

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D070800 – «Нефтегазовое дело»

**Имансакиповой Нургуль Бекетовны**

### **Снижение эффектов гидравлических нагрузок по профилю трассы нефтепроводов**

Более 50% в мире, а в Казахстане, в отсутствие на территории морской составляющей, свыше 80% нефти транспортируется посредством магистральных трубопроводов, особенностью которых является большая протяженность. Магистральный трубопровод представляет собой объединение последовательно чередующихся, разнородных технологических элементов, функционально интегрированных в единую систему для обеспечения необходимых условий транспортирования.

Поскольку плотность и скорость транспортируемой нефти в трубопроводе значительны, то поток жидкости с движущейся массой, определяемой диаметром и протяженностью нефтепровода, порядка десятки тысяч тонн обладает колоссальной инерцией. Поэтому технологические операции, такие как пуск и остановка работы трубопровода, включение и отключение перекачивающей станции, полное или частичное закрытие задвижки, разрыв трубопровода и др. санкционированные и аварийные ситуации могут привести к гидравлическим нагрузкам в виде скачкообразного роста давления в трубопроводе, измеряемого десятками атмосфер и проявляющихся в виде гидравлического удара.

Импульс, возникающий при гидравлических ударах, распространяется с большой скоростью в виде волны давления (скорость ударной волны выше скорости звука в среде) от места остановки жидкости вверх и вниз по потоку. Скачкообразное увеличение давления способно вывести из строя оборудование, разорвать трубу и привести к аварийной ситуации с тяжелыми экологическими последствиями для окружающей среды. Наряду с внутренними причинами, связанными с техническими изменениями режима работы транспортной системы, влияющих на проявление гидравлических нагрузок и их интенсивность, снижение пропускной способности трубопровода, большую роль играют такие внешние факторы, как рельеф местности, по которой проложен нефтепровод и температура окружающей среды.

С изменением температуры окружающей среды на внутренних стенках нефтепровода, особенно при перекачке тяжелой нефти, откладывается значительное количество парафина.

В точках перегибах нефтепровода, расположенных на возвышенностях или впадинах, возникают газозвушнные скопления.

Большинство магистральных нефтепроводов Казахстана проложены в условиях неоднородности рельефа местности. В связи с этим, особый научный и практический интерес представляет исследование процесса образования газоздушных скоплений и их влияние на эффективность транспортировки.

Классическая теория неустановившегося течения жидкости неприемлема к расчету переходных процессов в магистральных нефтепроводах. Это объясняется тем, что классическая теория содержит одно хотя и не часто формулируемое ограничение об отсутствии в жидкости фазовых переходов. Это предполагает, что ни при каких условиях жидкость не переходит в парогазовую фазу, даже при снижении давления до упругости насыщенных паров. Между тем, при распространении в трубопроводе волн разрежения и рельефной неоднородности трассы, это условие нарушается во многих сечениях трубопровода и, прежде всего, в вершинах ее профиля.

Нет объяснений экспериментально выявленным фактам, таким как вынос газоздушного скопления целиком, а не послойно, существование высокочастотных и низкочастотных пульсации давления, определяемых газовыми скоплениями, неоднозначно трактуются причины и условия образования и устойчивости газоздушных скоплений.

Таким образом, анализ состояния изученности процессов образования газоздушных скоплений и их влияния на гидравлические нагрузки в нефтепроводе, показывает на необходимость новых подходов для решения проблем, вызванных этими явлениями.

Согласно многочисленным отечественным и зарубежным работам, посвященным неустановившемуся течению реальной жидкости в трубопроводах, математическое моделирование - практически основной способ исследования нестационарных процессов.

В то же время, известные математические модели ограничены в своих возможностях, так как они не в полной мере отражают все факторы влияния на режим течения жидкости в этих условиях, что не позволяет исследовать различные аспекты поведения таких сложных взаимосвязанных систем. В связи с этим, в работе предлагается инновационная математическая модель.

