

# Оптимизация Режимов Работы Ультразвукового Аппарата Очистки Автомобильных Инжекторов

Хмелев М.В. *Student Member, IEEE*, Цыганок С.Н, Генне Д.В. *Student Member, IEEE*.

**Abstract**—Статья посвящена разработке нового аппарата для ультразвуковой очистки автомобильных инжекторов. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что эффективность очистки может быть повышена за счет увеличения интенсивности УЗ излучения и реализации новых режимов, основанных на изменении интенсивности ультразвукового воздействия во времени по различным законам. Для практической реализации предложенных решений создан аппарат нового поколения «Алтай» с системой открытия форсунок.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Влияние загрязнений топливной системы на работу двигателей внутреннего сгорания обострилось с появлением высокоэффективных систем электронного впрыска топлива. Ситуация усугубляется использованием топлива низкого качества, обуславливающего более интенсивное нагарообразование. Отложения, возникающие на инжекторах, нарушают точность подачи топлива, что в свою очередь приводит к снижению мощности двигателя, затрудненному пуску, перерасходу топлива и детонации.

## II. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Отложения, возникающие на инжекторах бывают различного типа. Эффективность их удаления во многом связана с прочностью их соединения с очищаемой поверхностью. Поэтому, при удалении различных загрязнений определяющую роль играют различные процессы. Так, для разрушения слабо связанных загрязнений необходимо обеспечить формирование на очищаемой поверхности пульсирующих (не захлопывающихся) кавитационных пузырьков. Если загрязнения прочно связаны с поверхностью, то для их разрушения и удаления необходимо наличие захлопывающихся пузырьков, создающих микроударное коммутитивное воздействие на поверхность. Обеспечивает очистку поверхностных участков в таких режимах можно с использованием обычных ультразвуковых ванн.

Когда возникает необходимость очищать протяженные каналы, то очистка возможна только за счет проникающих

в полости каналов и взрывающихся там кавитационных пузырьков.

Известно, что проблема может быть решена только высокоамплитудной (высокоинтенсивной) очисткой. Высокоамплитудная очистка – это создание ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в жидкой среде на значительном удалении (в том числе и в протяженных каналах) от излучающей поверхности[1,3].

По этой причине, традиционные устройства ультразвуковой очистки - ультразвуковые ванны малоэффективны при очистке инжекторов поскольку интенсивность УЗ воздействия в устройствах подобного типа невелика (мене  $1 \text{ Вт/см}^2$ ) и УЗ поле имеет равномерное распределение в рабочем объеме УЗ ванны. Использование УЗ ванн целесообразно при очистке больших поверхностей, или большого количества мелких деталей.

## III. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Специализированные устройства для очистки автомобильных инжекторов более эффективны, по сравнению с традиционными ультразвуковыми ваннами. Конструкция таких устройств позволяет не только усилить ультразвуковые колебания при помощи концентратора, но и направить их в распылительное отверстие инжектора. Колебания распространяются в направлении седла и конца запорного элемента, основных мест появления отложений на инжекторе [4].

Устройство очистки автомобильных инжекторов работает следующим образом: электронный ультразвуковой генератор вырабатывает электрические колебания ультразвуковой частоты, предназначенные для питания пьезоэлектрического преобразователя колебательной системы. В пьезоэлектрическом преобразователе, за счет обратного пьезоэффекта происходит преобразование электрических колебаний в упругие ультразвуковые. Упругие ультразвуковые колебания усиливаются концентратором и достигают торцевой излучающей поверхности. Торцевая поверхность обеспечивает направленное излучение ультразвуковых колебаний на распылительные отверстия форсунок,

повышая интенсивность ультразвуковых колебаний в зоне очистки. Это позволяет обеспечить высокую интенсивность ультразвукового излучения в зоне очистки (достаточную для реализации режима высокоамплитудной очистки) и исключает нерациональное использование ультразвуковой энергии.

При высокой интенсивности ультразвукового излучения кавитационные пузырьки формируются, растут и схлапываются на значительном расстоянии от излучающей поверхности и в протяженных каналах, обеспечивая эффективную очистку внутренних поверхностей каналов.

Лабораторией акустических процессов и аппаратов была разработана установка для очистки автомобильных инжекторов «Кристалл» (см. рисунок 1). Несколько десятков таких установок успешно эксплуатируются на станциях технического обслуживания различных городов страны. В ней был реализован только один режим максимального ультразвукового воздействия с высокой интенсивностью  $I \approx 10 \frac{Bm}{cm^2}$ .



Рисунок 1.

