

МИНОБНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ОмГТУ)



пр. Мира, д.11, Омск, 644050
тел. (3812) 65-34-07, факс (3812) 65-26-98
e-mail: info@omgtu.ru, http://www.omgtu.ru
ОКПО 02068999, ОГРН 1025500531550
ИНН/КПП 5502013556/ 550101001

13.05.2019 № 28/12-26-27

На № _____ от « _____ » _____ 201__ г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Омский государственный
технический университет»
доцент, кандидат технических наук



« 13 » _____ 2019 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу

Ледовского Григория Николаевича

«Обоснование способа защиты основного оборудования нефтеперекачивающих
станций от волн давления»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности 25.00.19 – «Строительство и
эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ»

В условиях максимальной загрузки нефтепроводов, увеличения их производительности и протяженности, работы на технологических режимах с близкими к предельным разрешенным давлениями, значительно возрастают риски возникновения различных аварийных ситуаций. Причинами изменения давлений могут являться смена технологических режимов, манипуляции с технологическим оборудованием, отказы запорной и регулирующей арматуры, закупорка трубопроводов при использовании внутритрубных устройств, отказы систем электроснабжения, автоматики, внезапные остановки насосного оборудования и др. Потенциальная авария или отказ чаще всего связаны со значительным по величине и

№ 194-10
от 21.05.2019

резким по скорости изменением давления. Следовательно, для повышения надежности и безопасности работы нефтепроводов и предотвращения аварий необходима разработка организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение и уменьшение скачков давления. Представленная к защите диссертация посвящена анализу способов защиты основного оборудования нефтеперекачивающих станций от волн давления, выбору, предложению, обоснованию и опробованию одного из способов защиты с помощью управляемого перепускного клапана на НПС.

Диссертация Е.Н.Ледовского состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения и изложена на 124 страницах текста. Автореферат диссертации в полной мере отражает основное содержание работы.

Во введении отмечается, что надежность нефтеперекачивающих систем определяется, прежде всего, предупреждением аварийных ситуаций при эксплуатации основного оборудования на нефтеперекачивающих станциях, ввиду его сложности и дороговизны ремонта. При возникновении волн давления вблизи нефтеперекачивающей станции повышается вероятность повреждения и разрушения основных узлов станции, таких как: блоков регуляторов давления, блоков фильтров грязеуловителей, выходного коллектора магистральной насосной станции, отсекающих и агрегатных задвижек, обратных клапанов, нефтеперекачивающих агрегатов. Волны давления и гидравлические удары в нефтепроводах способны вызывать разгерметизацию основных линий и узлов магистральной трубопроводной системы. Актуальность темы обосновывается соблюдением требований экологической и промышленной безопасности в соответствии с проектом «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года». Здесь можно согласиться с автором, что тема диссертации является актуальной, интересной с научной точки зрения, достаточно сложной в связи с необходимостью расчета волнового процесса и прогнозирования развития гидроударных явлений в системе «нефтеперекачивающая станция – магистральный нефтепровод», имеет большую практическую значимость при проектировании новых и безопасной эксплуатации

имеющихся нефтеперекачивающих систем. Несмотря на большой перечень авторов, посвящавших свои исследования изучению нестационарных процессов и гидроудара в трубопроводах, это направление до конца не исследовано, и в практике эксплуатации остается немало вопросов, связанных с переходными процессами и сменой технологических режимов трубопроводов.

Целью диссертационной работы поставлено совершенствование системы защиты основного оборудования нефтеперекачивающих станций от волн повышенного и пониженного давления.

Для достижения поставленной цели автор ставит и решает более десяти задач, решение которых описывает в четырех главах.

В первой главе проведен анализ современного состояния теории и практики защиты магистральных трубопроводов от волн давления, рассмотрены технологические операции, приводящие к резким изменениям давления в трубопроводе, определены потенциально опасное оборудование, которое может быть повреждено и особенности повреждений в результате воздействия волны повышения и понижения давления. Перечислены причины возникновения волн давления. Рассмотрены особенности их распространения. По результатам анализа литературных источников обозначены и подробно разобраны способы недопущения гидроударов и защиты нефтеперекачивающих систем от волн давления и сделаны выводы о преимуществах способа сброса части жидкости в сбросной резервуар или перепуска по байпасной линии. Отмечено, что при высокой производительности магистральных нефтепроводов целесообразным способом является сброс части транспортируемой жидкости при прохождении волн повышенного давления, и подкачка жидкости при прохождении волн пониженного давления. Ввиду высокой скорости протекания волновых процессов приоритетной задачей является обеспечение своевременного срабатывания клапана сброса.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию выбора параметров устройства защиты от волн давления. Здесь формулируется одномерная модель нестационарного течения жидкости в трубопроводе с учетом изменения граничных

