

ВЛИЯНИЕ ВИДА ТОПЛИВА НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЗЛА «КЛАПАН – СЕДЛО – НАПРАВЛЯЮЩАЯ ВТУЛКА» ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДВС

А. Я. Бабанин, д.т.н., доцент; А. В. Чухаркин, ст. преп.

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. На основании выполненных исследований работы двигателей внутреннего сгорания, работающих на сжатом природном газе (метане) и жидких топливах (бензин, дизельное топливо), определены основные направления повышения ресурса их работы путем совершенствования технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка»: придание рабочим кромкам клапана и седла более высоких механических и служебных свойств, обеспечивающих стойкость к высокотемпературной газовой коррозии и ударной деформации; повышение стойкости к износу сопряженных поверхностей «стержень клапана – направляющая втулка» для исключения перекоса клапана при движении в вертикальном направлении.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, газораспределительный механизм, клапан, седло, направляющая втулка, сжатый природный газ.



Бабанин
Анатолий Яковлевич



Чухаркин
Артем Витальевич

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время автомобильный транспорт является ключевым звеном в обеспечении динамичной работы промышленных предприятий всех уровней и направлений строительной отрасли.

Автомобили наряду с выполнением транспортной функции являются еще и эффективным средством снижения срока оборачиваемости денежных средств, задействованных в производственном цикле строительства. Поэтому обеспечение надежной работы автомобилей с минимальными затратами на их эксплуатацию (наиболее важной статьёй является расходы на топливо), ремонт и обслуживание является актуальной задачей.

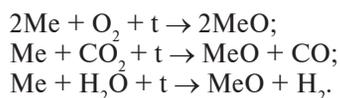
Известно, что основным агрегатом автомобиля, оказывающим существенное влияние на вышеуказанные затраты, является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Качество работы ДВС определяет затраты на топливо, горюче-смазочные материалы, обслуживание и текущий ремонт, а при его капитальном ремонте является существенной статьёй расходов на эксплуатацию автомобиля.

Поэтому в последнее время все большее внимание автотранспортников направлено на правильный выбор автомобилей и их эксплуатацию в зависимости от типа ДВС по применяемому топливу. В частности – ДВС, работающих на бензине, дизельном топливе или сжатом природном газе (метан).

Одной из основных причин отказа автомобиля является выход из строя двигателя внутреннего сгорания [1]. Следовательно, повышение ресурса работы ДВС является необходимым условием снижения транспортных расходов на единицу продукции.

Одним из факторов, способствующих повышению ресурса работы ДВС, является обеспечение высоких показателей работы механизма газораспределения, в частности, надежность работы в течение длительного времени взаимодействующих деталей технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка». Быстрый износ рабочих фасок тарелки клапана и седла, а также сопряженных поверхностей стержня клапана и направляющей втулки является основной причиной неустойчивой работы газораспределительного механизма.

Клапаны подвергаются износу из-за ударов тарелки клапана о седло при его закрытии, газовой коррозии – окислении кислородом, парами воды, оксидом углерода, эрозии от потока газа и продуктов неполного сгорания топлива [2]. При газовой коррозии окисление происходит по уравнениям:



В результате на поверхности металла образуются пленки окислов или сульфидов, причем толщина окисной пленки тем больше, чем выше температура и длительнее процесс коррозии. Под действием тепловых и механических (закрытие клапана) ударов происходит локальное разрушение пленки окислов, и коррозия развивается вглубь клапана. В период длительных простоев двигателя коррозионные процессы на клапанах интенсифицируются – оставшиеся в цилиндрах топливо и остаточные газы образуют электрохимическую коррозионную среду [3].

Работа технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» оказывает существенное влияние как на величину крутящего момента и мощности двигателя, так и на ресурс его работы. Поэтому повышение срока работы данного технологического узла на высоком технологическом уровне является актуальной научно-технической задачей. Одним из основных направлений повышения долговечности является совершенствование технологий изготовления и ремонта деталей клапанного узла.

ЦЕЛЬ

Целью данной работы является исследование влияния вида топлива на качество работы технологического узла ГРМ «клапан – седло – направляющая втулка».

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для исследования были отобраны отработавшие свой ресурс детали двигателей нескольких моделей. Детали были отобраны при разборке двигателя на капитальный ремонт. Каждому клапану строго соответствовала определенная направляющая втулка, т.е. данные детали составляли технологическую пару в работающем двигателе. Это соответствие позволило проанализировать износ и дефектность совместно работающих деталей технологической пары «клапан – направляющая втулка» в отработавшем ресурсе ДВС.

