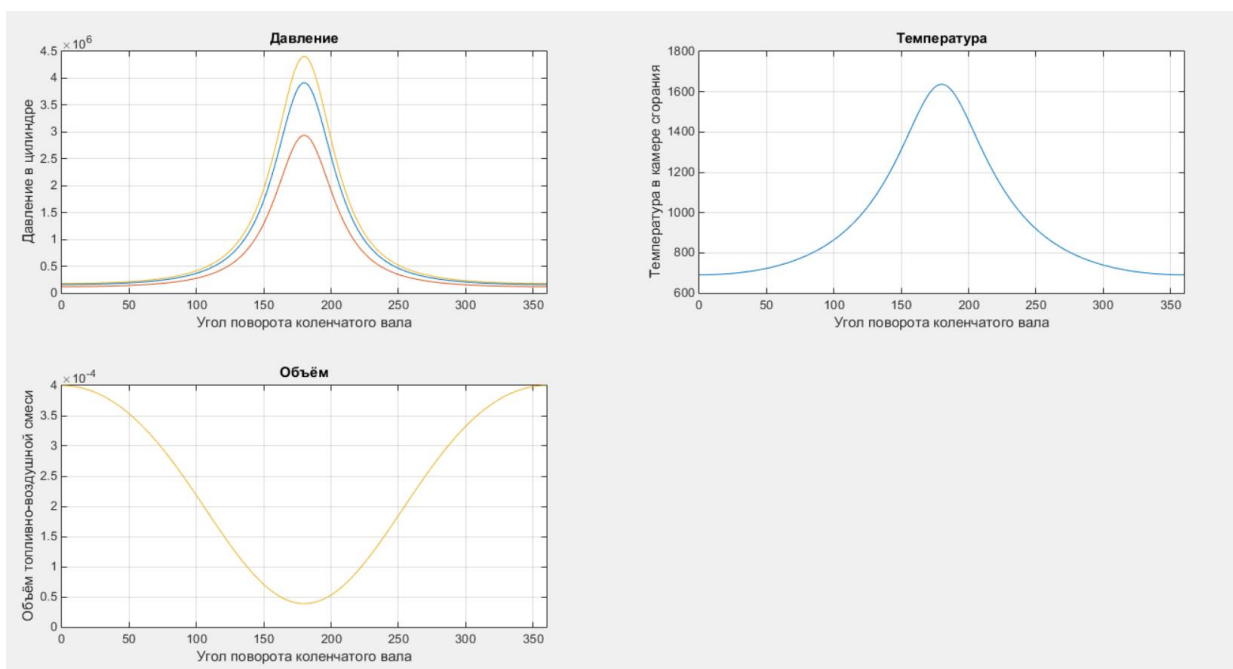


Рисунок 2 Графики термодинамической составляющей давления при различном коэффициенте наполнения

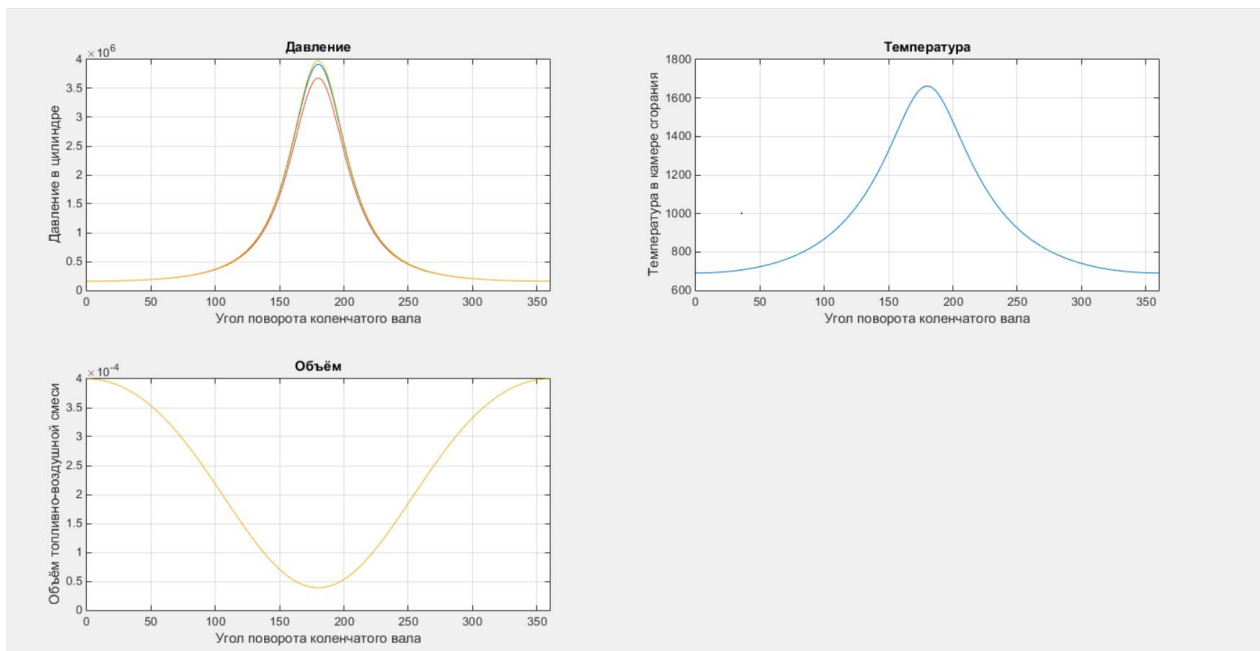


Рисунок 3 Графики термодинамической составляющей давления при различных значениях оборотов двигателя

В дальнейшем становится возможным создание модели, учитывающей состояние давления в цилиндре при поджиге топливовоздушной смеси.

Таким образом была создана программная модель для расчёта термодинамической составляющей давления в цилиндре. Данная модель способна учитывать изменяющиеся параметры окружающей среды. Также происходит учет специфики как отдельно взятого двигателя, так и типа

используемого топлива. При соотнесении данных модели и реально снятых характеристик с автомобиля можно будет однозначно судить о возникающих неисправностях, что значительно облегчает и ускоряет процесс диагностирования авто. Это в свою очередь повышает экономичность и экологичность эксплуатации автомобиля, что в нынешних условиях повышения уровня выбросов в атмосферу имеет первостепенную важность в борьбе за экологию.

Данная работа в дальнейшем позволит провести более точное моделирование всех возможных процессов, происходящих в камере сгорания. Так, например, термодинамическая составляющая давления в цилиндре позволяет перейти к расчёту кинематической составляющей и тем самым станет возможным провести моделирование процессов горения топлива в цилиндре, а также расширения отработавших газов. Это в свою очередь позволит расширить спектр выявления возможных неполадок двигателя и облегчить дальнейший процесс ремонта силового агрегата. Впоследствии станет возможным проведения моделирования процесса расширения отработавших газов, что в сумме может дать полную картину состояния давления в цилиндре на всем протяжении его работы. Помимо прочего станет возможной адаптация данной модели под различные типы топлива, в том числе и комбинированного, составленного на основе двух компонентов природных. Это в свою очередь может придать существенный толчок в развитии борьбы за экологии в сфере автомобильного транспорта, при этом не теряя скоростных мощностей современных авто.[12-14]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Постоловский В.* Диагностика состояния цилиндропоршневой группы по графику давления в цилиндре // 12 Вольт. – 2008. - №104. – С. 24–33.
2. *Пахомов А.* Применение мотор-тестера «MotodocII». – URL: http://www.automaster18.ru/primenenie_motortestera.html. Дата обращения: 18.10.2020.
3. *Medvedev M., Beresnev A., Beresnev M., Shaiakhmetov A.* Prospects of new binary fuel mixtures for IC engines // ACM International Conference Proceeding Series. 5. Сер. "Proceedings of 2016 5th International Conference on Mechatronics and Control Engineering, ICMCE 2016" 2016. С. 20–26.
4. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Перспективы использования новых видов бинарных топлив для двигателей внутреннего сгорания. // Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 3 (22). С. 14–25.
5. *Вибе И.И.* Новое о рабочем цикле двигателя. – М.: Машгиз, 1962. – 271с.
6. *Елагин М. Ю., Кузьмина И. В.* Математическая модель и теоретические исследования рабочих процессов многоцилиндровых двигателей внутреннего сгорания // Известия ТулГУ. Сер. Автомобильный транспорт, вып. 3. – Тула: ТулГУ, 1999. – С. 104–107.

7. Lee S. H. Fuzzy Air-Fuel Ratio Control of a Small Gasoline Engine / S.H. Lee, R.J. Howlett, S.D. Walters // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2004. – Volume 15, Nr. 3-4. – P. 207-2017.

8. Шароглазов Б.А., Фарафонов М. Ф., Клеменьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 344с.

9. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля: Учебное пособие. – М.: Форум ИНФА – М, 2005. – 368 с.

10. Воронько А. Анализ осциллограммы давления в цилиндре / А. Воронько. – http://quantexlab.com/information/article/detail.php?SECTION_ID=244&ELEMENT_ID=1239. Дата обращения: 18.12.2019.

11. Самохин С. Моторная диагностика // Автомобиль и сервис. – 2006. - №2. – С. 42–44.

12. Beresnev M.A., Beresnev A.L. Control of spark ignition IC engines operating on alternative fuel mixtures. // IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline). 2014. С. 6289–6294.

13. Береснев М.А., Береснев А.Л. Управление составом бинарного топлива для улучшения показателей ДВС. // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2013. № 11 (80). С. 24–28.

14. Beresnev M., Beresnev A Using mix of gasoline and liquefied petroleum gas for lower emissions and greater torque. // SAE Technical Papers. 2013. Т. 2. С. 17.

УДК 621.313.3.025.3-78

БЛОК ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СЕТЯХ 0,4кВ ОТ НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Ногин И.А., Волощенко Ю.П.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

В работе осуществляется синтез и реализация алгоритма работы блока, предназначенного для защиты асинхронного электродвигателя в сетях 0,4кВ от ненормальных режимов работы. При этом разработана структурная, функциональная и принципиальная схемы блока, выбрано оборудование и датчики блока на основе рассчитанных характеристик устройства. Составлен алгоритм работы, который реализован в виде кода для программы управления.

асинхронный двигатель, блок защиты, система управления, ненормальный режим работы, алгоритм управления, микроконтроллер, контактор.

На сегодняшний день асинхронные машины переменного тока нашли широкое применение в виде исполнительных устройств в промышленности и других отраслях народного хозяйства. При этом актуальной является проблема надёжной защиты электродвигателей и механизмов, в которых они используются. Современные стандарты большинства стран мира, в том числе и

России, предъявляют все более высокие требования к повышению безопасности работы персонала и росту экономической эффективности во всех отраслях промышленности. Эти факторы определяют потребность в защите и наблюдении за оборудованием и механизмами, приводимыми в действие электродвигателями. Пренебрежение указанными требованиями приводит к непредвиденному и значительному ущербу от снижения срока службы оборудования до повышения вероятности травмирования персонала. Целью работы является разработка алгоритма блока защиты асинхронного двигателя в сетях 0,4кВ от ненормальных режимов работы, расчёт и выбор надежного и экономичного оборудования с учетом требований технических требований и обеспечения безопасности при наименьших затратах на сооружение и эксплуатацию. Хотя асинхронные двигатели надежны, они подвергаются некоторым нежелательным электрическим воздействиям, вызывающим неисправности, приводящие к отказу. Постоянный мониторинг электрических параметров двигателя позволяет избежать неожиданного сбоя в производственном процессе [1].

