

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СИНТЕЗ-ГАЗА К ПРОПАН-БУТАНУ НА ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ В АВТОМОБИЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ

*В.А. Алимов, аспирант, Е.А. Захаров, к.т.н., доцент, зав. кафедрой
Э.Г. Сафаров, аспирант, Е.А. Федянов, д.т.н., проф., зав кафедрой,
Волгоградский государственный технический университет*

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния добавок синтез-газа на процесс сгорания сжиженного углеводородного газа в автомобильных ДВС. Синтез-газ может быть получен по технологии каталитической конверсии части основного углеводородного топлива. Выполнен анализ влияния добавок синтез-газа, состоящего из водорода и диоксида углерода, на динамику тепловыделения и работу цикла газового ДВС. Показано, что добавка синтез-газа в количестве 5 % обеспечивает снижение выбросов окиси углерода и несгоревших углеводородов при одновременном увеличении работы цикла ДВС.

Преимуществом пропан-бутановых смесей как газового топлива для автомобильных двигателей является возможность их хранения на борту транспортного средства при температуре окружающей среды и относительно невысоком давлении в капельно-жидком состоянии. Энергоемкость топливной системы на сжиженном углеводородном газе (СУГ) в расчете на килограмм массы топливной аппаратуры примерно в 8 раз превосходит аналогичный показатель для компримированного природного газа и лишь в 4 раза уступает топливным системам при использовании бензина. В России сжиженный углеводородный газ остается распространенным видом топлива для легковых автомобилей, микроавтобусов и малотоннажных грузовых автомобилей.

Для двигателей, работающих на пропан-бутане, как и для двигателей, работающих на других видах топлива, актуальны проблемы улучшения топливной экономичности и снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Как показывает опыт [1, 2], положительное влияние на процесс сгорания в автомобильном бензиновом двигателе с искровым зажиганием оказывают добавки к основной бензовоздушной смеси свободного водорода. Высокая химическая активность свободного водорода способствует ускорению процесса сгорания и повышению его полноты. Содержание в отработавших газах несгоревших углеводородов и оксида углерода существенно уменьшается. Представляет интерес

оценить влияние добавок свободного водорода на процесс сгорания в двигателях, работающих на пропан-бутане.

Практическое применение для улучшения процесса сгорания добавок чистого водорода сдерживается, в том числе, трудно разрешимыми проблемами получения и хранения водорода на борту транспортного средства. Однако, как известно [3, 4], свободный водород можно получать из основного углеводородного топлива в составе синтез-газов, представляющих смесь водорода и оксидов углерода.

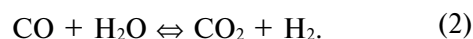
Первый опыт применения добавок синтез-газов в бензиновых двигателях [5] подтвердил положительное их влияние на расход топлива и особенно на экологические характеристики. Для оценки влияния добавок синтез-газов на процесс сгорания пропан-бутановых композиций, проведены стендовые испытания двигателя ВАЗ-11194, в ходе которых изменялась величина добавок синтез-газа к основному топливу (автомобильный пропан). Двигатель был оборудован комплектом газобаллонной аппаратуры 4-го поколения с распределенной подачей газа по ветвям впускного коллектора. Значения углов опережения зажигания в ходе испытаний соответствовали заложенным в блок управления двигателя при работе на СУГ.

Эксперименты были проведены с добавками синтез-газа, состоящего из водорода (11,5 % по массе) и диоксида углерода. Синтез-газ такого состава получается в результате двухстадийной конверсии углеводородного топлива. Например, для пропана на первой стадии осуществляется эндотермическая реакция парового риформинга:



Указанная реакция идет на никелевом катализаторе при температуре 750–900 °С.

На второй стадии после охлаждения продуктов реакции первой стадии до 350 °С осуществляется экзотермическая реакция водяного сдвига:



Реакция (2) идет на медно-цинковом катализаторе при падающем температурном профиле 350–250 °С.

Суммарная брутто реакция имеет вид:



При осуществлении указанного типа конверсии воду добавляют только на первой стадии, но берут ее с избытком — отношение H_2O/C_3H_8 принимают от 9 до 12. Указанный химизм получения синтез-газа позволяет осуществить термохимическую регенерацию теплоты в цикле двигателя, используя для проведения реакции (1) теплоту отработавших газов.

