



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН ИГНГ РАН

Э.С. Закиров

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем нефти и газа» Российской академии наук на диссертационную работу Тчаро Яны Алексеевны «Методика обоснования характеристик насосно-эжекторных систем для нагнетания в пласт водогазовых смесей с использованием выхлопных газов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки).**

**Актуальность темы.** В настоящее время существует повышенный интерес к использованию газов горения (выхлопных, дымовых газов) от различных источников для последующего нагнетания в продуктивные пласты с целью повышения нефтеотдачи и соответствия нефтегазового сектора концепциям экологически устойчивого развития.

В качестве источников газов горения могут выступать электрогенерирующие установки, как имеющиеся на самих объектах нефтегазодобычи, так и расположенные в непосредственной близости к ним, а также другие промышленные объекты.

Насосно-эжекторные системы (НЭС) являются одним из самых экономически доступных технических решений для создания водогазовых смесей и реализации перспективного метода увеличения нефтеотдачи – водогазового воздействия. Однако в ряде существующих работ по исследованию характеристик жидкостно-газовых эжекторов (ЖГЭ) не приводятся результаты инъекции пассивного потока газов горения от прямого источника.

В связи с этим актуально исследование влияния выхлопных газов на напорно-энергетические характеристики НЭС.

**Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.** Научная новизна исследований и полученных результатов заключается в том, что автором разработана методика экспериментальных работ, в соответствии с которой построен стенд НЭС, позволяющий проводить исследования характеристик жидкостно-газовых эжекторов при инъекции выхлопных газов непосредственно от двигателя внутреннего сгорания (ДВС), впервые проведены исследования напорно-энергетических характеристик ЖГЭ с инъекцией выхлопных газов, получен прирост в значениях максимального коэффициента полезного действия эжектора и оптимального коэффициента инъекции при использовании в качестве инжектируемой среды выхлопных

газов по сравнению с воздухом при прочих равных условиях температуры и давления.

В завершении работы разработана технологическая схема для утилизации выхлопных газов путем создания водогазовой смеси для закачки в пласт, включающая в себя параллельно установленные ЖГЭ и дожимные мультифазные насосные установки, обоснованы параметры технологических схем НЭС для создания водогазовых смесей при различном расходе выхлопных газов в условиях Арктического региона.

**Общая характеристика работы.** Работа состоит из 5 глав, введения, заключения и библиографического списка. Общий объем работы составляет 175 страниц текста, в том числе 29 таблиц, 52 рисунка. Библиографический список состоит из 234 наименований.

В первой главе проведен анализ применения технологии водогазового воздействия, использования газов горения для извлечения нефти, а также особенностей существующих исследований струйный аппаратов.

Во второй главе автор представляет исследования возможности применения НЭС при изменяющемся расходе инжектируемого газа, приведены результаты данных исследований, даны рекомендации по адаптации работы системы.

В третьей главе приведены разработанная схема стенда НЭС с подключенным реальным источником выхлопных газов – бензиновым ДВС, а также принцип его работы, методика проведения исследования по получению напорно-энергетических характеристик ЖГЭ при инжекции выхлопных газов от ДВС и методика определения вещественного состава выхлопных газов с помощью газоанализатора.

Четвертая глава посвящена систематизации и сравнению результатов проведенных экспериментальных исследований напорно-энергетических характеристик при инжекции воздуха и выхлопных газов, в том числе по влиянию длины камеры смешения на работу эжектора, также освещены результаты вещественного состава используемого выхлопного газа.

В пятой главе представлены технологические решения для применения водогазового воздействия с использованием выхлопных газов на месторождениях Арктического региона. Определены параметры технологической схемы НЭС при высоких расходах выхлопных газов для условий, характерных для участка N Ванкорского месторождения, а также для низких расходов - для установки небольшой мощности с газовой турбиной.

В заключении автор кратко приводит итоги выполненного исследования.

Таким образом, диссертационная работа Тчаро Яны Алексеевны является законченным исследованием, оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к диссертации и автореферату диссертации. Принципиальных замечаний по структуре и оформлению диссертации и автореферата не возникло.

### **Значимость для науки и практики полученных результатов.**

Научная и теоретическая значимость заключается в возможности адаптации разработанной методики и стенда НЭС для проведения исследований по обоснованию опытно-промышленных работ для закачки водогазовых смесей при инъекции выхлопных газов от различных промышленных источников, а также разработки промышленных схем для внедрения технологии водогазового воздействия. Также полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для верификации расчетных моделей работы эжектора с применением газов горения.

**Достоверность.** Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, обеспечена большим объемом экспериментальных исследований, использованием общепринятых методик, сформулированных в трудах российских и зарубежных ученых по исследованию и расчету напорно-энергетических характеристик жидкостно-газовых эжекторов, расчету погрешностей измерений.

