

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D070800-Нефтегазовое дело
Бакешевой Айгуль Темербековны

«Устранение утечки газа из микротрещин газопровода без прекращения перекачки газа»

Для Казахстана транзитный газовый потенциал имеет важное стратегическое, геополитическое и экономическое значение. Поэтому развитие транзитных мощностей газотранспортной магистрали проходящей по территории Республики Казахстан является приоритетным в деятельности газовых компаний в целях обеспечения всевозрастающих объемов международного транзита природного газа и более эффективного использования имеющихся активов трубопроводной системы.

Концепция развития газового сектора Республики Казахстан до 2030 года определяет видение и основные подходы к поэтапному реформированию и комплексному развитию газового сектора Республики Казахстан.

Для обеспечения бесперебойной поставки газа до потребителей и увеличения экономических показателей национальные операторы по магистральному газопроводу уделяют особое внимание возможным рискам при транспортировке. Основными рисками при перекачке газа являются отказы магистральных газопроводов, которые приводят к полному или частичному прекращению перекачки, нарушают нормальную работу всей газотранспортной системы, а также могут стать причиной аварий, сопровождающихся пожарами, взрывами и выбросами вредных веществ в окружающую среду и к человеческим жертвам.

Причины отказов магистральных газопроводов могут быть различные: механические воздействия при производстве земляных работ, вследствие отступления от правил безопасности и порядка производства работ; коррозионное разрушение металла труб в результате нарушений во время строительства и/или недостаточном контроле технического состояния; разрыв стыков и раскрытие швов трубопроводов из-за некачественного проведения строительно-монтажных работ. Наиболее сложным случаем являются утечки из подземных газопроводов, так как фильтрация газа в грунте, его распространение от места утечки и накапливание в подземных пустотах определяются большим количеством факторов.

Для предотвращения аварийных ситуаций и поддержания газотранспортной системы в работоспособном состоянии поставщики газа выделяют значительные ресурсы и проводят ряд мероприятий по предупреждению и снижению аварийности магистральных газопроводов: своевременную инспекцию текущего состояния газопроводов; определение величины потерь природного газа и ликвидацию дефектов.

В последние годы объем капитального ремонта линейной части

магистральных газопроводов значительно увеличился.

Основными условиями для широкого использования того или иного метода ремонта являются:

- обеспечение необходимого уровня эксплуатационной надежности участка после ремонта;
- минимальные трудозатраты на его выполнение;
- минимальная общая стоимость ремонтных работ.

На сегодняшний день наибольший интерес представляют внутритрубные способы устранения повреждений на газопроводах без остановки перекачки газа.

В диссертационной работе представлено запатентованное устройство для внутритрубного ремонта газопроводов. С помощью разработанного устройства можно устранять дефекты без остановки перекачки продукта, что позволяет сократить время ремонтных работ, значительно снижает трудоемкость, стоимость ремонта, повышает безопасность ремонта за счет исключения сварочных работ на поверхности действующего трубопровода и в первую очередь обеспечивает бесперебойную поставку газа до потребителей.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них. В процессе выполнения работы проводился анализ литературных источников и патентных исследований по проблеме устранения утечек газа на газопроводах без прекращения перекачки газа, выбор современных методик исследований, программ и методов определения объёмов утечек газа в нестационарных условиях.

В диссертационной работе приведены результаты научного анализа современного состояния научно-технической проблемы и исследований по прогнозированию дальнейших направлений научных разработок в области устранения утечек газа на магистральных газопроводах, процессов редуцирования природного газа с целью моделирования утечек из подземных газопроводов и определение их величин в нестационарных условиях. Новизна принятого технического решения подтверждена патентом РК и соответствует современному уровню научных исследований.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением математической модели, основанной на пропорционально-интегральном законе регулирования газодинамических параметров для моделирования утечек газа из газопроводов.

Лабораторные исследования в работе проводились на базе кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургского Горного университета. Для получения опытных данных была использована экспериментальная установка, которая позволяет моделировать утечки газа из трубопровода с нестационарным режимом течения, а также определять их величину с помощью объёмного детандера. Метрологические измерения выполнялись на поверенных контрольно-измерительных приборах.

Общая характеристика диссертационного исследования.

Настоящая диссертация посвящена созданию устройства для внутритрубного ремонта магистральных газопроводов без остановки транспортировки газа.

Актуальность работы.

Магистральный транспорт газа занимает ведущую роль в структуре топливно-энергетического комплекса страны. Обеспечение промышленной и пожарной безопасности магистральных газопроводов является важной задачей газовых компаний.

Как показывает практика, одной из главных проблем эксплуатации объектов газотранспортной системы являются дефекты, через которые теряются значительные объемы газа.

