

УДК 621.436

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

Руководитель НИР,  
д.т.н., профессор

В.А. Марков

Москва 2019 г.

**Аннотация.** Работа направлена на разработку эффективных газопоршневых энергоустановок, работающих на газообразных топливах. Рассмотрены особенности работы дизельных двигателей, адаптированных к работе на природном газе и попутном нефтяном газе. Разработана дизель-генераторная установка, работающая на попутном нефтяном газе, и проведены экспериментальные исследования ее режимов работы. Подтверждена возможность эффективной.

Дизельные двигатели давно стали основным типом двигателей в диапазоне агрегатных мощностей от 200 до 80000 кВт. Существенным сырьевым ресурсом для получения моторного топлива для дизелей являются попутные нефтяные газы (ПНГ).

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. 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.

Для обеспечения наибольшей эффективности рабочего процесса дизеля, работающего на попутном нефтяном газе, необходимо, в первую очередь, обеспечить эффективное воспламенение этого газа в условиях камеры сгорания дизельного двигателя. Для этой цели рекомендовано использовать запальную дозу нефтяного дизельного топлива, от которой организуется воспламенение основного топлива – попутного нефтяного газа.

Физико-химические и моторные свойства попутного нефтяного газа определяются соответствующими свойствами углеводородов, входящих в его состав. В диапазоне температур и давлений, характерных для рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания, физико-химические и термодинамические свойства углеводородных газов отличаются от свойств идеального газа. 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.

Ведущие зарубежные производители газовых двигателей имеют в своей номенклатуре продукции модели, использующие низкокалорийные газы. Немногочисленные отечественные организации (в основном, моторостроительные заводы и небольшие частные предприятия), выпускающие в настоящее время конвертированные из дизелей транспортного типа газовые двигатели, также предусматривают использование низкокалорийного газового топлива.

В существующих конструкциях газовых двигателей адаптация к применению низкокалорийного газа заключается в основном в увеличении давления наддува (применение более производительного турбокомпрессора); использовании специального газосмесителя (для конкретного состава газа); использовании систем электронного регулирования состава смеси, давления наддува, частоты вращения двигателя, параметров системы зажигания (для динамичной и точной адаптации электроагрегата к нагрузке и составу газа).

С целью решения рассмотренных проблем использования ПНГ в качестве моторного топлива была разработана система топливоподачи и регулирования газодизеля, работающего на различных газомоторных топливах, включая природный газ и ПНГ. Этот газодизель может работать в составе различных энергетических установок на газомоторном топливе с запальной дозой нефтяного дизельного топлива. Разработанная система топливоподачи и регулирования газодизеля позволяет обеспечить работу дизеля как в чисто дизельном цикле (работу на жидком нефтяном дизельном топливе), так и работу в газодизельном цикле (на природном газе, на ПНГ, на других видах газомоторного топлива с запальной дозой нефтяного ДТ). Эта система топливоподачи и регулирования газодизеля может найти широкое применение в таких отраслях промышленности, как транспортное и сельскохозяйственное двигателестроение, судостроение, малая энергетика и др. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили ее работоспособность и эффективность в условиях реальной эксплуатации дизель-генераторной установки на природном газе и попутном нефтяном газе.

В процессе экспериментальных исследований дизеля исследована его работы как в чисто дизельном цикле (работа только на нефтяном дизельном топливе), так и в газодизельном цикле. При этом, как отмечено выше, состав ПНГ может изменяться в достаточно широких пределах. Основным компонентом попутных нефтяных газов отечественных месторождений является метан, содержание которого может достигать 92-93% (по объему). Как показано в первой главе отчета суммарное содержание пропана и бутана в ПНГ этих месторождений может достигать до 25-26% (об.). В связи с этим, при испытаниях исследованы три состава газообразного топлива, моделирующие состав реальных попутных газов. В качестве газообразных топлив использовался природный газ (ПНГ № 1), а также его смеси с пропан-бутановыми смесями с объемным содержанием последних, равным 15 и 30% (ПНГ № 2 и № 3). По эффективности процесса сгорания дизельный и газодизельный циклы дизеля близки друг к другу. При этом на режимах с полной нагрузкой отмечены несколько большие значения эффективного КПД при реализации газодизельного цикла, т.е. газодизельный цикл более эффективен. На режимах с неполной нагрузкой, напротив, более эффективным становится дизельный цикл – в этом

случае отмечены несколько большие значения КПД. Также отмечена тенденция к снижению КПД при переходе от ПНГ № 1 к ПНГ № 2 и 3.

### **Заключение**

1. Показаны преимущества использования газообразных топлив в двигателях внутреннего сгорания. Проведен анализ физико-химических и моторных свойств попутного нефтяного газа и возможностей его использования в качестве моторного топлива для двигателей внутреннего сгорания.

2. Рассмотрены газопоршневые энергоустановки, работающие на газообразных топливах. Показана необходимость адаптации двигателя внутреннего сгорания к работе на попутном нефтяном газе.

3. Рассмотрены особенности работы дизельных двигателей, адаптированных к работе на природном газе. Разработана дизель-генераторная установка, работающая на попутном нефтяном газе.

4. Проведены экспериментальные исследования дизель-генераторной установки, работающей на попутном нефтяном газе. Подтверждена возможность эффективной работы этой установки на попутном нефтяном газе.

5. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность разработанной системы топливоподачи и регулирования газодизеля, позволили определить ее основные параметры и выявили возможность заметного улучшения параметров токсичности ОГ (в первую очередь – дымности ОГ) при реализации газодизельного процесса с подачей исследуемых газообразных топлив. Отмечена также тенденция меньшего содержания основного газообразного токсичного компонента ОГ – оксидов азота в ОГ в газодизельном цикле по сравнению с дизельным циклом.

6. При сгорании ПНГ отмечено увеличение эмиссии двух других токсичных компонентов ОГ – монооксида углерода СО и легких несгоревших углеводородов СН<sub>x</sub>. При этом токсикологическая значимость монооксида углерода СО, оксидов азота NO<sub>x</sub>, несгоревших углеводородов СН<sub>x</sub> и сажи (твердых частиц) оценивается как отношение 1:41,1:3,16:200.