Обеспечение безопасности эксплуатации и устойчивости работы магистрального нефтепровода является основной задачей всех существующих транспортных систем. Одним из успешных и эффективных способов решения задачи является методы, основанные на анализе и оценки факторов риска и их уровня для принятия управленческих решений по предотвращению проявления кризисных ситуаций на основе их прогноза. В основном все известные методы ориентированы на анализе уровня риска как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. В то же время, они не позволяют провести оценку рисков ряда неучтенных или трудно прогнозируемых факторов, осложняющих работу нефтепроводных систем и

проявляющихся в процессе работы магистрального нефтепровода в условиях гидравлических нагрузок повышенной интенсивности.

В настоящее время, для защиты технологического оборудования магистральных нефтепроводов от волн повышенного давления, существуют различные системы, методы и устройства: уравнивательные резервуары, которые широко используются в трубопроводных системах низкого давления для защиты от гидравлических нагрузок; воздушный колпак, позволяющий сглаживать волны различного давления за счет преобразования высокочастотных колебаний давления в низкочастотные с пониженной амплитудой; система автоматического регулирования, осуществляющая сглаживание волн давления дросселированием потока посредством регулирующих заслонок и т. д. Несмотря на ряд достоинств по борьбе с гидравлическими нагрузками они имеют ряд существенных недостатков, которые проявляются при сглаживании волн давления большой интенсивности и длительности, требующих устранения для повышения эффективности транспортирования нефти.

Таким образом, анализ современного состояния проблемы позволяет сделать следующий вывод об актуальности и необходимости проведения научных исследований, направленных на снижение эффектов гидравлических нагрузок в магистральном нефтепроводе по профилю трассы, имеющих большую научную и практическую значимость.

#### **Основание и исходные данные для разработки темы**

Основанием для разработки темы диссертации является отсутствие универсальных методов снижения гидравлических нагрузок и научных основ для создания физической модели образования, устойчивости газовоздушных скоплений, изменения плотности транспортируемой жидкости в рельефном трубопроводе.

В качестве исходных для разработки темы исследования выбраны эксплуатационные данные магистрального нефтепровода Каспийского трубопроводного консорциума (КТК).

#### **Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы по теме**

Обеспечение устойчивости работы, промышленной и экологической безопасности эксплуатации магистрального нефтепровода на основе снижения гидравлических нагрузок техногенного происхождения. Это предопределяет необходимость проведения научно-исследовательских работ по теме диссертации и решение поставленных задач.

#### **Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки**

Высокий научно-технический уровень и практическая значимость определяются высокой эффективностью разработки для снижения гидравлических нагрузок в магистральном нефтепроводе по профилю трассы и принятия обоснованных управленческих решений по предотвращению рискованных ситуаций или минимизации их последствий. Это явилось

результатом решения поставленных задач на основе междисциплинарного подхода с использованием современных научных достижений в области механики жидкости и газа, физической химии и молекулярной физики.

### **Патентные исследования**

Патентные исследования в работе проводились на основе анализа существующих систем, методов и устройств по защите оборудования нефтеперекачивающей станции от волн повышенного давления. В качестве основных систем рассмотрены: уравнивательные резервуары, которые широко используются в трубопроводных системах низкого давления для защиты от гидравлических нагрузок; воздушный колпак, позволяющий сглаживать волны различного давления за счет преобразования высокочастотных колебаний давления в низкочастотные с пониженной амплитудой; система автоматического регулирования, осуществляющая сглаживание волн давления дросселированием потока посредством регулирующих заслонок и т. д.

### **Выводы по патентным исследованиям**

Несмотря на ряд достоинств, охваченных патентными исследованиями систем, методов и устройств по защите технологического оборудования магистральных нефтепроводов от волн повышенного давления они имеют ряд существенных недостатков, связанных с технологическими режимами транспортирования нефти. Наиболее эффективными и экономически оправданными системами снижения гидравлических нагрузок является системы сглаживания волн давления. В качестве аналога выбраны три системы защищенные патентами. Предлагаемая в работе система сглаживания волн давления на встречных потоках показала патентоспособность и на нее оформлена заявка на патент.

### **Сведения о метрологическом обеспечении диссертаций**

Лабораторные исследования в работе проводились на базе кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», Санкт-Петербургского Горного университета. Результаты лабораторных исследований на стенде «Изучение явления гидравлического удара» подтверждены использованием современной измерительной техники, имеющий класс точности 0,25-0,5. Приборы проходят ежегодную метрологическую поверку.

