

платации высоконадежных систем;

- при обосновании эксплуатационных требований по безопасности к конструкциям автомобилей и системам, при оценивании приспособленности АТС к условиям эксплуатации.

Для всех категорий автомобилей, может быть за редким исключением, представляется нецелесообразным применение комплексного показателя энергоэффективности, в который входит отношение средней скорости движения v_{cp} к путевому расходу топлива Q_s (V_{cp}/Q_s). Гораздо эффективнее раздельный выбор V_{cp} при некотором ухудшении Q_s , либо выбор Q_s при некотором ухудшении V_{cp} .

Список литературы

1. Комаров, В.В. Методические основы оценки безопасности автотранспортных средств с помощью моделей рисков «катастроф»/ В.В.Комаров, Е.А.Куклев // Автомобил. пром-ть. - 2008. -№5. - С.26-29.
2. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / Г.Г.Малинецкий и др.- М.: Наука, 2000.- 431 с. – (Серия «Кибернетика», РАН).
3. Ковалевич, О.М. Риск в техногенной сфере / О.М.Ковалевич. - М.: Издат. дом МЭИ, 2006. -152 с.
4. ISO/IEC Guide 2: 1996 Standardization and related activities. General Vocabulary, p.9.

Состав системы топливоподачи дизеля с использованием электрогидравлического эффекта

к.т.н. Заяц Ю.А., Голубев Д.С., Строков П.И.

Рязанский военный автомобильный институт, МГТУ «МАМИ»

Актуальность применения электрогидравлического разряда в топливных системах дизелей может рассматриваться как перспективное направление развития по нескольким причинам. Во-первых, утрачивается необходимость изготовления и применения прецизионных пар, составляющих внушительную долю затрат в общей себестоимости топливной аппаратуры. При этом значительно снижается зависимость экономических показателей дизеля от износа топливной аппаратуры. Во-вторых, появляется возможность получения высоких и сверхвысоких давлений топлива при впрыскивании. Возможность получения таких давлений сопровождается эффективным изменением их значений в зависимости от каких – либо управляющих сигналов. В-третьих, организация разрядов в топливе влечет за собой целый ряд физических и химических воздействий.

Состав системы топливоподачи с использованием электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) в значительной мере зависит от тех целей, для достижения которых использован ЭГЭ. Проведенные в Рязанском автомобильном институте экспериментальные исследования лабораторной установки, выполненной по схеме с управляемым газовым разрядником, генерирующей разряд в топливе на частоте от 1 до 20 Гц, доказали возможность практического использования этого явления в топливной аппаратуре дизелей. В силу этого возникает задача обоснования состава электрогидравлической (ЭГ) системы, являющейся частью топливоподающей системы дизелей. Для определения состава актуально выполнить классификацию ЭГ устройств по целям его применения в системах топливоподачи дизелей (рисунок 1) и описать требования к ЭГ системам, применяемым в системах топливоподачи дизелей.

Рассмотрим требования к ЭГ системам, реализация которых дает возможность их применения в топливной аппаратуре дизелей.

1. Мощность, развиваемая в процессе электрогидравлического удара (ЭГУ) должна обеспечивать давления до 200 МПа. Это требование характерно для всех ЭГ систем, за исключением случаев их применения для экстремальных воздействий на топливо (рисунок 1).
2. Вытеснение топлива при разряде как за счет расширения канала разряда, так и за счет колебательных процессов должно обеспечивать цикловые подачи пусковых режимов и ре-

жимов работы дизеля, соответствующих холостому ходу. Например, для дизелей семейства КамАЗ-740 эти величины составляют от 30 до 200-250 мм³. Развиваемая при этом величина давления не должна выходить за пределы 200 МПа.

3. Частота следования разрядов при четырехтактном рабочем процессе должна соответствовать половине частоты вращения коленчатого вала двигателя. Исключение могут составлять случаи использования ЭГ систем в качестве насосов в топливной аппаратуре Common Rail. Для двигателя с номинальной частотой вращения 2600 об/мин эта величина составляет около 22 разрядов/сек. Если ЭГ система является системой распределительного типа, то частота следования разрядных импульсов должна увеличиваться в n раз, где n – количество цилиндров.



Рис. 1. Классификация электрогидравлических устройств в системе топливоподачи дизелей

Это основные требования, которые определяют принципиальную возможность использования ЭГЭ в топливной аппаратуре дизелей. Существующие в промышленности ЭГ системы не ограничены частотой разрядных импульсов и объемом вытеснения рабочей среды при ограниченной мощности и применяются, как правило, или для воздействия на какую-либо жидкость (смесь) для изменения физических и химических свойств или для создания высоких и сверхвысоких давлений (например, при обработке металлов).

Кроме того, второе и третье требования находятся во взаимном противоречии, так как увеличение геометрических размеров канала разряда и времени разряда требует увеличения емкости C конденсаторов. С другой стороны увеличение емкости приводит к увеличению времени заряда конденсаторов и снижению частоты генерации разрядов.