Дефектность и оценка изношенных поверхностей производилась визуально с помощью бытовой лупы и инструментально. Для замера величины изношенных поверхностей применялись следующие измерительные инструменты:

- штангенциркуль;
- микрометр МК 125–1 (ГОСТ 6507–90).

Исследуемые впускной и выпускной клапаны с направляющими втулками бензинового двигателя ЗМЗ-5234, переоборудованного для работы на компримированном природном газе, имеют следующие конструктивные особенности: впускной клапан двигателя изготовлен из стали 4Х9С2, выпускной – из стали ЭИ992 (80Х20НС). Фаска выпускного клапана для повышения жаростойкости наплавлена сплавом ХН-60ВУ. Направляющие втулки изготовлены из металлокерамики.

В результате инструментальных исследований установлено, что на тарелках обоих клапанов наблюдается обильное нагарообразование. Причем на выпускном клапане слой нагара имеет большую толщину,

и, следовательно, имеет более неровный рельеф (глубокие впадины и бугры). Внешний вид выпускного (справа) и впускного (слева) клапанов газораспределительного механизма двигателя ЗМЗ-5234, отработавшего ресурс на метане, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид выпускного (слева) и впускного (справа) клапанов газораспределительного механизма двигателя ЗМЗ-5234, отработавшего ресурс на КПГ

Значительный нагар и раковины, присутствующие на фасках клапанов, свидетельствуют о недостаточной герметичности камеры сгорания при работе цилиндра. Также установлено, что зазор между сопряженными поверхностями стержня клапана и направляющей втулкой значительно увеличен.

Проведенные исследования свидетельствуют, что снижению мощности и ресурса работы бензинового двигателя ЗМЗ-5234, работающего на КПГ, способствует снижение герметичности цилиндров двигателя в связи с недостаточной плотностью контакта сопряженных поверхностей рабочих фасок выпускного клапана и седла. Следовательно, причиной снижения ресурса является недостаточная надежность и долговечность работы технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка».

Вследствие более высокой теплоты сгорания (низшая теплота сгорания метана составляет 50016 кДж/кг при 43300...44000 кДж/кг для бензина) и меньшей скорости сгорания температурный режим газовых двигателей оказывается выше, чем бензиновых (до 900 °С), что снижает их ресурс [4]. В результате ухудшаются и без того сложные условия работы клапанов (особенно выпускного), что часто приводит к их прогоранию [5].

Следовательно, качественное усовершенствование работы технологического узла газораспределительного механизма «клапан – седло – направляющая втулка», особенно при переводе ДВС с бензина на газ, позволит значительно повысить ресурс работы двигателей внутреннего сгорания, работающих на КПГ.

Общий вид выпускного клапана (сталь марки СХ8) с диаметром тарелки 39 мм со втулкой из металлокерамики двигателя ЗМЗ-402 (автомобиль ГАЗ-33021 «ГАЗель»), выработавшего свой ресурс на метане, и характерный вид состояния днища тарелки (головки), испытывающей максимальное влияние давления газов сгорающего в цилиндре топлива, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид пары «выпускной клапан – направляющая втулка» двигателя ЗМЗ-402, отработавшего ресурс на КПП (а) и характерный вид состояния поверхности дна тарелки выпускного клапана (б)

По результатам измерений [6] установлено, что нормы зазора сопряженных поверхностей «стержень клапана – направляющая втулка» в результате износа превышены в несколько раз, сборочные и браковочные нормы – соответственно, более чем в 10 и 5 раз. Это способствует отклонению клапана от направления вертикального хода, что приводит:

- к неплотному прилеганию фаски клапана (b) к седлу (рис. 3);
- к несимметричному износу фаски седла под действием ударной деформации работающего клапана;
- к потере герметичности цилиндра и, следовательно, снижению мощности двигателя.

