

С.Н. Литвин, канд. техн. наук, И.А. Швец, асп., П.В. Малютин, инж.
*Первомайский политехнический институт Национального университета
кораблестроения им. адм. Макарова*

Исследование элементов топливной аппаратуры двигателей работающих на газообразных топливах

В статье описаны вопросы, возникающие при исследовании газоздушных смесителей и предложены, пути их оптимизации с учетом особенностей их работы на двигателях.

газообразные топлива, коэффициент избытка воздуха, смесеобразование, рабочий процесс, однородность смеси

Обострение энергетического кризиса ставит всё более жесткие условия к двигателям внутреннего сгорания и, в первую очередь, к снижению расхода топлива нефтяного происхождения. Одним из путей снижения потребления топлив нефтяного происхождения является использование альтернативных топлив, в том числе газообразных. Газообразные топлива, будучи альтернативой топливам нефтяного происхождения, в большинстве случаев являются и более дешевыми позволяя снизить затраты на топливо в несколько раз.

Большие перспективы имеет, также, возможность производства газообразных топлив из местного сырья путем газификации органических отходов. В качестве органических отходов особый интерес для производства газообразных топлив представляют органические отходы животноводства, растениеводства, деревоперерабатывающих и ряда других предприятий. Наибольший эффект от использования газообразных топлив производимых из «местного» сырья будет получен в сельском хозяйстве, так как будут сведены к минимуму транспортные расходы на его перевозку, а в ряде случаев сырьем будет являться по существу мусор (лузга подсолнечника, щепы, опилки и т.д.). В зависимости от способа и технологии получения газообразных топлив изменяются их качественные показатели, в связи с чем, возникают определенные проблемы при их использовании. Основными проблемами являются высокие температуры на выпуске газов из цилиндров, что значительно снижает моторесурс двигателей и неустойчивость рабочего процесса от цикла к циклу, что связано со сложностью дозирования газообразного топлива [1, 2].

Анализ литературных данных показал, что газообразные топлива даже одного вида имеют большой разброс как по фракционному составу, так и по теплотворной способности, пределам воспламеняемости и ряду других параметров. При этом необходимо отметить, что газ одного и того же вида существенно может отличаться по ряду параметров в зависимости от исходного сырья, его влажности, калорийности, химического и фракционного состава и ряда других параметров, и даже от погодных условий в момент производства. И данный разброс достигает значительных величин, например, генераторный топливный газ может иметь низшую теплотворную способность от 3,7 до 7,0 МДж / нм³ только в зависимости от характеристики процесса, влажности и сорта применяемого сырья [3,4]. Природный газ, который является наиболее стабильным по составу газообразным топливом, имеет разброс по теплотворной способности до 6...8 % в зависимости от месторождения и способа очистки, т.е. процентного содержания метана.

Относительно узкие пределы горючести газоздушных смесей и зависимость скорости горения от коэффициента избытка воздуха предъявляют повышенные требо-

вания к обеспечению качественного смесеобразования, к траектории движения газозаряда в цилиндре двигателя и характеру изменения состава газозаряда в зависимости от нагрузки во всем диапазоне рабочих режимов двигателя. Проведенные испытания на газовых двигателях размерностей ГЧ15/18, ГЧН26/26, ГЧН25/34 и ГЧН26/34 также показали чувствительность рабочего процесса двигателей перечисленных размерностей при внешнем смесеобразовании к качественному составу газозаряда и характеру ее изменения в зависимости от нагрузки двигателя. Особо чувствительным к составу смеси является двигатель ЧН 26/34. Отмечено также, что недостаточно высокая гомогенность газозаряда может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на рабочий процесс двигателя в зависимости от того, какой концентрации смесь окажется под свечой зажигания в момент разряда, и какова мощность данного единичного разряда.

В связи с изложенным, можно сделать вывод, что дозирование и подача в двигатель газообразных топлив, имеет ряд особенностей по сравнению с жидкими топливами.

Поэтому **становится актуальной задачей** обеспечения необходимых конструктивных параметров газоподающей аппаратуры и, в первую очередь, смесителя газа с воздухом. При этом основной задачей становится задача обеспечения необходимого коэффициента избытка воздуха, как во всем объеме рабочего цилиндра, так и в районе свечи зажигания, независимо от режима работы двигателя и наличие возможности его корректировки в случае необходимости.