Помимо основных требований немаловажную роль играет и выполнение других требований:

- оптимальные геометрические размеры разрядной камеры;
- обеспечение подвижности одного из электродов и управление им для формирования оптимальных параметров разряда (в том числе и динамики разряда);
- возможность управления параметрами разряда в соответствии с заданным режимом рабо-

ты двигателя;

- обеспечение долговечности электродов разрядной камеры;
- обеспечение изоляционной стойкости ЭГ системы в широком диапазоне температур окружающей среды;
- компактность и минимальные массово-габаритные показатели генератора разрядных импульсов, блока управления и разрядных камер.

Наиболее очевидным и простым решением применения ЭГЭ с использованием его основного преимущества является замена традиционного топливного насоса высокого давления (ТНВД) насосом, основанным на ЭГЭ. Наиболее подходящими типами топливной аппаратуры являются системы Common Rail. Однако в этом случае насос обеспечивает работу всех цилиндров и, наряду с высоким давлением до 200 МПа, должен обеспечивать так же высокие расходы топлива, то есть высокую производительность. Производительность ЭГ насосов связана в первую очередь с динамикой и геометрическими размерами разряда. Увеличение геометрических параметров и времени разряда ведет к увеличению мощности и геометрических размеров установки, генерирующей ЭГ разряд. Как и топливные насосы высокого давления с прецизионными парами насосы на основе электрогидравлического эффекта могут быть индивидуальными или общими, реализующими схему Common Rail.

Топливные системы Common Rail с использованием плунжерного насоса высокого давления имеют следующие недостатки [1]:

- сложность конструкции и высокую трудоёмкость изготовления;
- ограниченность уровня рабочих давлений;
- низкую надёжность кинематических элементов;
- высокий уровень звукового давления в процессе работы, соизмеримый с общим уровнем шума дизеля.

В МГТУ «МАМИ» разработан электрогидродинамический насос (рисунок 2) который исключает эти недостатки и может быть использован в топливоподающих системах дизельных двигателей в системах Common Rail в качестве насоса высокого давления [2].

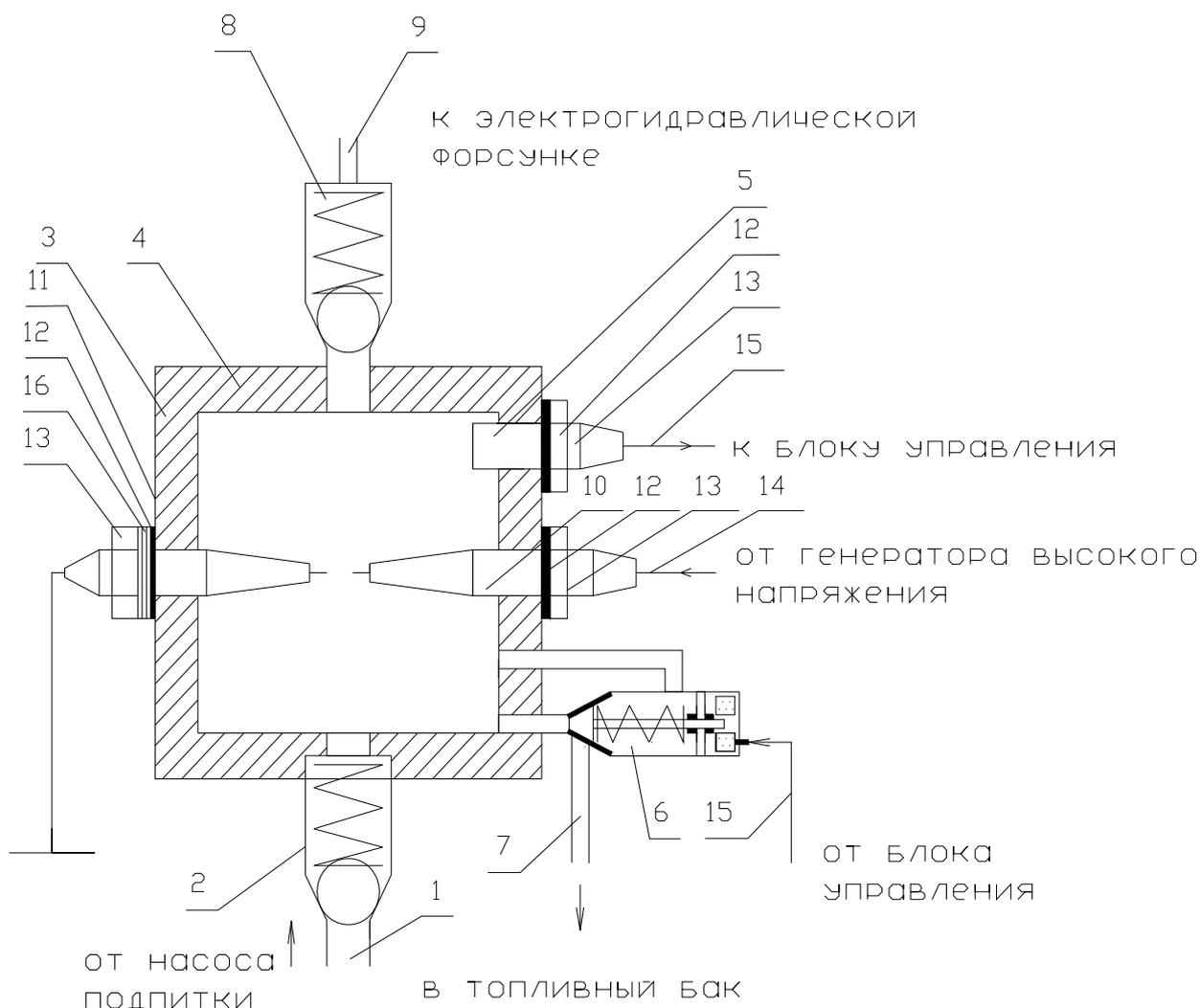
Работа электрогидродинамического насоса осуществляется посредством формирования в объёме рабочей камеры (заполненной топливом) импульсных электрических разрядов, обеспечивающих устойчивое развитие следующей последовательности быстротекущих процессов:

- электрический пробой топливной среды и образование канала разряда;
- мгновенное выделение энергии в канале с интенсивным локальным разогревом топлива;
- образование парогазовой полости (с большим внутренним давлением и высокой концентрацией энергии) в виде перегретого ионизированного газа и топливных паров;
- расширение полости, сопровождающееся генерированием высокого импульса давления с образованием расходящегося потока топливной среды;
- пульсация полости.

Отмеченные особенности в совокупности с новыми возможностями таких насосов по сравнению с насосами традиционного исполнения способствуют более интенсивному и полному сгоранию топлива, повышению КПД и мощности дизеля, а также существенному снижению уровня вредных веществ в отработавших газах.

Наряду с расширением возможностей управления топливоподачей топливная система аккумуляторного типа имеет ряд неустраняемых недостатков. Во-первых, это низкий коэффициент полезного действия системы, а во-вторых, постоянно высокое давление в гидроаккумуляторе и форсунке, что делает её неприемлемой для применения на образцах военной автомобильной техники (ВАТ) в условиях боевого применения.

В работах [3, 4] предложено применение ЭГ системы в качестве дополняющей основную традиционную топливную систему разделенного типа (рисунок 3) и выполняющей кор-



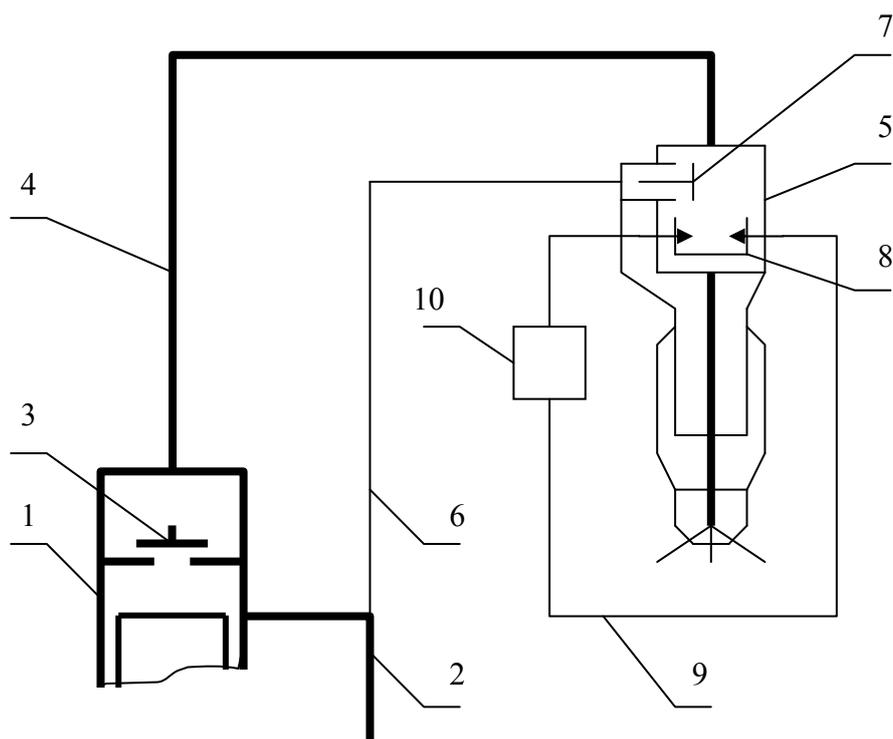
1 – всасывающий топливопровод; 2 – всасывающий обратный гидроклапан; 3, 11 – корпус; 4 – рабочая камера; 5 – датчик давления; 6 – предохранительный гидроклапан; 7 – дренажный топливопровод; 8 – напорный обратный гидроклапан; 9 – напорный топливопровод; 10 – элемент высоковольтного разрядника, соединённый с импульсным коммутационным устройством; 12 – уплотнительная шайба; 13 – гайка; 14 – силовой электрический провод от коммутационного устройства; 15 – провод подачи сигнала в систему управления от датчика давления; 16 – ответный элемент высоковольтного разрядника, соединённый с массой