условий. В основу модели положена система двух дифференциальных уравнений в частных производных, учитывающая скорость распространения волны изменения давления в трубопроводе. Система уравнений позволяет связать изменение давления в трубопроводе и скорость изменения потока при неустановившемся движении. Приводятся формулы для определения скорости распространения волны. Граничные условия задачи описываются математическими моделями насосов, насосных станций, клапанов, регуляторов, запорно-регулирующей арматуры. Начальные условия определяются по параметрам начального установившегося режима. Пример расчета приведен на основе исходных данных конкретного технологического участка магистрального нефтепровода. Компьютерное моделирование неустановившихся процессов в системе «НПС – МН» численным методом производилось в лицензионном пакете программного обеспечения (ПО) «Flowmaster V7» в компании ООО «Идеал ПЛМ СиАйЭс». На графиках сравнения, полученных расчетным способом, показано как способ защиты перепуском потока через клапан снижает амплитуду и крутизну изменения волн давления. Делается вывод о технической эффективности такого способа защиты.

В третьей главе экспериментально доказываются правомерность подходов, заложенных в математическую модель. Стенд представляет уменьшенную модель нефтепровода с одной головной насосной станцией и трубопроводом с местными сопротивлениями, оснащенную необходимым набором датчиков давления, расходомерами, клапанами, задвижками и регуляторами, позволяющими менять режим и создавать условия возникновения гидроудара. Судя по рисунку 43, при испытании на воде получена хорошая сходимость расчетных и экспериментальных результатов. Графики, представленные на рисунке 48 и 49, показывают эффективную работу клапана сброса по снижению ударного давления. В выводах главы делается заключение об обоснованности использования предложенного вычислительного инструмента сравнением графиков волнового процесса на экспериментальном стенде с графиками, полученными расчетным путем. Проведенное физическое моделирование волнового процесса в насосно-

трубопроводной системе, оборудованной устройством защиты на основе предложенного способа. показало ощутимый положительный технический эффект в виде уменьшения волн давления от 2 до 12 раз, что говорит о возможности и целесообразности применения такого способа защиты на нефтеперекачивающих станциях.

В четвертой главе описана инженерная методика выбора параметров устройства защиты от волн давления. Введен упрощенный критерий необходимости установки устройства защиты. Описаны требования к характеристикам перепускных клапанов.

В заключении подведен итог решению поставленных задач. Сделаны рекомендации по использованию устройства защиты в виде клапана сброса на байпасной линии станции, выбору характеристики клапана. Перспективы дальнейшей разработки темы видятся автором в усовершенствовании математического аппарата расчета волновых процессов, минимизации вводимых в математическую модель упрощений и допущений, в расширении проводимых экспериментов, изменении характеристик трубопроводных систем и свойств перекачиваемых сред, в более глубоком исследовании режимов и параметров работы сбросного клапана и разнообразии подходов к моделированию его работы.

Научная новизна исследования и полученных результатов представленной работы заключается в следующем:

- 1) Предложен способ гашения волны ударного давления, который в настоящее время не используется в магистральных нефтепроводах, заключающийся в упреждающем воздействии на предохранительный перепускной клапан с электромеханическим приводом и сглаживании фронта волны до безопасных значений;
- 2) Определены зависимости между параметрами упреждающего воздействия и характеристиками волн давления, которые позволяют обосновать параметры сброса перекачиваемой нефти.

3) Экспериментально показана эффективность предлагаемого способа защиты при установке сбросного клапана на головной станции.

Практическая значимость полученных результатов для науки и практики:

Разработанное устройство защиты магистральных нефтепроводов и оборудования нефтеперекачивающих станций от волн давления способно сглаживать изменением общей расходно-напорной характеристики насосной станции разные по знаку скачки давления, как со стороны линии всасывания, так и со стороны линии нагнетания станции. Устройство может быть реализовано в качестве основного узла новых, более дешевых, простых в настройке, обслуживании и эксплуатации, систем сглаживания волн давления для магистральных нефтепроводов. Разработаны практические рекомендации по выбору параметров устройства защиты от волн давления, обеспечивающего надежную защиту основных узлов нефтеперекачивающих станций.