Рассмотрим несколько основных режимов работы асинхронного электродвигателя, которые являются ненормальными. Во-первых - это перенапряжение. Эта ситуация возникает, когда мощность системы увеличивается больше, чем на 110% от номинальной. Причинами могут быть: внезапное снижение нагрузки, переключение, переходные нагрузки, удары молнии, выход из строя управляющего оборудования, такого как регуляторы напряжения, смещение нейтрали. Перенапряжение приводит к повреждению обмоток электродвигателя, подключенных к источнику питания, что может вызвать перегрев и повреждение изоляции. Следующий ненормальный режим - замыкание на землю. Замыкание происходит, когда токопроводящий провод или токоведущая часть подключаются напрямую к земле и нагрузка оказывается без питания. Перегрев так же является одним из ненормальных режимов работы асинхронного электродвигателя. Причиной перегрева, как правило, является перегрузка оборудования с превышением пределов его номинальной мощности или в случае короткого замыкания. Короткое замыкание может представлять собой замыкание одной линии на землю, подключение линии на линию и т. д. Результатом перегрева может быть возгоранию обмоток оборудования и существенные повреждения электрической системы. Причиной пониженного напряжения питания привода обычно является источник питания недостаточной мощности или неисправный. Например, если источник обеспечивает мощностью лишь на 70% от номинальной. Нежелательной ситуацией является выход из строя одной из фаз, изолированной и расположенной локально, или отключение фазы от питающей сети. Одиночная фаза вызывает отрицательные составляющие последовательности фаз в напряжении. Отрицательная последовательность фаз вызывает нагрев двигателя и, следовательно, возможный отказ двигателя [2-3]. При наличие однофазного тока в двух других фазах в 2,5 раза возрастает значение нормального тока. Электродвигатель начинает шуметь вибрировать из-за возникшего неравномерного крутящего момента.

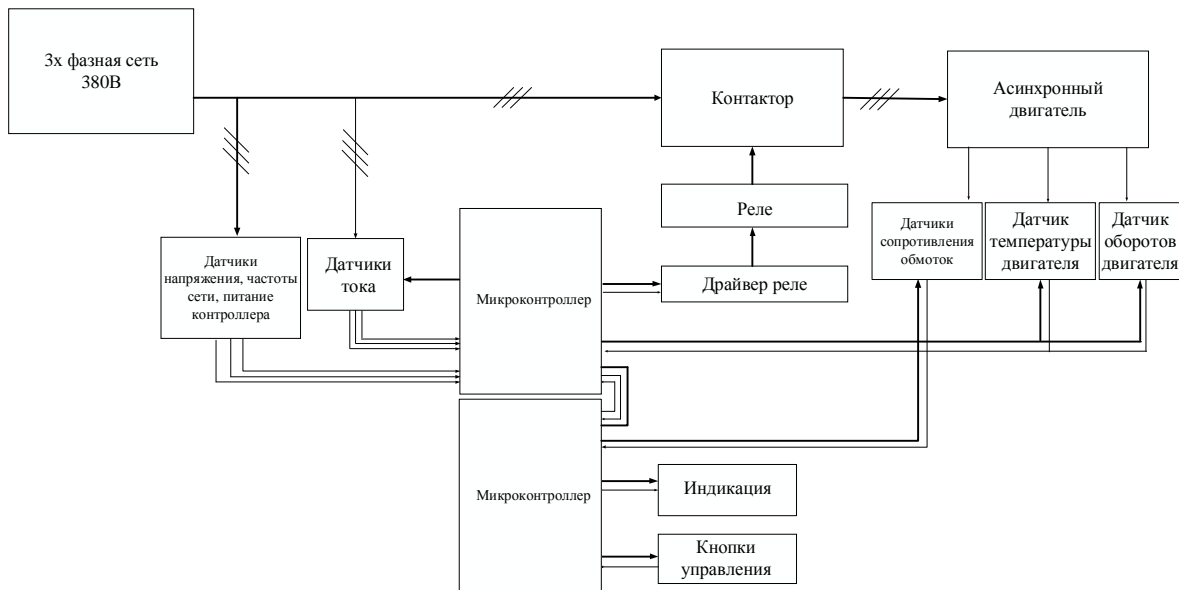


Рис. 1. Структурная схема блока защиты асинхронного двигателя от ненормальных режимов работы.

Структурная схема блока защиты асинхронного электродвигателя от ненормальных режимов работы представлена на рис. 1. В данной схеме блока реализована защита от рассмотренных ранее нестабильных режимов, механизмы для предотвращения негативных последствий для электрической машины и персонала.

Принципиальная схема блока защиты асинхронного двигателя от ненормальных режимов работы представлена на рис. 2 [4]. На этой схеме блоки UN1, UN2, UN3 - это собранные схемы измерения частоты и напряжения сети, SA, SB, SC - сенсоры тока, DO - датчик оборотов, DT - датчик температуры, омметр DR с ключами на базе МОП- транзисторов, КС - кнопка механического отключения контактора, сеть ~380В. Питание датчиков, а так же самой платы осуществляется также блоками UN1-UN3, для корректной работы датчиков предусмотрены подстроечные резисторы разного номинала от 10кОм.

Принцип работы данной схемы заключается в следующем. На электродвигатель питание подается через трехфазный контактор. Контактор необходим для отключения электродвигателя от сети при ненормальных режимах работы. Двигатель может быть запущен вручную оператором или автоматически. До подачи напряжения на электродвигатель, датчиками детектируются значения тока, напряжения, температуры и т.д. Информация с датчиков направляется в микроконтроллер. В микроконтроллере реализован алгоритм, который, на основе сигналов с датчиков, определяет режим работы и возможные неисправности и позволяет принять соответствующие меры. Предусмотрено отдельное питание микроконтроллера, индикации и органов управления, чтобы эта система оставалась независимой. Анализ данных с датчиков с использованием микропроцессора осуществляется непрерывно и

обеспечивает высокую точность и быстродействие системы. Жидкокристаллический дисплей информирует оператора о работе электродвигателя.

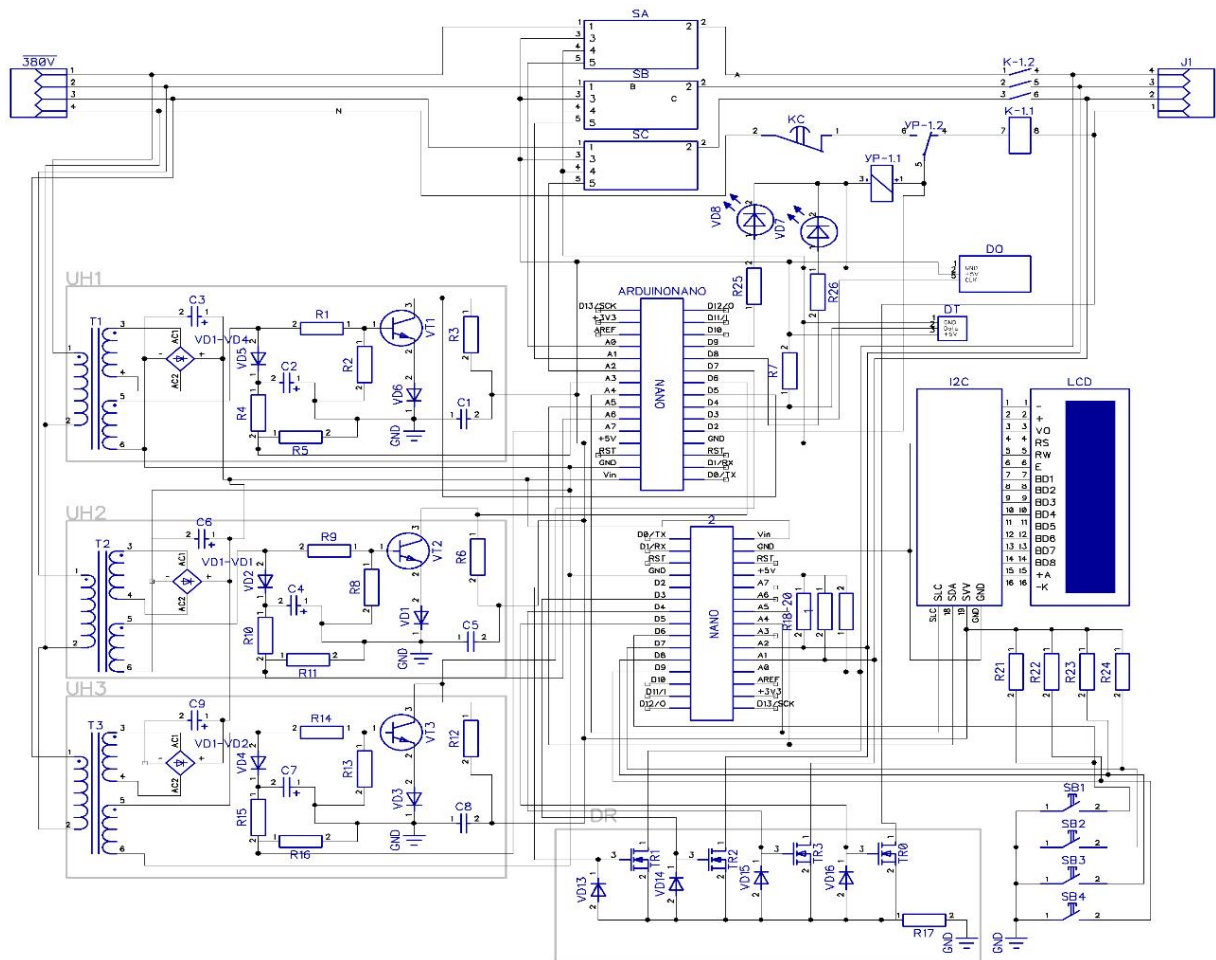


Рис. 2. Принципиальная схема блока защиты асинхронного двигателя от ненормальных режимов работы

Ненормальные режимы работы электродвигателя обладают рядом особенностей и требуют различных мер реагирования [5-7]. Для срабатывания индикации режима “Перенапряжение” необходимо зарегистрировать на фазе мощность в 1,1 раза больше номинальной в период времени не более 5 минут с момента появления. Далее в течении еще 5 минут система ожидает реакцию оператора. Если оператор не вмешивается, то система переходит к сценарию “Перегрев”. Режим “Перегрев” регистрируется, когда нагрев обмоток превышает предел, допустимый для данного класса нагревостойкости изоляции. Класс А допускает нагрев не более 65°C, класс В – 90 °С и т.д. [8]. При этом учитываются наиболее разогретые участки. В режиме “Перегрев” система ждет команды от оператора, но если температура продолжает увеличиваться, то происходит автоматическое размыкание контактов. Для запуска требуется охладить до нормальной температуры. Режим пониженного напряжения регистрируется при достижении значения 70% от номинального на

каждой из трех фаз. При этом происходит размыкание контактов и отправляется сигнал оператору о срабатывании данной защиты. При коротком замыкании токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима. В данном случае сам контактор под воздействием огромных токов размыкает контакты без участия контроллера или оператора.