Рис. 2. Принципиальная схема электрогидравлического насоса высокого давления

При отсечке подачи и разгрузки трубопровода 4 высокого давления с помощью нагнетательного клапана 3 в трубопроводе 4 появляются волны давления и разрежения. Волна разрежения, подходя к невозвратному клапану 7, установленному в разрядной камере 8, открывает его, и топливо из дополнительного канала 6 поступает в топливоподводящие каналы корпуса разрядной камеры.

При этом в канале растет давление, являющееся начальным перед очередным циклом впрыскивания топлива. Это позволяет снизить величину остаточного давления сразу после впрыскивания, но в то же время — повысить давление перед очередным впрыскиванием.

При открытии невозвратного клапана 7 в момент прохождения волны разрежения подается сигнал с датчика давления разрядной камеры (рисунок 3) в электрическую цепь генератора импульсов 10, и на электроды разрядника 8 подается импульс высокого напряжения.



1 – насос высокого давления; 2 – подпитывающая магистраль; 3 – нагнетательный клапан; 4 – трубопровод высокого давления; 5 – форсунка; 6 – дополнительный канал; 7 – невозвратный клапан; 8 – разрядная камера; 9 – провода высокого напряжения; 10 – генератор импульсов с блоком управления

Рис. 3. Схема корректирующей системы топливоподачи на основе ЭГЭ

При этом волна давления, которая образовалась за счет электрогидравлического удара, частично гасит отраженную волну, обеспечивая ликвидацию подвпрыскивания, так как эти волны находятся в противофазе друг с другом.

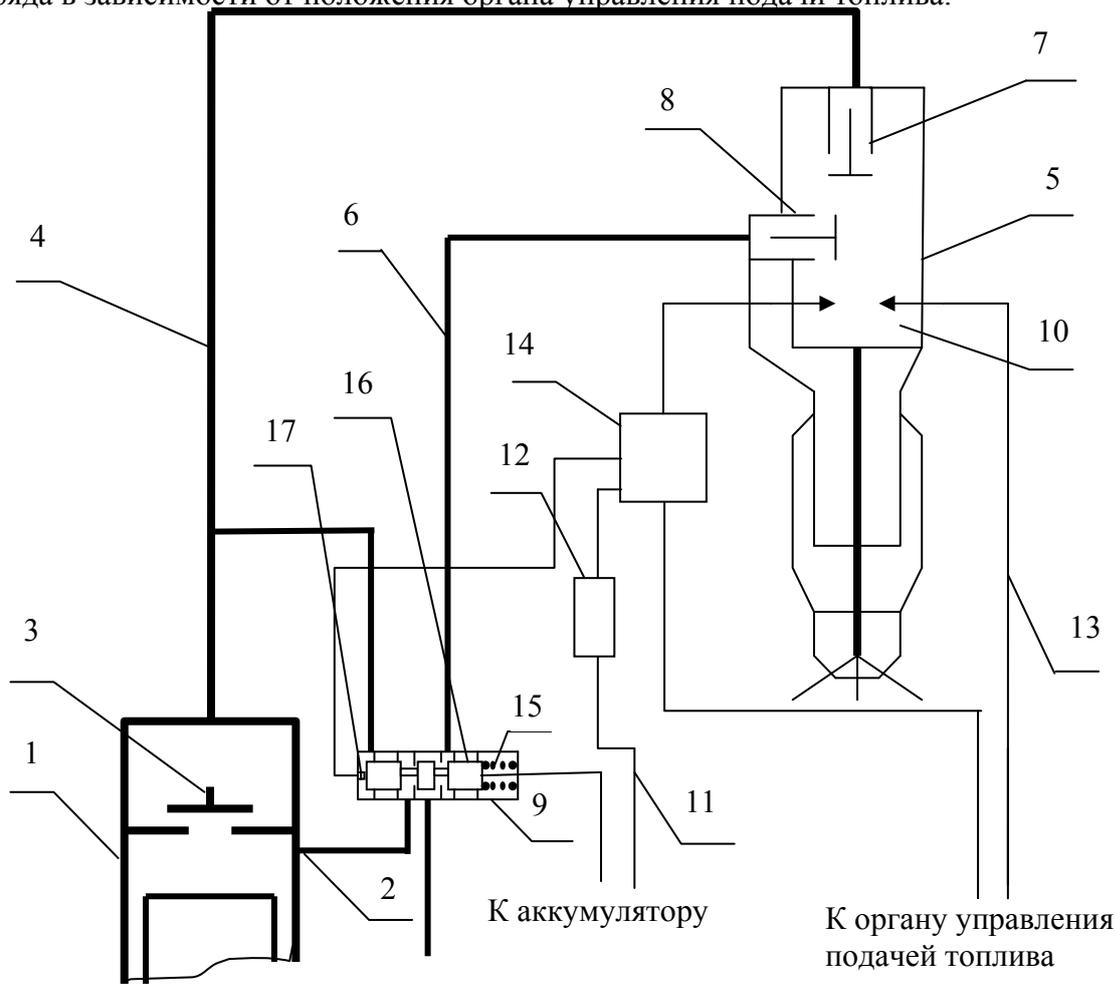
Наиболее эффективно применение данной схемы в комплексе с коррекцией переднего и заднего фронтов характеристики впрыскивания, увеличением их крутизны. Невысокие энергии разряда, которые требуются в корректирующих схемах, обеспечивают создание компактных блоков генераторов разрядных импульсов с высокой частотой генерации. Помимо генератора разрядных импульсов с блоком управления в состав системы входит невозвратный клапан с подпитывающей магистралью, устанавливаемый на входе в форсунку в едином блоке с разрядной камерой. Для управления параметрами разряда цепь блока управления должна содержать датчики давления, фиксирующие реальную характеристику впрыскивания и определяющие момент подачи разряда.