Опыт длительной эксплуатации позволил установить, что необходимость очистки разнообразных по конструкции форсунок (с различными диаметрами каналов, размерами зазоров, формой каналов), исследования различных моющих жидкостей (в том числе и слабокавитирующих), наличие полимерных покрытий на очищаемых поверхностях потребовало с одной стороны – увеличения интенсивности ультразвукового излучения для повышения эффективности очистки сложно удаляемых нагаров на металлических поверхностях, а с другой стороны, одновременного использования ультразвуковых колебаний значительно меньших интенсивностей, например для очистки слабосвязанных пленок на полимерных поверхностях в сочетании с высокоинтенсивным воздействием, обеспечивающим высокоскоростные потоки, удаляющие отмытые загрязнения из внутренних полостей. Кроме того,

использование одного высокоинтенсивного режима может повредить поверхности. В связи с этим возникла необходимость в создании нового аппарата, сочетающего высокоамплитудное воздействие с воздействиями меньшей амплитуды, являющимися оптимальными для удаления загрязнений с полимерных и полированных поверхностей, удаление лаковых пленок, выноса загрязнений из внутренних полостей.

Аппарат, удовлетворяющий всем вышеперечисленным требованиям был разработан в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института и получил название «Алтай» (см. рисунок 2).

Созданный аппарат имеет следующие технические характеристики:

Потребляемая мощность, ВА, не более	630
Число одновременно обрабатываемых форсунок, шт	6
Габаритные размеры, мм, не более	300x260x310
Рабочая частота, кГц	22
Масса, кг, не более	15
Время очистки одного комплекта , мин., не более	20



Рисунок 2.

Принцип действия аппарата УЗ очистки автомобильных инжекторов так же основан на использовании ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, создающих в жидкой среде схлапывающиеся кавитационные пузырьки и потоки жидкости. При этом возникают силы, обеспечивающие механическое разрушение загрязнений, а акустические макропотоки транспортируют растворенные загрязнения из зон очистки.

Оптимальным режимом работы устройства для очистки инжекторов является режим развитой кавитации, который, в идеальном случае, необходимо поддерживать на протяжении всего процесса очистки (это обеспечивается автоматически при установке соответствующего режима УЗ воздействия).

Однако на практике это не всегда возможно по следующим причинам:

- акустические свойства различных моющих средств могут быть различными;
- неизбежный температурный нагрев моющего агента, дополнительно влияет на его акустические свойства.

Таким образом, оптимальная настройка ультразвукового аппарата на начальном этапе очистки, с течением времени нарушается (рисунок 3, кривая 1), что требует ручной или автоматической подстройки акустической мощности ультразвуковой мойки.

Для решения этой проблемы было предложено ввести дополнительные режимы работы ультразвуковой мойки, которые заключаются в амплитудной модуляции величины амплитуды колебаний излучателя, что позволило повысить скорость и качество работы аппарата при очистке инжекторов. Так же в новом аппарате была увеличена максимальная интенсивность ультразвукового излучения

$$I \approx 20 \frac{Bm}{cm^2} .$$

Начнем с режима, изображенного на рисунке 3 (кривая 2), его принцип заключается в ручной установке определенной мощности УЗ излучения, который в процессе УЗ очистки остается неизменным, либо вручную может быть скорректирован в пределах рабочего диапазона аппарата. В этом случае модуляция полностью отсутствует. Такой режим позволяет настроить аппарат на режим развитой кавитации, но требует постоянной подстройки. Однако, при отсутствии объективного критерия развитой кавитации, точная настройка на этот режим затруднена. Именно этот режим был реализован в аппарате предыдущего поколения.

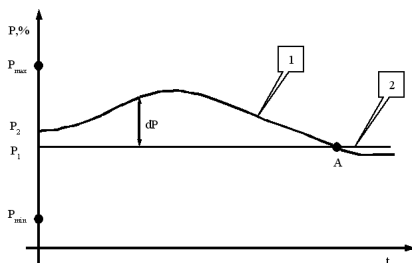


Рисунок 3.

На рисунке 4 иллюстрируется режим работы УЗ аппарата при котором происходит скачкообразное изменение мощности УЗ воздействия в пределах от  $P_1$  до  $P_2$  с определенным периодом. При реализации такого режима, вероятность попадания оптимальной мощности в диапазон перестройки УЗ аппарата возрастает, что

позитивно сказывается на параметрах процесса очистки. Кроме того, пульсирующий режим обуславливает появление дополнительных пульсаций моющего агента, что так же положительно сказывается на процессе очистки инжекторов в целом.

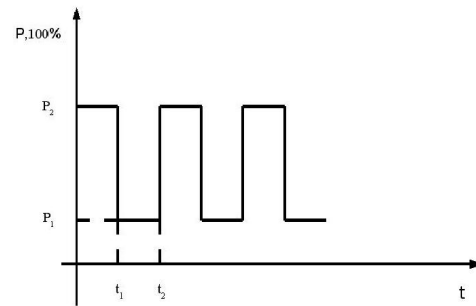


Рисунок 4.

