

Краткий научно-технический отчет по проекту

«Моделирование, экспериментальное исследование и оптимизация рабочих процессов в перспективных газопоршневых двигателях при работе на попутном нефтяном газе»

этап 2017 г.

Руководитель д.т.н., профессор В.А. Марков

1 Физико-технические основы использования попутного нефтяного газа

Проблема утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) – одна из наиболее актуальных и острых для нашей страны, т.к. Россия занимает ведущие позиции в мире по объемами сжигания ПНГ. При добыче нефти в процессе сепарации образуется большой объем растворенных в ней попутных углеводородных газов, выход которых (газовый фактор) может превышать 100 м^3 на тонну добытой нефти. Они представляют собой смесь газообразных углеводородов различного молекулярного веса, в том числе и тяжелых. Эти попутные газы, обладая высоким энергосодержанием, являются ценным энергетическим сырьем, но они практически не используются для производства тепла и электроэнергии для собственных нужд промыслов и прилегающих регионов и до сих пор сжигаются в факелах в районах нефте- и газодобычи, а для получения электроэнергии в данных местах используется привозное топливо, главным образом дизельное топливо, что связано с большими затратами. При этом, прямое использование ПНГ во многих типах современных энергоустановок, в частности, в поршневых двигателях внутреннего сгорания, затруднено из-за нестабильности их состава и сложностей адаптации двигателей к работе на этих топливах. Для анализа возможностей использования ПНГ в качестве моторного топлива для дизелей необходимо оценить их физико-химические и моторные свойства.

Физико-химические и термодинамические свойства углеводородных газов, входящих в состав ПНГ, должны учитываться при организации рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания, работающего на этом виде моторного топлива. Следует отметить, что возможны различные подходы к организации рабочего процесса сжигания газовых топлив в ДВС. Попутный нефтяной газ целесообразно сжигать в дизельных двигателях, отличающихся высокими степенями сжатия (16-18 единиц против 7-8 единиц у бензиновых двигателей), высокими коэффициентами избытка воздуха (1,5-1,7 единиц против 1,0-1,05 единиц у бензиновых двигателей) и меньшей чувствительностью к свойствам топлива. Однако, в этом случае возникает проблема обеспечения надежного воспламенения низкоцетановых компонентов попутного нефтяного газа. При оценке воспламеняемости попутного нефтяного газа в условиях камеры сгорания (КС) дизеля наибольший интерес представляет исследование влияния вида топлива (его физико-химических свойств) на период задержки воспламенения. Известно ряд формул для определения периода задержки воспламенения, основанные на фундаментальных теориях цепных реакций, в частности на уравнении Н.Н. Семенова. При организации процесса сгорания попутного нефтяного газа в цилиндрах дизеля необходимо решить проблему его воспламенения, поскольку ПНГ имеют цетановые числа, как правило, изменяющиеся в диапазоне от 5 до 15 единиц (в зависимости от их состава), рис. 3. Эти значения цетанового числа существенно ниже, чем у других топлив, которые могут быть использованы в дизелях. Поэтому при организации рабочего процесса дизеля, работающего на ПНГ, необходима реализация различных методов воспламенения низкоцетановых попутных газов. Для этих целей используются увеличение степени сжатия, повышение давления наддува, установка подогревателей воздуха на впуске,

теплоизоляция деталей КС и др. При этом, наиболее распространенными способами воспламенения является воспламенение ПНГ от запальной дозы нефтяного дизельного топлива, от свечи зажигания, использование присадок к топливу.

Двигатели, работающие на газообразных топливах, отличаются большим разнообразием способов организации рабочих процессов и конструкций, но их можно классифицировать по типу применяемого газового топлива, особенностям организации процессов смесеобразования, воспламенения и сгорания, а также по принципу регулирования этих двигателей. Одним из основных признаков классификации газовых двигателей является тип организации воспламенения газообразного топлива. Газовые двигатели обычно разрабатываются на базе серийно выпускаемых ДВС, работающих на жидком топливе. При этом сжигание газовых топлив возможно как в двигателях с принудительным воспламенением (бензиновых двигателях), так и в двигателях с воспламенением от сжатия (дизелях). Как отмечено выше, попутный нефтяной газ целесообразно сжигать в дизельных двигателях, отличающихся высокими степенями сжатия и коэффициентами избытка воздуха. Воспламенение этого низкоцетанового топлива наиболее эффективно за счет запальной дозы нефтяного дизельного топлива. При этом струи распыляемого дизельного топлива охватывают практически весь объем КС, что создает предпосылки для надежного многоочагового воспламенения рабочей смеси и ее сгорания с приемлемыми показателями динамики цикла. Такая организация газодизельного цикла выгодно отличается от чисто газового цикла с воспламенением рабочей смеси от свечи зажигания. В последнем случае источник воспламенения локализован, и требуется большая энергия разряда свечи. Это повышает жесткость сгорания рабочей смеси и снижает срок службы свечей зажигания. И энергетика такого воспламенения рабочей смеси существенно ниже, чем при организации газодизельного цикла. Газодизельный двигатель может работать в существенно более широком диапазоне изменения коэффициента избытка воздуха, чем газовый двигатель с воспламенением рабочей смеси от свечи зажигания.