В целом диссертация может быть охарактеризована как законченная научно-исследовательская работа, содержащая разработку, моделирование, расчет, исследование и рекомендации по применению сбросного устройства, обеспечивающего сглаживание волн давления, и тем самым обеспечивающее снижение вероятности аварий и отказов насосного оборудования и трубопроводов нефтепроводов.

Результаты диссертации представляют интерес для специалистов, занимающихся разработкой, проектированием, эксплуатацией магистральных нефте- и продуктопроводов.

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы. Достоверность полученных автором результатов подтверждается экспериментом.

Материалы диссертации доложены и апробированы на 7 всероссийских и международных научных и научно-практических конференциях. Опубликовано 12 научных работ, 2 из которых в изданиях, включенных в перечень научных изданий ВАК. Имеется патент на изобретение.

По работе имеются следующие замечания, вопросы и предложения:

1. Защищать необходимо не только оборудование нефтеперекачивающей станции (как правило, оно имеет больший запас по разрешенному давлению, чем трубопровод), но прежде всего участки трубопровода за станциями на расстоянии 10-30% от точки выхода НПС участка вверх по течению от места возникновения волны изменения давления. Здесь происходят наиболее опасные увеличения давления, грозящие порывом трубы. Контролировать также необходимо места нефтепровода с неустранимыми дефектами и другими ограничениями разрешенного давления.

2. Обеспечение плавного изменения расхода в нефтеперекачивающей системе можно добиться путем медленного перекрытия потока запорным элементом трубопроводной арматуры, если источником волны давления является отсекающая или линейная задвижка, а также путем плавного запуска и остановки насосных агрегатов, если источником волны давления является НПС. Может, в случае возникновения волны давления, проще изменить характеристику насоса не сбросным клапаном, а изменением частоты вращения колеса насоса с применением частотно регулируемого привода или использовать остановку одного из насосных агрегатов?

3. Обязательно ли для своевременного срабатывания сбросного клапана иметь два расходомера? Система сравнивает значение расхода в сечении сброса давления со значением расхода в удаленном сечении на линии нагнетания. Определенное расстояние между точками обеспечивает своевременное открытие клапана сброса. Какие требования к принципу действия, точности и месту установки расходомеров? Нельзя ли для определения момента срабатывания сбросного клапана обойтись только показаниями манометров?

4. В работе рассмотрена работа сбросного клапана на головной станции. При срабатывании байпасного клапана часть или полный поток поступает на вход насоса. Расстояние до резервуара невелико. Куда сбрасывается поток, подходящий к

промежуточной станции, например, на удалении 100 км от головной, при полном перекрытии задвижкой трубопровода после промежуточной станции?

5. Для решения предыдущего вопроса на технологическом участке, работающем по схеме из насоса в насос с несколькими промежуточными насосными станциями подобными байпасными клапанами должны оснащаться все НПС, либо на станции с клапаном потребуется осуществлять сброс в специальные емкости, как в системах сглаживания волн давления. При этом мы получаем разновидность ССВД. Насколько ее характеристики и стоимость будет отличаться от существующих систем?

6. Система байпасных клапанов не решает проблемы возврата сброшенной жидкости. Сглаживание изменений давления с отбором и возвратом жидкости возможно в газовых или пружинных гидроаккумуляторах, которые практически не применяются на магистральных нефтепроводах, поскольку при работе на разных давлениях на выходе станций требуются большие объемы аккумулирующего сосуда под давлением. Кроме того, при значительной величине накопительного объема ухудшаются условия контроля параметров трубопровода. При установке таких элементов на нескольких станциях возможны автоколебательные процессы в трубопроводной системе. С учетом имеющихся регуляторов давления со своими задержками скорости управления, процесс перекачки будет сложно выстраивать, регулировать и контролировать.

7. На магистральных нефтепроводах насосы чаще всего запускают на открывающуюся выкидную задвижку насосного агрегата, что позволяет ограничить подачу насосов в распрессованный трубопровод. Иногда в помощь задвижке используется регулятор давления на выходе НПС. Эти меры позволяют уменьшить скорость изменения давления и обеспечить подачу насоса в рабочей зоне. Для остановки НПС регламентами не предусматривается остановка на закрывающуюся задвижку. Поэтому, возможны большие скачки давления при смене агрегатов или остановке промежуточных станций. Для уменьшения скачков диспетчерами иногда перед остановкой НПС используется предварительное поджатие регуляторов на

выходе НПС, компенсирующее излишний напор останавливаемого агрегата и уменьшающее амплитуду скачка давления при остановке насоса или станции. После остановки агрегата заслонка регулятора автоматически возвращается в открытое положение и не происходит заклинивание обратного клапана. Предложенное байпасное устройство может постепенно уменьшить перепад давления на останавливаемом насосном агрегате до нуля и выполнить остановку насоса без скачка давления.