Результатами утечек природного газа могут стать: загрязнение окружающей среды, повреждения зданий и сооружений, травмы и смерть людей из-за горения или взрыва газозоудушной смеси, недопоставки газа потребителям и штрафные санкции.

Для обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации магистральных газопроводов необходимо решение задач своевременного обнаружения, ликвидации утечек и определения величины потерь природного газа.

В соответствии с приказом генерального директора АО «КазТрансГаз» от 25 августа 2015 года №209 был утверждён стратегический план «100 шагов в сфере газа и газоснабжения», в котором 57 шагом является «Применение новых технологий для снижения утечек газа», а также с официальным письмом, направленным в Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К.И.Сатпаева от 27.06.2016г. №0662-1567 руководство АО «КазТрансГаз» обратилось с просьбой о разработке новых технологий по устранению утечек газа через микротрещины без прекращения перекачки газа, одной из главных задач системы газоснабжения является необходимость в разработке и внедрении новых технических средств, которые позволят продлить срок службы трубопроводной системы и обеспечат бесперебойную поставку газа до потребителей, что подтверждает актуальность данной темы диссертационной работы.

Цель диссертационной работы.

Целью работы является разработка устройства для внутритрубного ремонта магистральных газопроводов без прекращения перекачки газа.

В рамках настоящего исследования были поставлены и решены следующие задачи:

- выполнить анализ основных факторов, влияющих на техническое состояние длительно эксплуатирующихся магистральных газопроводов;
- выполнить анализ современного состояния теории, практики, патентных материалов в области ликвидации утечек газа на газопроводах;
- выполнить экспериментальные исследования процессов редуцирования природного газа с целью моделирования утечек из подземных газопроводов и

определение их величин в нестационарных условиях с помощью детандера объемного типа;

- разработать устройство для внутритрубного ремонта магистральных газопроводов без прекращения перекачки газа;
- провести анализ экономической эффективности применения методов внутритрубного ремонта газопроводов без остановки транспортировки газа.

Методы решения задач

Решение поставленных задач осуществлялось путем проведения теоретических, экспериментальных и численных исследований, анализа результатов с помощью программного обеспечения, анализа экономической эффективности применяемых методов.

Новизна диссертационной работы:

- предложена математическая модель, основанная на пропорционально-интегральном законе регулирования газодинамических параметров для моделирования утечек газа из газопроводов;
- получены зависимости величины утечек газа от давления в месте образования дефекта внутри и снаружи газопровода, которые могут быть применены для определения объёмов утечек газа в нестационарных условиях;
- разработано устройство для внутритрубного ремонта магистральных газопроводов без прекращения перекачки газа.

Положения, выносимые на защиту:

- основные факторы, влияющие на техническое состояние длительно эксплуатирующихся магистральных газопроводов;
- математическая модель, основанная на пропорционально-интегральном законе регулирования газодинамических параметров, позволяющая моделировать утечки газа из трубопровода;
- определение объёмов утечек газа в нестационарных условиях с помощью детандера объемного типа;
- способ и устройство для ликвидации повреждений газопровода без остановки транспортировки газа.

Теоретическая и практическая значимость исследования:

- обосновано применение детандер-генераторной установки для моделирования утечек газа из газопроводов, результаты которого могут быть применены для определения объёмов утечек газа в нестационарных условиях;
- выдан патент РК на разработанное устройство для устранения дефектов на газопроводах без прекращения перекачки газа. Применение данного технического средства позволит значительно сократить финансовые затраты на ремонтно-восстановительные работы и обеспечит бесперебойную поставку газа до потребителей.

Личный вклад автора.

Постановка цели и задач исследований; обзор и анализ литературных источников; поиск и анализ патентов по ремонту газопроводов; проведение теоретических и экспериментальных исследований; обработка и интерпретация полученных результатов; разработка устройства для внутритрубного ремонта газопроводов.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на Международных Сатпаевских чтениях «Научное наследие Шахмардана Есенова» (г.Алматы, 2017г.), Международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке» (г.Санкт-Петербург, 2018г.), Международной конференции Сатпаевские чтения «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК» (г.Алматы, 2019г.), Международной научной конференции «Наука.Исследования.Практика» (г.Санкт-Петербург, 2019г.), IV Международной научно-практической конференции «Членство в ВТО: перспективы научных исследований и международного рынка технологий» (г. Ванкувер, 2019г.).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, 3 из которых в изданиях, утвержденных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан, 2 в научных журналах, входящих в базу данных «Scopus», 5 тезисов-докладов на международных конференциях, 1 патент РК.

Объём и структура диссертации.

Диссертационная работа изложена на 103 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 101 наименования, содержит 50 рисунков, 14 таблиц и приложений.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость, личный вклад соискателя.