Система позволяет просматривать все зарегистрированные ошибки, текущее состояние электродвигателя, осуществлять сброс параметров и регистрировать характеристики для нового двигателя.

Для регистрации значений параметров сети используются как аналоговые, так и цифровые разъемы микроконтроллеров. Напряжение измеряется на трансформаторах Т1-3, диодный мост ДМ1-3 осуществляет преобразование переменного напряжения в постоянное, мощность с первой вторичной обмотки направляется для питания контроллеров, другая обмотка задействована при измерении фазного напряжения и частоты сети, преобразование полученного сигнала осуществляется с помощью аналогового-цифрового преобразователя. Окончательная настройка получаемых сигналов реализуется уже средствами самой программы. За измерение тока в фазах, а также регистрацию активации пускателя отвечают датчики тока СТ1-3. Для измерения температуры электродвигателя предусмотрен цифровой датчик ДТ. Обороты контролируются с помощью тахометра ДО. При измерении сопротивления обмоток двигателя используются ключи на МОП-транзисторах и делитель напряжения. На схеме предусмотрена кнопка остановки КС для аварийного отключения электродвигателя двигателя.

В качестве микроконтроллера для блока защиты асинхронного двигателя используется платформа Arduino Uno на базе Atmel ATmega328. Доступность, дешевизна, практичность при высокой стабильности, простых методах программирования делает этот микроконтроллер подходящим для разработки различных автоматизированных систем.

На рис. 3 приведен разработанный алгоритм работы блока защиты асинхронного электродвигателя. На основе разработанного алгоритма работы была написана программа управления блоком защиты асинхронного двигателя.

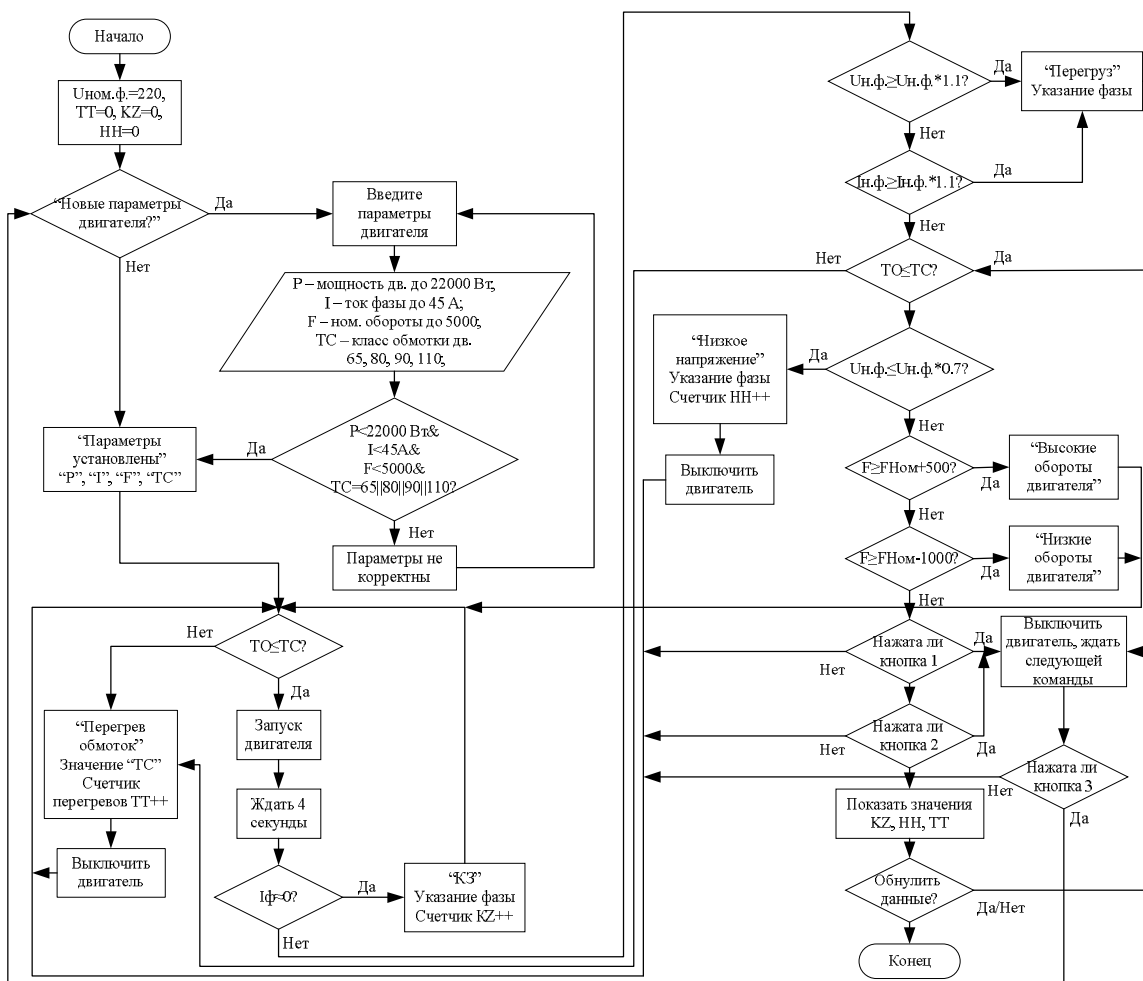


Рис. 3. Алгоритм работы блока защиты асинхронного электродвигателя.

В работе осуществлена разработка алгоритма работы системы управления блока защиты асинхронного двигателя в сетях 0,4кВ от ненормальных режимов работы. Для этого были решены следующие задачи. Осуществлен анализ систем управления блоков защиты двигателей; выделены особенности ненормальных режимов работы асинхронного двигателя. Предложена структурная и функциональная схемы блока защиты. На основе расчетов параметров схемы осуществлен выбор оборудования устройства и составлена электрическая принципиальная схема. Для разработанного алгоритма работы написана программа управления блоком защиты асинхронного двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фёдоров А.А.* Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. – М.; Энергоиздат. 1981.
2. Правила устройства электроустановок. – М.; Энергоатомиздат. 1986.
3. *Беркович М.А.* Основы техники релейной защиты. – М.; Энергоатомиздат. 1984.

4. *Ногин И.А., Волощенко Ю.П.* Разработка алгоритма работы системы управления блока защиты асинхронного двигателя // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2021.

5. *Розанов Ю.К.* Электрические и электронные аппараты. – М.; Энергоатомиздат. 1998.

6. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2018. – 116 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792>

7. Энергоэффективное управление движением поездов с электрической тягой/ Волощенко Ю.П., Гайдук А.Р., Зарифьян А.А., Колпахчян П.Г., Медведев М.Ю., Полуянович Н.К., Под ред. Пшихопова В.Х. - Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2018. - 320 с. Сер. Учебники для вузов. Специальная литература. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32239112>

8. *Григорьев В.А.* Справочная книга электрика. –М. Издательство «Колос». 2004.

9. *Лившиц Д.С.* Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. –М.; Энергия. 1967.

УДК 628.92

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ В ГИБРИДНОМ АВТОМОБИЛЕ

Коломийцев А.Ю., Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления, г. Таганрог

В статье рассмотрена возможность использования гибридного автомобиля с фотоэлектрическими элементами в условиях интенсивности инсоляции в средней полосе России. По результатам использования среды имитационного моделирования Matlab/Simulink оценены минимальная требуемая мощность батареи и время её зарядки.

Введение. Актуальность данной темы обусловлена тем, что одним из приоритетных направлений из стратегии технического развития России сегодня является переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике с использованием возобновляемых источников энергии. В особенности это актуально, например, для транспортной промышленности, где использование продуктов переработки нефти в двигателях внутреннего сгорания с каждым годом не только становится менее рентабельным, но и наносит существенный вред окружающей среде [5]. Однако одной из причин малого использования автомобилей с электрическими двигателями является недостаточность развития

инфраструктуры станций зарядки аккумуляторов [10]. Тем не менее, остается открытым вопрос о потенциале и актуальности данного технического решения в регионах с недостаточной инсоляцией. В данной статье рассмотрена возможность использования гибридного легкового автомобиля с фотоэлектрическими элементами на крыше в условиях интенсивности инсоляции в средней полосе России.

Материалы и методы исследования. Как и гибридный автомобиль с подзаряжаемыми от сети аккумуляторами, автомобиль с фотоэлектрическими панелями может работать как в режиме электромобиля, так и в режиме совместного использования двигателя внутреннего сгорания [4, 5]. На рис.1 представлена схема конструкции гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями.

Автомобиль приводится в движение передними колесами двигателем внутреннего сгорания, управляемым блоком управления двигателем. Шлюз протокола бортовой диагностики (EOBD) представляет данные о положении педали, скорости транспортного средства, частоте вращения двигателя, давления в коллекторе и о других характеристиках состояния [6, 7]. Аккумулятор можно заряжать как от задних колес, при работе в режиме генерации, так и от фотоэлектрических панелей [8, 9].

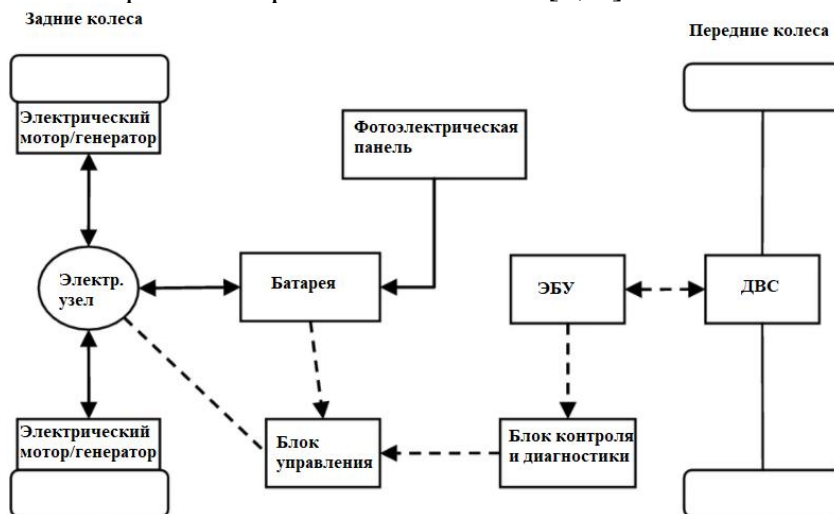


Рис.1. Схема конструкции гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями

Исследование процесса зарядки гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями выполнена в среде имитационного моделирования Matlab/Simulink для легкового автомобиля длиной 4 м и массой 1750 кг с характерным для средней полосы России при средних условиях облачности уровнем суммарной солнечной радиации 5282 МДж/м².

