

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНЖЕКТОРОВ И КЛАПАНОВ

Р.В. Барсуков, А.Н. Сливин, С.Н. Цыганок, В.Н. Хмелев  
БТИ АлтГТУ, г. Бийск

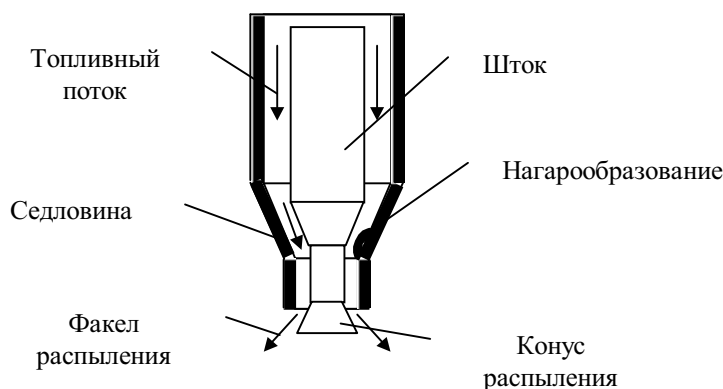
Проблема нагарообразования возникла одновременно с созданием двигателя и в последние годы в нашей стране приобрела совершенно новый смысл. Это обусловлено, с одной стороны, созданием и применением высокоэффективных систем впрыска топлива, более требовательным к качеству топлива, а с другой стороны, в связи с тяжелым экономическим положением существенным ухудшением качества современного бензина. Он получается из тяжелых топлив методом крекинга, представляющего собой, в самом благоприятном случае, смесь крекинг-дистиллатов, алкилатов и ароматических углеводородов.

Вышеописанные бензины характеризуются высокой склонностью к нагарообразованию. Их применение в эксплуатации приводит к труднодоступным и трудноудаляемым отложениям на инжекторах. И как следствие, нарушается точность дозировки подачи топливной смеси, как результат – снижение мощности двигателя, затрудненный пуск, перерасход топлива и детонация.

Кроме отложений на инжекторах, возникают нагарообразования на клапанах, влияющих на наполняемость цилиндров рабочей смесью. Бензин и воздух перемешиваются неравномерно, особенно в зимних условиях. Завихрение рабочей смеси происходит по неоптимальной траектории. Совокупность вышеописанных факторов приводит к существенному снижению срока службы двигателя.

Низкое качество бензина, отсутствие в нем специальных чистящих присадок приводят к быстрому появлению незначительных отложений, по крайней мере, на одном из инжекторов. Мельчайшие несгораемые частицы топливной смеси оседают на стенках седловины форсунки и образуют нагарообразование (см. рисунок 1).

Рис.1 Разрез форсунки с нагарообразованием



Наличие такой преграды на поверхности седловины форсунки препятствует нормальной подаче топливной смеси на конус распыления. Это выражается в образовании более крупных капель и отдельных струй топлива в факеле распыления, т.е. меняет форму факела распыления. Дальнейший рост нагарных отложений происходит катастрофически быстро из-за электронной системы регулирования качества топливной смеси. Повышение содержания кислорода, вызванное уменьшением подачи топлива через закоксованные распылители одного или нескольких инжекторов, воспринимается как обеднение смеси. В этом случае подается команда обогатить смесь путем увеличения времени подачи топлива. Избыток бензина приводит к быстрому закоксовыванию всех инжекторов.

За рубежом эта проблема частично решается добавлением в топливо специальных присадок, обеспечивающих внутреннюю очистку двигателя. Применение специальных очистителей осуществляется при каждом сервисном обслуживании и по мере ухудшения работы двигателя.

Решить эту проблему можно только заменой инжекторов или применением ультразвукового способа очистки, который получил широкое распространение в различных отраслях промышленности, но не нашедшего до настоящего времени применение по очистке узлов и деталей автомобильных топливных систем.

Альтернативный способ очистки форсунок – это их промывка специальным моющим раствором, который подается в инжектор при повышенном (до 30 атмосфер) давлении. Такой способ требует наличие специального оборудования, и, качество промывки зависит от срока эксплуатации инжекторов. К тому же требуется затратить достаточно много времени (до 30 минут на одну форсунку) для восстановления нормальной (первоначальной) работоспособности.

Традиционные технологии ультразвуковой очистки (реализуемы при помощи ультразвуковых ванн, в которых помещается очищаемое изделие) малоэффективны из-за конструктивных особенностей различных видов форсунок и трудноудаляемости возникающих в них отложений.

Проведение теоретических исследований позволили установить, что для эффективной очистки топливных каналов инжекторов, имеющих малые в поперечном сечении и большие в продольном размеры, необходимо обеспечить режим высокоинтенсивного ультразвукового воздействия.