В **первом разделе** на базе обработки статистической информации об отказах на отечественных и зарубежных магистральных газопроводах, дан анализ основных факторов, влияющих на их возникновение. В отчетных данных прослеживается тот факт, что наиболее часто встречающимися источниками, провоцирующими возникновение аварийных ситуаций на газопроводах, являются: коррозия, внешние воздействия, дефекты сварных швов, природные воздействия.

Особое внимание уделено трещиноподобным дефектам трубопровода. Это объясняется тем, что микротрещины при слиянии превращаются в более крупные трещины, которые образуют быстрорастущую магистральную трещину. Магистральная трещина приводит к разрушению материала на макроскопическом уровне. В связи с этим срок службы подземных газопроводов под нагрузкой существенно сокращается. На возникновение и развитие микротрещин влияет химический состав грунта, в котором газопровод проложен. В условиях коррозионно-активной среды и под воздействием растягивающих напряжений образуется зарождение роста трещин, которое называется коррозионное растрескивание под напряжением. Такой вид разрушения для подземных магистральных трубопроводов является

опасным, так как процесс эксплуатации происходит без видимых нарушений, но лишь до того момента, пока трещина не достигнет критического размера, за которым следует аварийный разрыв газопровода.

Последствиями таких процессов разрушения стали аварии на газопроводах в Казахстане. Проанализированные акты технического расследования аварий и отказов разрушившихся газопроводов, принадлежащих АО «Интергаз Центральная Азия» на наличие признаков коррозионного растрескивания под напряжением, показали, что в очаговой области разрушения обнаружены хрупкие трещины, раскрытые в процессе развития аварии. Глубина и длина хрупкой составляющей трещины – около половины стенки трубы и более 180 мм соответственно. Расчеты показали, что к развитию обследованного разрушения магистральных газопроводов привело наличие такой трещины. На основании таких показаний было выяснено, что большинство газопроводов Казахстана подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением (рисунок 1).



Рисунок 1 - Проявления коррозионного растрескивания под напряжением на газопроводе

Для решения существующей проблемы, необходимо проводить своевременную диагностику с помощью современных и точно подобранных технологий, что в свою очередь обеспечит бесперебойную и безопасную эксплуатацию трубопроводов на длительный период времени.

Во втором разделе обосновано применение детандера объемного типа для моделирования утечек газа из газопроводов в нестационарных условиях и предложен метод определения величины утечек природного газа из подземных трубопроводов.

Программные способы позволяют вести непрерывный контроль, в реальном времени определять местоположение утечки, а также величину потерь газа из трубопровода. Они предполагают использование систем, анализирующих отклонение полученных с помощью SCADA-систем параметров перекачки от расчетных, полученных путем предварительного математического моделирования течения газа по трубопроводу с использованием статистических данных.

Точность определения местоположения и величины потерь газа зависит от степени упрощения уравнений, используемых в составе модели. Наиболее

популярные алгоритмические методы используют в своем составе упрощенные уравнения движения газа, что позволяет увеличить скорость их численного решения, но пагубно сказывается на точности расчётов, особенно в нестационарных условиях. Использование динамических моделей, использующих общие уравнения движения газа в трубопроводе и его фильтрации при распространении в грунте, могут повысить точность расчётов места утечки и объёмов потерь газа.

Однако, одним из важнейших этапов разработки какой-либо математической модели, является её адаптация на основе экспериментальных данных. В данном разделе представлены результаты экспериментов для адаптации имеющихся зависимостей и моделей для определения объёмов утечек природного газа.

Для получения опытных данных была использована экспериментальная установка, которая позволяет моделировать утечки газа из трубопровода с нестационарным режимом течения, а также определять их величину с помощью объёмного детандера. На её основе были проведены полные факторные эксперименты для двух диапазонов давлений внутри и снаружи трубопровода.

Сбор, визуализация и экспорт данных производился на базе программы SCADA Trace Mode, преобразование данных осуществлялось в Matlab R2017a, регрессионный анализ был проведен с помощью MS Excel.

Дальнейшие преобразования полученных зависимостей проводились на основе программы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica 10.0.

Наиболее популярными методами определения объёмов утечек природного газа являются алгоритмические, основанные на законе сохранения массы или объёма ($V_y = Q_\Phi$) и формуле изменения давления по длине газопровода (рисунок 2), примером которых является решение следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} p_B^2 = p_1^2 - 1,11 \cdot 10^{-3} \left(\frac{0,01}{d} + 2,9 \cdot 10^{-2} \frac{d}{Q_\Phi} \right)^{0,25} \frac{Q_\Phi^2}{d^5} l_\Phi, \\ V_y = 1090 \cdot f \cdot p_B \end{cases}$$

где p_1 и p_B – соответственно давления газа в начале участка газопровода и в месте утечки, МПа; d – внутренний диаметр трубопровода, см; Q_y – поступающий к месту утечки коммерческий расход газа, м³/ч; l_Φ – длина трубопровода от начала участка до места утечки, м; f – площадь отверстия повреждения, см²; 1090 – числовой коэффициент учитывающий приведения используемых величин, скорость распространения звука в среде и коэффициент неравномерности распределения скоростей газа по сечению отверстия.