Результаты. Разработана схема имитационной модели исследования процесса зарядки.

В модели контроллера входная цепь импульсного преобразователя энергии представлена управляемым источником тока, а выходная цепь - управляемыми источниками тока и напряжения. При моделировании процессов

в PDS контроллер SB измеряет входной ток i_{in} и напряжение i_{in} , а также выходной ток i_{out} и напряжение i_{out} . Затем производится расчет выходной мощности $P_{ШХ} = 4к$ -ишх и входной мощности $P_{\times} = P_{\text{вых}} / \eta$, где η - КПД импульсного преобразователя энергии.

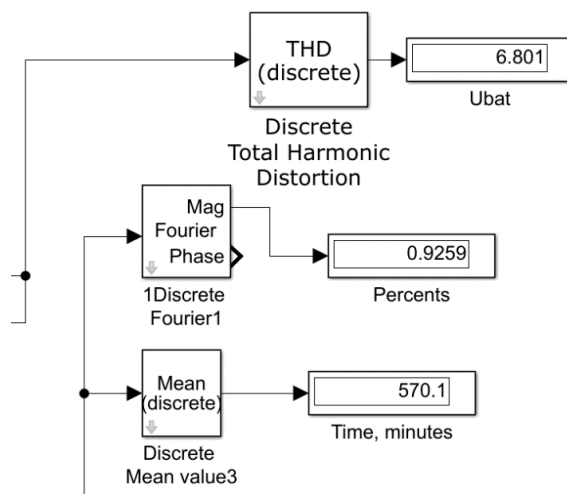


Рис. 2. Результаты моделирования

Результаты моделирования, приведенные на рисунке 2, показали, что время зарядки батареи от фотоэлектрических панелей составляет 570 минут, при этом батарея заряжается на 92.59%, мощность батареи – 6.801 Вт. При этом время зарядки увеличивается с массой автомобиля.

Выводы. Результаты исследования показали, что для среднестатистического легкового автомобиля длиной 4 м и массой 1750 кг использование гибридного автомобиля с фотоэлектрическими панелями для климатических условий средней полосы России является вполне возможным. Мощность солнечной батареи для обеспечения почти полного заряда за 570 минут должна составлять не менее 6.8 Вт позволяет с максимальной энергоемкостью в дни с приходом солнечного излучения, которое находится на среднем уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Shirk M. Hyundai Sonata 3539-Hybrid Electric Vehicle Battery Test Results / M. Shirk, T. Gray, J. Wishart // Idaho National Laboratory, 2014, 21 p.
2. Yamaguchi M. Development of high-efficiency and low-cost solar cells for PV-powered vehicles application / M. Yamaguchi, T. Masuda, K. Araki, D. Sato, K.H. Lee, N. Kojima, N. Takamoto, K. Okumura, A. Satou, K. Yamada, T. Nakado // Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sep 21. – 2020. – P. 1 – 10.
3. Будько В.И. Современное состояние и развитие возобновляемой энергетики / В.И. Будько, С.А. Кудря, А.В. Пепелов, // Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – №4-6. – С.130–141.
4. Arsie I. / Optimal design of a hybrid electric car with solar cells. I. Arsie, M. Marotta, C. Pianese, G. Rizzo, M. Sorrentino // InProc. of 1st AUTOCOM Workshop

on Preventive and Active Safety Systems for Road Vehicles. Istanbul 2005 Sep 19. – 2005. - 12 p.

5. *Bhatti A.R.* A rule-based energy management scheme for uninterrupted electric vehicles charging at constant price using photovoltaic-grid system / A.R. Bhatti, Z. Salam // *Renew Energy*. - 2018. – 125. – P. 384 – 400.

6. *Winther T.* Like having an electric car on the roof: Domesticating PV solar panels in Norway / T. Winther, H. Westskog, H. Ssele // *Energy for Sustainable Development*, 2018. – 47. – P. 84 – 93.

7. *Grosso M.* / Energy-efficient battery charging in electric vehicles with solar panels. M. Grosso, D. Lena, A. Bocca, A. Macii, and S. Rinaudo // In 2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow. RTSI 2016, September. – 2016. - P. 1-5.

8. *Kim Y.S.* Sonata hybrid the first full hybrid electric vehicle from Hyundai / Kim Y.S., Min B.S., Sim H.S., Lee K.S. // *ATZautotechnology*, 2011. - 11(1). – P. 10 – 7.

9. *Nikowitz M.* Advanced hybrid and electric vehicles. System Optimization and Vehicle Integration, Springer, 2016, 204 p.

10. *Westbrook M.H.* The Electric Car: Development and future of battery, hybrid and fuel-cell cars / M.H. Westbrook, M. Westbrook. Cambridge university press. Cambridge, 2001, 21 p.

СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ, ВЫБОР И МОНТАЖ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ

Кузнецов А.А., Береснев А.Л.
ИРТСУ ЮФУ, Таганрог

В данной работе рассматривается обзор по готовым образцам электрических зарядок для электромобилей и выбор одного. Так же описывается инструкция по эксплуатации выбранного устройства.

Ключевые слова: электромобили, способ зарядки электромобиля, стационарные зарядные станции.

Электромобиль имеет довольно простое по сравнению с машинами с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) устройство. Это объясняется тем, что электромотор гораздо проще, чем ДВС, и не требует регулярного обслуживания. А так как электропривод практически не имеет трущихся частей (кроме подшипников качения на валу), его КПД достигает 90-95%. При этом уровень КПД бензинового ДВС едва достигает 35%, а дизельного – 45%.

Ставится цель: произвести обзор и выбрать конкретный вариант стационарного зарядного устройства для электромобилей

В настоящее время в г. Таганроге и его приближенных поселениях отсутствуют зарядные станции, в то время как электромобилей насчитывается

уже около полусотни. Поэтому остро стоит вопрос об их зарядке. Вследствие чего будет производиться установка, монтаж и подключение зарядной станции для электромобилей в с. Самбек.

Зарядка (ЗУ) для электромобиля – это устройство, которое преобразует переменный ток высокого напряжения (220 вольт в однофазной цепи или 380 вольт в трехфазной) в постоянный ток с напряжением, соответствующим напряжению батареи электромобиля[1]. Такие ЗУ могут быть разного типа:

- стационарные – настенные шкафы, стойки и др.;
- портативные устройства – можно возить с собой в багажнике электрокара.

В данной статье речь пойдет о стационарных зарядных устройствах.

Зарядка электромобиля от 380 В способна значительно сократить время. При помощи повышения напряжения увеличивается и выходная мощность. Но важно понимать, что портативные ЗУ не рассчитаны на такое напряжение. Поэтому потребуется устанавливать стационарное зарядное устройство, которое будет подключено к сети с напряжением 380 вольт.

Данный вариант способен обеспечить большей мощностью и ускорить процедуру полной зарядки АКБ.

Подобные зарядные установки уже имеют свои коннекторы для подключения к электромобилю. При этом для разных стран используются различные стандарты:

- В США и странах Азии используется тип разъема «J» (см. рис.1). Максимальная мощность, передаваемая таким коннектором, ограничена 7,4 кВт. Данный разъем имеет пять контактов.[5].



Рисунок 1. Внешний вид разъема типа «J»

- Mennekes – применяется в европейских странах, в том числе в России и странах СНГ (см. рис.2). Имеет семь контактов. Максимальная передаваемая мощность может достигать 43 кВт при условии трехфазной цепи питания[2] или 7,4 кВт в условиях однофазной цепи.



Рисунок 2. Внешний вид разъема типа «Mennekes»

Зарядка электрокара с функцией «быстрая зарядка» – это самый мощный и быстрый способ, так как такая схема питания позволяет достичь наибольшей силы тока [5].

Такой тип ЗУ способен выдать самые высокие показатели:

- мощность от 0 до 100 кВт;
- сила тока – до 200 ампер;
- напряжение – до 500 вольт.

При всех своих достоинствах, при зарядке электромобиля данным способом срок службы батареи значительно снижается [5]. Поэтому использовать его стоит только в крайних случаях.

Поскольку стационарные зарядки с функцией «быстрой зарядки» значительно снижают срок службы и технические характеристики АКБ, которые в свою очередь, трудно заменяемы на данный момент, выбор сделан в пользу зарядки типа ЭСЭМ-4-22К-1 без этой функции. Ниже мы рассмотрим технические характеристики данной зарядки.

Зарядная станция электромобилей ЭСЭМ-4-22К-1 (см. рис.3) обеспечивает заряд переменным током по стандарту Type2 мощностью до 22 кВт [3] (см. табл.1).



Рисунок 3. Внешний вид зарядной станции «ЭСЭМ-4-22К-1»

Подключение и стандарты

- Трехфазное подключение к электросети: 3 фазы, нейтраль и заземление
- Зарядный пистолет Type2 с кабелем 5 метров мощностью до 22 кВт
- Установка и эксплуатация
- Встроенная защита от токов утечки
- Защита от короткого замыкания на выходе
- Защита корпуса IP54



(a)



(б)

Рисунок 4. Внешний вид разъема типа с защитной крышкой (а) и без (б)
«Mennekes»

Таблица 1. Характеристики зарядной станции

| Параметр | значение |
|--|---|
| Модель | ЭСЭМ-4-22К-1 |
| Тип устройства | Зарядная станция |
| Тип выходного напряжения | Переменный ток |
| Форм-фактор | Напольный или настенный |
| Поддерживаемые стандарты | Type2 |
| Максимальная потребляемая мощность | 25 кВА |
| Номинальное входное напряжение | 380, 400 В переменного тока |
| Диапазон входной частоты | 50 Гц |
| Тип входного соединения | Клеммный терминал: 4х проводная система с заземлением |
| Выходная мощность переменного тока | До 25 кВт |
| Выходное напряжение переменного тока | 380, 400 В |
| Выходной переменный ток | До 38 А |
| Температура эксплуатации | -35°C ... +40°C |
| Относительная влажность при эксплуатации | 0 ... 95% |
| Класс защиты | IP54 |
| Уровень шума | Менее 58 дБ |
| Размер (Ш x Г x В), мм | 335x215x1506 |



Рисунок 5. Место установки зарядной станции

Выводы. Был произведен обзор по способам зарядки электромобиля, выбрана определенная зарядная станция, раскрыты технические характеристики и рассказан способ монтажа зарядной станции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. https://maff.io/electro_power_station/ карты электро-зарядных станций
2. <https://1electrocar.ru/princip/zaryadnoe-ustrojstvo.html>- способы зарядки электромобиля
3. Руководство по освоению ЭСЭМ-4-22К-1
4. <https://www.compel.ru/lib/129002> быстрая зарядка
5. Аксенов В.Л. Зарядка электрокаров

УДК 629.1

РАЗРАБОТКА БЛОКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Власов Д.А., Горемыкин Е.В.

