

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

© 2006 В.А. Звягинцев, Б.К. Зуев, Ю.Д. Лысенко

Самарский государственный аэрокосмический университет

Разработана конструкция форсунки, отличающаяся высоким быстродействием, простотой и минимальным количеством деталей.

Как известно, в системах распределенного впрыска топлива главную роль играет форсунка. Одним из важнейших параметров автомобильного двигателя, на которые она существенно влияет, является его экологическая чистота. Основные проблемы в этом плане возникают на малых оборотах двигателя, а для форсунки важнейшей характеристикой становится ее быстродействие.

Анализу данной проблемы в совокупности с задачами обеспечения необходимого ресурса и технологичности конструкции форсунки в целом посвящено настоящее исследование.

Наибольшее распространение в настоящее время получили форсунки, в которых подпружиненный запорный элемент (ЗЭ) состоит из клапана, тяги и якоря, жестко связанных друг с другом. При этом клапан выполняется в виде конуса или шара, связанного тягой с цилиндрическим якорем, размещенным внутри катушки электромагнита [1]. Такая конструктивная схема обуславливает сравнительно большую массу ЗЭ и величину рабочего хода, что снижает быстродействие форсунки. Кроме того, существует проблема базирования длинного ЗЭ в цилиндрических направляющих, вследствие чего для устранения влияния перекоса на герметичность форсунки ей необходимо отпущенное время для приработки клапанно-седельной пары.

Помимо массовых сил, на быстродействие срабатывания форсунки самым существенным образом влияет характеристика деформирования возвратной пружины. Практически во всех конструкциях используются длинные винтовые пружины, поджимающие ЗЭ к седлу усилием, значение которого в силу малых деформаций почти не меняется по ходу ЗЭ. Величина усилия выбирается путем согласования противоречивых условий минимизации усилия при от-

крытии клапана и обеспечения необходимого усилия отрыва якоря после отключения тока. Сочетание практически постоянной характеристики деформирования возвратной пружины с возрастающей тяговой характеристикой электромагнита и падающей характеристикой силы, обусловленной наличием гидравлического давления, приводит к тому, что движение ЗЭ как при открытии, так и при закрытии происходит с возрастающим ускорением от момента трогания до момента удара по ограничивающим его ход поверхностям. В итоге в местах соударения развиваются очаги разрушения. Кроме того, для таких форсунок характерно большое время выстаивания ЗЭ в открытом положении после снятия управляющего сигнала, что снижает быстродействие.

Сравнительное исследование ряда известных конструкций электромагнитных форсунок позволяет считать, что наибольшим быстродействием обладают форсунки с ЗЭ в виде размещенного в отверстии магнитопроводной направляющей диска, диаметр которого близок к диаметру седла. Такой ЗЭ обладает очень малой массой и требует минимального хода при открытии.

Уменьшение хода и массы ЗЭ обеспечивает сокращение времени его движения при открытии и закрытии, но не влияет на время выстаивания при закрытии и не исключает износа контактных поверхностей, ограничивающих ход ЗЭ. Кроме того, неравномерность кольцевого паразитного зазора, через который магнитный поток подводится от направляющей к ЗЭ, обуславливает появление радиальной электромагнитной силы, поджимающей ЗЭ к стенке направляющей, трение по которой приводит к появлению момента, наклоняющего ось ЗЭ. Этот наклон не может компенсироваться винтовой возвратной

пружиной, действующей на центральную часть ЗЭ в силу малых значений ее осевой и шарнирной жесткости. В результате движение ЗЭ происходит с наклоном его оси, что приводит к увеличению износа поверхностей, ограничивающих его ход, вследствие неравномерности распределения энергии удара по ним. Кроме того, радиальное смещение ЗЭ относительно седла может привести к снижению герметичности форсунки [2].

В известных конструкциях форсунок с двумя рабочими зазорами и увеличенным диаметром диска ЗЭ, значительно превышающим диаметр седла, масса ЗЭ несколько возрастает. Этот недостаток компенсируется снижением влияния эффекта наклона ЗЭ и возможностью демпфирования процессов соударения за счет его «парашютирования», а также процессов выдавливания жидкости из зазоров между ЗЭ и прилегающими к нему деталями форсунки. Указанные возможности демпфирования очень важны, поскольку малая масса дисковых ЗЭ обуславливает значительные скорости их перемещения.

В соответствии с вышеизложенным, усилия авторов были направлены на повышение долговечности и быстродействия электромагнитной форсунки с дисковым ЗЭ за счет стабилизации положения оси ЗЭ при открытии и закрытии форсунки, уменьшения энергии или исключения удара ЗЭ по ограничивающим его ход поверхностям и снижения времени выстравивания ЗЭ при закрытии форсунки.