Следующий вид модуляции отличается от предыдущего тем, что нарастание и спад мощности излучения происходит линейно в течение промежутка времени  $t_1$ . Этот вид модуляции способствует генерации различных по размерам кавитационных пузырьков на различных мощностях. Размеры кавитационных пузырьков положительно влияют на процесс ультразвуковой очистки, так как улучшается проникающая способность в различные по диаметру каналы. При работе на этом режиме модуляции, кавитация развивается в нескольких стадиях – это стадия зарождения пузырька, стадия развитой кавитации и пульсирующая стадия, когда размер пузырька достигает максимальной величины и не способен осуществить захлопывание. В стадии зарождения, пузырек имеет минимальный размер и небольшую энергетику и не может осуществить качественную очистку твердых отложений. При пульсирующей стадии кавитации очистка нагарообразования так же малоэффективна и, поэтому необходимо поддерживать режим развитой кавитации на протяжении всего процесса очистки, что и было представлено на рисунке 5. Этот режим может быть рекомендован при использовании жидкостей, в которых кавитационные процессы развиваются с запаздыванием (вязкие среды).

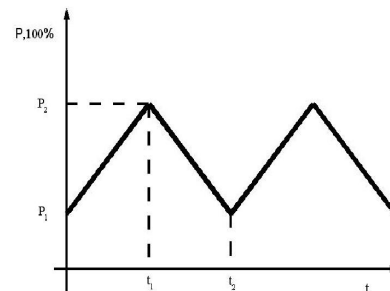


Рисунок 5.

На рисунке 6 и 7 представлены два режима, в которых были объединены вышеупомянутые виды импульсной модуляции. На рисунке 6 показан режим, при котором происходит резкий скачок мощности и, как продолжение линейный спад. Модуляция, представленная на рисунке 7 показывает плавное увеличение мощности, а после - резкий спад. Режим на рисунке 6 выгодно отличается эффектом резкого кавитационного удара, при котором диапазон развитой кавитации проходит за 0,1 секунды, позволяя удалить с поверхности инжектора самые стойкие отложения и продолжить очистку в режиме спада мощности, при котором диапазон развитой кавитации проходит длительный промежуток времени, проводя более качественную очистку каналов. Модуляция, при которой проходит линейное увеличение мощности, а затем резкий спад дает возможность пульсирующим микропотокам вытолкнуть отложения из тонких каналов инжектора.

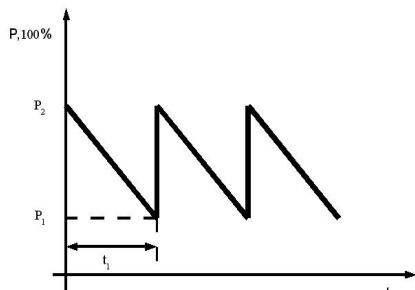


Рисунок 6.

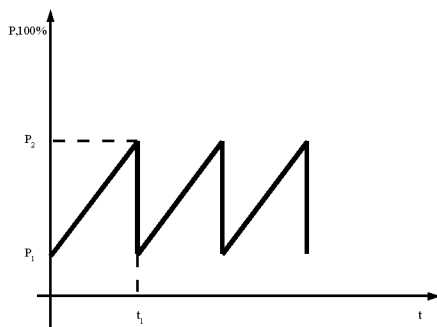


Рисунок 7.

В процессе создания аппарата были учтены пожелания представителей станций технического обслуживания. В результате сотрудничества была разработана система открытия форсунок, имеющая три основных режима. В первом режиме форсунка открывается и закрывается с возрастающей и убывающей частотой. Режим позволяет в процессе очистки имитировать подачу топлива при работе двигателя на разных мощностях. Для диагностики

распылительного факела инжектора и правильной дозировки топливной жидкости применяется режим «ТЕСТ». Третий режим представляет собой парное открытие инжекторов и длительные задержки запирающей мембраны при открытии, что позволяет уменьшить прогрев технологической жидкости.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создан новый аппарат ультразвуковой очистки инжекторов «Алтай», позволяющий сочетать высокоамплитудную очистку с ультразвуковым воздействием, обеспечивающим оптимальные режимы очистки для современных видов форсунок.
2. Реализовано несколько режимов УЗ воздействия, позволяющие повысить эффективность удаления различных отложений.
3. Созданные режимы очистки реализованы в созданном аппарате и могут быть рекомендованы для практического применения.

#### V. REFERENCES

- [1] Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Патент РФ №2141386, 1999. Ультразвуковая колебательная система.
- [2] Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Левин С.В., Хмелев М.В., Лебедев А.Н. Сборник ЕДМ 2005 Устройство ультразвуковой очистки автомобильных инжекторов.
- [3] Келлер О.К., Кратыш Г.С., Лубяницкий Г.Д. Ультразвуковая очистка. Л. Машиностроение (Ленинградское отделение), 1977, с. 52-53.
- [4] Патент № 2243039 Устройство ультразвуковой очистки автомобильных инжекторов.