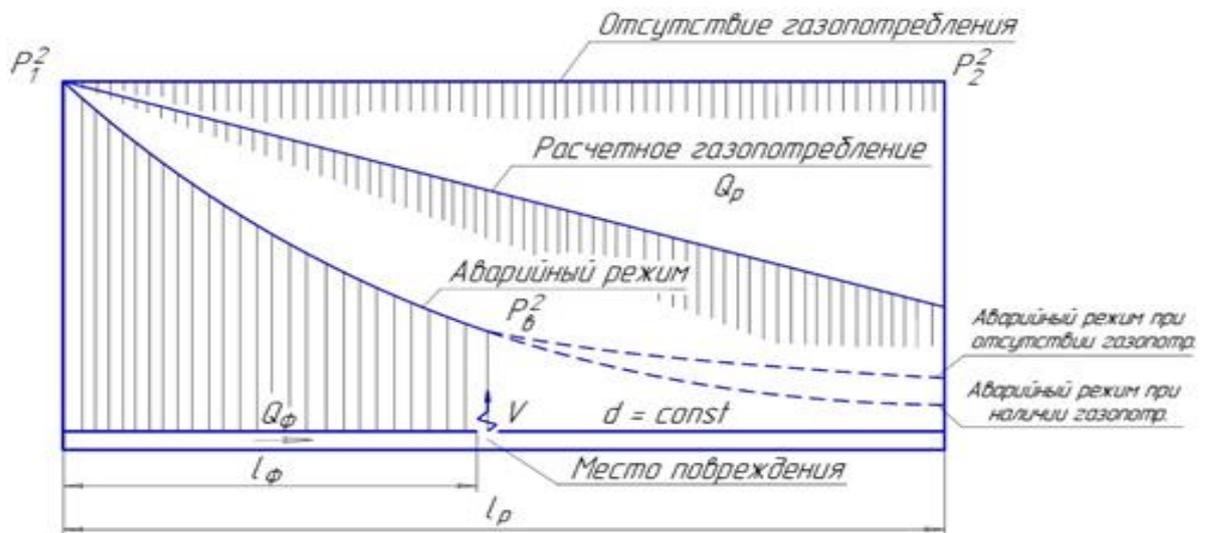
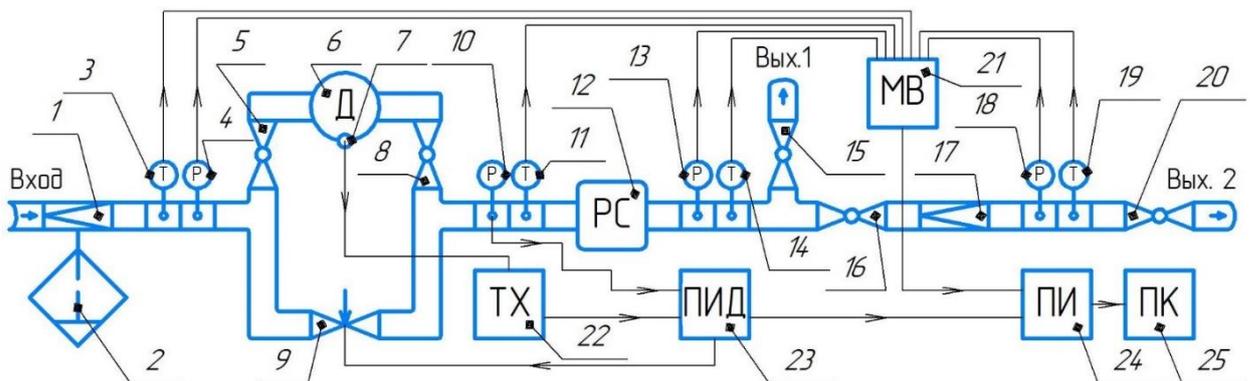


Рисунок 2 – Изменение давления по длине газопровода в случае аварии

Целью данной работы было получение зависимостей величины потерь газа от давлений в месте утечки внутри трубопровода и в среде за ним.

Экспериментальные данные были получены на базе установки, имеющей в своей основе регулируемый детандер объёмного типа.

На рисунке 3 представлена полная схема многофункциональной экспериментальной установки.



