

Даниил Олих, Алёна Бадогина

Daniil Olikh, Alyona Badogina

**ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
МОРСКОГО НЕФТЕПРОВОДА НА ВАРАНДЕЙСКОМ ТЕРМИНАЛЕ ОТ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА**

**TECHNICAL REGULATION OF THE SAFETY SYSTEM OF THE OFFSHORE
OIL PIPELINE AT THE VARANDEY TERMINAL AGAINST HYDRAULIC
SHOCK**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

Northern (Arctic) Federal University M.V. Lomonosov, Arkhangelsk

В настоящей статье рассматривается техническое регулирование системы безопасности морского нефтепровода на Варандейском терминале от гидравлического удара. Авторами были выявлены основные причины гидравлического удара на трубопроводах, выделена нормативно-техническая документация вопроса безопасности, а также были показаны основные методы борьбы с явлением гидравлического удара.

This article discusses the technical regulation of the safety system of the offshore oil pipeline at the Varandey terminal from water hammer. The authors identified the main causes of water hammer on pipelines, highlighted the regulatory and technical documentation of the safety issue, and also showed the main methods of combating the phenomenon of water hammer.

Ключевые слова: гидравлический удар, морской трубопровод, обеспечение безопасности, Варандейский терминал.

Keywords: water hammer, offshore pipeline, safe operation, Varandey terminal.

Одной из основных задач безопасной эксплуатации морского трубопровода является обеспечение безаварийной работы объекта.

В комплекс мер безопасной эксплуатации входит система защиты морского трубопровода от воздействия гидравлического удара. Данным явлением называют резкое повышение давления в трубопроводе. гидравлический удар является

достаточно частым явлением на морских нефтеналивных терминалах, в связи с тем, что на трубопроводе очень большое количество запорной и регулирующей арматуры.

Безопасность от данного явления регламентируется следующей нормативно-технической документацией, регулирующей обязательные требования в проектировании и эксплуатации трубопроводов:

- СП.36.13330.2012. Магистральные трубопроводы;
- ТР ТС 032/2013. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением";
- ТР ЕАЭС 049/2020. Технический регламент Евразийского экономического союза "О требованиях к магистральным трубопроводам для транспортирования жидких и газообразных углеводородов".
- ГОСТ Р 59066-2020. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов системы сглаживания волн давления для магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов;
- РД 153-39.4-056.00. Правила технической эксплуатации магистральных нефтепроводов;
- РД 153-39.4-113-01. Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов;
- ГОСТ 12.2.063—2015. Арматура трубопроводная. Общие требования безопасности.

Основными причинами гидравлического удара в морском трубопроводе являются [1]:

- Резкое закрытие задвижек на судах. Такое может произойти из-за угрозы переполнения танка судна, обнаружение протечки в трубопроводах на судне, возникновение пожара и других аварийных ситуаций;
- Самопроизвольное закрытие секущей задвижки;
- Самопроизвольное закрытие регуляторов давления и расхода.

При резком перекрытии запорной арматуры, происходит быстрое изменение скорости потока жидкости. Величина давления и скорость распространения ударной волны возрастает скачкообразно в зависимости от скорости и расхода перекачиваемого продукта в трубопроводе.

Вероятность возникновения данного явления также зависит от длины и диаметра трубопровода. Чем эти показатели выше, тем больше риск возникновения гидравлического удара. При внедрении перекрывающей арматуры на трубопровод, необходимо

руководствоваться системой их стабильной и надежной работы, а также минимизации появления количества отказов.

Последствия гидравлических ударов могут быть различными. В результате происходящего роста динамической нагрузки на различные системы трубопроводов, запорной арматуры, креплений могут произойти такие последствия, как разрыв трубы, нарушение целостности креплений, повреждения насосов, арматуры и фундамента.

На Варандейском терминале при швартовно-грузовых операциях, предусмотрена система аварийной остановки отгрузки нефти. Она состоит из трех уровней [2]:

- 1 уровень – подача сигнала на остановку насосов отгрузки нефти на береговой резервуарный парк (БРП) и закрытие клапанов трубопроводов отгрузки нефти на СМЛОП;
- 2 уровень – подача сигнала на остановку отгрузки нефти по первому уровню с последующей выдачей сигнала на отсоединение шланга отгрузки нефти (производится со стороны танкера);
- 3 уровень – выдача сигнала на остановку отгрузки нефти по второму уровню с последующей выдачей сигнала на отсоединения швартовного каната (производится также со стороны танкера).

Процесс отгрузки нефти осуществляется благодаря руководству оператора. С помощью системы локации – «дисплея местоположения», оператор может видеть расположение танкера относительно СМЛОП.