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Введение Первые электромобили появились в 1828 году. Массовое производство таких автомобилей было невозможно из-за большой массы и малой электрической ёмкости аккумуляторной батареи, большого времени полного заряда и появления двигателей внутреннего сгорания, которые на тот момент оказались более востребованы. В наши дни удалось уменьшить габариты, массу, увеличить емкость одного литий-ионного элемента батареи аккумуляторов. Это послужило толчком к развитию отрасли электромобилей.

Постановка задачи. Владельцу, заряжающему аккумуляторную батарею (АКБ) своего электромобиля на различных зарядных станциях, постоянно необходим согласующий переходник к разъёму зарядного кабеля, потому что каждая компания имеет свой стандартный разъём, а также активно разрабатываются новые стандарты зарядных разъёмов. В настоящее время существует более 7 различных конструкций разъёмов[1]. Далеко не каждая модель электромобиля может иметь свой переходник между всеми необходимыми разъёмами, что затрудняет процесс заряда АКБ электромобиля. Возникает необходимость создания универсального зарядного устройства, подходящего к различным моделям электромобилей, наиболее универсальным и безопасным будет беспроводная система заряда АКБ.

Была поставлена задача разработать блок беспроводного зарядного устройства электромобиля с питанием от трехфазной промышленной сети 400 В, 50 Гц. Зарядное устройство должно обеспечивать 400 В напряжения и зарядный ток 110 А. Блок должен быть защищен от предельно допустимых параметров тока и напряжения, а также иметь защиту от короткого замыкания. Выполнять регулирование напряжения и тока заряда.

Решение проблемы. Решением поставленной проблемы зарядки АКБ электромобиля на специально оборудованных станциях является отказ от широко используемых проводных систем, стандартизация методов зарядки аккумуляторных батарей и переход к беспроводным системам передачи электроэнергии[2].

Основополагающим методом является индуктивная передача электроэнергии (ИПЭ). В основе этого метода лежат известные физические явления:

1. Переменный магнитный поток генерируется током первичной обмотки зарядной катушки по закону Ампера.

2. Напряжение во вторичной обмотке зарядной катушке индуцируется по закону Фарадея, переменным магнитным потоком из первичной катушки.

3. Наведённое напряжение, противоэлектродвижущая сила, также генерируется на первичной катушке током второй катушки.

4. Переменный ток подаётся на первичную катушку и снимается с вторичной через зазор между катушками, таким образом электрическая энергия передается электромагнитным полем на вторичную обмотку зарядной катушки.

Первичная обмотка зарядной катушки располагается на уровне земли, а вторичная обмотка крепится на днище электромобиля. Такой метод заряда позволяет обезопасить владельца от поражения электрическим током даже в сырую погоду.

Поскольку мощность, передаваемая от первой катушки ко второй, зависит от их взаимосвязи между собой. Различают 2 категории ИПЭ:

1. Слабо “связанные” имеют малый коэффициент передачи электрической энергии. В основном низкий коэффициент обеспечивается из-за расстояния между двумя взаимосвязанными катушками (по сравнению с размером этих катушек). Также возможен вариант недостаточно высокой проницаемости среды, в которой находятся катушки.

2. Сильно “связанные” имеют высокий коэффициент передачи, поэтому такие системы, как правило, имеют коэффициент близкий к единице.

Процесс заряда литий-ионных аккумуляторов не должен менять их химико-физической структуры. Для этого процесс заряда аккумулятора разделяется по времени на два этапа.

Первый этап (АКБ разряжен). Через аккумулятор протекает максимальный ток заряда, пока напряжение АКБ не достигнет порогового. Важным параметром является ток заряда. При заряде АКБ током, не превышающим $1C$ (ёмкость АКБ в $Aч/ч$), не будет происходить перегрева, увеличится количество запасённой энергии[3].

Второй этап (напряжение на АКБ достигло номинального значения). В момент установления на аккумуляторе номинального напряжения, ток заряда постепенно уменьшается до тех пор, пока его значение не достигнет 3% от максимального[3].

Контроль за процессом заряда, осуществляет система BMS (Battery Manager System). Производители электромобилей устанавливают рядом с АКБ блок BMS. Принцип её работы заключается в постоянном мониторинге состояния батареи. Если происходит превышение граничных параметров потребляемого тока, напряжения, температуры, система отключает АКБ от заряжающего устройства.

Рассмотрим структурную схему системы беспроводного зарядного устройства электромобиля, рис. 1. Входное трёхфазное напряжение поступает на частотный преобразователь, выполненный на AC-DC преобразователе, DC-AC преобразователе и микроконтроллере компании ST (STM32G0). Датчик тока выполняет функции обратной связи по току. Перечисленные выше блоки и конденсаторная установка входят в передатчик и располагаются в зарядном блоке. Блок связи согласует приемник и передатчик, конденсаторные установки выполняют функцию введения в резонанс блока связи в целях повышения КПД системы. Выпрямитель внутри приемника преобразует переменное напряжение в постоянное и подает его на систему BMS заряжающую АКБ. Приемник и приемная катушка блока связи установлены внутри электромобиля.

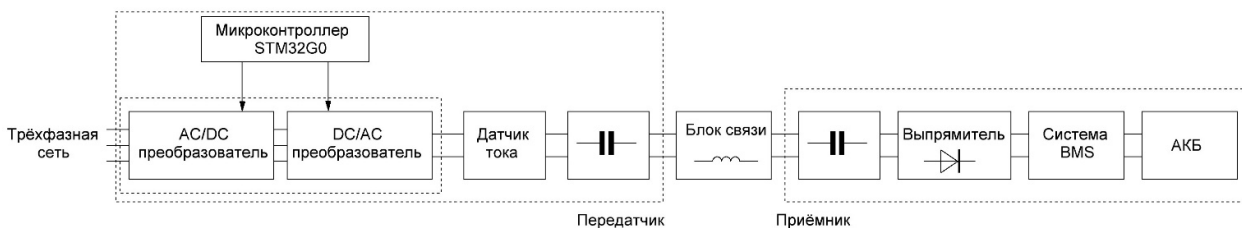


Рис. 1. Структурная схема системы беспроводного зарядного устройства электромобиля

Функциональная схема блока беспроводного зарядного устройства электромобиля представлена на рис. 2.

Блок зарядного устройства питается от сети трёхфазного переменного тока. Через трёхфазный трансформатор TV1 напряжение сети подается на

трехфазный тиристорный мостовой выпрямитель VS1-VS6, управляемый микроконтроллером STM32 через драйвер. Для снижения пульсаций напряжения используется LC фильтр (L1, C1), напряжение поступает на мостовой однофазный инвертор VT1-VT4, выполненный на мощных IGBT транзисторах. Трансформатор TV2 с разнесенными катушками передает энергию на однофазный диодный выпрямитель VD5-VD8. Сглаживающий конденсатор C4 уменьшает выходные пульсации. Происходит процесс заряда батареи. Конденсаторы C2 и C3 совместно с трансформатором TV2 образуют “связанный” резонансный контур с резонансом напряжений. Частота резонансного контура регулируется однофазным инвертором и, в силу свойств резонансных цепей, меняет мощность под воздействием частоты. Такой эффект позволяет повысить КПД системы. Датчик тока осуществляет обратную связь для микроконтроллера, который управляет инвертором.

Полученные результаты. В статье предложен беспроводный метода заряда АКБ, который не разрушает его структуру и не сокращает срок эксплуатации одного элемента. Описан процесс заряда литий-ионного аккумулятора. Представлена структурная и функциональная схема, кратко описан принцип их работы.

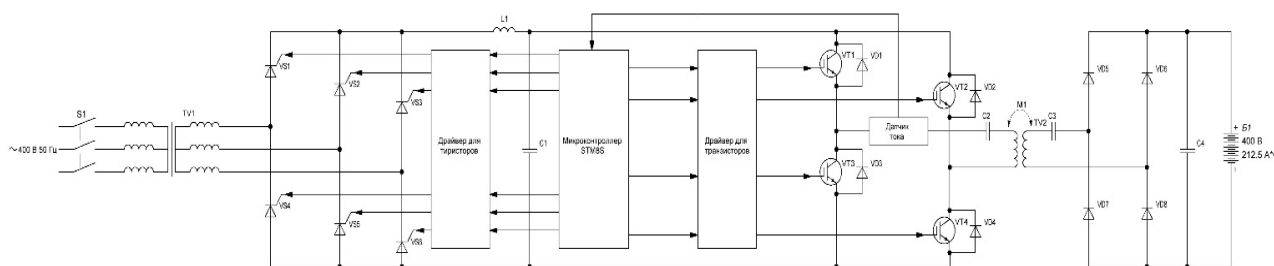


Рис. 2. Функциональная схема системы беспроводного зарядного устройства электромобиля

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://hevcars.com.ua/reviews/zaryazhaem-elektromobil-osnovnyie-tipy-zaryadnyih-stantsiy-i-razemov/>.
2. Muhammad H. Rashid Power electronic handbook fourth edition / life IEEE Florida Polytechnic University 2018 – С. 1447.
3. Хрусталева Д. А. Аккумуляторы // Москва Изумруд 2003 – С. 213.

УДК 621.43:629.113

ЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Рассолов М.А., Полуянович Н.К., Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

В работе рассматривается совершенствование водородных технологий получения водородного топлива. Разрабатываемый способ получения водорода заключается в том,

что на водный электролит посылаются импульсы тока, частота которых, кратна частоте межатомных связей молекул воды. Разработано устройство для получения водорода. Возможность работы двигателя на бензо-водородных топливных компонентах в диапазоне бедных составов смесей позволяет снизить максимальную температуру цикла в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что существенно уменьшает концентрацию окислов азота в отработавших газах.

водородная энергетика, электрохимический метод электролиза, микроконтроллер.

Введение и постановка задачи. В мире эксплуатируется более 800 миллионов автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), которые потребляют около 80% всех производимых нефтепродуктов. Дефицит нефти составляет порядка 4 миллионов баррелей в день, а к 2025 году, а в связи с дальнейшим истощением запасов нефти, прогнозируется его увеличение до 20 миллионов баррелей в день. Поэтому топливная экономичность в ДВС становится одной из приоритетных задач двигателестроения.

Одним из возможных способов повышения экономичности ДВС является применение альтернативных топлив и/или добавок, активизирующих процесс сгорания, к традиционному топливу. Поэтому применение водорода в качестве топлива или добавки к нему имеет большие перспективы.

Другая причина интереса, проявляемого к альтернативным топливам – возможность значительного улучшения экологичности автомобильного транспорта, который стал основным источником загрязнения воздуха во многих крупных городах мира.