### **Актуальность темы**

Работа магистрального нефтепровода сопровождается различными эксплуатационными проблемами, которые сводятся к проявлениям гидравлических нагрузок и снижению пропускной способности. Скачкообразное увеличение давления способно вывести из строя оборудование, разорвать трубу и привести к аварийной ситуации с тяжелыми экологическими последствиями для окружающей среды. Поэтому решение проблемы снижения эффектов гидравлических нагрузок по профилю трассы нефтепроводов актуально и имеет большое практическое значение.

**Новизна темы диссертации.** Впервые рассматривается снижение проявления гидравлических нагрузок в рельефном нефтепроводе в условиях образования устойчивых газовоздушных скоплений и изменения плотности текущей жидкости вследствие барометрического эффекта.

**Цели и задачи исследований, их место в выполнении диссертации в целом**

Целью работы является обеспечение устойчивости работы магистрального нефтепровода при возникновении гидравлических нагрузок на основе прогноза проявления рисков ситуаций и принятия превентивных мер по их предотвращению.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- создание математической модели неустановившегося потока жидкости в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности;
- создание физической модели влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость-газ-твердое тело на процесс образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода;
- экспериментальная проверка теоретических выводов и результатов математического моделирования;
- разработка эффективной системы сглаживания волн давления в магистральном нефтепроводе;
- разработка методики экспертной оценки и ранжирования участков магистрального нефтепровода по уровню трудно прогнозируемых факторов риска.

**Объектами исследования являются** магистральный нефтепровод Каспийского трубопроводного консорциума (КТК).

**Предметом исследования являются** гидравлические нагрузки различной интенсивности в магистральном нефтепроводе.

**Положение выносимые на защиту:**

- математическая модель неустановившегося потока жидкости в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности;
- физическая модель влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость-газ-твердое тело на процесс образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода;
- эффективная система сглаживания волн давления в магистральном нефтепроводе;
- методика экспертной оценки и ранжирования участков магистрального нефтепровода по уровню трудно прогнозируемых факторов риска.

**Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость работы заключается в инновационном, оригинальном подходе к моделированию неустановившегося течения жидкости в рельефном нефтепроводе, и решение проблемы образования и устойчивости газовоздушных скоплений.

Практическая значимость результатов заключается в создании методики оценки факторов риска и их уровня, ранжирование участков нефтепровода по состоянию проблемности для прогноза возможных проявления кризисных ситуаций и принятия превентивных мер по их предотвращению; разработке устройства сглаживания волн давления и имеющее большую перспективу в обеспечении устойчивости работы магистрального нефтепровода на основе снижения гидравлических нагрузок.

#### **Апробация результатов диссертационной работы.**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на 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.**

Основные результаты исследования изложены в 11 публикациях, в том числе в журналах, входящих в базу данных Scopus – 2 статьи, в изданиях из перечня, утвержденного Комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан - 4 статьи, патент РК, приравняемый к статьям из списка, утвержденного Комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан - 1, тезисы доклада на международных конференциях - 4.

#### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников из 104 наименований. Работа изложена на 111 страницах, включает 40 рисунков и 15 таблиц.

#### **Краткое содержание диссертации**

Во введении дана оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы снижения эффектов гидравлических нагрузок по профилю трассы нефтепроводов и обоснована актуальность темы диссертационной работы.

В первом разделе дан анализ научно-исследовательских работ, направленных на снижение гидравлических нагрузок. По результатам анализа поставлена цель работы и определены задачи для ее достижения.

Анализ современного состояния проблемы снижения эффектов гидравлических нагрузок в магистральном нефтепроводе показывает:

1. Классическая теория неустановившегося течения жидкости в трубопроводах и математические модели, построенные на ее выводах, имеют ограниченную область применения и, в большинстве случаев, оказываются неприемлемыми к расчету переходных процессов в рельефных магистральных нефтепроводах и нуждаются в совершенствовании;

2. Вопросом влияния газовых скоплений на пропускную способность трубопровода посвящено большое количество исследований технологических процессов и режимов магистральных, промысловых трубопроводов. В то же время, многие вопросы, связанные непосредственно с процессами и свойствами образования устойчивых газовоздушных скоплений, остаются открытыми. Нет объяснений экспериментально выявленным фактам, таким как вынос газовоздушного скопления целиком, а не послойно, существование поличастотных пульсации давления, определяемых газовыми скоплениями в сечении, неоднозначно трактуются причины и условия образования газовоздушных скоплений.