Развитием корректирующих схем топливоподачи стали схемы с элементами дублирования. В первую очередь это вызвано условиями эксплуатации ВАТ, в частности, условиями боевого применения.

На рисунке 4 представлена схема двухконтурной системы питания топливом дизеля [5].

Данная система содержит насос высокого давления 1, связанный с подпитывающей магистралью 2 и соединенный через нагнетательный клапан 3 и трубопровод высокого давления 4 с форсункой 5. Дополнительный канал 6, два невозвратных клапана 7 и 8, установленных в корпусе форсунки 5, клапан управления золотникового типа 9, электрический разрядник 10, электроды которого размещены в разрядной камере корпуса форсунки 5, цепь управления генератора импульсов 11, блок управления генератором импульсов 12, провода высокого напряжения 13 и генератор импульсов 14. При падении давления в трубопроводе высокого давления 4 ниже остаточного (вследствие повреждения трубопровода высокого давле-

ния, топливного насоса высокого давления, топливоподкачивающего насоса) золотник 16 клапана управления золотникового типа 9 под действием пружины 15 перемещается, открывая доступ топлива к дополнительному каналу 6 и закрывая доступ топлива к насосу высокого давления 1. При этом топливо поступает к форсунке по дополнительному каналу 6. Перемещение золотника 16 замыкает контакты 17 цепи управления генератора импульсов высокого напряжения. В результате электрогидравлического разряда в полости форсунки 5 создается давление, под действием которого топливо подается в цилиндры дизеля. Последующее разряжение вызывает заполнение топливом полости в корпусе форсунки. Синхронизация импульсов с рабочим процессом дизеля осуществляется блоком управления 12. Изменение цикловой подачи топлива осуществляется изменением продолжительности электрического разряда в зависимости от положения органа управления подачи топлива.



1 – насос высокого давления; 2 – подпитывающая магистраль; 3 – нагнетательный клапан; 4 – трубопровод высокого давления; 5 – форсунка; 6 – дополнительный канал; 7, 8 – невозвратный клапан; 9 – клапан управления золотникового типа; 10 – электрический разрядник; 11 – цепь управления генератора импульсов; 12 – блок управления генератором импульсов; 13 – провода высокого напряжения; 14 – генератор импульсов; 15 – пружины клапана управления; 16 – золотник клапана управления; 17 – контакты цепи управления генератора импульсов

Рис. 4. Схема двухконтурной системы подачи топлива в дизель

При полном выходе из строя топливного насоса высокого давления дизель остается работоспособен. Его эффективность при этом зависит от эффективности работы электрогидравлической системы. Элементы дублирующей системы, в частности, электроды разрядника, элементы генератора импульсов могут выполняться с небольшим запасом ресурса.

Анализ этих схем показывает, что с технико-экономической точки зрения наиболее приемлемым вариантом является объединение этих схем. В нормальном режиме эксплуатации ЭГ - система обеспечивает корректирующие функции характеристики впрыскивания и резервирует систему топливоподачи, а в условия выхода из строя основной системы топливоподачи – выполняет ее функции.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при реализации дублирующих функций в систему топливоподачи дополнительно необходимо включить (рисунок 4):

1. Обратный (невозвратный) клапан 7 на входе в форсунку топливопровода высокого давления. Установка невозвратного клапана является более предпочтительной, так как при этом обеспечивается отбор оставшегося в трубопроводе топлива и предотвращение его истечения на детали двигателя.
2. Устройство переключения на работу дублирующей системы. При этом необходимо обеспечить прекращение подачи топлива на вход ТНВД. В качестве устройства переключения может использоваться клапан управления золотникового типа с подачей электрического сигнала при своем переключении.
3. Устройство управления генератором импульсов и обеспечение параметров разряда в соответствии с порядком работы форсунок и заданным режимом работы дизеля.

