

## КЛАССИФИКАЦИЯ, СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОДАЧИ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

П. Ю. Малышкин

*Учреждение образования «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», г. Горки*

Научный руководитель А. Н. Карташевич

Двигатель, работающий на смеси ДТ и газа, принято называть газодизельным. Такой способ воспламенения газового топлива дозой жидкого топлива был запатентован Рудольфом Дизелем еще в 1898 г. Однако практическое применение этот способ нашел только с 1938 г., главным образом на стационарных двигателях. И начиная с 1987 г. Камский автозавод выпускал грузовые модели автомобилей с атмосферными газодизельными двигателями КамАЗ-7409.10. Проводились работы и по доводке турбодизеля КамАЗ-7403 для работы на бинарном топливе с механическим дозатором газа и устройством ограничения подачи ДТ.

Минским моторным заводом (ММЗ, Республика Беларусь) налажен выпуск газодизельных двигателей, имеющих 3, 4 и 6 цилиндров, номинальной мощностью 26–114 кВт, работающий с использованием 30 % ДТ (запальная доза) 70 % природного газа (метан) [1].

Целью работы является сравнение и анализ систем подачи газового топлива в дизельный двигатель.

На сегодняшний день существует более 5 разновидностей (поколений) газовых систем для питания дизельных двигателей.

По мере развития газовых систем питания для тракторов и автомобилей внедряются разноплановые системы подачи газового топлива (ГТ), различающиеся по способу, месту и моменту подачи топлива в цилиндры двигателей.

Для питания газовым топливом современных дизельных двигателей, оснащенных наддувом и промежуточным охладителем надувочного воздуха (ОНВ), предпочтительно использовать инжекторные системы питания, обеспечивающие точность момента впрыскивания и дозирование массы ГП в цилиндры дизеля [1].

Наряду с продолжительностью впрыскивания ГТ, другими параметрами, которые важны для оптимизации состава отработавших газов (ОГ) и расхода топлива, является момент впрыскивания топлива по углу поворота коленчатого вала [3] и место впрыскивания ГТ во впускной коллектор.

По замещению топливом (использованию топлива):

- газодизельные (подача газового топлива составляет более 50 % от ДТ);
- дизельные с добавкой газового топлива (подача газового топлива менее 50 % от ДТ).

Инжекторные газовые системы питания для дизельных двигателей классифицируются следующим образом.

По состоянию подаваемого газа:

- сжиженный (в жидком виде);
- компримированный, сжатый (в газообразном виде);
- комбинированный (хранятся в сжиженном, подаются в сжатом виде).

По расположению форсунок:

- центральный впрыск;
- распределенный впрыск.

По месту впрыска газового топлива:

- во впускной коллектор (центральный, распределенный);

- в цилиндр (непосредственный впрыск);
- в дизельную топливную систему.

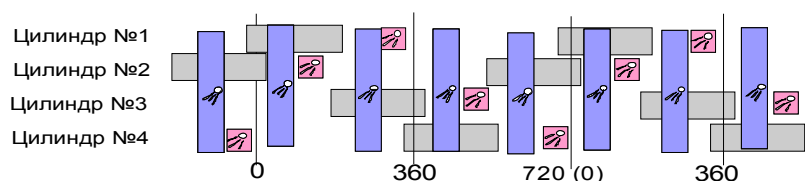
По способу подачи топлива:

- непрерывный впрыск;
- циклический (прерывистый) впрыск.

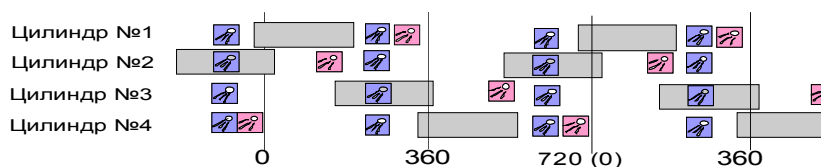
По моменту впрыска топлива:

- несогласованный впрыск;
- согласованный впрыск.