3. Несмотря на большое количество известных технологий, методов и технических устройств по сглаживанию волн давления, разработка новых и совершенствование существующих представляет большой научный и практический интерес

4. Магистральный нефтепровод, имеющий большую протяжённость, представляет сложную систему последовательно соединенных технологических элементов, каждый из которых выполняет определённое преобразование параметров и, поэтому требует особых подходов в оценке факторов риска и их уровня для обеспечения его промышленной и экологической безопасности.

#### **Постановка задач диссертации.**

Для обеспечения надежности, устойчивости и безопасности эксплуатации магистральных нефтепроводов на основе снижения гидравлических нагрузок, с учетом результатов анализа состояния проблемы, в работе поставлены следующие задачи:

- создание математической модели неустановившегося потока жидкости в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности.

- создание физической модели влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость-газ-твёрдое тело на процесс образования и устойчивость газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода;

- экспериментальная проверка результатов теоретических расчетов и математического моделирования;

- разработка эффективной системы сглаживания волн давления в магистральном нефтепроводе

- разработка методики экспертной оценки и ранжирования участков магистрального нефтепровода по уровню трудно прогнозируемых факторов риска.

Во **втором разделе** представлены теоретические исследования неустановившегося потока жидкости и процессов образования, устойчивости газоздушных скоплений в рельефном нефтепроводе.

1. Определена зависимость устойчивости газоздушных скоплений от угла наклона нефтепровода и скорости течения потока из условий равновесия всех сил (рисунок 1):

$$\vec{R}_{11} = \vec{F}_c + \vec{F}_{mp} \quad (1)$$

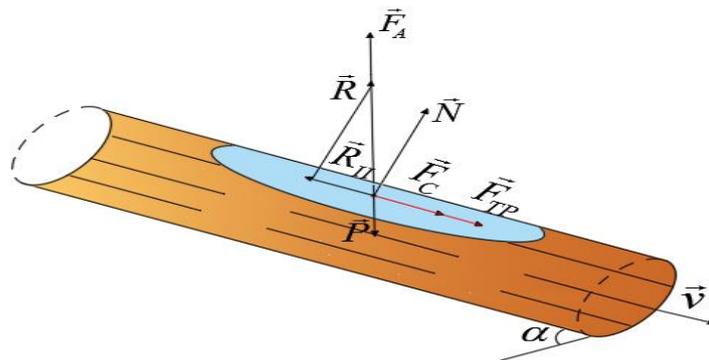


Рисунок 1 - Фрагмент нефтепровода с наличием газоздушного скопления

$\vec{v}$  – скорость нефтяного потока,  $\alpha$  – угол наклона нефтепровода.

$\vec{F}_A, \vec{P}, \vec{R}, \vec{R}_{11}, \vec{F}_c, \vec{N}, \vec{F}_{TP}$  силы действующие на воздушное скопление, соответственно, сила Архимеда, вес, результирующая сила, проекция результирующей силы на ось трубопровода, сила Стокса, нормальное давление, сила трения.

Из уравнения 1, минимальный угол наклона нефтепровода, при котором газовое скопление находится в состоянии равновесия,  $\alpha_{\min}$  будет определяться условием:

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{2K\sigma_{жг} \sin \theta + CS\eta_{ж}v}{S\rho_{ж}g} \quad (2)$$

Соответственно, минимальная скорость потока  $v_{\min}$ , при которой газоздушное скопление будет удерживаться на стенке трубы:

$$v_{\min} = \frac{2K\sigma_{жг} \sin \theta - S\rho_{ж}g \sin \alpha}{CS\eta_{ж}} \quad (3)$$

где  $K$  - коэффициент трения,  $\sigma_{ж.г.}$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкость – газ;  $\theta$  - краевой угол,  $\eta_{ж}$  - вязкость,  $\rho_{ж}$  – плотность,  $v$  - скорость течения жидкости

2. Определены факторы и процессы, влияющие на режим транспортирования нефти в рельефном нефтепроводе в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности

3. Разработана новая математическая модель неустановившегося течения жидкости в рельефном нефтепроводе, в условиях проявления гидравлических нагрузок в виде волн давления большой интенсивности, показавшая свою эффективность.