Роль и свойства водорода при горении топлива. Из всех видов альтернативных топлив отдельно стоит выделить водород [2]. Его добавка не только способна заменить энергоресурс уменьшаемой доли бензина или дизельного топлива. Его действие более интересно – водород обладает высокой скоростью диффузии, из чего вытекает его способность образовывать однородную смесь в камере сгорания за очень короткий промежуток времени.

При горении водорода толщина зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) меньше примерно в 5 раз, чем у углеводородных топлив. Это доказывает высокую эффективность воздействия водорода на кинетику сгорания смеси во всем объёме. Соответственно возрастает полнота сгорания топлива, и уменьшается эмиссия токсических веществ, что приводит к существенному снижению вредных выбросов остаточных углеводородов и сажи, а также окисей углерода и азота.

Скорость горения водородно-воздушных смесей на порядок больше, чем скорость горения аналогичных смесей на основе бензина или дизтоплива (табл.1). При минимальных добавках водорода в топливовоздушную смесь время сгорания последней существенно уменьшается. Это происходит из-за того, что, водород смешавшись с попадающей в цилиндр смесью не только сгорает, выделяя тепловую энергию для работы двигателя, но и эффективно поджигает смесь во всем объеме. Это связано с тем, что молекулы водорода могут выступать в качестве иницирующих центров при сгорании углеводородного топлива [1]. Применительно к работе двигателя это означает, что при добавке водорода, можно снизить дозу основного топлива в заряде и

сделать зажигание более поздним. Это приводит к повышению эффективности работы двигателя.

Таблица 1 – Физико-химические свойства бензина и водорода

| Свойства | Бензин | Водород |
|--|-------------|------------|
| Молекулярная масса, кг/моль | 117 | 2,015 |
| Плотность, кг/м ³ | 670 | 0,086 |
| Нижшая теплота сгорания, кДж/кг | 44000 | 120085 |
| Пределы воспламенения (объёмная доля), % | 1,2...6,0 | 4,0...75,0 |
| Ламинарная скорость распространения пламени, м/с | 0,37...0,43 | 1,9...2,7 |
| Энергия воспламенения, мДж | 0,25 | 0,02 |
| Коэффициент диффузии, см ² /с | 0,08 | 0,63 |
| Толщина зоны гашения, мм | 2,0 | 0,6 |

Очевидно, что чем меньше масса молекул водорода (самый лёгкий газ, он легче воздуха в 14,5 раз), тем выше их скорость при одной и той же температуре. Таким образом, самые лёгкие молекулы водорода движутся быстрее молекул любого другого газа и тем самым быстрее могут передавать теплоту от одного тела к другому. Отсюда следует, что водород обладает самой высокой теплопроводностью среди газообразных веществ. Его теплопроводность примерно в семь раз выше теплопроводности воздуха. Сравнительная характеристика водорода с основными представителями моторных газовых топлив, представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение физико-химических свойств водорода с газовыми топливами

| Вещество | Водород H ₂ | Метан CH ₄ | Пропан C ₃ H ₈ | Бутан C ₄ H ₁₀ |
|---|---------------------------|--------------------------|---|---|
| Плотность газовой фазы при нормальных условиях, кг/м ³ | 0,0899 | 0,7168 | 2,019 | 2,703 |
| Температура кипения, °С | -252,8 | -161,6 | -42,1 | -0,5 |
| Температура плавления, °С | -259,2 | -182,5 | -187,6 | -138,4 |
| Удельная теплота сгорания, кДж/кг | 120085 | 35880 | 48000 | 45800 |
| Пределы воспламенения (объёмная доля), % | 4,0...75,0 | 4,4...17 | 2,1...9,5 | 1,9...8,4 |

Методы получения водорода. Водород практически не встречается в природе в чистой форме и должен извлекаться из других соединений с помощью различных методов. Одним из преимуществ водородной энергетики, является разнообразие способов получения водорода, что повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья. Наиболее распространёнными способами получения водорода считаются: -паровая конверсия; -автотермический реформинг (кислородная или воздушная конверсия) -крекинг метана (каталитическое разложение); -электролиз воды.

С развитием производства водорода в крупных масштабах претерпели изменение и методы его получения, однако старые методы и в настоящее время продолжают еще применяться в промышленности в небольших масштабах. Химическим методом, применяемым в настоящее время, получения водорода промышленности является – электролиз воды и водных растворов щелочей и солей:



К настоящему времени технологии крупномасштабного производства и переработки водорода являются хорошо освоенными и составляет 50 млн т (увеличивается ежегодно на 10 %). Следует отметить, что только 62 % водорода производят как целевой продукт, остальные 38 % являются побочным продуктом других производств (нефтепереработка, коксохимия и т. п.). К последним также относится почти весь водород, получаемый в настоящее время электролизом (производство хлора, хлоратов, перекиси водорода и каустической соды). При мировом производстве хлора около 25 млн т в год в качестве побочного продукта получают ~ 0,7 млн т водорода (~ 7 млрд м³) в год. Попутный водород от производства хлора и других электрохимических производств частично используется в промышленности, а частично сжигается в котельных или выбрасывается в атмосферу.

Рассматривается возможность использования, полученного таким образом водорода не только в качестве химического сырья для удовлетворения нужд традиционных потребителей водорода, но и для замены природного газа или нефтяных фракций, используемых как энергетическое сырье. Основным потребителем водорода как топлива является космонавтика. Комбинация «жидкий водород (топливо) – жидкий кислород (окислитель)» обеспечивает максимальное выделение энергии на единицу веса, что является определяющим критерием для аэрокосмических приложений. Совершенствование водородных технологий сопряжено с решением трех групп проблем, связанных с разработкой эффективных, экономически выгодных и безопасных процессов и оборудования, обеспечивающих производство водорода, его использование, а также – компактное хранение.

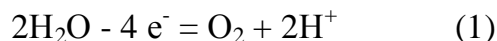
Получение водорода методом электролиза. Значительную роль в использовании природных энергетических источников играют транспортные средства, потребляющие около трети всей добываемой в мире нефти. Причем из всех видов транспорта, наиболее энергоемким является автомобильный. Использование в автомобилях углеводородных топлив нефтяного происхождения сопровождается выбросом в атмосферу огромного количества вредных веществ. В результате на автомобильный транспорт приходится от 39 до 63% загрязнения окружающей среды, масштабы которой глобальны – воздух, суша и вода.

Среди существующих способов получения водорода наибольший интерес представляет – электролиз воды. Электролиз воды является наиболее перспективной технологией получения водорода в будущем, хотя в настоящее время из-за высокой стоимости доля этого метода в мировом производстве водорода не превышает 5 % (рис. 1). Наиболее привлекательными особенностями электролизной технологии являются экологическая чистота

(разумеется, при условии, что производство первичной энергии не сопряжено с загрязнением окружающей среды), возможность создания установок с широким диапазоном производительности (от нескольких литров до сотен м³ водорода в час), простота эксплуатации и удобство в работе, высокая чистота производимого водорода и наличие ценного побочного продукта – газообразного кислорода. Метод нашел широкое применение в ряде стран, обладающих значительными ресурсами дешевой гидроэнергетики.

Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70 %. В результате использования такой смеси не только улучшаются параметры двигателя и уменьшается расход топлива, но и уменьшается выброс CO₂ в окружающую среду, что благоприятно влияет на экологию.

Химические процессы диссоциации воды при электролизе очень просты и описывается формулой.



В результате такой реакции происходит разрыв межатомных связей воды, посредством чего атомы водорода (2H⁺) и кислорода (O₂), освобождаются.

Регулировочные характеристики ДВС при работе на обычном топливе и с добавкой 5% водорода. На рисунке 3, представлены характеристики ДВС: а– при работе на обычном топливе, б–отображено влияние добавки водорода на экономические и экологические показатели ДВС.

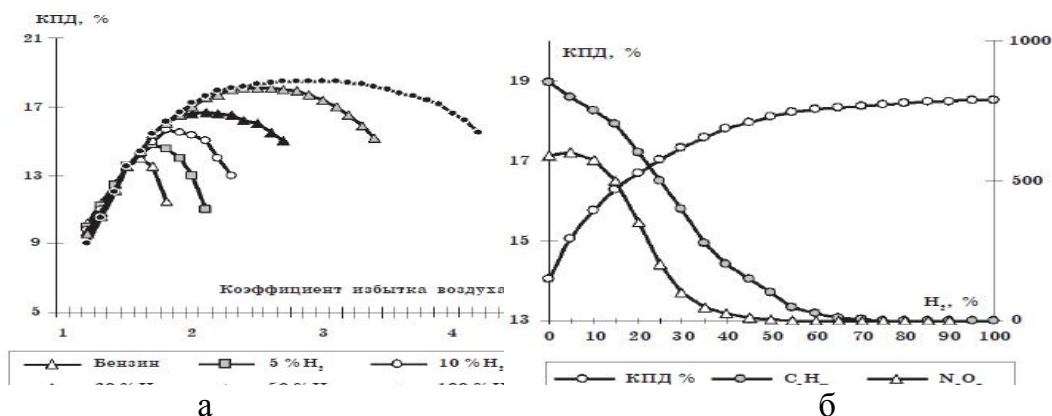


Рис. 1 Характеристики работы ДВС

Зависимости(рис.1) показывает, что по мере увеличения концентрации водорода, КПД двигателя возрастает. Исследования регулировочных характеристик с различными концентрациями водорода показали: – по мере объединения смеси, концентрация окиси углерода (CO) в отработавших газах снижалась практически до нуля; – увеличение концентрации водорода в обогащенной смеси приводит к существенному снижению выброса с отработавшими газами углеводородов C_nH_m. Минимальная концентрация

углеводородов при работе на бензине соответствовала на этом режиме 900-800ppm. При работе на водороде концентрация этого компонента падала до нуля; – образование окислов азота N_xO_y , как известно, не связано с родом топлива. Их концентрация в отработавших газах (ОГ) определяется температурным режимом горения топливно-воздушной смеси. Возможность работы двигателя на бензо-водородных топливных компонентах в диапазоне бедных составов смесей позволяет снизить максимальную температуру цикла в камере сгорания ДВС. Это существенно уменьшает концентрацию окислов азота в ОГ.

Описываемый в [1] способ получения водорода заключается в том, что на водный электролит посылаются импульсы тока, частота которых, кратна частоте межатомных связей молекул воды. В результате такого воздействия на водный электролит, возникает эффект резонанса, при помощи которого затрачивается малое количество электроэнергии на получения большего количества газа. Схема разработанного устройств для получения водорода представлена в [1, 2]. Устройство состоит из погруженных в водный электролит, параллельно установленных пластин, расположенных на расстоянии друг от друга и подсоединенных к МК СУ 2, и генератору электромагнитных колебаний 9, так же в устройстве используются датчики, отвечающие за безопасность работы системы [2].