- 1 – регулятор давления; 2 – сепаратор; 3, 11, 14, 19 – датчики температуры;
- 4, 10, 13, 18 – датчики давления; 5, 8, 15, 16, 20 – краны;
- 6 – детандер; 7 – датчик частоты; 9 – управляемый регулирующий клапан; 12 – ресивер; 17 – мембранный регулятор давления;
- 21 – модуль ввода сигналов; 22 – тахометр; 23 – ПИ-регулятор;
- 24 – преобразователь интерфейсов; 25 – компьютер

Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

Были проведены полные двухфакторные эксперименты для трехуровневых факторов с учетом эффекта их взаимодействий для двух диапазонов давлений (таблица 1). Так как в условиях фильтрации природный газ находится под давлением, не превышающим 100 кПа, диапазон давлений в среде за трубопроводом p_2 был выбран от 45 до 125 кПа. Диапазон давлений

в месте утечки внутри трубопровода p_1 – исходя из технических ограничений установки.

Таблица 1 – Уровни факторов эксперимента

Фактор	Уровень факторов	
	1	2
p_1 , кПа	300	400
	350	450
	400	500
p_2 , кПа	45	85
	65	105
	85	125

Результатами проведения и обработки полученных данных стали зависимости частоты вращения ротора детандера от давлений внутри и снаружи трубопровода в месте утечки $\omega(p_1, p_2)$, на основании которых с помощью разработанного ранее метода расчёта основных параметров объёмной расширительной машины были получены искомые зависимости величины потерь газа $V(p_1, p_2)$, визуализации которых представлены на рисунках 4, 5.

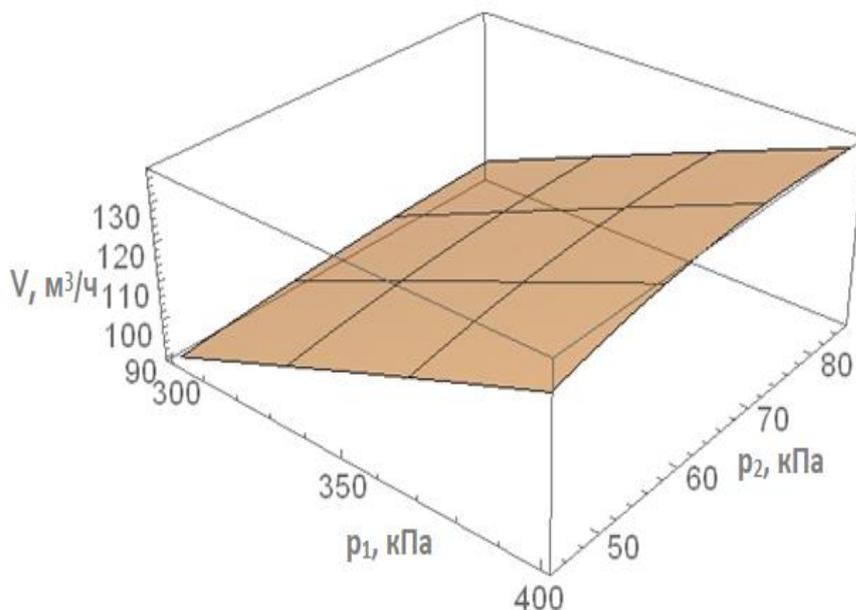


Рисунок 4 – Визуализация зависимости приведённого объёма часовой утечки от давлений в месте утечки из трубопровода и во внешней среде для первого диапазона давлений

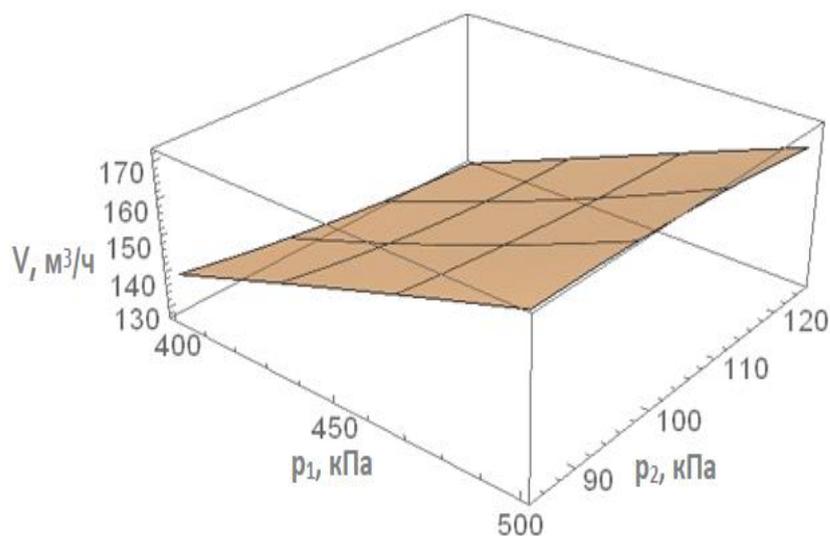


Рисунок 5 – Визуализация зависимости приведённого объёма часовой утечки от давлений в месте утечки из трубопровода и во внешней среде для второго диапазона давлений

Представленные выше зависимости могут быть использованы для определения величины утечек в нестационарных условиях за определенное время t в соответствии со следующим уравнением

$$V_{\text{сум}} = \int_{t_1}^{t_2} V(p_1^t, p_2^t) dt,$$

где p_1^t и p_2^t – соответственно функции изменения давлений внутри трубопровода и в среде фильтрации газа от времени t ; t_1 и t_2 – соответственно моменты времени начала и конца замера.