4. Установлен факт снижения плотности, транспортируемой жидкости в рельефном трубопроводе вследствие барометрического эффекта.

5. Разработана физическая модель влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость-газ-твердое тело на процесс образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода

В третьем разделе приведены экспериментальные исследования неустановившегося потока жидкости и разработка технических решений по снижению гидравлических нагрузок.

1. Разработана и реализована проблемно-ориентированная технологическая схема лабораторной установки (рисунок 2), для проведения экспериментальных исследований зависимости скорости и амплитуды ударной волны в рельефном трубопроводе от скорости, температуры и газонасыщения текущей жидкости;

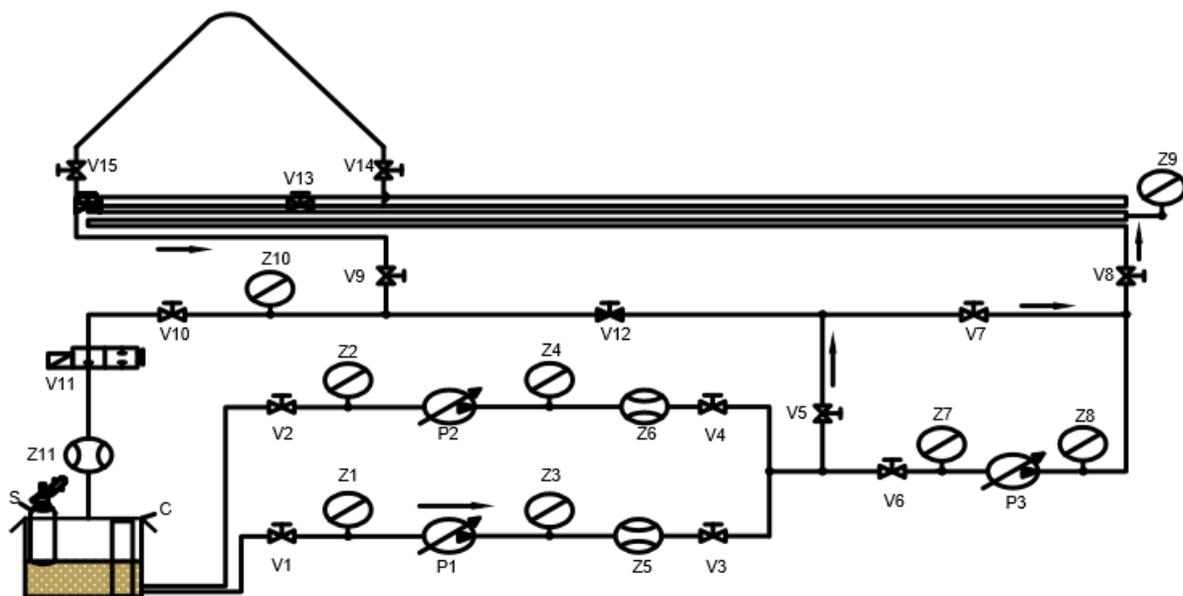


Рисунок 2 - Принципиальная гидравлическая схема лабораторного стенда с внесенными изменениями

P1-P3 - динамические регулируемые насосы; V1-V10, V12-V15 –отсечные клапаны с ручным управлением; V11- клапан с электроуправлением; Z1-Z4, Z7-Z10 – аналоговые датчики давления; Z5, Z6, Z11- аналоговые датчики расхода, s- сифон, с- колпак.

2. Полученные результаты и сравнительный анализ показали, что расчеты предложенной математической модели для условий проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности, построенной на основе закономерностей процессов образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода, изменения плотности нефти вследствие барометрического эффекта совпадают с экспериментальными данными и теоретическими выводами.