Физико-химические процессы работы устройства были рассмотрены в [1, 2]. В химически чистой воде при температуре 25°C примерно одна на 5×10^9 молекул разлагается по схеме $H_2OH^+ + OH^-$. При воздействии переменных электрических, электромагнитных и магнитных полей на воду (водный электролит) частота и направленность воздействия выборочно влияют на степень диссоциации воды. Механизм такого воздействия объясняется следующим образом. Колебания молекул - один из основных видов внутримолекулярного движения, при котором происходит периодическое изменение относительного расположения ядер атомов, составляющих молекулу. Молекула воды имеет два валентных колебания и одно деформационное. Кроме того, атомы при взаимодействии друг с другом в конденсированной среде, к которой относятся жидкое и твердое состояния, всегда приобретают электрический заряд, превращаясь в положительно или отрицательно заряженные ионы.

Таким образом, атомы в конденсированной среде можно рассматривать как механические микроосцилляторы, имеющие определенную массу и электрический заряд. При воздействии на конденсированную среду переменным электрическим, электромагнитным или магнитным полем колеблющиеся ионы взаимодействуют с этими полями, образуя механическую колебательную систему. Если частота собственных колебаний атома химического элемента кратна частоте воздействующего переменного поля, происходит резонанс на гармониках. Кинетическая энергия резонирующих атомов повышается, в результате чего возрастает вероятность разрыва ковалентных связей между водородом и кислородом, и степень диссоциации воды повышается. Для обеспечения безопасности, в устройстве установлены датчики, контролируемые: - температуры электролитической жидкости 4; - уровня

электролитической жидкости 3; -давление полученного газа при разложении водного электролита 5. Все сигналы с датчиков поступают на МК СУ (2) [2], которая обрабатывает их и в тоже время является источником питания ШИМ – тока. В структурной схемы устройства [2], головным элементом управления является МК, который получает информацию от датчиков, тем самым контролируя и корректируя работу системы, структурная схема устройства представлена на рис. 2, где ДДГ – датчик давления газа; ДТЭ – датчик температуры электролита; ДУЭ – датчик уровня электролита; МК – микроконтроллер; П(1-5) – пластины, на которые подается питание; ЭЛ – электролизер.

Проведенные экспериментальные исследования показали более полное сжигание топлива, рис.2.

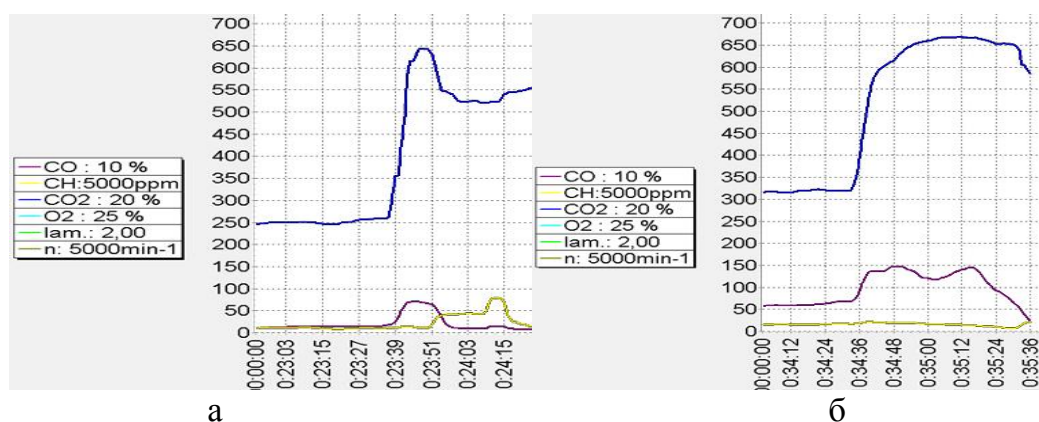


Рис. 2. формирование топливно-воздушной смеси: а – без добавки водорода; б – с добавлением водорода

Вывод. В результате анализа физико-химических свойств водорода и методов его получения выявлено, что водород рационально использовать в текущей период в качестве иницирующей добавки к основному топливу, без хранения его на борту автомобиля. Проведенные исследования показали, что описанная в [1, 2] система может быть использована для совершенствования существующих на сегодняшний день ДВС, т.к. водород - очень перспективный энергоноситель, позволяющий одновременно решить сложные экологические проблемы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колотушкин Д.О. Полуянович Н.К, Береснев А.Л., Микроконтроллерное устройство для получения водорода. Патент на полезную модель RU 112905. Оpubл. 27.01.2012 Бюл. №3. Заявка 2011125670/07, 22.06.2011.
2. Колотушкин Д.О., Полуянович Н.К. Частотный способ получения водородного топлива микроконтроллерным устройством. Сб. научн. ст. П-МНПК . «Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления» г Туапсе 4-8 октября 2011г. Краснодар: Изд-й Дом-Юг, 2011.- 418с. (с.289-291).

3. *Полуянович Н.К.* Энергетическая электроника/ Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электротехники. Таганрог, 2001.

4. *Полуянович Н.К., Береснев А.Л., Притула А.Н.* Адаптивная система озонирования воздуха для двигателя внутреннего сгорания. Патент на полезную модель RU 112948 U1, 27.01.2012. Заявка № 2011112408/06 от 31.03.2011.

5. *Притула А.Н., Береснев А.Л., Полуянович Н.К., Соловьев М.А.* Проектирование адаптивной системы озонирования воздуха для двигателей внутреннего сгорания. Молодой ученый. 2013. № 1. С. 14-17.

УДК 62-93

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Логунов А.В., Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Работа посвящена проблеме диагностирования автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Проблема контроля состояния ДВС сейчас наиболее актуально из-за увеличения числа автомобилей и ужесточения экологических требований. Целью работы является обоснование выбора из существующих методов диагностики такого метода который способен помочь наиболее точно и быстро обнаружить неисправность. В статье рассмотрены механизмы, которые способны генерировать звуковые сигналы во время работы ДВС, некоторые из них фазированы т.е. привязаны к рабочим тактам, некоторые не фазированы. Предложенный способ диагностики позволяет выделить «полезные» звуки из общего числа шумов ДВС, после сравнительного анализа указать на узел звук которого отличается от эталонного, исправного.

Двигатель внутреннего сгорания; диагностика; звук; вибромониторинг; искусственная нейронная сеть.

Диагностика и обнаружение неисправностей современных ДВС является не простой задачей из-за сложной конструкции. Диагностика технического состояния ДВС в процессе эксплуатации обеспечивает, с одной стороны, надежность и безотказность работы за счет своевременного технического обслуживания и ремонта и, с другой стороны, обеспечивает полную реализацию ресурса узлов ДВС, что способствует снижению затрат, повышению экономических и экологических показателей ДВС.

Неисправный ДВС является повышенным источником вредных веществ – химических соединений, содержащихся в отработавших газах (ОГ), загрязняющих окружающую среду и оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье человека (и живые организмы). В ОГ двигателей внутреннего сгорания содержится большое число химических соединений

(более 250), опасных для здоровья человека. Время, в течение которого вещества, содержащиеся в ОГ ДВС, сохраняют свою химическую активность в условиях окружающей среды, колеблется от нескольких минут до нескольких (3...6) лет. И в течение всего срока существования эти вредные выбросы могут оказывать неблагоприятное воздействие на природу и население загрязняемых территорий.

При неправильной работе ДВС выбросы вредных веществ существенно увеличиваются, именно поэтому необходима своевременная диагностика.

Интенсивный рост парка автотранспортных средств предопределяет рост значимости проблемы шумового загрязнения среды обитания человека. Одним из наиболее активных источников шума автомобиля является ДВС [1].

Под шумом ДВС понимается акустическое излучение, производимое им при работе. Шум двигателя измеряют величиной уровня и спектром.

За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился на 12-14 дБ. Чрезмерный шум может явиться причиной нервного 93 истощения, вегетативного невроза, психической угнетённости, язвенной болезни, расстройства эндокринной и сердечно-сосудистой систем [2]. Шум неисправного ДВС, соответственно, более негативно сказывается на здоровье, поэтому это еще одна причина из-за которой эксплуатация автомобиля с неисправностями должна быть прекращена, выполнена правильная диагностика и ремонт.

На данный момент традиционные способы диагностики и контроля работы автомобильного двигателя можно осуществить с помощью: диагностических сканеров (переносных и на базе ПК), газоанализаторов, а также мотортестеров (осциллографов).

Сканер — устройство, которое подключается через диагностический разъем к электронному блоку управления (ЭБУ) автомобиля для обмена данными. Стандартный сканер обеспечивает доступ к кодам регистратора неисправностей, доступ к текущей информации в ЭБУ, запись параметров во время ездовых испытаний, управление исполнительными механизмами. Сканер является необходимым инструментом для диагностики автомобильных электронных систем. Современные сканеры обеспечивают получение большого объема внутрисистемной диагностической информации, которую трудно или невозможно получить иным путем. Портативность сканера позволяет использовать его и при ездовых испытаниях. Получение информации в реальном времени облегчает обнаружение нерегулярных (непостоянных), неисправностей. Одной из, наиболее полезных возможностей сканера является запись данных в электронную память сканера во время ездовых испытаний. После возвращения в цех эти данные могут быть выведены на дисплей для анализа [3]. Основным недостатком использования при диагностике ДВС различных сканеров – это невозможность определить точно с чем связана поломка. К примеру, ошибка в регистре событий ЭБУ ДВС автомобилей группы VAG: 17748 - датчик распредвала-G40/датчик коленвала-G28: несоответствие сигналов. У данной ошибки может быть несколько причин: растяжение цепи привода газораспределительного механизма (ГРМ),

неправильная установка меток фаз ГРМ, неисправность датчика распредвала/ датчик коленвала, неисправность системы регулирования фаз. В большинстве случаев чтобы узнать в чем причина ошибки, понадобится частичная разборка ДВС. Таким образом можно сделать вывод о том, что сканерная диагностика является неточным инструментом, и дает косвенное представление о неисправности.

Автомобильный газоанализатор – устройство, позволяющее с высокой степенью точности определить состав выхлопных газов, получаемых в результате работы двигателя внутреннего сгорания. Современные четырехкомпонентные газоанализаторы измеряют концентрацию CO, HC, CO₂, и O₂. Концентрация кислорода определяется при помощи электрохимического датчика. Так же определяется содержание в выхлопе оксидов азота NO_x в более сложных, пятикомпонентных приборах. Преимущество приборов этого уровня заключается в том, что они позволяют расчетным путем определить исходный состав топливной смеси даже для двигателей, выхлопная система которых оборудована катализатором. Помимо этого, они предоставляют диагностику несколько дополнительных параметров, совокупный анализ которых позволяет глубже понять характер процессов, происходящих в двигателе [4]. Так же, как и в случае со сканерной диагностикой газоанализаторы не дают точной картины о состоянии узлов ДВС.