Оптимальным решением по вышеназванным критериям является выполнение ЗЭ в виде плоской пружины, периферийная часть которой связана с корпусом электромагнита, а центральная часть имеет возможность осевых перемещений в зазоре между седлом и сердечником электромагнита вследствие упругих деформаций средней части пружины. Такой ЗЭ, сохраняя присущие дисковым ЗЭ функции якоря, клапана и элемента демпфирования ударов, приобретает функции стабилизатора собственного положения, а также возвратной пружины. Высокая жесткость плоских пружин обеспечивает возможность оптимизации значений противодействующей силы в крайних положениях ЗЭ по критериям быстродействия и уменьшения энергии удара.

Плоские пружины позволяют не только уменьшить энергию удара ЗЭ, но и при задании определенной характеристики деформирования пружины даже тормозить ЗЭ на подходе к сердечнику электромагнита, обеспечивая его «зависание» вблизи сердечника. В этом случае исключается эффект «залипания», а время выстравивания ЗЭ после отключения тока практически стремится к нулю, поскольку центральная часть ЗЭ из положения «зависания» сразу же начинает возвращаться к седлу.

Характеристика деформирования ЗЭ может быть согласована с характеристикой сил, обусловленных наличием гидравлического давления в полости форсунки, таким образом, что их суммарная характеристика будет возрастающей на всем рабочем ходе центральной части ЗЭ. При соответствующем управлении электрическим током в катушке электромагнита появляется возможность «зависания» центральной части ЗЭ в любой точке рабочего хода, а следовательно, возможность торможения ЗЭ при его посадке на седло, а в перспективе и управление. Снижение влияния данного эффекта на расход топлива вследствие колебаний напряжения бортовой сети достигается за счет использования насыщения элементов магнитопровода, в том числе ЗЭ. По мнению авторов насыщение магнитопровода должно достигаться при минимальном по условиям эксплуатации уровне тока в момент отрыва центральной части ЗЭ от седла.

Пример сочетаний характеристик сил, действующих на центральную часть ЗЭ, для этой ситуации приведен на рис. 1.

Как видно из графиков, ускоренное движение центральной части ЗЭ начинается с момента превышения электромагнитной силой силы трогания при открытии $P_{тр\text{ откр}}$ и продолжается до достижения положения равновесия, соответствующего пересечению тяговой характеристики электромагнита с суммарной характеристикой противодействующих сил, после чего движение приобретает характер затухающих колебаний около этого положения. Колебания происходят за пределами хода полного открытия форсунки, когда положение центральной части ЗЭ не влияет на расход жидкости через распылитель.

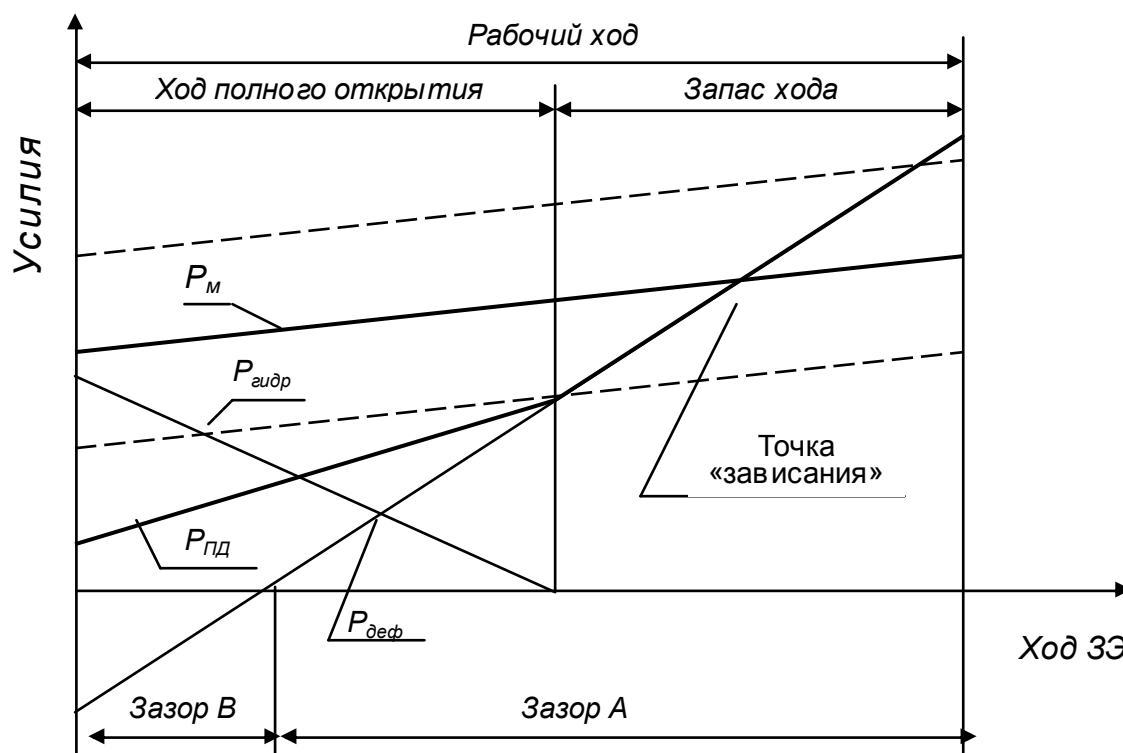


Рис. 1. Характеристики сил, воздействующих на центральную часть ЗЭ

P_M – тяговая характеристика электромагнита при номинальном значении тока управления, $P_{пд}$ – суммарная характеристика противодействующих сил, $P_{деф}$ – характеристика деформирования ЗЭ, $P_{гидр}$ – характеристика противодействующей гидравлической силы