В рассматриваемых экспериментах синтез-газ был приготовлен искусственно смешением водорода и диоксида углерода. Для того чтобы при испытаниях обеспечить стабильные значения добавок синтез-газа к основному топливу, смеси пропан-бутана с различными по величине добавками синтез-газа готовили заранее. Вакумированный баллон заполнялся пропан-бутаном до атмосферного давления. Затем в соответствии с расчетными значениями парциальных давлений в баллон добавляли водород и диоксид углерода. При этом водород марки «А» по ГОСТ 3022–80 получали с помощью водородного генератора ГВ-ВЧ-12. На завершающем этапе приготовления топливной смеси вновь подавали пропан-бутан, поднимая давление в баллоне до 600 кПа.

Баллоны с приготовленными топливными смесями подключали до штатного понижающего редуктора ГБО.

В ходе испытаний измеряли эффективные показатели двигателя и содержание в отработавших газах несгоревших углеводородов и оксида углерода. Отбор газовых проб производили до штатного нейтрализатора двигателя и после него. Кроме того, с помощью датчика-свечи 2614СК1 фирмы «Kistler» осуществляли индицирование одного из цилиндров двигателя. Сигнал, полученный от датчика-свечи, обрабатывался с помощью программного комплекса PowerGraph. На двигателе был смонтирован дополнительный датчик поворота коленчатого вала, сигнал от которого поступал в аналого-цифровой преобразователь и далее передавался в программный комплекс PowerGraph для построения индикаторной диаграммы.

Испытания были проведены на бензине, пропан-бутане без добавок синтез-газа и на пропан-бутане с добавками синтез-газа в количестве 5, 7 и 10 % от массы топливной смеси. Двигатель работал с частой вращения коленчатого вала 2800 об/мин при постоянном положении дроссельной заслонки. Степень открытия заслонки составляла 73 % от полного, что соответствовало значению расхода воздуха 124 кг/ч. Угол опережения зажигания был равен 16 град ПКВ до ВМТ. Состав топливоздушная смеси в ходе всех испытания задавался стехиометрическим. Температура в испытательном боксе поддерживалась в пределах 24 ± 1 °С.

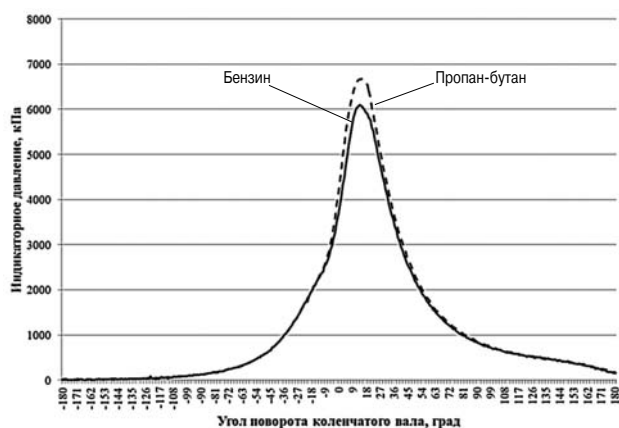


Рис. 1. Индикаторные диаграммы двигателя ВАЗ 11174 на бензине и пропан-бутане

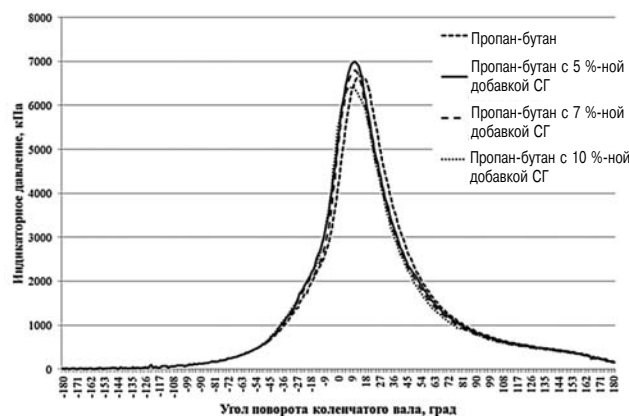


Рис. 2. Индикаторные диаграммы двигателя ВАЗ 11174 на пропан-бутане и пропан-бутане с добавками синтез-газа

На рис. 1 приведены наложенные друг на друга индикаторные диаграммы при работе двигателя на бензине и пропан-бутане, а на рис. 2 — на пропан-бутане с различными по величине добавками синтез-газа. На этом же рисунке показана диаграмма, полученная при работе на пропан-бутане без добавок синтез-газа.

Как видно из рис. 1, в условиях стендовых испытаний двигателя на указанном выше режиме индикаторная работа цикла на пропан-бутане больше, чем на бензине. Измеренная мощность на пропан-бутане составила 30,5 кВт, в то время как на бензине — 29,9 кВт. При работе на пропан-бутане, как видно из того же рис. 1, выше скорость нарастания давления, что согласуется с соотношением нормальных скоростей распространения пламени в пропановоздушных, бутановоздушных и бензовоздушных смесях [6].