Мотортестер это прибор, предназначенный для поиска неисправностей в различных автомобильных системах с бензиновым двигателем. Прибор позволяет диагностировать двигатели с механическим или электронным распределением энергии, т.е. с классической электронной или микропроцессорной системой зажигания, а также двигатели, оборудованные как карбюратором, так и системой впрыска [5]. Мотортестер позволяет одновременно измерять большое количество электрических сигналов в любых электроцепях, включая высоковольтные. Также он вполне в состоянии отображать форму и характер изменения этих сигналов во времени в режиме осциллоскопа или осциллографа. И еще мотортестер способен оказывать на двигатель испытательные воздействия и на основании анализа его реакции можно сделать вывод о состоянии двигательной механики. Мотортестер как диагностический инструмент должен выполнять функцию осциллографа. Осциллограф - прибор, который позволяет увидеть форму импульсного напряжения или тока и измерить его параметры. Вторая группа функций, которая отличает мотортестер от обычного осциллографа, это расчетные функции. С их помощью производят расчеты на основании снятых с двигателя параметров. Примером такого расчета может быть баланс мощности, эффективность по цилиндрам. Третья функция - это измерение неэлектрических сигналов, к которым следует отнести в первую очередь давление [6]. Основным недостатком использования мотортестеров в диагностике – является то, что это просто измерительный прибор, полученные с помощью него графики еще нужно правильно расшифровать.

Один из перспективных методов диагностики – это виброакустический метод диагностики ДВС. Суть данного метода заключается в регистрации

звуковых волн вибродатчиком, а также съём показаний с датчика давления в цилиндре и с датчика на свече первого цилиндра, использующегося для синхронизации сигнала вибродатчика. Затем частотный спектр записанного звукового сигнала разбивается на интервалы, число которых при первой итерации цикла поиска неисправности полагается равным трем. После этого происходит выбор очередного интервала сигнала и разложение его в ряд Фурье. На основании данных с датчика детонации определяется, фазирован сигнал или нет. Если сигнал фазирован, то определяется фаза всплеска, а затем выполняется прогнозирование источника сигнала и его вейвлет-преобразование. Если же сигнал не фазирован, то сначала к нему применяется вейвлет-преобразование, а затем по полученным данным выявляется частота максимальной амплитуды.

Результаты обработки звукового сигнала используются для определения неисправности. При этом в зависимости от типа для фазированного сигнала выполняются процедуры: определение фазы всплеска, прогноз источника сигнала и вейвлет-преобразование, а для нефазированного — вейвлет-преобразование, определение точки излучения максимального уровня сигнала и поиск сходства с образцами сигналов в базе данных. С помощью метода виброакустического анализа при диагностике ДВС могут быть определены следующие параметры: пропуски воспламенения; угловое положение коленчатого вала (КВ) и неисправности в основных парах сопряжения ДВС. Кроме того, при данном подходе для определения большинства дефектов нет необходимости выбора промежутков для разбиения реализаций на отдельные короткие участки равной длины [7-10].

Современный ДВС – сложное техническое устройство, содержащие ряд агрегатов и механизмов. Все эти механизмы являются источниками шумов, стуков, появляющихся из-за процессов, происходящих в ДВС. Уровень шума двигателя возрастает по мере износа его деталей, из-за выхода из строя деталей или неисправности отдельных механизмов и систем. В основном, стуки и шумы являются следствием ослабления креплений и посадок, увеличения зазоров в сопряжении деталей. Выделим наиболее важные группы механизмов ДВС, которые при выходе из строя начинают издавать нехарактерные для нормальной работы звуки, неисправность которых, возможно определить только с помощью частичной или полной разборкой: цилиндро-поршневая группа (ЦПГ), газораспределительный механизм (ГРМ), подшипники.

Определить причину появления звуков в описанных выше узлах ДВС возможно с помощью виброакустического анализа [11-12]. На поверхности ДВС закрепляются пьезоэлектрические датчики рис. 1, которые подсоединяются к микрофонному входу звуковой карты компьютера. Звук с работающего двигателя записывается в память.

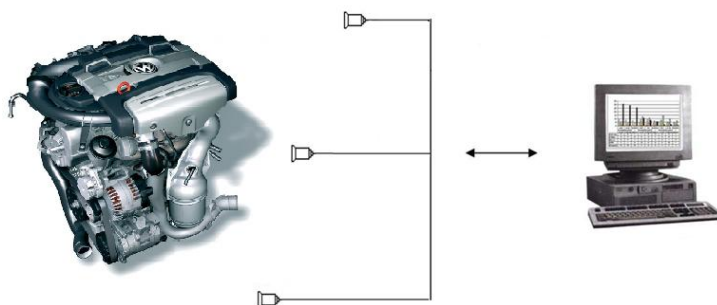


Рис. 1. Схематичное представление диагностики ДВС с помощью виброакустического анализа

Сохраненные в памяти компьютера данные, можно обрабатывать с помощью программного цифрового фильтра. Цифровой параметрический фильтр имеет все необходимые регулировки – выбор частоты пропускания, регулировки полосы пропускания и добротности. Таким образом, можно выделить именно интересующий звук, отсекая все фоновые шумы. Для анализа полученного звукового спектра возможно использовать нейронную сеть [13]. Сейчас использование искусственных нейронных сетей становится актуальным решением для многих задач, т.к. существующие методы вычисления слишком трудоемки и малоэффективны. Одним из достоинств нейронных сетей является то, что становится возможным определить результат значений, которые не являются частью экспериментальных данных. Типовые задачи, решаемые с помощью нейронных сетей и нейрокомпьютеров:

- автоматизация процесса классификации;
- автоматизация прогнозирования;
- автоматизация процесса предсказания;
- автоматизация процесса принятия решений;
- управление;
- кодирование и декодирование информации;
- аппроксимация зависимостей и др.

Для поставленной задачи анализа работы ДВС подходит модель нейронной сети, представляющей из себя трехслойный персептрон рис. 2.

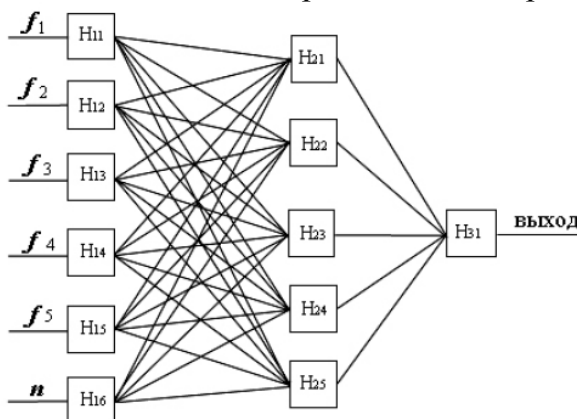


Рис. 2. Модель нейронной сети для анализа работы ДВС

На выходе нейронной сети одна переменная т.е. будет только один результат есть неисправность или нет.

В работе рассмотрены проблемы влияния работы неисправного ДВС на человека и окружающую среду, представлены существующие методы поиска неисправностей. Проблема актуальна поскольку до сих пор нет точного и безотказного алгоритма определения механических поломок ДВС. Представленный виброакустический способ диагностики ДВС с помощью искусственных нейронных сетей позволит быстро и точно локализовать неисправный узел. В перспективе необходимо наработать акустическую базу для обучения нейронной сети чтобы расширить возможности рассмотренного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шатров М.Г.* Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие // МАДИ. – 2014.
2. *Дрябжинский О.Е.* Негативное воздействие автотранспорта. Проблема шумового загрязнения // современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-4. – с. 91-94.
3. *Чернявский Н.И.* Лабораторный практикум по междисциплинарному курсу «техническое обслуживание и ремонт автомобильного электрооборудования» // Тольятти: изд-во ПВГУС, 2016. – 72 с.
4. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Практикум по лабораторным работам «Диагностика ДВС с помощью газоанализатора». – Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ, – 2011.
5. *Береснев А.Л., Береснев М.А., Бурьков Д.В.* Практикум по лабораторным работам «Диагностика электрооборудования ДВС с помощью мотортестера». для студентов специальности 140607. Таганрог: изд-во ТТИ ЮФУ, – 2008.
6. <http://www.adis-spb.ru/stati/417-o-motor-testerah.html>
7. *Логунов А.В., Конн В.Ю., Береснев А.Л.* Диагностика автомобильного двигателя внутреннего сгорания по виброакустическим сигналам // Научные исследования и разработки последнего десятилетия взаимодействие прошлого и современного: сб. статей. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 77-80.
8. *Логунов А.В., Береснев А.Л.* Возможности виброакустического исследования и диагностики подвески транспортных средств. // Известия ЮФУ. Технические науки. № 1 (218). 2021 г. С. 165.
9. *Логунов А.В., Береснев А.Л.* Виброакустическая диагностика транспортных средств // Проблемы современной системотехники сборник научных статей. Выпуск XIV 2020 г. С. 118.
10. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Виброакустический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания. Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 6. С. 27-32.;
11. *Czech P., Lazarz B., Madej H., Wojnar G.* Vibration diagnosis of car motor engines // Actatechnicacorviniensis – bulletin of engineering – 2010.

12. *Scheffer C., Girdhar P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*, Newnes, – 2004.

13. *Жеретинцев И.А., Глушков С.В., Жеретинцева Н.Н.* // Нейросетевая методика технической диагностики двигателей внутреннего сгорания по спектральному анализу шумовых характеристик. Вестник морского государственного университета – 2010. – №37

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Борисенко М.И., Геложе Ю.А. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ В СИСТЕМАХ С АПЕРИОДИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО БЫСТРОДЕЙСТВИЯ | 3 |
| Лоншаков Д.А., Корниенко В.Т. ОСОБЕННОСТИ ПРОТОКОЛОВ ТРАНКИНГОВЫХ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ | 6 |
| Буряков С.В., Корниенко В.Т. МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ УМНОГО ДОМА | 13 |
| Шевчун Р.Р., Рассолов М.А., Лященко А.А., Полуянович Н.К. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ОДНО ИЗ ВЕДУЩИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ | 15 |
| Быстрицкий А.В., Береснев А.Л. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ НАПИСАННОЙ В СРЕДЕ RHYTON | 20 |
| Денисенко Н. С., Береснев А. Л. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИДЕАЛИЗИРОВАННОГО ГРАФИКА ДАВЛЕНИЯ В ЦИЛИНДРЕ БЕЗ ПОДЖИГА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ | 24 |
| Ногин И.А., Волощенко Ю.П. БЛОК ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СЕТЯХ 0,4КВ ОТ НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ | 29 |
| Коломийцев А.Ю., Береснев А.Л. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ В ГИБРИДНОМ АВТОМОБИЛЕ | 35 |
| Кузнецов А.А., Береснев А.Л. СПОСОБЫ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ, ВЫБОР И МОНТАЖ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ | 38 |
| Власов Д.А., Горемыкин Е.В. РАЗРАБОТКА БЛОКА БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ | 42 |
| Рассолов М.А., Полуянович Н.К., Береснев А.Л. ЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА | 45 |
| Логунов А.В., Береснев А.Л. МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ | 52 |