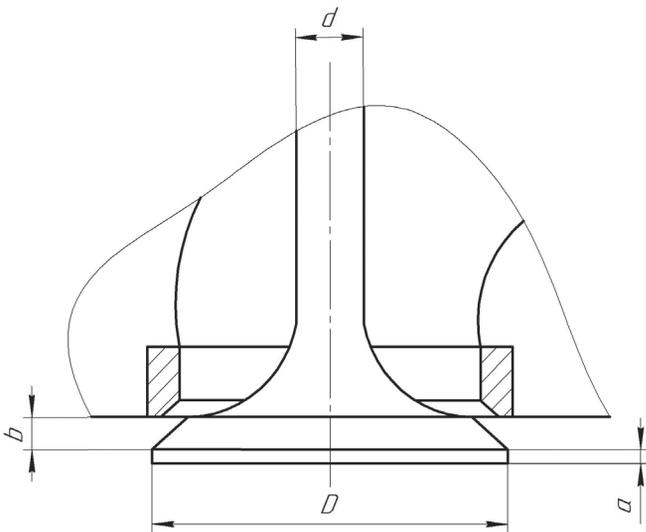


Рис. 3. Схематическое изображение профиля рабочей части выпускного клапана: D – диаметр тарелки клапана; a – ширина цилиндрического пояса; b – ширина рабочей фаски; d – диаметр стержня

На днище тарелки клапана наблюдается значительный слой нагара, образующий как выпуклости,

так и раковины. Цилиндрический поясок a полностью отсутствует в результате износа. Рабочая фаска b , несмотря на наплавку хромоникелевого сплава, имеет неидеальную округлую форму, неровности и раковины.

В нижней части стержня клапана на тыльной стороне тарелки также наблюдаются следы нагара от сгорания моторного масла, стекающего по стержню клапана вследствие увеличенного зазора между стержнем клапана и направляющей втулкой в струе исходящих из цилиндра горячих отработавших газов (рис. 4).



Рис. 4. Характерный вид нижней части стержня и тыльной стороны тарелки выпускного клапана двигателя ЗМЗ-402

На основании выполненных исследований установлено, что снижению мощности двигателя, работающего на метане, и ресурса его работы способствует снижение герметичности цилиндров двигателя в связи с недостаточной плотностью контакта сопрягаемых поверхностей рабочих фасок выпускного клапана и седла.

Основными причинами, приводящими к снижению герметичности цилиндров ДВС в процессе их эксплуатации на КПП, являются:

- низкое качество материала выпускного клапана, не обеспечивающее его высокую стойкость при высокотемпературной химической и газовой эрозии рабочих фасок клапана и седла выходящими отработавшими газами;
- перекоп движения клапана в вертикальном направлении в результате увеличенного зазора между стержнем клапана и направляющей втулкой, приводящий к непопаданию тарелки клапана в седло, высокотемпературной деформации и износу рабочих поверхностей клапана и седла под действием кратковременных ударных нагрузок.

В результате проведенных исследований определены основные направления повышения качества работы технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка», которыми являются:

- обеспечение рабочим поверхностям клапанов и седел более высоких механических и служебных

свойств, обеспечивающих высокую и долговременную стойкость к высокотемпературной химической и газовой коррозии и ударной деформации;

– снижение износа сопряженных поверхностей «стержень клапана – направляющая втулка» для исключения перекоса движения клапана в вертикальном направлении.

Качественное усовершенствование вышеперечисленных направлений в работе технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» позволит значительно повысить ресурс работы двигателей внутреннего сгорания, работающих на КПП.

Выпускной клапан бензинового двигателя ЗИЛ-508 (ЗИЛ-130) изготовлен из жаростойкой стали ЭИ992, направляющая втулка – из перлитного серого чугуна. Для улучшения износостойкости и противозадирных свойств рабочий участок стержня покрыт электролитическим способом тонким слоем хрома (0,002...0,007 мм). На фаску наплавлен слой кобальтового стеллита ВЗК. Клапан охлаждаемый (стержень пустотелый, заполненный на 2/3 металлическим натрием).

Выполненный анализ деталей (клапан, направляющая втулка и седло) выработавшего ресурс на бензине двигателя ЗИЛ-508 (ЗИЛ-130) свидетельствуют о следующих особенностях. Клапан не имеет очевидных повреждений. На стержне клапана наблюдаются окружные царапины, вызванные, вероятнее всего, проворачиванием клапана механизмом «ротокап». Зазор между стержнем и направляющей втулкой увеличен, что привело к неравномерному износу рабочей поверхности седла (рис. 5).