С такой системой локации – «дисплея местоположения», оператор может контролировать следующие действия:

- Направление отгрузочной стрелы СМЛОП;
- Местоположение челночного танкера и его курс;
- Точку отгрузки челночного танкера;
- Рабочую зону отгрузки.

В данной системе продемонстрированы не только все рабочие зоны отгрузки, но и аварийные зоны работы (критические отклонения отгрузочной стрелы СМЛОП).

При аварийных ситуациях второго и третьего уровня происходит перекрытие клапанов на трубопроводах, подводящих к СМЛОП. Впоследствии происходит накат волны от СМЛОП на берег, что приводит к её столкновению с клапаном и волна отражается, тем самым происходит гидравлический удар.

Явление гидравлического удара на Варандейском терминале случается довольно редко, но нельзя не учитывать данный фактор. Увеличение давления в трубопроводе, при возникновении данного явления, составляет в 1,5-2 раза от изначального рабочего давления, что может привести к выводу оборудования из строя.

Для борьбы с гидравлическим ударом применяются различные методы защиты. К ним относятся такие методы сокращения риска появления данного явления, как:

- плавное закрытие и открытие запорной арматуры;
- плавная остановка и запуск насосного оборудования;
- снижение скорости потока нефти;
- внедрение систем защиты от гидравлических ударов.

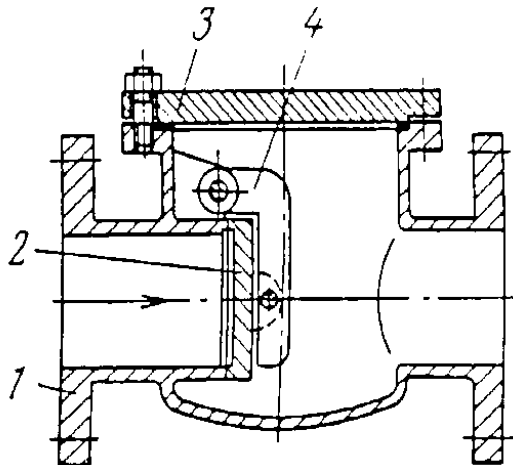
К основным системам защиты от гидравлического удара можно отнести следующие:

- использование обратных клапанов;
- использование предохранительных клапанов;
- использование системы волновой стабилизации давления.

Главная задача обратного клапана – не дать потоку жидкости в трубопроводе стечь в обратную сторону, тем самым предотвратить аварию, например при внезапной остановке насоса. Обратный клапан используют, как метод защиты от гидравлического удара на Варандейском терминале.

Обратные клапана по своему принципу действия классифицируются на подъемные и поворотные.

Предпочтительными обратными клапанами на магистральных трубопроводах являются поворотные, так как они имеют меньшее гидравлическое сопротивление. Его технологическая схема показана на рисунке 1.



1 – корпус; 2 – заслонка; 3 – крышка; 4 – серьга.

Рисунок 1 – Поворотный обратный клапан

Недостатком обратного клапана является то, что он не является прямым средством защиты от снижения мощности гидравлического удара. Данный клапан препятствует обратному направлению потока нефти, следовательно, снижает риск выхода из строя оборудования и самого трубопровода.

Предохранительные клапана являются более надежной защитой от гидравлического удара. Принцип действия данного оборудования заключается в том, что при повышении значения нормального давления в трубопроводе, открывается клапан сброса жидкости в резервную емкость, тем самым предотвращая аварию. После сброса, давление снижается до нормальной величины и клапан автоматически закрывается.

Предохранительные клапаны могут устанавливаться на следующих местах трубопровода:

- перед резервуарным парком;
- на нефтеналивных терминалах;
- на промежуточной нефтеперекачивающей станции;
- на технологическом трубопроводе.

При гидравлическом ударе предохранительный клапан защиты может использоваться, как аварийный клапан для сброса давления. При резком повышении давления, при остановке насоса, клапан срабатывает, это позволяет предотвратить последствия обратного гидравлического удара.

Существует множество видов предохранительных клапанов от различных компаний. Все они имеют свои достоинства и недостатки. Для Варандейского терминала, я выбрал предохранительные клапаны фирмы «Mokveld». Достоинства и недостатки предохранительных клапанов данной фирмы приведены далее.

Достоинствами предохранительных клапанов фирмы «Mokveld» являются:

- Быстрое время срабатывания;
- Эффективен при больших скачках давления;
- Простая эксплуатация оборудования.

Из недостатков можно выделить следующие:

- Высокая стоимость оборудования;
- Большие габаритные размеры.