3. Разработана система сглаживания волн давления на встречных потоках, которая выполняет все необходимые функции по контролю и управлению режимом транспортирования с целью предотвращения проявления рисков ситуации или минимизации их последствий. 4.

4. Система обеспечивает регулирование амплитуды волн давления количеством, скоростью и направлением входящей-выходящей жидкости клапанами сброса по заданному алгоритму, что позволяет системе работать в нескольких режимах сглаживания, включая режим саморегулирования и обеспечивает недопущение прохождения волны повышенного давления в рабочую зону НПС.

**В четвертом разделе** рассмотрены вопросы обеспечения промышленной и экологической безопасности эксплуатации магистральных нефтепроводов и приведена оценка экономической эффективности.

Разработана методика экспертного качественного и количественного риск-анализа трудно прогнозируемых проявлений чрезвычайных ситуаций при эксплуатации МН. Задача выделения рисков участков трубопровода решалась на основе ретроспективного причинно-следственного анализа возникновения, развития рисков ситуаций и аварий, происходивших в мировой практике использования МН, и независимых экспертных заключений специалистов в области проектирования, эксплуатации нефтепроводов, борьбе по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

На рисунке 3 приведена диаграмма экспертной оценки уровня факторов риска по участкам нефтепровода.

В соответствии с принципами, заложенными в методику, факторы риска ранжировались по участкам МН по качественному и количественному уровню вклада в общий риск делением на высокий, средний и низкий уровни с помощью 50%, 75% граничных квартилей, определяемых на основе статистического анализа распределения баллов для «плотности рисков».

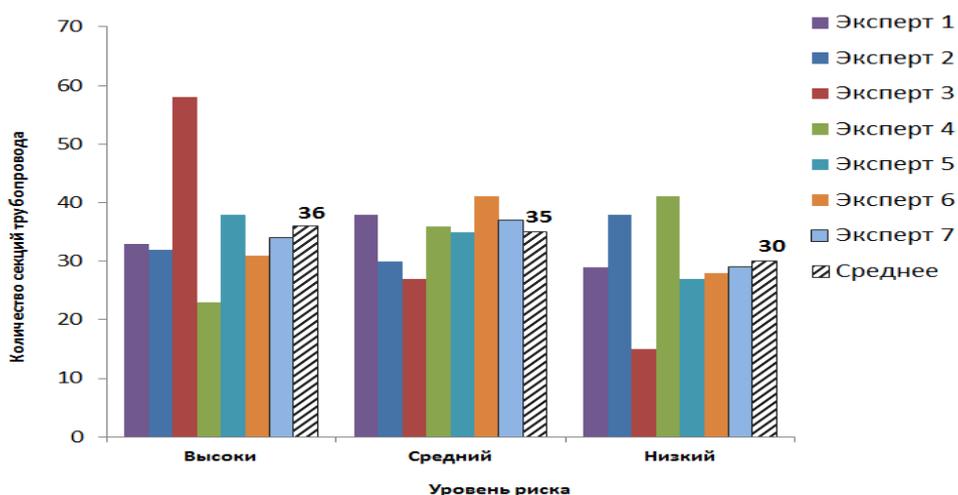


Рисунок 3- Результат экспертной оценки уровня факторов риска по секциям трубопровода

Методика, на примере КТК позволяет снизить расходы на организацию и проведение технического контроля в два раза.

Ожидаемый экономический эффект является следствием разработки методов и средств повышения надёжности и долгосрочности прогноза кризисных ситуаций, связанных с проявлением гидравлических нагрузок большой интенсивности (гидравлический удар) и обеспечивающих своевременность принятия мер по их предотвращению. Величина экономического эффекта определяется экономией колоссальных материальных затрат на ликвидацию последствий техногенных катастроф в случае их предотвращения.

#### **Краткие выводы по результатам диссертационных исследований.**

Магистральный трубопровод представляет собой объединение последовательно чередующихся, разнородных технологических элементов, функционально интегрированных в единую систему для обеспечения необходимых условий транспортирования.