С помощью экспериментальной установки было проведено моделирование утечек газа из подземного трубопровода. На основании опытных данных были получены зависимости величины утечек от давлений в месте утечки внутри газопровода и в среде снаружи него для двух диапазонов. Зависимости могут быть применены для определения объёмов утечек газа в нестационарных условиях.

В третьем разделе проведён патентный обзор способов и технических средств внутритрубного ремонта повреждений газопроводов без остановки перекачки газа. Разработано внутритрубное устройство по ликвидации дефектов газопровод под давлением газа.

Безаварийная работа и удлинение срока службы магистральных трубопроводов в основном зависят от своевременного и качественно проведенного ремонта.

Оптимальное планирование и рациональное использование материальных и технических ресурсов ремонтно-строительного производства отрасли приобретают важное значение.

Как показал количественный и качественный анализ существующей системы ремонта, эффективность капитального ремонта линейной части магистральных газопроводов может быть достигнута только за счет

комплексного рассмотрения оптимизационных задач по технике, технологии, организации и управлению ремонтно-строительным производством.

Успешное выполнение большого объема работ как по строительству, так и по капитальному ремонту магистральных газопроводов невозможно без внедрения наиболее целесообразной технологии и совершенной организации работ, обеспечивающих их высокие темпы. Очень важен выбор наиболее эффективной технологической схемы производства ремонтных работ с учетом имеющейся техники.

Прежде всего, представляется необходимым провести анализ существующих методов ремонта газопроводов.

В настоящее время газотранспортные компании все чаще производят ремонт газопроводов без прекращения транспортировки газа.

Существует два способа устранения дефектов на газопроводах без остановки перекачки: наружный и внутритрубный.

К наружному способу можно отнести технологии ремонта газопровода с вырезкой дефектного участка, композитно-муфтовые технологии, хомуты, прижимы, наложение сварных накладок.

Способ ремонта действующего газопровода композитными муфтами, включает установку двух стальных частей муфты, диаметр которых больше диаметра ремонтируемой трубы, соединенных таким образом, чтобы поврежденный участок был полностью обхвачен. Полученный кольцевой зазор между газопроводом и муфтой заполняется композитным материалом (рисунок 6).

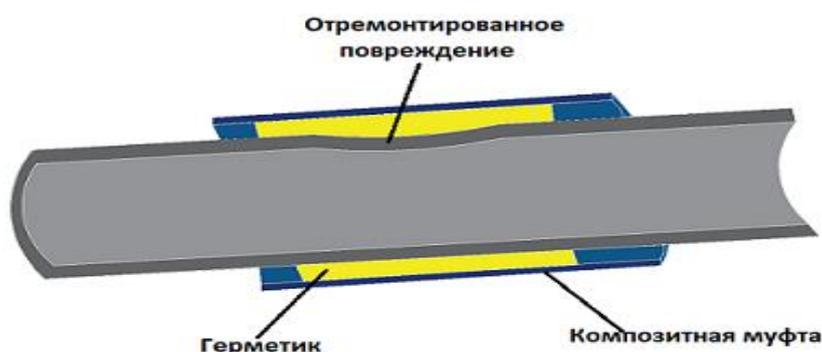


Рисунок 6 - Композитная муфта

Устройства по устранению повреждений на газопроводах без остановки перекачки продукта снаружи имеют более простые конструкции, но требуют раскапывания траншеи, что увеличивает время проведения ремонтных работ и финансирование.