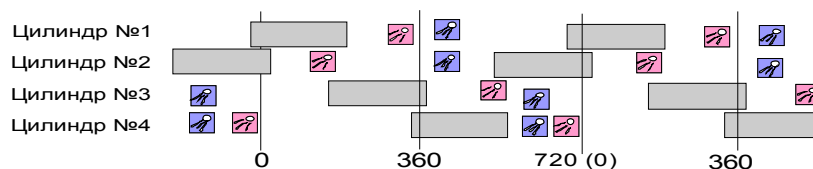
Согласованный впрыск топлива привязан к определенной фазе цикла работы двигателя. В связи с этим, если несогласованный впрыск топлива может быть как непрерывным, так и циклическим, то согласованный – только циклическим [2].



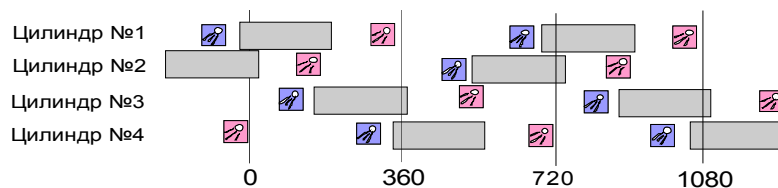
a)



б)



в)



г)

Рис. 1. Классификация способов подачи газового топлива в дизель:

- – впускной клапан открыт; □ – впрыск ДТ; □ – впрыск ГТ во впускной коллектор;
- а – центральный впрыск (моновпрыск); б – индивидуальное синхронное (одновременное) впрыскивание; в – групповое (попарно-параллельное) впрыскивание;
- г – последовательное впрыскивание

Обозначению «центральный впрыск топлива» соответствуют также термины «одноточечный впрыск» и «моновпрыск». При центральном впрыске (рис. 1, а) топ-

ливо подается одной или несколькими форсунками, устанавливаемыми на участке до разветвления впускного трубопровода [2]. При данном способе подачи ГТ значительная часть впускного коллектора заполнена газо-воздушной смесью.

При распределенном («многоточечном») впрыске топливо подается индивидуальными для каждого цилиндра форсунками (рис. 1, б–г) во впускной коллектор дизеля.

Индивидуальное синхронное (одновременное) впрыскивание ГТ (рис. 1, б) происходит без согласования момента впрыска с процессами впуска в каждый цилиндр (несогласованный впрыск). Все форсунки приводятся в действие в один и тот же момент (одновременно), поэтому время, отведенное на смешивание ГТ с воздухом разное, также стоит отметить, что количество топлива, необходимое для сгорания, делится на две части и каждая из этих частей впрыскивается при каждом обороте коленчатого вала. При таком способе впрыскивания в некоторых цилиндрах ГТ накапливается не перед впускным клапаном, а впрыскивается через открытое впускное окно.

При групповом (попарно-паралельном) впрыскивании форсунки объединены в две группы. За один оборот коленчатого вала форсунки одной группы впрыскивают полное количество топлива, требуемое для их цилиндров, а за следующий оборот коленчатого вала – форсунки другой группы. Такая работа форсунок позволяет выбрать момент впрыскивания ГТ в функции рабочего режима и избежать впрыскивания в открытые впускные окна. Кроме того, время, отведенное на смешивание ГТ с воздухом, имеет меньшую разницу по сравнению с «синхронным впрыском», но также остается разным.

Последовательное впрыскивание обеспечивает впрыск с согласованием открытия впускных клапанов. Газовое топливо впрыскивается в каждый цилиндр отдельно. Форсунки приводятся в действие последовательно одна за другой в соответствии с порядком работы двигателя. Продолжительность и момент впрыскивания ГТ для каждого цилиндра одинаковы [3]. В этом случае время, отведенное на смешивание ГТ с воздухом, одинаково для всех цилиндров двигателя.