Экспериментальные исследования, проведенные на изделиях с малыми отверстиями (до 1 мм) и протяженностью до 50 мм, а также на инжекторах различного типа (с калибрующими отверстиями и без оных) позволили установить следующее. Эффективная очистка начинается при интенсивности ультразвуковых колебаний в 10 Вт/см<sup>2</sup>. Эффективность ультразвуковой очистки существенно снижается при несоосном расположении излучающей ультразвуковые колебания поверхности и оси канала инжектора и возрастает при расположении очищаемого штока в ближней зоне образующегося ультразвукового поля колебаний высокой интенсивности.

Физически процесс удаления загрязнений заключается в следующем. При возникновении колебаний высокой интенсивности в жидкости вследствие ее неоднородности образуются разрывы, таким образом, на поверхности загрязнения возникают пузырьки. Время их жизни – один или несколько периодов. При схлопывании пузырька возникает реактивная струя, которая развивает давление до сотен атмосфер. Возникают моменты, когда реактивная струя направлена прямо на частицы загрязнения и, она как бы удаляет их с очищаемой поверхности. Кроме того, эффективность ультразвуковой очистки форсунок повышается при одновременном воздействии нескольких факторов – гидродинамические макропотоки, химически активный растворитель, движение штока.

Невозможность обеспечения требуемых режимов ультразвукового воздействия с помощью выпускаемых серийно типовых аппаратов для ультразвуковой мойки и отсутствие необходимого ультразвукового оборудования, способного обеспечить эффективную очистку инжекторов, а также спрос на высокоэффективный и быстродействующий способ очистки обусловили проведение исследований и создание ультразвукового аппарата, пригодного для промышленного применения в условиях станций техобслуживания и ремонтных мастерских различного уровня.

В лаборатории акустических процессов и аппаратов БТИ была предложена технология очистки и разработана реализующая ее установка для очистки инжекторов автомобильных двигателей путем введения в моющий состав механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности (см. фото). Изготовленная установка включает в себя ультразвуковую колебательную систему, смонтированную в технологический объем и электронный генератор электрических колебаний ультразвуковой частоты.



Фото – Внешний вид лабораторной установки

Ультразвуковая колебательная система выполнена по полуволновой схеме и представляет собой составную ступенчато-экспоненциальную конструкцию. При расчете колебательной системы использовались технические решения, подтвержденные патентом РФ № 141386. В качестве преобразователей электрической энергии в энергию механических колебаний использовались пьезоэлектрические материалы типа ЦТС-24. Колебательная система позволяла вводить в обрабатываемый объем УЗ колебания с частотой 22 кГц и интенсивностью на поверхности рабочего органа 10-12 Вт/см<sup>2</sup>.

Электронный генератор выполнен по оригинальным схмотехническим решениям и имеет потребляемую электрическую мощность 160 Вт, коэффициент электроакустического преобразования более 60%.

На разработанной установке для ультразвуковой очистки автомобильных инжекторов был проведен ряд экспериментов. В качестве моющей жидкости выступал растворитель 646. В ходе эксперимента использовались два типа форсунок: импортного (смотрите рисунок) и отечественного. Используемые форсунки имели разное время эксплуатации, а, следовательно, различную степень загрязненности. Инжекторы отечественного производства отличаются от импортных тем, что в них для формирования факела из капель определенного диаметра после распылительного конуса дополнительно ставится мембрана с калиброванными отверстиями.

В результате экспериментальных исследований было получено следующее. Инжекторы, прошедшие процесс очистки в ультразвуковом поле, имели максимальную производительность, соответствующую не эксплуатирующимся инжекторам. Необходимое и достаточное время обработки варьируется от степени загрязнения и составляет 5-10 минут. В ходе исследований установлено также, что отечественные форсунки

требуют увеличение времени обработки на 20% по сравнению с их импортными аналогами. Обуславливается это тем, что в таких форсунках наиболее загрязненный участок закрыт мембраной с калиброванными отверстиями. Используемые инжекторы имели электромагнитные клапаны для подачи топлива, и, поэтому эффективность очистки увеличивалась в том случае, когда форсунки открыты либо периодически открываются и закрываются.

Разработанная ультразвуковая технологическая установка испытана в производственных условиях по очистке клапанов автомобильных двигателей. В качестве моющей жидкости использовался растворитель 646. В результате испытаний показана высокая эффективность и установлено, что максимальная эффективность очистки достигается при непосредственном касании излучающей поверхностью преобразователя и поверхности клапана.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований и опытной эксплуатации показана необходимость создания специализированного оборудования для очистки инжекторов автомобильных двигателей, была спроектирована и разработана ультразвуковая установка промышленного образца для очистки как импортных, так и отечественных форсунок. Проведен ряд экспериментальных исследований, подтверждающих высокую эффективность выбранного способа и разработанной установки.