При изготовлении плоских пружин сложно обеспечить высокую точность их геометрии, а, следовательно, и жесткости, что позволяет упростить сборку и отказаться от регулировки усилия поджатия центральной части ЗЭ к седлу. Более того, появляется возможность установки ЗЭ по отношению к опорному седлу с начальным зазором, который устраняется усилием, возникающим при подаче давления топлива. В этом случае усилие поджатия центральной части ЗЭ к седлу, обусловленное гидравлическим давлением, уменьшается на величину усилия деформирования ЗЭ, что позволяет не только уменьшить энергию удара по седлу, но и уменьшить потребное тяговое усилие электромагнита с соответствующим снижением его массы и габаритов, а также повышением его быстродействия.

Плоские пружины пластинчатого типа могут обеспечивать эффективное торможение центральной части ЗЭ в конце рабочих ходов открытия и закрытия за счет демфирующих процессов выдавливания жидкости из зазоров между поверхностями как цен-

тральных, так и периферийных элементов пружины и примыкающих к ним элементов форсунки. Рассматривая этот вариант конструкции ЗЭ, авторы предлагают использовать эффект взаимодействия двух плоских поверхностей – пружины и корпуса для торможения ЗЭ при подходе к седлу за счет сил сопротивления движению жидкости в зазоре между этими поверхностями, что позволит повысить ресурс клапанно-седельной пары.

Материалы пружины, сердечника, седла должны подбираться таким образом, чтобы обеспечить необходимый ресурс работы из условия контактного взаимодействия перечисленных элементов при сохранении ими необходимых физических свойств. По мнению авторов наилучшим материалом для изготовления ЗЭ можно считать пружинную сталь. Однако при необходимости можно использовать электротехнические стали, которые, как правило, не обладают высокими механическими свойствами, в первую очередь твердостью. В этих случаях могут использоваться мето-

ды поверхностной модификации пружины путем, например, нанесения покрытий, легирования, усиления посредством присоединенных элементов с высокой износостойкостью. В конструкциях с ограниченными габаритами для размещения электромагнита вблизи седла центральная часть ЗЭ может быть снабжена дистанционным элементом, увеличивающим осевой размер ЗЭ, например, накладкой - сферической, конической или иной формы.

На основе выполненных опытно-конструкторских поисковых исследований была разработана конструкция форсунки с плоским ЗЭ, отличающаяся высоким быстродействием, минимальным количеством деталей.

Поскольку конкурентоспособность создаваемой форсунки определяется не только ее эксплуатационными характеристиками, но и, в первую очередь, ценой, то проектирование и отработка конструкции ведутся с постоянной отработкой ее на технологичность. В частности, решаются вопросы точной регулировки зазора между сердечником и ЗЭ, определяющего величину рабочего хода. В создаваемой конструкции зазор регулируется путем перемещения сердечника при прогибе дна цилиндрического магнитопровода под действием усилия винтовой пружины, которая сжимается регулировочным винтом. Жесткости двух деформируемых элементов различаются на два-три порядка, поэтому точность регулировки обеспечивается до долей микрона, и на нее

не влияют температурные деформации. Предложенный регулятор позволяет существенно упростить конструкцию форсунки, снизить требования к точности изготовления ряда деталей и их сборки. Его использование позволяет компенсировать разброс характеристик электромагнитных и противодействующих сил путем регулировки зазора по факту открытия форсунки при заданной величине тока управления. Дополнительным полезным эффектом его использования является возможность осуществления регулировки зазора в процессе эксплуатации форсунки с целью продления сроков ее работы.

В создаваемой конструкции в качестве ЗЭ предполагается использовать плоскую пружину в виде диска с центральной частью, перекрывающей седло, и отходящих от нее упругих элементов, выполненных как многозаходная архимедова спираль. Периферийные части этих упругих элементов связаны с корпусом.

Образцы разработанных форсунок проходят лабораторные отработочные испытания.

Список литературы

1. Ю.И. Будыко и др. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей. Ленинград «Машиностроение» 1975. с.71-89.
2. Патент FR №2542816, МПК F02M51/06.

WAYS OF THE DIRECTION OF PERFECTION OF ELECTROMAGNETIC ATOMIZERS FOR ENGINES OF AUTOMOBILES

© 2006 V.A. Zvjagintsev, B.K. Zuev, J.D. Lysenko

Samara State Aerospace University

The design of an atomizer distinguished by high speed, simplicity and minimum quantity of details is developed