Неуправляемое отклонение технологического параметра любого элемента от заданного, может привести к проявлению гидравлических нагрузок в виде скачкообразного увеличения давления, которое может вывести из строя оборудование, разорвать трубу и привести к аварийной ситуации с тяжелыми экологическими последствиями для окружающей среды. Поэтому, решение проблемы снижения эффектов гидравлических нагрузок актуально и имеет большое практическое значение. В диссертационной работе разрабатывались научно обоснованные методы и средства, обеспечивающие снижение эффектов гидравлических нагрузок.

Это позволило получить следующие основные результаты, отражающие научную новизну и практическую значимость работы.

Определены основные факторы и процессы, влияющие на режим транспортирования нефти в рельефных нефтепроводах в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности, учет которых позволил создать высокоэффективную математическую модель неустановившегося течения жидкости. В модели впервые установлено снижение плотности транспортируемой жидкости в рельефном трубопроводе на основе барометрического эффекта.

Выявлены характерные особенности образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода. Установлено, что основными факторами, влияющими на образование и устойчивость газовоздушных скоплений, являются поверхностные и граничные эффекты контакта жидкость - газ - твердое тело. Разработана физическая модель влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость - газ - твердое тело на процесс образования и устойчивость газовоздушных скоплений. Определена зависимость устойчивости газовоздушных скоплений от угла наклона нефтепровода и скорости течения потока.

Математическая модель позволяет определить возможные пути воздействия на процесс образования гидравлических нагрузок и рациональные способы по их снижению, создавать оптимальные и эффективные системы защиты оборудования НПС от волн давления.

Теоретически обоснована и экспериментально доказана эффективность разработанной системы сглаживания волн давления на встречных потоках. Система выполняет все необходимые функции по контролю и управлению режимом транспортирования с целью предотвращения проявления рисков ситуации или минимизации их последствий. Система обеспечивает регулирование амплитуды волн давления количеством, скоростью и направлением входящей-выходящей жидкости клапанами сброса по заданному алгоритму, что позволяет системе работать в нескольких режимах сглаживания, включая режим саморегулирования.

Для исследования влияния рельефности трубопровода, газонасыщения, температуры и скорости транспортируемой жидкости на амплитуду и скорость распространения ударной волны, сравнения экспериментальных данных с результатами математического моделирования и теоретическими выводами, разработана и реализована проблемно-ориентированная технологическая схема лабораторной установки.

Полученные результаты и сравнительный анализ показали, что расчеты предложенной математической модели для условий проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности, построенной на основе закономерностей процессов образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода, изменения плотности нефти, вследствие барометрического эффекта совпадают с экспериментальными данными и теоретическими выводами.

Разработана методика качественной и количественной экспертной оценки факторов риска и их уровней при проектировании, строительстве и эксплуатации магистрального нефтепровода. Для повышения достоверности оценки уровня фактора риска, определяемого пространственно-временным изменениям напряженно-деформированного состояния массива, в который уложен нефтепровод используются результаты зонного районирования. Методика позволяет проводить риск-анализ трудно прогнозируемых проявлений чрезвычайных ситуаций и ранжировать участки нефтепровода по трем уровням риска: высокий, средний и низкий.

#### **Оценка полноты решения задач.**

Все задачи, поставленные в работе решены полностью:

- создана математическая модель неустановившегося потока жидкости в условиях проявления гидравлических нагрузок большой интенсивности;
- создана физическая модель влияния поверхностных и граничных эффектов контакта жидкость-газ-твердое тело на процесс образования и устойчивости газовоздушных скоплений в вершинах рельефного нефтепровода;
- проведена экспериментальная проверка теоретических выводов и результатов математического моделирования
- разработана эффективная система сглаживания волн давления в магистральном нефтепроводе;
- разработана методика экспертной оценки и ранжирования участков магистрального нефтепровода по уровню трудно прогнозируемых факторов риска.

#### **Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов.**

Полученные результаты могут быть использованы в различных транспортных трубопроводных системах при перекачке жидкостей.

Методика экспертной оценки и ранжирования участков магистрального нефтепровода по уровню трудно прогнозируемых факторов риска была использована при ранжировании участков магистрального нефтепровода КТК.