8. Наиболее критическим событием является превышение несущей способности трубопровода на участке перед станцией при внезапной остановке насосов промежуточной станции. В этом случае спасением является незамедлительная остановка системой автоматики или по команде диспетчера одного или более насосов предыдущей НПС. Этот процесс может продолжиться на следующий участок вверх по потоку, вплоть до головной станции. Перепускной клапан может смягчить процесс остановки станций, сделать процесс изменения давления более гладким

9. Байпасный клапан предполагает два положения – открытое полностью и закрытое? Или степень его открытия можно регулировать по ситуации? Тогда не совсем понятно, как осуществляется регулирование и настройка степени открытия клапана защиты от амплитуды и фазы волны ударного давления.

10. Для предотвращения аварий при самопроизвольном закрытии задвижек в конце трубопровода в проектах строительства и реконструкции нефтепроводов предлагается устанавливать быстро открывающиеся байпасные задвижки такого же диаметра, как на основном трубопроводе, которые должны решать проблему внезапного повышения давления в случае самопроизвольного закрытия основной задвижки. Это не решает проблему трубопровода в целом. Такая же проблема может возникнуть на любой промежуточной задвижке. В представленной диссертационной работе было отмечено, что наиболее резко коэффициент сопротивления задвижки меняется в последние секунды ее закрытия и, именно этот промежуток времени определяет скорость нарастания ударной волны давления. Уменьшение гидроудара можно достигнуть изменением скорости вращения электропривода при закрытии

задвижки, но при этом имеются некоторые сложности настройки привода в связи с наличием мертвой зоны при закрытии клина, и этот способ не работает в случае падения клина. Относительно простым решением, спасающим также и от таких ситуаций как обрыв штока и падение клина задвижки, могло бы стать использование постоянно открытой перепускной задвижки существенно меньшего диаметра, которая устанавливается параллельно основной задвижке, и закрывается после полного закрытия основной задвижки. Скорость закрытия этой малой задвижки и определяет скорость торможения потока. До конца нерешенной остается проблема перекрытия потока герметизаторами.

11. На графиках рисунка 38 не совсем понятно, какой из графиков относится к какой точке.

12. Как предлагаемая система перепуска будет взаимодействовать с регуляторами давления на выходе НПС с учетом ее упреждающего срабатывания?

Пожелания автору. При дальнейшем внедрении распространить результаты работы не только для защиты насосного оборудования на головной НПС, но, что не менее важно, также защитить трубопроводы и оборудование на межстанционных участках и промежуточных НПС. Опыт технологической эксплуатации магистральных нефтепроводов подсказывает, что наилучшее применение предлагаемая система кроме сглаживания волн изменения давления могла бы найти для уменьшения или исключения скачков давления при переходах с режима на режим с остановками насосов путем изменения напорных характеристик НПС.

Указанные выше замечания и вопросы не влияют на научную ценность работы, а скорее говорят о возможностях дальнейшего развития и расширения практического применения ее результатов.

Считаем, что работа Г.Н. Ледовского «Обоснование способа защиты основного оборудования нефтеперекачивающих станций от волн давления» удовлетворяет требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней» к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и

хранилищ», а ее автор Ледовский Григорий Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Результаты диссертационной работы Г.Н. Ледовского были заслушаны на заседании кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» Омского государственного технического университета и получили положительную оценку (протокол № 7 от 29.04.2019 г.).

Президент ОмГТУ, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» ОмГТУ, главный научный сотрудник ОмГТУ, доктор технических наук, профессор
e-mail: proector@omgtu.ru

Виктор Владимирович Шалай

Заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления» ОмГТУ,
доктор технических наук, профессор
Тел.: (3812) 62-90-92, e-mail: burian@omgtu.ru

Юрий Андреевич Бурьян

Доцент кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» ОмГТУ,
кандидат технических наук
e-mail: myzn@mail.ru

Михаил Олегович Мызников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ОмГТУ, тел.: (3812)65-31-52,
e-mail: info@omgtu.ru

Подписи д.т.н., проф. Шалай В.В., д.т.н., проф. Бурьяна Ю.А., к.т.н. Мызникова М.О. заверяю.

Начальник управления кадров



12.05.2019

Ю.А.Духовских