Диссертация полностью соответствует пунктам 5-7 паспорта специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

**Публикации по результатам диссертации.** По теме диссертационной работы автором опубликовано 20 работ, из которых за последние 5 лет: всего 18 публикаций, в том числе 3 публикации в журналах, индексируемых ВАК, 7 публикаций в журналах, индексируемых в международных базах цитирования (WoS, Scopus), 6 публикаций в иных научных журналах и периодических сборниках, материалах и трудах международных, всероссийских и региональных научно-технических конференций, получен 1 патент на изобретение.

Диссертация изложена грамотным техническим языком и логически выстроена. Каждая глава завершается выводами.

Автореферат и опубликованные работы соответствуют содержанию диссертации.

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.**

Разработанный стенд, результаты экспериментальных исследований, полученные соискателем в ходе выполнения диссертационной работы, а также предложенные технологические схемы насосно-эжекторных систем для условий месторождений Арктического региона могут быть использованы нефтегазодобывающими компаниями при проектировании внедрения и реализации водогазового воздействия с использованием газов горения.

### **Замечания по работе.**

1. Автором в диссертации не приведены данные лабораторных испытаний работы насосно-эжекторной системы при давлениях существенно выше атмосферного, что отличает потоки выхлопных газов маломощного стендового ДВС от промышленных установок и могло бы подтвердить выводы теории подобия. Данное исследование позволило бы определить

влияние давления на характеристики эжектора при инъекции выхлопных газов от реального источника, создающего избыточное давление.

2. На практике выхлопные газы, выделяющиеся от факельного сжигания ПНГ, газотурбинных и газопоршневых установок имеют высокие температуры порядка 450 °С. Отмечаем, что в работе не проводились опыты с учетом использования высокотемпературных выхлопных газов в качестве инжектируемой среды, что позволило бы получить результаты работы эжектора в условиях, приближенных к полевым.

3. В работе установлено, что при инъекции выхлопных газов, содержащих 10,9% СО и 4,8% СО<sub>2</sub>, максимальный коэффициент полезного действия эжектора увеличивается на 2-5%, а оптимальный коэффициент инъекции на 2-12% по сравнению с полученными при инъекции воздуха значениями. Однако, не проведено исследование влияния на работу системы различных соотношений монооксида углерода и углекислого газа в составе выхлопных газов различных промышленных источников, использующих различное топливо.

4. В работе не хватает экономической оценки капитальных и эксплуатационных затрат с учетом транспортировки выхлопных газов, используемых для создания водогазовых смесей, до места установки насосно-эжекторной системы.

5. В работе не приведены характеристики устойчивости водогазовой эмульсии, получающейся при эжектировании на различных режимах, что приводит к высокой неопределенности в оценках воздействия получающейся водогазовой смеси на пластовый флюид.

6. С учетом замечаний 1-3, актуальным направлением дальнейших исследований является создание расчетной модели эжектора при использовании газов горения. Такая модель, после верификации по выполненным лабораторным экспериментам, позволила бы оценить влияние различных параметров на характеристики работы эжектора.

Тем не менее, вышесказанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Тчаро Я.А.

**Заключение.** Диссертационное исследование Тчаро Яны Алексеевны «Методика обоснования характеристик насосно-эжекторных систем для нагнетания в пласт водогазовых смесей с использованием выхлопных газов» является оригинальной законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение актуальной научной задачи исследования характеристик насосно-эжекторной системы при закачке водогазовой смеси с использованием выхлопных газов в качестве инжектируемой среды, имеющей важное значение для уточнения работы струйных аппаратов и методик их расчета в процессах добычи углеводородов и декарбонизации нефтегазовой отрасли. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук,

согласно п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Тчаро Яна Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Диссертационная работа Тчаро Я.А. и данный отзыв прошли обсуждение на расширенном заседании лаборатории трудноизвлекаемых запасов углеводородов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук 28.11.2024 г. Присутствовало докторов наук – 3 чел., кандидатов наук – 7 чел.

С.н.с. лаборатории  
трудноизвлекаемых запасов углеводородов,  
к.ф.-м.н. Сурначев Дмитрий Владимирович



Заведующий лабораторией  
трудноизвлекаемых запасов углеводородов,  
к.г.-м.н. Большаков Михаил Николаевич



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем нефти и газа Российской академии наук

Адрес: 119333, г. Москва, ул. Губкина, д.3

тел.: +7 (499) 135-73-71

e-mail: director@ipng.ru



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации	
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки	
Институт проблем нефти и газа Российской академии наук	
Подпись	<u>Сурначев Д.В.</u>
	<u>Большаков М.Н.</u> заверяю
Начальник организационно-методического отдела	<u>Д.В. Сурначев</u>
тел.: +7 499 135 72 63	дата <u>09.12.2024</u>