Рис. 5. Выпускной клапан ЗИЛ-508 с направляющей (а) и седло клапана (б)

Впускной клапан и направляющая втулка дизельного двигателя Д-240 ММЗ (рис. 6) изготавливают из материалов, соответственно: клапан – жаропрочная сталь, направляющая втулка – металлокерамика. Визуальными наблюдениями установлено, что на поверхности днища тарелки клапана наблюдается значительный нагар. Также обильное нагарообразование присутствует на тыльной стороне тарелки клапана от проникавшего через увеличенный зазор между клапаном и направляющей втулкой масла.

Фаска клапана чрезмерно изношена, имеет раковины, диаметр тарелки в результате износа уменьшен с 48 до 46 мм. Цилиндрический поясок на тарелке отсутствует.



Рис. 6. Впускной клапан дизельного двигателя Д-240: состояние рабочей фаски тыльной стороны тарелки (а) и днище тарелки (б)

В табл.1 представлены основные параметры технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» и характерные особенности его износа в зависимости от ДВС, работающих на различных видах топлива.

Установлено, что у ДВС ЗМЗ-4025 (автомобиля ГАЗ-33021 «ГАЗель»), выработавшего ресурс на КПП, вся поверхность фаски выпускного клапана повреждена коррозионными раковинами, а кромка фаски – трещинами. Нижняя и верхняя части выпускного клапана покрыты толстым слоем хлопьеобразного налета коррозионной ржавчины коричневого цвета.

У выпускных клапанов двигателя ЗМЗ-5234 (автобуса ПАЗ-3205), выработавшего ресурс на КПП,

поверхность фаски также по всей длине повреждена коррозионными раковинами. Значительно повреждена кромка тарелки клапана – в виде коррозионных раковин и трещин. Нижняя и верхняя поверхности тарелки выпускного клапана имеют коррозионный налет бурого цвета значительной толщины, порядка 0,3...0,4 мм, а местами и более.

У ДВС ЗИЛ-508 автомобиля ЗИЛ-4314 (ЗИЛ-130), выработавшего ресурс на бензине, форма поверхности фаски выпускного клапана деформирована примерно на 70–80 % ее длины. Поверхность фаски чистая, не имеет раковин при визуальном

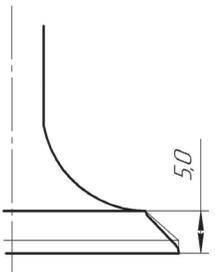
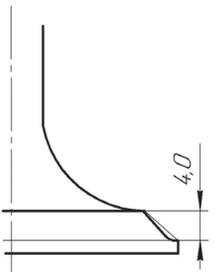
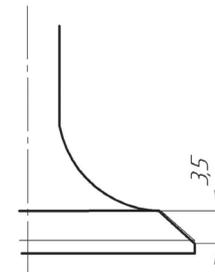
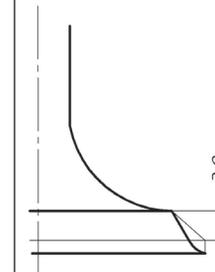
наблюдении. Однако при увеличенном наблюдении на поверхности фаски просматриваются незначительные мелкие раковины и фрагменты деформации поверхности от ударов.

У дизельного двигателя Д-240 автомобиля ЗИЛ-5301 поверхность фаски клапана значительно повреждена неглубокими большими раковинами, а также имеются неглубокие локальные поврежденные поверхности площадью 3...4 мм².

Характерный вид износа фаски выпускного клапана для вышеперечисленных ДВС также представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» и особенности износа его деталей

Модель ДВС (автомобиля)		ЗМЗ-4025 (ГАЗ-33021 «ГАЗель»)	ЗМЗ-5234 (ПАЗ-3205)	ЗИЛ-508 (ЗИЛ-4314 (ЗИЛ-130))	Д-240 ММЗ (ЗИЛ-5301)
Мощность, кВт		66,2	96	110	59
Тип топлива		КПГ	КПГ	Бензин	Дизельное топливо
Материал деталей клапан – втулка – седло		сталь СХ8 – металлокерамика – жаропрочный чугун	сталь ЭИ992 – металлокерамика – жаропрочный чугун	сталь ЭИ992 – перлитный серый чугун – специальный чугун	жаропрочная сталь – металлокерамика – специальный чугун
Зазор клапан-втулка, мм	норма	0,117–0,050	0,122	0,17	0,2
	факт	1,5	0,7	0,25	0,3
Состояние фаски клапана	размер рабочей поверхности, мм	4,0	5,0	3,5	3,8
	характерная форма				
Состояние рабочей части стержня клапана	диаметр, мм	8,905... 8,925	10,905... 10,925	11	11
	максимальный износ	В нижней части	В нижней части	Равномерный	В нижней части
Состояние днища тарелки клапана	размер, мм	38,5	49	41	48
	форма нагара	Бурые ржавые хлопья	Бурая ржавчина	Черный равномерный	Черный