Добавка содержащего свободный водород синтез-газа к пропан-бутану дополнительно ускоряет процесс сгорания (рис. 2), сокращая, в

том числе, длительность образования начального очага горения. Однако к некоторому небольшому приросту мощности (около 1,0 %) это приводит при добавках, не превышающих 5 %. В случае добавки 7 % синтез-газа работа цикла остается практически такой же, как при работе на пропан-бутане без добавок. При добавке синтез-газа в количестве 10 % работа цикла, как видно из индикаторных диаграмм на рис. 2, снижается.

Отмеченный характер влияния добавок синтез-газа, состоящего из водорода и диоксида углерода, на динамику тепловыделения и работу цикла обусловлен, по нашему мнению, совместным действием трех факторов. Фактором, действие которого в условиях экспериментов привело при малых добавках синтез-газа к некоторому увеличению работы цикла, является промотирующее действие свободного водорода. Известно, что на динамику тепловыделения в двигателях с принудительным искровым зажиганием значительное влияние оказывает длительность образования начального очага горения. Добавки свободного водорода к углеводородовоздушным смесям приводят к заметному сокращению длительной этой фазы сгорания [7, 8].

Другим фактором, оказывающим положительное влияние, служит некоторое повышение теплоты сгорания топливовоздушной смеси по мере увеличения в ней массовой доли синтез-газа. Несмотря на то что рассматриваемая разновидность синтез-газа содержит 88,5 % негорючего балласта — диоксида углерода, высокая теплота сгорания водорода компенсирует увеличение содержания CO_2 . Негативным действующим фактором оказывается снижение массы топливовоздушной смеси в цилиндре при увеличении доли синтез-газа. Снижение массы является следствием уменьшения плотности топливовоздушной смеси по мере повышения в ней доли водорода. При добавках синтез-газа, не превышающих 5 %, преобладающую роль играют первые два фактора, а при больших добавках — последний.

Особенно заметное влияние оказывают добавки синтез-газа на содержание в отработавших газах продуктов неполного сгорания топлива. Выбросы с отработавшими газами как несгоревших углеводородов, так и оксида углерода снижаются (рис. 3 и 4).

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при добавках, превышающих 5 %, выбросы CO и CH остаются практически постоянными. То, что после каталитического нейтрализатора содержание несгоревших углеводородов продолжает снижаться при добавках, превышающих 5 %, можно объяснить некоторым повышением температуры отработавших газов.

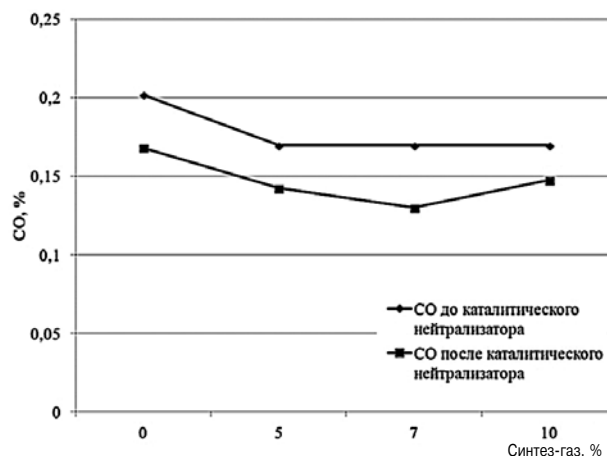


Рис. 3. Влияние добавок синтез-газа на содержание оксида углерода CO

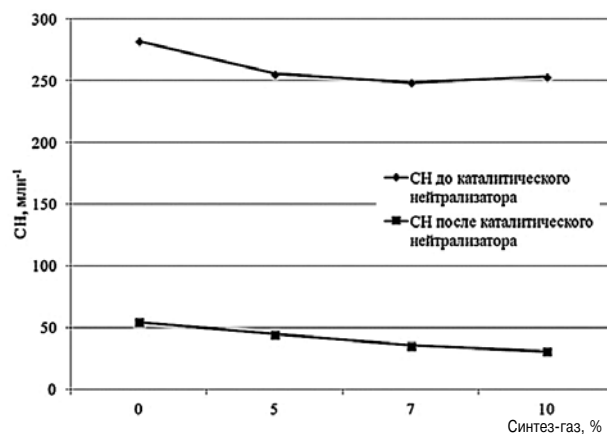


Рис. 4. Влияние добавок синтез-газа на содержание несгоревших углеводородов

В целом результаты испытаний двигателя ВАЗ-11194 на пропан-бутане с добавками синтез-газа позволяют сделать вывод о том, что эти добавки влияют, главным образом, на выбросы продуктов неполного сгорания топлива с отработавшими газами. При этом в условиях сохранения регулировок по углу опережения зажигания и сохранении стехиометрического состава смеси содержание в отработавших газах несгоревших углеводородов и оксида углерода при достижении некоторого порогового значения добавки (в экспериментах 5 % от общей массы топлива) достигает наименьших значений и при больших добавках остается практически неизменным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-48-340014.