К генератору разрядных импульсов, применяемому в данной схеме, предъявляются повышенные требования по частоте и мощности разрядов. Он должен обеспечивать частоту $k = \frac{n}{120}$, где n – частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин. Для дизелей семейства КамАЗ частота импульсов не превышает 22-23 Гц. Мощность определяет величину цикловой подачи и развиваемое давление.

Одним из эффективных методов применения ЭГЭ в системах топливоподачи является экстремальное воздействие на топливо.

Высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления являются основными действующими факторами ЭГЭ и приводят [6]:

- к появлению ударных волн высокой амплитуды со звуковой и сверхзвуковой скоростями; значительные импульсные перемещения объёмов жидкости, совершаются со скоростями, достигающими сотен метров в секунду. При этом мощные импульсно возникающие кавитационные процессы способны охватить большие объёмы жидкости;
- к возникновению инфра-, гамма-, ультразвуковых, импульсных, нейтронных, интенсивных световых, тепловых, ультрафиолетовых, а также рентгеновских излучений, мощных электромагнитных полей;
- появлению механических резонансных явлений с амплитудами, позволяющими осуществлять взаимное отслаивание друг от друга многокомпонентных твёрдых тел;
- к многократной ионизации соединений и элементов, содержащихся в жидкости.

Все перечисленные факторы оказывают на жидкость и объекты, помещённые в неё, разнообразные физические и химические воздействия. Ударные перемещения жидкости вблизи зоны разряда, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны разрушать неметаллические материалы и вызывать пластические деформации металлических объектов. Мощные инфра- и ультразвуковые колебания:

- диспергируют уже измельчённые материалы,
- вызывают резонансное разрушение крупных объектов на отдельные кристаллические частицы,
- осуществляют интенсивные химические процессы синтеза, полимеризации, обрыва сорбционных и химических связей.

Электромагнитные поля разряда также оказывают мощное влияние как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости. Под их влиянием мо-

гут происходить разнообразные физические и химические изменения в обрабатываемом материале.

При мощных ультразвуковых воздействиях, сопровождающих электрогидравлический разряд, в дизельном топливе происходит обрыв бензольных цепочек, многократная ионизация соединений содержащихся в топливе в качестве присадок. В результате снижается энергия химических связей в топливе, а следовательно, температура самовоспламенения.

Данные свойства топлива после воздействия электрогидравлического разряда можно использовать для улучшения пусковых качеств дизелей. При этом разряд не только воздействует на физические и химические свойства топлива, но и повышает давление впрыскивания, так как для пусковых режимов при низких температурах характерны высокие утечки топлива, низкая испаряемость и плохое распыливание.

Исходя из этого система топливоподачи должна дополнительно содержать генератор импульсов, блок управления, подающий сигналы на генератор импульсов в момент подачи топлива на пусковых режимах. Генератор разрядных импульсов должен обеспечивать частоту разрядов не более 5-6 Гц и отключаться при запуске двигателя.

Организация разрядов в топливе на всех режимах при низких температурах окружающей среды разрушает образования парафинов и способствует снижению периода задержки воспламенения топлива в цилиндре.

Эффективность работы системы электрогидравлического воздействия на топливо зависит от формы эпюры напряжения при разряде. При обеспечении пусковых свойств достаточно граничных разрядов. Тогда большая часть энергии разряда преобразуется в тепловую (рисунок 5). При работе на всех режимах разряд должен быть устойчивым, а его эпюра соответствовать рисунку 6.