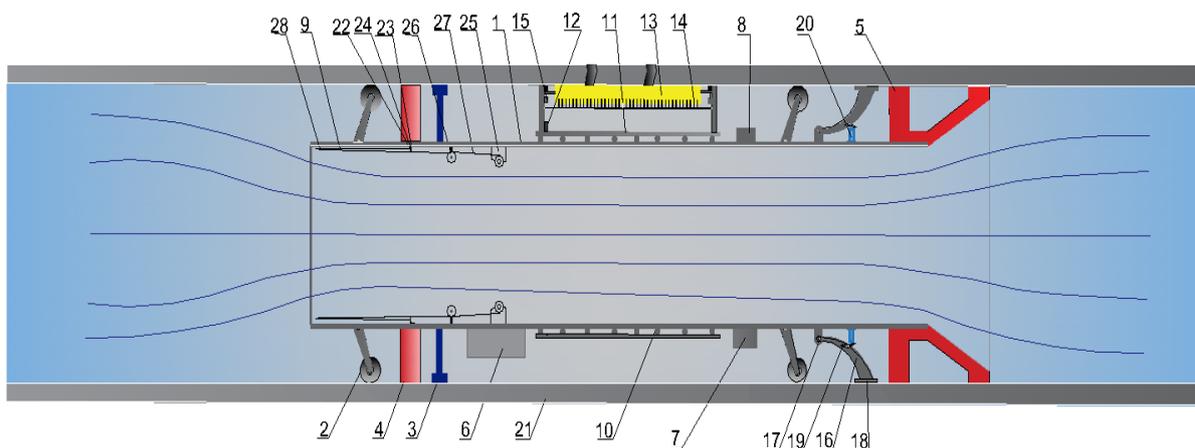
На сегодняшний день наибольший интерес представляют внутритрубные способы ликвидации дефектов на действующих газопроводах.

К одним из таких относится изобретение, которое представляет роботизированный комплекс, включающий средства перемещения, инспекции и ремонта поврежденных участков трубопровода. Передвижение устройства в трубопроводе осуществляется за счет двух тороидальных эластичных

элементов, расположенных спереди и сзади комплекса по ходу потока. При достижении места повреждения стенки трубопровода герметично изолируют эту область распираем эластичных элементов устройства, которые располагают по внешней границе поврежденного, ремонтируемого участка, а поток направляют через временный трубопровод, образованный с помощью устройства.

Недостатком данного устройства является использование двух рабочих зон: жидкости и газа, что усложняет конструкцию, кроме того применение надувных эластичных герметизирующих элементов существенно снижает надежность устройства, так как образующиеся шероховатости на внутренней поверхности магистральных газопроводов при длительной эксплуатации могут привести к их механическим повреждениям.

Разработано устройство для внутритрубного ремонта газопроводов, обеспечивающее выполнение ремонтных работ дефектных участков в зоне нарушения целостности трубопровода без прекращения перекачки газа (рисунок 7).



1-корпус, 2-колёса, 3-детектор обнаружения утечек, 4-манжет, 5-раструб, 6-аккумулятор, 7-генератор, 8-процессор, 9- заслонки лепесткового механизма, 10-подшипники, 11-цилиндр, 12-электродвигатель, 13-барабан, 14-форсунки, 15-прижимное устройство, 16-штанга, 17,22-шарнирное соединение, 18- тормозные колодки, 19-опора, 20-домкрат, 21-магистральный газопровод, 23- уголок, 24-пружина, 25-двигатель с редуктором, 26-блок, 27-тросс, 28-ушки заслонок

Рисунок 7 - Общий вид устройства с открытым лепестковым механизмом

Устройство для внутритрубного ремонта газопроводов, включающее средство герметизации, детектор обнаружения утечки, узел ремонтных работ, аккумулятор и средство управления согласно полезной модели имеет цилиндрический корпус с подпружиненными опорными колесами, средства герметизации выполнены в виде манжеты в передней части устройства и раструба в концевой части, узел ремонтных работ снабжен электродвигателем

и выполнен в виде установленного снаружи корпуса барабана с прижимным устройством, барабан закреплен на цилиндре, расположенном на подшипниках, узел ремонтных работ снабжен форсунками подачи герметизирующего материала на поверхность барабана, внутри корпуса в передней его части установлен лепестковый механизм регулирования скорости движения, соединенный с редуктором, при этом устройство снабжено генератором, процессором, тормозным механизмом.

Устройство запускается в камеру пуска-приема очистных снарядов и движется внутри действующего газопровода на подпружиненных колесах, позволяющих снизить контактное давление манжет на стенки трубопровода, что приводит к более равномерному движению устройства без рывков. Под воздействием гидравлического давления газа устройство движется внутри магистрального газопровода к заранее определенному месту. Местоположение устройства определяется с помощью детектора утечки. Скорость движения устройства регулируется лепестковым механизмом. При открытии лепесткового механизма создается проход для газового потока, устраняется газодинамическое сопротивление устройства к потоку газа, скорость движения устройства замедляется и тем самым устройство не создает значительных дополнительных помех для рабочего режима транспортировки газа. Местоположение устройства корректируется при помощи детектора обнаружения утечки. Устройство занимает позицию в зоне повреждения. При срабатывании датчика утечки под управлением процессора на поверхность барабана по средствам форсунок наносится слой герметика, барабан выдвигается к внутренней поверхности газопровода и полимерный слой наносится в круговом направлении. После проведения герметизации барабан возвращается в исходное положение. Устройство остается на месте до полной полимеризации нанесенного слоя. Закончив ремонтные работы, устройство отключает тормозное устройство, закрывает лепестковый механизм и начинает движение по трубопроводу. Далее устройство удаляется из трубопровода.