Изложение основного материала

На коэффициент избытка воздуха и его изменение по объему цилиндра основное влияние оказывают работа газоподающей аппаратуры двигателя (ее инерционность, линейность характеристик, сопротивление отдельных элементов и т.д.), наличие агрегата наддува, геометрия каналов в крышке рабочего цилиндра и относительные объемы элементов системы воздухообеспечения. При этом средний коэффициент избытка воздуха зависит только от работы газоподающей аппаратуры. Наличие агрегата наддува и конструктивные параметры системы воздухообеспечения, в том числе и форма камеры сгорания, влияют только на степень гомогенности смеси и локальный коэффициент избытка воздуха.

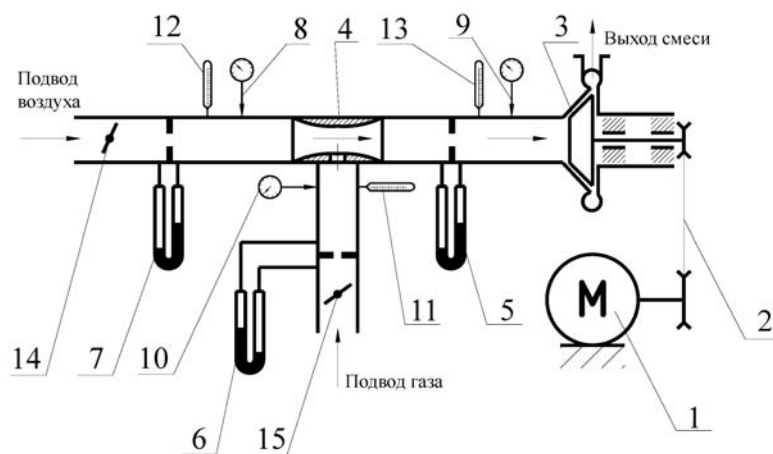
Оптимизация рабочего процесса и получение необходимых параметров газового двигателя невозможны без проведения широкомасштабных исследовательских работ, как экспериментальных, так и расчетных. Проведение экспериментальных работ на двигателе требует значительных материальных расходов, но их можно значительно сократить, делая основной упор на стендовые безмоторные исследования, во время которых имитируются условия работы газоподающего оборудования, а также применяя математическое моделирование с использованием специализированных программ. Определив параметры опытных образцов (элементов, модификаций), можно будет сократить до минимума количество объектов, которые подлежат исследованию, на двигателе. Следовательно, на развернутом двигателе испытывается предварительно доведенный на безмоторном стенде смеситель, что значительно уменьшает объем работ на нем, как во временном, так и денежном выражении.

Для проведения предварительных испытаний газоподающей аппаратуры создан безмоторный стенд, структурная схема которого представлена на рисунке 1. Стенд оборудован измерительными средствами для контроля расходов сред, температуры и давления как отдельных компонентов (газа, или воздуха), так и полученной газозаряда [3]. С целью определения влияния создаваемого смесителя на насосные ходы двигателя, измеряется сопротивление смесителя «по воздуху».

Не смотря на то, что большинство двигателей оборудовано системой наддува и при прохождении газозаряда через компрессор наддувочного агрегата про-

исходит высококачественное перемешивание смеси, обеспечивающее её высокую однородность [5], на специальном стенде выполнена визуализация потоков в смесителе. Наряду с определением параметров работы смесителя на установившихся режимах определялся характер изменения состава газовой смеси в зависимости от расхода воздуха через смеситель, который является функцией от мощности двигателя и коэффициента избытка воздуха.

Коэффициент избытка воздуха при испытаниях на безмоторном стенде определялся расчетным путем, через соотношение расходов смешиваемых сред [5]. Во время испытаний смесителей на двигателях производился дополнительный контроль коэффициента избытка воздуха (α) газоанализатором Testo 325.