#### **Оценка экономической эффективности технологии.**

Методика на основе риск-анализа позволяет прогнозировать возможные проявления кризисных ситуации природного и техногенного происхождения. Таким образом, разработанные в работе методика качественной и количественной оценки факторов риска и их уровней, система сглаживания волн давления, позволяют предотвращать возникновение и развитие кризисных ситуаций, повышая, уровень промышленной и экологической безопасности эксплуатации магистрального нефтепровода. Это предопределяет экономию колоссальных материальных затрат на ликвидацию возможных техногенных катастроф и решение, связанных с ними экологических последствий.

## **Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.**

Сложность поставленных задач и разработка инновационных методов и средств предопределили междисциплинарный подход для их решения с использованием методов молекулярной физики и физической химии с расширением компетенций соискателя. Это вместе со значимостью полученных результатов позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа соответствует современному научно-техническому уровню что подтверждается публикациями в соответствующих трудах автора и обсуждением результатов на международных конференциях различного уровня, получение патента РК.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации:**

1. Imansakipova N.B., Irgibaev T.I., Samigullin G.H. System of the oil pumping stations' equipment protection from hydraulic loads // News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of geology and technical sciences, №3(435) May – June 2019, P.128-135, ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

2. Спицын А.А., Имансакипова Н.Б., Чернов А.В., Кидирбаев Б.И. Развитие научно-методической базы выявления ослабленных зон на земной поверхности рудных месторождений // Горный журнал России, Москва, 2019, № 9 (2266), С. 63-66, ISSN 0017-2278

3. Имансакипова Н.Б., Иргибаяев Т.И. Анализ факторов, влияющих на гидравлические нагрузки нефтепроводов // Вестник КазННТУ, Алматы, 2018, №2 (126) - С. 242-247, ISSN 1680-9211

4. Кидирбаев Б.И., Какимжанов Е.Х., Имансакипова Н.Б., Косников В.А. Специализированная геоинформационная система управления техногенными рисками при строительстве и эксплуатации наземных и подземных сооружений // Горный журнал Казахстана, Алматы, 2019, №2 - С. 36-41, ISSN 2227-4766

5. Имансакипова Н.Б. Экспертный риск-анализ состояния участков магистрального нефтепровода и их ранжирование по степени проблемности // Горный журнал Казахстана, Алматы, 2019, №10 (174) - С. 37-41, ISSN 2227-4766

6. Имансакипова Н.Б., Иргибаяев Т.И. Научно-методические основы оценки влияния поверхностных эффектов на процесс образования и устойчивости газовоздушных скоплений в магистральных нефтепроводах // Вестник КазННТУ, Алматы, 2019, №3 (135) - С. 315-320, ISSN 1680-9211

7. Байгурин Ж.Д., Спицын А.А., Имансакипова Н.Б., Кожаев Ж.Т., Имансакипова Н.Б. Патент на изобретение №33566 «Способ разработки полезных ископаемых в ослабленных зонах месторождений» // КазННТУ, г.Алматы

8. Самигуллин Г.Х., Имансакипова Н.Б. Моделирование волн давления при возникновении гидроудара в нефтепроводе // Международная конференция «Высокие технологии и инновации в науке», Сентябрь 2018, Санкт-Петербург, С.77-82, ISBN 978-5-6041437-4-2
9. Имансакипова Н.Б., Иргибаетов Т.И., Бакешева А.Т. Влияние процессов образования газоздушных скоплений на эффективность работы нефтепровода // Международная научная конференция «Инновационные технологии –ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК», Алматы, 2019, КазНИТУ, С. 427-430, ISBN 978-601-323-145-7
10. Самигуллин Г.Х., Савельев Д.В., Имансакипова Н.Б. Оценка эксплуатационных рисков магистральных нефтепроводов // Международная научная конференция «Наука, исследования, практика», Апрель 2019, Санкт-Петербург, С.123-126, ISBN 978-5-9500836-9-3
11. Имансакипова Н.Б. Математическая модель неустановившегося течения жидкости в рельефном трубопроводе // IV Международная научно - практическая конференция «Членство в ВТО: перспективы научных исследований и международного рынка технологий», 23-25 октября 2019, г. Ванкувер (Канада), С.376-383, ISBN 978-601-7496-26-5