Предлагаемое устройство уменьшает финансовые затраты, сокращает время ремонтно-восстановительных работ, снижает трудоемкость и обеспечивает бесперебойную поставку газа до потребителей.

В четвёртом разделе проведен анализ экономической эффективности применяемых методов внутритрубного ремонта газопроводов.

Согласно нормативам, если глубина трещины коррозионного растрескивания под напряжением больше 50% толщины стенки газопровода, то дефект относят к недопустимым независимо от его протяженности, что требует его обязательного устранения. Отдельная дефектная труба подлежит полной или частичной замене, если суммарная приведенная длина дефектов коррозионного растрескивания под напряжением превышает 30% от длины трубы.

Замена труб производится на отключенном и полностью освобожденном от газа участке трубопровода, что требует больших финансовых затрат. В

организационно-экономическом плане сложность проблемы заключается в большом объеме ремонтно-восстановительных работ:

- локализация дефектного участка газопровода на местности, определение местоположения коммуникаций сторонних организаций;
- снятие плодородного слоя в полосе отвода;
- экскавация шурфа в месте расположения дефекта, снятие изоляции и идентификация дефекта;
- подготовка участка магистрального газопровода к ремонту;
- проведение ремонтных работ;
- рекультивация.

При выполнении каждой технологической операции по шурфовке магистральных газопроводов имеет место значительное количество вынужденных простоев спецтехники и ожидание персоналом своей очереди, что повышает удельную стоимость ремонтных работ.

Единственным экономически целесообразным выходом из этой сложной ситуации является освоение передовых технологий и поиск нестандартных принципиально новых методов и средств ремонта без прекращения перекачки природного газа.

Одним из таких методов является внутритрубный ремонт участков магистральных трубопроводов специальными устройствами, перемещение которых по линейной части осуществляется под действием разности внутреннего давления, аналогично внутритрубным дефектоскопам и очистным скребкам.

Экономический эффект от применения такого устройства был проанализирован на примере 3-й нитки магистрального газопровода «Казахстан-Китай», предназначенной для обеспечения транспортировки природного газа с территории Узбекистана и Туркменистана, а также подачи казахстанского газа с МГ «Бейнеу-Бозой-Шымкент» для потребления на Южные регионы Казахстана и на экспорт в КНР (рисунок 8).



Рисунок 8 – Карта магистрального газопровода «Казахстан-Китай»

Газопровод располагает необходимыми для эксплуатации устройства по внутритрубному ремонту узлами пуска-приема очистных устройств в достаточном количестве.

Экономия, в сравнении с методами ремонта требующими остановки перекачки и земляных работ, определялся в виде средних суммарных затрат:

- на работы по замене дефектного участка;
- на опорожненный и продувочный газ;
- на недопоставку газа.

Ремонт магистрального газопровода внутритрубными устройствами является передовым, благодаря возможности устранения дефектных участков без необходимости стравливания газа в атмосферу и остановки перекачки.

Затраты на внутритрубный ремонт значительно меньше, что говорит об экономической эффективности применения данного метода ремонта.

Дальнейшие разработки по данной тематике будут производиться в направлении уточнения организационно-технических мероприятий, связанных с эксплуатацией устройства.

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований.

В диссертационной работе выполнен анализ способов устранения утечки природного газа из газопроводов. Выполнены экспериментальные исследования процессов редуцирования газа с целью моделирования утечек из подземных газопроводов и определение их величин в нестационарных условиях с помощью детандера объемного типа. Получен патент Республики Казахстан на устройство для внутритрубного ремонта магистральных газопроводов без прекращения перекачки газа. Также согласно поставленным задачам выполнено следующее:

- определены основные факторы, влияющие на техническое состояние длительно эксплуатирующихся магистральных газопроводов Казахстана;
- обосновано применение детандерных устройств для моделирования утечек газа из газопроводов в нестационарных условиях;
- предложена математическая модель утечек газа из дефектного газопровода с учётом применения пропорционально-интегрального закона регулирования в различных вариантах стабилизации;
- смоделированы утечки газа из трубопровода с нестационарным режимом течения;
- получены зависимости величины утечек от давлений в месте утечки внутри газопровода и в среде снаружи него для двух диапазонов, которые могут быть применены для определения объёмов утечек газа в нестационарных условиях;
- разработано внутритрубное устройство для ликвидации повреждений на магистральных газопроводах без прекращения перекачки газа;
- выполнен экономический анализ эффективности применения внутритрубного способа ремонта газопроводов без остановки перекачки газа на примере третьей нитки магистрального газопровода «Казахстан-Китай».