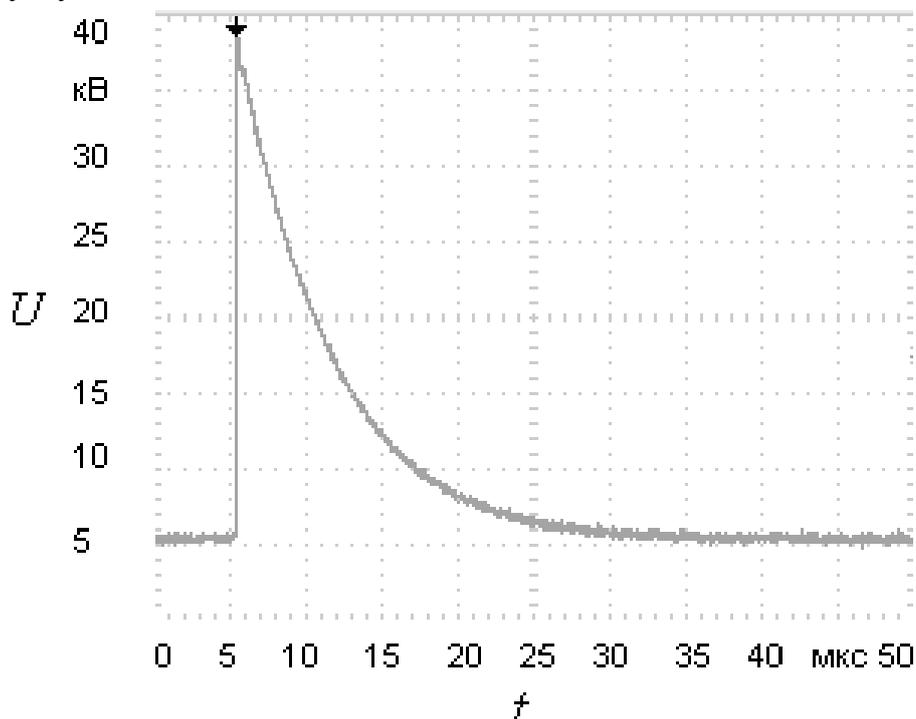


Рис. 5. Эпюра граничного (стекающего) разряда

Метод высоковольтного электрогидравлического воздействия на гетерогенные системы «жидкость – твердое тело», а также на системы «жидкость – жидкость» открывает новые дополнительные возможности для совершенствования подачи альтернативных топлив, тяжелых примесей в магистраль высокого давления минуя прецизионные пары ТНВД. При таких схемных решениях ЭГР необходимо осуществлять в подпитывающей магистрали перед невозвратным клапаном (рисунок 7). Такое воздействие увеличивает расход топлива через не-

возвратный клапан, а также осуществляет предпламенную подготовку топлива, поступающего по подпитывающей магистрали в цилиндр дизеля.

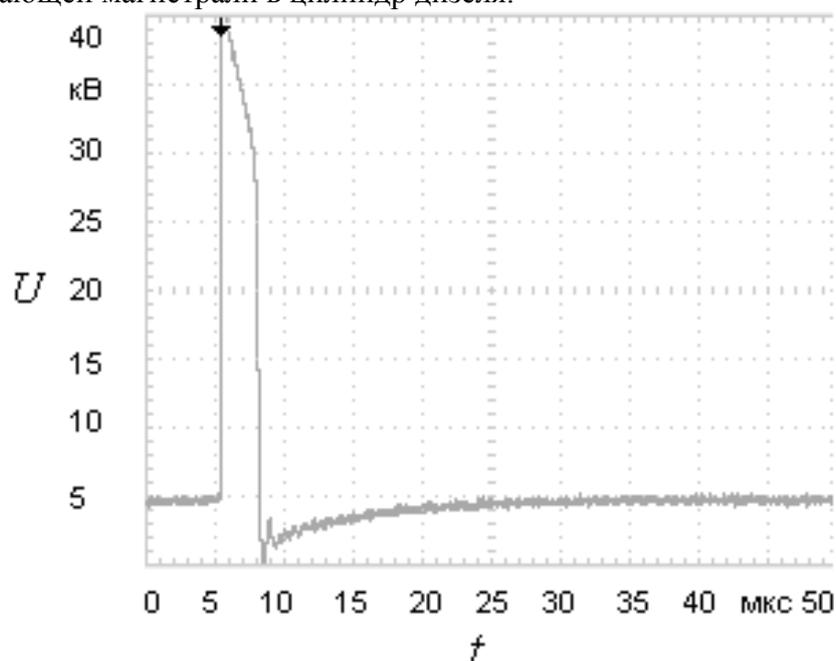
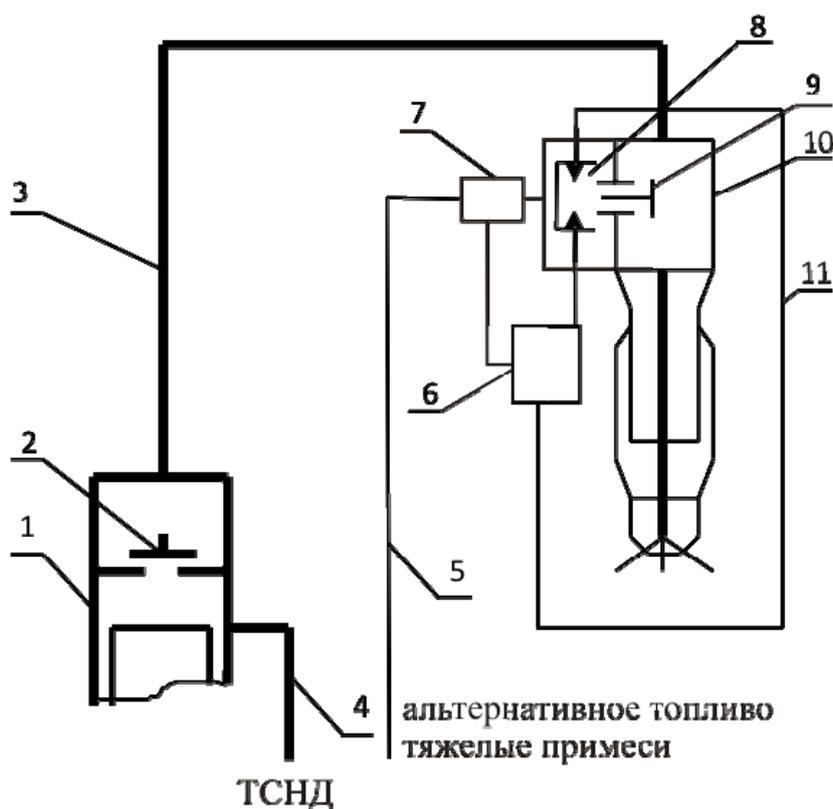