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определены основные направления повышения качества работы технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка», которыми являются:

– обеспечение рабочим кромкам клапанов и седел более высоких механических и служебных свойств, обеспечивающих высокую и длительную стойкость к высокотемпературной химической и газовой коррозии и ударной деформации;

– снижение износа сопряженных поверхностей «стержень клапана – направляющая втулка» для исключения перекоса движения клапана в вертикальном направлении.

Качественное усовершенствование вышеперечисленных направлений в работе технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» позволит

значительно повысить ресурс работы двигателей внутреннего сгорания, работающих на КПГ.

Из представленных результатов исследований следует, что при переводе ДВС с бензина на газ наблюдается повышенный износ фаски выпускного клапана за счет отрицательного действия газовой коррозии металла, вызываемой продуктами сгорания – кислородом, парами воды, оксидом углерода при обтекании ими клапанов в процессе выпуска.

Наименьшие повреждения фаски выпускных клапанов наблюдаются на бензиновых ДВС. Значительное повреждение фаски выпускного клапана наблюдается в дизельных ДВС. Однако ресурс дизельных ДВС превышает ресурс бензиновых двигателей в 2, а иногда и 3 раза.

Дискуссии о перспективности газового топлива с точки зрения экологичности и экономичности длятся уже несколько десятилетий. К преимуществам газов

относят обычно отсутствие разбавления моторного масла, гораздо меньшие выбросы оксидов азота, монооксида и диоксида углерода [7]. Метан по сравнению с бензином и другим газовым топливом – пропан-бутаном (сжиженным нефтяным (углеводородным) газом), кроме того, относится к 4-му, самому высокому, классу безопасности среди горючих веществ [8], поскольку он легче воздуха и при утечке рассеивается в атмосфере, а не стелется вдоль поверхности.

Таким образом, качественное усовершенствование работы технологического узла газораспределительного механизма «клапан – седло – направляющая втулка», особенно при конвертировании ДВС из бензиновых в газовые, позволит значительно повысить ресурс работы двигателей внутреннего сгорания, работающих на КПП.

Список литературы

1. *Диагностирование газораспределительного механизма виброакустическим методом / А. В. Гриценко, В. Д. Шепелев, З. В. Альметова, Е. В. Шепелева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 48–57.*
2. *Stansbury, E. E. Fundamentals of electrochemical corrosion / E. E. Stansbury and R. A. Buchanan. – ASM International. – 2000. – 487 p.*
3. *Бестек, Т. Коррозия автомобилей и её предотвращение / Т. Бестек. – М.: Транспорт, 1985. – 255 с.*
4. *Паничкин, А. В. Оценка ресурса двигателя автобусов, работающих на газовом топливе, эксплуатируемых в режиме городских перевозок пассажиров / А. В. Паничкин, Н. В. Голубенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3 (50). – С. 123–129.*
5. *Сенин, П. В. Оценка технического состояния головок блока цилиндров двигателя ЗМЗ-406 и рекомендации по её восстановлению / П. В. Сенин, Н. В. Раков, А. М. Майкейкин // Пермский аграрный вестник. – 2019. – Т. 26. – №2. – С. 24–33.*
6. *Бабанин, А. Я. Анализ работы деталей технологического узла «клапан – седло – направляющая втулка» газораспределительного механизма ДВС / А. Я. Бабанин, А. В. Чухаркин // Промышленность и сельское хозяйство. – 2020. – № 12 (29). – С. 21–26.*
7. *Метан как альтернативное топливо / Г. И. Трофимова, Н. И. Трофимов, И. А. Бабушкина, В. Г. Черемсина // Символ науки. – 2016. – № 11–3. – С. 165–171.*
8. *Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г №404: (зарегистрировано в Минюсте РФ от 17.08.2009 г №14541) (в ред. Приказа МЧС РФ от 14 декабря 2010 №649). – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902170886>, свободный. – Загл. с экрана.*