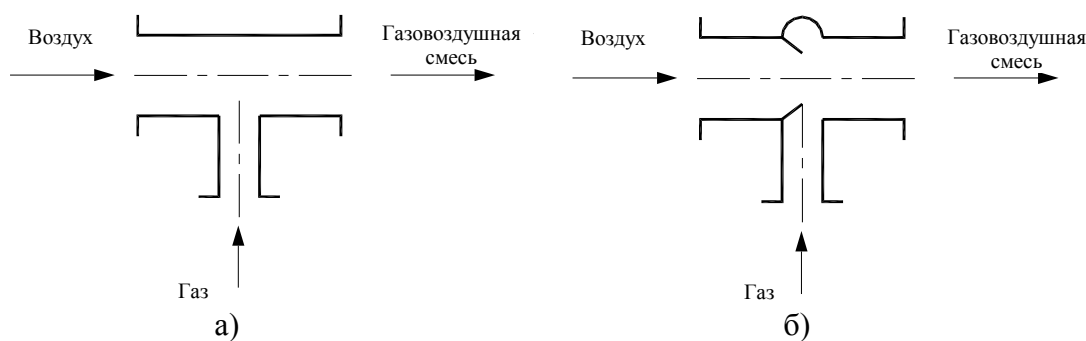


1 – электродвигатель; 2 – ременная передача; 3 – компрессор; 4 – смеситель;
5, 6, 7 – показывающий прибор сужающего устройства; 8, 9, 10 – манометры;
11, 12, 13 – термометры; 14, 15 – управляемые заслонки или тарированные шайбы

Рисунок 1 – Схема стенда для исследования газовых смесителей

В связи с ограничением возможности изменения расходов сред через смеситель на стенде, а также сложностью проведения испытаний смесителей больших размерностей в ряде случаев применялось моделирование. Моделирование осуществлялось как путем использования специализированного программного обеспечения, так и путем приведения размеров модели, к приемлемому уровню выдерживая форму исследуемого объекта и обеспечивая идентичность ряда критериев (Рейнольдса, Эйлера и т.д.) [4,5]

Испытаниям на стенде были подвержены простые смесители с пересекающимся потоком воздуха и газа и эжекционные с параллельными потоками воздуха и газа. Схемы смесителей представлены на рисунке 2.



а) схема с пересекающимся потоком воздуха и газа;
б) схема эжекционного смесителя с параллельными потоками воздуха и газа

Рисунок 2 – Схема исследуемых смесителей

Регулирование расходов воздуха и газа осуществлялось дроссельными заслонками стенда.

В результате проведенных предварительных испытаний выполненных на стенде определено, что характер изменения коэффициента избытка воздуха (α) в зависимости от расхода воздуха определяется геометрией смесителя (коэффициентом формы и характерным размером), расположением газоподающих отверстий, их количеством и формой, соотношением сечений каналов газ/воздух. Характер изменения описывается зависимостью:

$$\alpha = \varphi(K_{\phi}, L, F_{\phi}, \Delta p, F_{\phi}/F_{\gamma} \dots),$$

где K_{ϕ} – коэффициент формы смесителя;

L – характерный размер;

F_{ϕ} – эффективное сечение смесителя по воздуху;

Δp – гидравлическое сопротивление смесителя по воздушному каналу;

F_{γ} – эффективное сечение смесителя по газу.

На газовом двигателе номинальной мощностью 500 кВт была испытана конструкция смесителя схематически изображенная на рис. 3.