Кроме вышерассмотренных способов подачи газового топлива в дизель существуют системы, обеспечивающие индивидуальное впрыскивание ГТ в каждый цилиндр [1]. Данный способ впрыскивания имеет наибольшую степень свободы, выраженную в индивидуальном влиянии на момент впрыскивания газового топлива, позволяющей компенсировать неравномерность процессов при наполнении свежим зарядом цилиндров двигателя [3], однако требует применения специального оборудования, поддерживающего давление ГТ до 30 МПа, и специальных (квази, магнито-стрикционных и др.) форсунок, обладающих очень высоким быстродействием [1] (0,1–5 мс).

Известно, что цикл работы четырехтактного двигателя проходит за два оборота коленчатого вала, т. е.  $720^\circ$  поворота коленчатого вала. Время совершения цикла четырехтактного двигателя определим по формуле

$$t_{\text{ц}} = 1,2 \cdot 10^5 \cdot n_{\text{д}}^{-1},$$

где  $n_{\text{д}}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Следовательно, время, за которое совершается впуск воздушного заряда в цилиндры двигателя составит

$$t_{\text{вп}} = 166,67 n_{\text{д}}^{-1} \varphi_{\text{вп}},$$

где  $\varphi_{\text{вп}}$  – фаза впуска, град.

Например, для двигателя имеющего фазу впуска  $\varphi_{вп} = 238^\circ$ , и работающий при частоте вращения коленчатого вала  $n_d = 2000 \text{ мин}^{-1}$ , время, за которое совершается наполнение цилиндров воздушным зарядом составит 19,8 мс.

#### Литература

1. Карташевич, А. Н. Тракторы и автомобили. Газовое оборудование для автотракторной техники : курс лекций / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, А. А. Сысоев. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2012. – 86 с.
2. Системы впрыска бензина автомобильных двигателей : курс лекций / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2004. – 28 с.
3. Системы управления бензиновыми двигателями : пер. с нем. – Минск : Книж. изд-во «За рулем», 2005. – 432 с.

## ОБЛИТЕРАЦИЯ В ДРОССЕЛЯХ И МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЙ

А. С. Матвеевков

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель Д. Л. Стасенко

Облитерация (техника) (*техн.*) – зарастивание с течением времени сечения щели. Это явление наблюдается при протекании даже тщательно очищенных жидкостей за счет адсорбции поляризованных молекул (это явление является одним из недостатков золотниковых гидрораспределителей). Если номинальный зазор щели равен сумме толщин адсорбированных слоев или меньше ее, может произойти полное зарастивание щели (полная облитерация).

Среди гидрооборудования существует много гидравлических машин, в которых конструктивно необходимо для обеспечения их нормальной работы наличие малых зазоров. Но необходимо отметить, что наличие зазоров приводит к неизбежным утечкам жидкости, что сказывается на важнейших эксплуатационных характеристиках гидромашин. Также следует отметить, что течение жидкости в малых зазорах существенно отличается от расчетного и обладает качественным своеобразием.

Расчет течения жидкости, в частности утечек, основан на закономерностях классической ньютоновской гидродинамики. Теоретические результаты многочисленных исследований удовлетворительно сходятся с полученными экспериментальными результатами только до определенных значений давлений. При дальнейшем повышении давления начинают проявляться аномальные свойства движения жидкости, выраженные в резком уменьшении утечек через радиальный зазор (только при статических условиях золотниковой пары). При увеличении зазора закономерность ньютоновской гидродинамики сохраняется до более высоких значений давления.

Данное явление при течении жидкости в малых зазорах золотниковых пар объясняется явлением облитерации малых зазоров.

Таким образом, самой частой проблемой дросселей, в которых регулирование происходит за счет изменения сечения проходного канала, является облитерация. Особенно эта проблема распространена в дросселях с малым проходным сечением. При уменьшении периметра проходного сечения дросселя вероятность его засорения уменьшается, поэтому рекомендуется выбирать величину периметра минимальной. Для устранения засорения применяют дроссели, в которых регулирование сопротивления достигается изменением длины канала дросселя или изменением количества