Технические параметры предохранительных клапанов фирмы «Mokveld» приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1

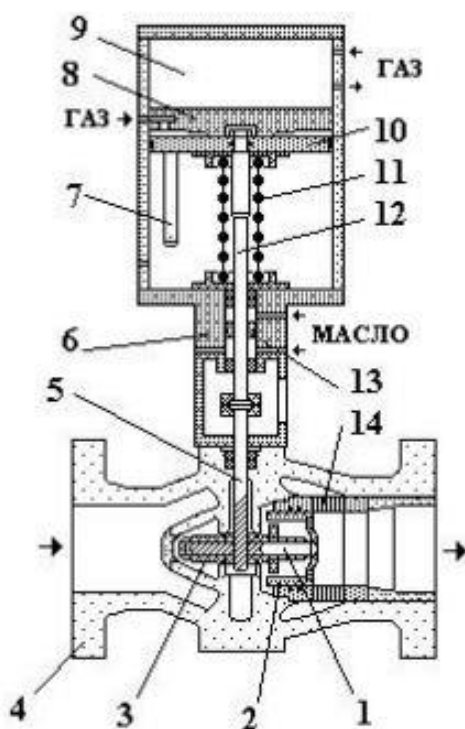
Технические параметры предохранительных клапанов фирмы «Mokveld»

Параметр	Значение/описание
Класс давления	600 по ASME
Рабочая температура	от -50°C до +205°C

Выполнение	Выполнен из углеродистой и нержавеющей, а также низколегированной стали для низких температур
Рабочая среда	Нефть и нефтепродукты, жидкости с высоким нефтегазовым соотношением, газы и газопродукты

Поскольку у нас две нитки трубопровода, необходимое количество клапанов составляет 2.

Схема данного предохранительного клапана фирмы «Mokveld» продемонстрирована на рисунке 2.



- 1 – шток поршня; 2 – поршень; 3 – направляющая втулка;
4 – корпус клапана; 5 – шпindel; 6 – корпус привода; 7 – упор;
8 – перегородка; 9 – ресивер; 10 – тарелка; 11 – пружина; 12 – шток;
13 – поршень ручного гидропривода; 14 – сепаратор

Рисунок 2 – Предохранительный клапан «Mokveld»

Также нужно иметь в виду, что для каждого предохранительного клапана, необходима резервуарная емкость для сброса нефти.

Технология волновой стабилизации давления является одним из самых эффективных методов по борьбе с гидравлическими ударами. Предназначением стабилизаторов является

полное гашение гидравлического удара и колебаний давлений, возникающих в трубопроводе.

Принцип действия данной системы заключается следующем: при возникновении в трубопроводе процессов гидравлического удара и колебаний давления, происходит перетекание жидкости через отверстия перфорации центрального трубопровода в кольцевую предкамеру, образованную внутренней поверхностью корпуса и внешней поверхностью центрального перфорированного трубопровода или наоборот, в результате чего изменяется давление в гидравлической полости демпфирующей камеры, что вызывает упругую деформацию упругодемпфирующего материала демпфирующей камеры, эластичной оболочки (эластомеры с заданными техническими характеристиками) и приводит к изменению объема жидкости в демпфирующей камере [4].

К главным преимуществам данной системы является быстроедействие и малые массогабаритные свойства. Система волновой стабилизации давления обеспечивает высокую эффективность гашения колебаний давления, поэтому является приоритетным методом защиты от гидравлического удара.

Таким образом, можно сделать вывод, что явление гидравлического удара является опасной нагрузкой на морской трубопровод, приводящей к выходу из строя оборудования и самого трубопровода. В статье рассмотрена нормативно-техническая документация, регулирующая обязательные требования в проектировании и эксплуатации трубопроводов, система защиты от гидравлического удара на Варандейском терминале, а также приведены основные методы защиты от данного явления. В ходе анализа методов защиты, была выбрана система волновой стабилизации давления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Слезкин, Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости [Текст] / Н.А.Слезкин – М.: Технико-теоретической литературы, 1955. – 520 с.;
2. Технологический регламент Варандейского нефтяного отгрузочного терминала: ТР-2584 / ВНОТ. – Пермь: ПермНИПИнефть, 2016. – 382 с.;
3. ОАО «Торговый дом «Воткинский завод» Антипомпажный клапан Mokveld [Электронный ресурс] / <http://gas.topol.ru/articles/antipompazhnyy-klapan-mokveld/>;
4. Ганиев, Р.Ф. Волновая стабилизация и предупреждение аварий в трубопроводах [Текст] / Р.Ф. Ганиев, Х.Н. Низамов, Е.И. Дербуков – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1996. – 165 с.