Литература

1. Корнеев Н.В., Смоленская Н.М. Экспериментальное исследование процесса сгорания бензовоздушной смеси с добавками водорода // *Машиностроитель*. 2015. № 6. С. 2–7.

2. Фомин В.М., Каменев В.Ф., Хрипач Н.А. Автомобильный двигатель, работающий на смешанном топливе бензин-водород // АГЗК + Альтернативные топлива. 2006. № 1. С. 72–77.

3. Бризицкий О.Ф., Терентьев В.Я., Христолюбов А.П. и др. Разработка компактных устройств для получения синтез-газа из углеводородного топлива на борту автомобиля в целях повышения топливной экономичности и улучшения экологических характеристик автомобилей // Альтернативная энергетика и экология. 2004. № 11. С. 17–23.

4. Певнев Н.Г., Кириллов В.А., Бризицкий О.Ф., Бурицев В.А. Перспективы использования газобаллонных автомобилей с бортовым генератором синтез-газа // Транспорт на альтернативном топливе. 2010. № 3 (15). С. 40–45.

5. Хрипач Н.А. Синтез-газ — новое альтернативное топливо для транспортных двигателей // АГЗК + Альтернативное топливо. 2003. № 5. С. 54–56.

6. Газовые топлива и их компоненты. Свойства, получение, применение, экология: справочник / В.Н. Бакулин, Е.М. Брешенко, Н.Ф. Дубовкин, О.Н. Фаворский. М. : Издательский дом МЭИ, 2009. 614 с.

7. Злотин Г.Н. Федянов Е.А. Начальный очаг горения при искровом зажигании гомогенных топливовоздушных смесей в замкнутых объемах Волгоград : ВолгГТУ, 2008. 152 с.

8. Федянов Е.А., Левин Ю.В., Шумский С.Н. Использование фазированной подачи малых добавок водорода для улучшения показателей роторного двигателя Ванкеля // Двигателестроение. 2020. № 2. С. 9–12.

НОВОСТИ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

НА КОЛОМЕНСКОМ ЗАВОДЕ НАЧАЛАСЬ АТТЕСТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА НОВОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ УЧАСТКЕ ЦЕХА ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ

08.09.2020

На Коломенском заводе на реконструированном участке в цехе топливных систем (ЦТС) установлен комплекс из девяти новых стендов для испытаний компонентов топливной аппаратуры дизельных двигателей. Внедрение современного оборудования на испытательном участке в цехе топливных систем проводится в соответствии с планом технического развития предприятия. В настоящее время проводятся пуско-наладочные работы и аттестация стендов.

Комплекс испытательных стендов предназначен для обкаточных, регулировочных операций, позволяет проверять пропускную способность форсунок, герметичность нагнетательных клапанов, гидроплотность распылителей, проводить испытания плунжерных пар. В эксплуатацию уже введен стенд для обкатки топливных насосов и форсунок.

Топливная аппаратура является ключевым компонентом дизеля, от которого зависят расход топлива, экологичность и работоспособность. Это наиболее подверженная воздействию внешней среды система двигателя. Каждый узел топливной аппаратуры перед установкой на дизельный двигатель проходит комплекс определенных технической документацией испытаний. Новые стенды позволяют решить сразу несколько важных для производства



задач: исключить человеческий фактор и возможные неточности при проведении замеров, повысить качество измерений. При работе на новых стендах все данные проверяемой на них продукции сохраняются в памяти компьютера, что позволяет контролировать все этапы испытаний детали.

Трансмашхолдинг уделяет большое внимание инвестициям в техническое перевооружение своих предприятий, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Реализация перспективного плана технического развития Коломенского завода рассчитана на период с 2018 по 2022 год. Общий объем инвестпрограммы составляет около 12 млрд рублей, на исполнение платежей для осуществления намеченных в 2020 году мероприятий заложено более 3 млрд рублей.

www.kolomnadiesel.com