2 Использование генераторного газа в газопоршневых энергоустановках

К преимуществам использования газообразных топлив в поршневых двигателях внутреннего сгорания, в частности в дизелях, следует отнести лучшее качество процесса смесеобразования, поскольку газообразное топливо и окислитель (кислород воздуха) находятся в одном агрегатном состоянии. Такое улучшение качества процесса смесеобразования позволяет увеличить полноту сгорания топлива и, как следствие, улучшить показатели топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ). Применение газообразного топлива исключает попадание жидкого топлива на стенки камеры сгорания и разжижение моторного масла. В результате улучшаются условия смазки деталей двигателя, увеличиваются срок их службы и периодичность смены моторного масла.

В последнее время в связи с развитием средств малой распределенной энергетики возрос интерес к автономным энергетическим установкам, использующим газопоршневой

двигатель в качестве привода электрогенератора. Такие установки имеют ряд несомненных достоинств: относительно низкие удельные капитальные затраты, короткие сроки монтажа, быстрый запуск, простота обслуживания, высокий КПД на режимах с частичной нагрузкой, мобильность. Наибольшей топливной экономичностью отличаются энергетические установки, оснащенные теплообменными агрегатами для утилизации тепла (мини-ТЭЦ), которые появились еще в начале XX века. Отдельным направлением указанной технологии получения электроэнергии и тепла является использование в качестве моторного топлива газообразных продуктов термохимической конверсии биомассы (торфа, древесных, сельскохозяйственных отходов, а также органического мусора).

Был проведен анализ свойств генераторного газа, получаемого из органических возобновляемых энергетических ресурсов (ВЭР), и его компонентов как моторного топлива, а также проведено сопоставление физико-химических свойств наиболее распространенных газообразных топлив. Рассмотрены природный газ (метан), биогаз, генераторный газ и попутный нефтяной газ. Генераторный газ – один из немногих видов моторного топлива, который может быть получен из возобновляемого сырья с относительно небольшими затратами на производство, так как технология его получения достаточно проста, а сырьем являются, как правило, неиспользуемые растительные ресурсы. Генераторный газ может производиться на небольших компактных транспортабельных установках (газогенераторах), совмещенных с самим двигателем, в связи с чем отпадает необходимость емкостей для хранения газа. Установки большой мощности могут быть модульного типа, что позволяет сократить трудоемкость, время монтажа и запуска газогенераторных энергокомплексов. В России на рынке газогенераторного оборудования работает ряд отечественных организаций; также представлены и зарубежные компании. Объемное энергосодержание смеси "генераторный газ–воздух" на 20–45 % ниже, чем у смесей с воздухом других газомоторных топлив (природный газ, пропан), что приводит к снижению мощностных показателей двигателя.

В отличие от других видов топлив, особенно ископаемых, в продуктах сгорания генераторного газа почти полностью отсутствует сера и другие вредные для окружающей среды химические элементы и соединения. Токсичность отработавших газов ДВС в этом случае не превышает действующих норм без применения систем нейтрализации. Сам же генераторный газ токсичен вследствие наличия в его составе монооксида углерода, токсичны и отходы, образующиеся при работе газогенератора.

Заключение

Сжигание попутного нефтяного газа в газодизельных двигателях позволит значительно повысить эффективность процесса добычи нефти, сократить расходы по утилизации ПНГ, снизить стоимость добываемой нефти, улучшить экологическую обстановку в местах добычи и переработки нефти [1, 2]. Представленный обзор физико-химических и моторных свойств попутного нефтяного газа, а также возможностей его использования в качестве моторного топлива для дизелей позволит более обоснованно подойти к выбору типа и параметров рабочего процесса двигателя, работающего на ПНГ.

Одним из важных свойств генераторного газа является высокая детонационная стойкость (способность топлива противостоять самовоспламенению при сжатии), так как его октановое число (показатель, характеризующий детонационную стойкость топлива) находится в диапазоне от 110 до 140 (для сравнения: у бензина – 91–98 (ОЧИ); у природного газа – 100–110). Это позволяет компенсировать падение мощности газового двигателя за счет турбо-наддува, повышения степени сжатия или использования цикла газодизеля. Тепловые потери в газогенераторе могут утилизироваться в системе комплексной утилизации теплоты, отведенной от двигателя (когенерация), и увеличить общую эффективность энергогенерирующей установки.

Список использованных источников

1 Марков В.А., Чирков А.Ю., Зайченко В.М., Цыплаков А.И. Физико-химические и моторные свойства попутного нефтяного газа и возможности его использования в качестве моторного топлива для дизелей // АГЗК+АТ. 2017. Т. 16. № 8. С. 339–353.

2 Марков В.А., Чирков А.Ю., Зайченко В.М., Цыплаков А.И., Директор Л.Б. Использование генераторного газа из биомассы в газопоршневых энергоустановках // АГЗК+АТ. 2017. Т. 16. № 10. С. 452–463.