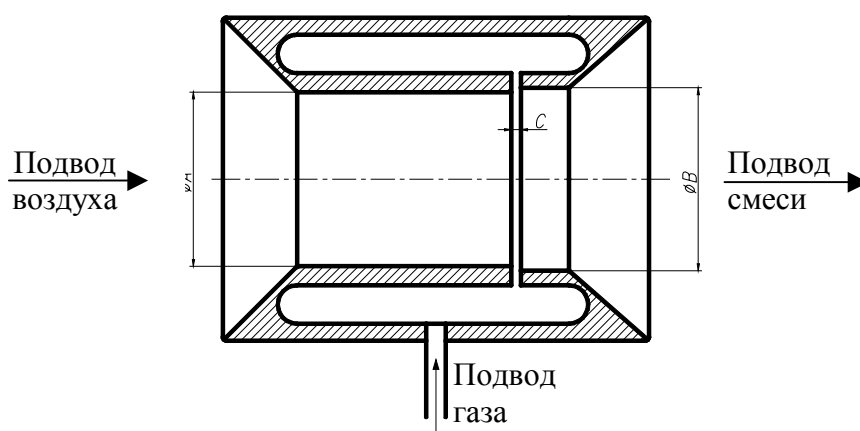


Рисунок 3 – Схема смесителя со щелевой подачей газа

В базовом варианте диаметры А и В были равны между собой и соответствовали значению 79 мм. Газ в камеру смешивания поступал через кольцевой зазор С. Изменение соотношения газ/воздух обеспечивалось регулировкой зазора С. Конструкция смесителя позволяла изменять данный зазор от 0 до 5 мм, и выполнять данную регулировку во время работы двигателя, контролируя его косвенно, путем измерения расстояния между регулировочными фланцами. Номинальное значение зазора С при работе на природном газе с содержанием метана 98 % составило 1,3 мм и с уменьшением теплотворной способности газа увеличивалось пропорционально изменению теплотворной способности газа.

Испытания смесителя данной конструкции показали обеднение газовой смеси на режиме пуска, холостого хода и малых нагрузок выше допустимого предела, т.е. на данных режимах работы коэффициент избытка воздуха был более 1,82. С целью устранения обеднения смеси на указанных режимах перед смесителем была введена дополнительная подача газа через дополнительно выполненный канал холостого хода. Давление дополнительного газа во время испытаний поддерживалось в пределах 200...250 мм. вод. ст. Проверка в работе партии смесителей показала не идентичность их работы, причиной чего оказалась несоосность отверстий А и В. Совместная обработка указанных отверстий обеспечила стабильность параметров смесителей, но после переборки, особенно замены уплотнительных колец в смесителе их параметры часто изменялись. Изменение размера В с 79 до 81,5 мм. обеспечило идентичность работы различных смесителей при их испытаниях на

одном двигателе. При этом характеристика смесителя стала более пологой, но отказаться от дополнительной подачи газа на холостом ходу не представилось возможным. Полностью исчезла зависимость смесителей от качества сварки, а взаимное расположение отверстий А и В друг относительно друга обеспечивалось технологически.

Выводы

1. Проведение испытаний на безмоторном стенде и моделирование с использованием специализированных программ позволяет существенно сократить время и материальные расходы на доводочные работы на газовых двигателях.

2. Основным параметром, влияющим на коэффициент избытка воздуха на установившихся режимах, является соотношение сечений газ/воздух.

3. Характер изменения α в зависимости от мощности двигателя определяется геометрией смесителя, формой и расположением газоподающих отверстий.

4. Коэффициент избытка воздуха во всем диапазоне рабочих режимов двигателя, должен быть постоянным с незначительным обогащением на режимах холостого хода и частичных нагрузок.

5. В ходе дальнейших исследований необходимо определить факторы, влияющие на характер изменения коэффициента избытка воздуха при работе на неустановившихся режимах, а также на «малых» расходах в процессе пуска.

Список литературы

1. Горбань А.И., Литвин С.Н., Кинжалов О.С., Грабовенко А.И., Пути улучшения рабочего процесса среднеоборотных двигателей, работающих на газе // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. - №1 – с. 57 – 62.
2. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г. Гайнулин, А.И. Гриценко, Ю.В.Васильев, Л.С.Золотаревский. – М.: Недра, 1986. – 255с.
3. Газовые двигатели поршневого типа. Коллеров Л.К., Машиностроение, Л., 1968, 248 с.
4. Горбов В.М., Энергетичні палива: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 328 с. ISBN 966-321-004-4
5. Природный газ в двигателях / Кудряш А.П., Пашков В.В., Маринин В.С., Москаленко Д.А., Отв. Ред. Симсон А.Э.; АН УССР. Ин-т пробл. Машиностроения.- Киев 6 Наук.думка, 1990. – 200 с.
6. Райков И.Я., Испытания двигателей внутреннего сгорания. Учебник для ВУЗов. М., «Высшая школа», 1975, -320 с.

У статті описані питання що, виникають при дослідженні газоповітряних змішувачів і запропоновані шляхи їх оптимізації з урахуванням особливостей їх роботи на двигунах.

The questions arising up at research of gas/air mixers are described in the article, and with accounting the features of their work in engines.