Рис. 6. Эюра устойчивого разряда



1 – насос высокого давления; 2 – нагнетательный клапан; 3 – трубопровод высокого давления; 4 – подпитывающая магистраль; 5 – дополнительная магистраль; 6 – генератор импульсов с блоком управления; 7 – электромагнитный клапан; 8 – разрядная камера; 9 – невозвратный клапан; 10 – форсунка; 11 – провод высокого напряжения

Рис. 7. Схема корректирующей системы топливоподачи на основе ЭГЭ

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы о составе системы топливоподачи в зависимости от реализуемых функций.

1. Применение ЭГ - систем в топливной аппаратуре дизелей в качестве насосов по сравнению с насосами традиционного исполнения способствуют более интенсивному и полному сгоранию топлива, повышению КПД и мощности дизеля, а также существенному снижению уровня вредных веществ в отработавших газах.
2. Использование ЭГ - систем для коррекции характеристики впрыскивания, в первую очередь переднего и заднего фронтов, требует невысокие энергии разряда, что обеспечивает создание компактных блоков генераторов разрядных импульсов с высокой частотой генерации. Емкость разрядных конденсаторов составляет до 10 нф. Помимо генератора разрядных импульсов с блоком управления в состав системы может входить невозвратный клапан с подпитывающей магистралью, устанавливаемый на входе в форсунку в едином блоке с разрядной камерой для ликвидации подвпрыскивания.
3. При реализации дублирующих функций в систему топливоподачи дополнительно необходимо включить обратный (невозвратный) клапан на входе в форсунку топливопровода высокого давления. Установка невозвратного клапана является более предпочтительной, так как при этом обеспечивается отбор оставшегося в трубопроводе топлива и предотвращение его истечения на детали двигателя. Устройство переключения на работу дублирующей системы. При этом необходимо обеспечить прекращение подачи топлива на вход ТНВД. В качестве устройства переключения может использоваться клапан управления золотникового типа с подачей электрического сигнала при его переключении. Устройство управления генератором импульсов и обеспечение параметров разряда в соответствии с порядком работы форсунок и заданным режимом работы дизеля.
4. При использовании ЭГЭ для улучшения пусковых качеств дизеля система топливоподачи должна содержать генератор импульсов, блок управления, подающий сигналы на генератор импульсов в момент подачи топлива на пусковых режимах. Генератор разрядных импульсов должен обеспечивать частоту разрядов не более 5-6 Гц и отключаться при запуске двигателя.

Общим для всех случаев применения ЭГ систем является следующий состав: генератор разрядных импульсов с блоком управления, комплект датчиков, определяющих через блок управления начало подачи импульса и его мощность, систему клапанов, управляющих направлением движения топлива.

Литература

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. [Текст]/ Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков, -М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2005. -344с.
2. Соковиков В.К. Практическое применение электродинамического насоса. / Соковиков В.К., Строков П.И., Голубев Д.С.// Строительные и дорожные машины.-2008.-№11.72с.
3. Заяц Ю.А. Двухконтурная система питания топливом дизеля / Ю.А.Заяц, П.Н. Ткаченко // Автомобильная промышленность – 2004 №12 с.25.
4. Пат. 2269662 Российская Федерация, МПК F02B55/02. Система подачи топлива в дизель [Текст]/ Ю.А. Заяц; заявитель и патентообладатель Ряз. воен. автомоб. ин-т. - №2002125419/06; заяв. 10.04.2004; опубл. 10.02.2006, Бюл.№4.-4с.: ил.
5. Пат. 2269670 Российская Федерация, МПК F02M55/02. Система подачи топлива в дизель [Текст]/ Ю.А. Заяц; заявитель и патентообладатель Ряз. воен. автомоб. ин-т. - №2002125420/06; заяв. 20.09.2002; опубл. 10.04.2004, Бюл.№4.-4с.: ил.
6. Наугольных К.А. Электрические разряды в воде (Гидродинамическое описание) [Текст]/ К.А.Наугольных, Н.А. Рой, – М.: Наука, 1971. – 155 с