

УДК 621.646

Н.С. Арбузов, к.т.н., начальник отдела расчета переходных процессов, ООО «ИМС Индастриз»,
e-mail: arbuzov@imsholding.ru

ОСОБЕННОСТИ ЗАЩИТЫ МНОГОПРИЧАЛЬНЫХ НЕФТЕНАЛИВНЫХ ТЕРМИНАЛОВ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Рассматриваются морские нефтеналивные терминалы, в состав которых входит не один, а несколько последовательно расположенных на пирсе или на молу причалов для швартовки танкеров различного дедвейта. Исследуется вопрос о минимальном количестве систем защиты от гидравлического удара (СЗГУ) и местах их размещения для обеспечения безопасных условий погрузки судов на всех причалах терминала. Показано, что при последовательном расположении двух причалов на молу (или пирсе) размещение систем защиты от гидравлического удара в конце мола является наиболее предпочтительным, т.к. позволяет обеспечить защиту терминала при погрузке на каждом из причалов, а также избежать необходимости защиты от волн давления тупиковых участков технологических трубопроводов. При определенных условиях СЗГУ, размещенная в конце мола (пирса), позволяет обеспечить защиту от гидравлического удара не только двух, но и трех последовательно расположенных причалов.

Ключевые слова: гидравлический удар, морской нефтеналивной терминал, эффективное время закрытия задвижки, последовательное расположение причалов.

Для современных морских нефтеналивных терминалов схема последовательного расположения причальных сооружений на пирсе (или молу) является общепринятой (рис. 1). Трубопроводы, проложенные вдоль пирса, позволяют производить погрузку нефти или нефтепродукта с любого причала. Возникает вопрос, требуется ли установка системы защиты от гидроудара (СЗГУ) у каждого причала или достаточно одной системы для всех причалов. Поскольку СЗГУ можно расположить на берегу, в начале, в середине или в конце пирса, то спрашивается, где именно такая система должна быть установлена. Цель работы состоит в анализе различных вариантов размещения СЗГУ, с тем чтобы выяснить возможность установки всего лишь одной системы, способной, тем не менее, защитить нефтеналивные трубопроводы всех причалов, а также указать подходящие места для ее установки.

В процессе погрузки танкера одной из основных причин возникновения гидравлического удара в трубопроводной системе терминала является несанкционированное закрытие судовых задвижек или вызванное подвижкой судна закрытие задвижек дрейфовой безопасности [1–4]. Размещение СЗГУ в непосредственной близости (как правило, в пределах 50 м) от стендеров причала позволяет компенсировать последствия внезапного прекращения погрузки судна. Однако расстояние до причалов, расположенных выше и ниже по течению нефти в трубопроводе, может превышать 500 м. В состоянии ли одна СЗГУ в этом случае обеспечить защиту терминала от гидравлического удара, вызванного прекращением погрузки судов на соседних причалах? На рисунке 1 приведена схема погрузки нефти на трех последовательно расположенных причалах пирса. Нефть поступает на пирс из береговых резервуаров (Р-р) по технологическому

трубопроводу через коммерческий узел учета СИКН к стендерам причала № 3, затем к стендерам причала № 2 и, наконец, к стендерам причала № 1. Согласно правилам технической эксплуатации, по одному трубопроводу погрузку нефти можно осуществлять лишь на одном из трех причалов.

Рассмотрим вариант погрузки судна на причале № 1 для случая размещения СЗГУ в 50 м от стендеров причала № 1. Проанализируем, как будет изменяться эффективность СЗГУ по мере его удаления в направлении причалов № 2 и № 3. Оценку допустимого расстояния $l_{СЗГУ}^{\max}$, на которое СЗГУ может быть удалена от причала, можно выполнить на основе простых соображений. В математической модели терминала СЗГУ рассматривается как краевое условие, в соответствии с которым давление в трубопроводе в месте установки СЗГУ не должно превышать заданного расчетного значения. Закрытие судовых задвижек в процессе погрузки танкера

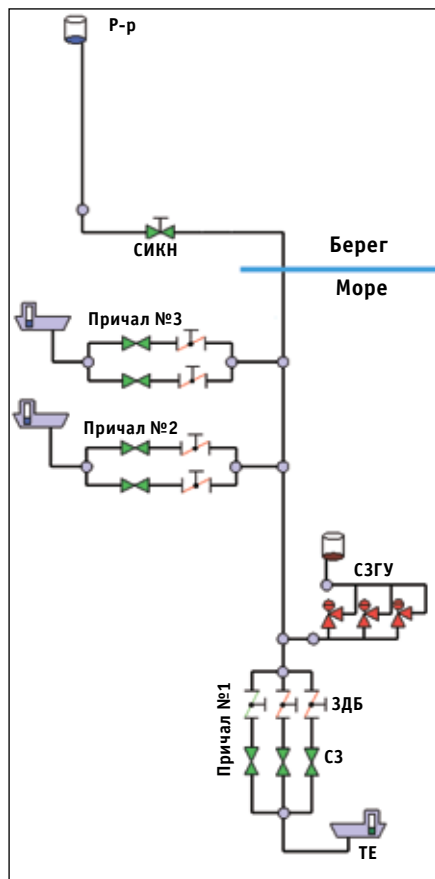


Рис. 1. Схема погрузки танкеров на многопричальном молу

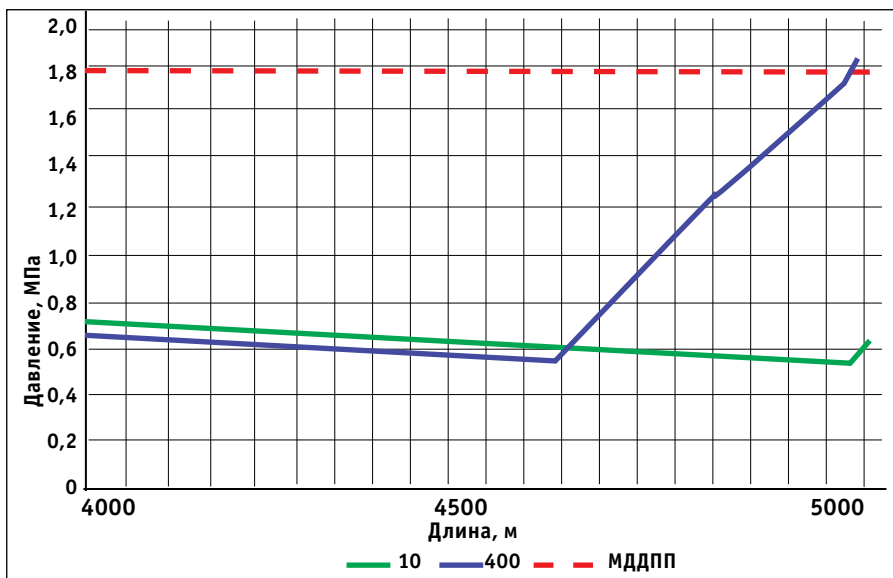



Рис. 2. Распределение максимального давления по длине трубопровода на пирсе при размещении СЗГУ у причала № 2

сопровождается торможением потока нефти и повышением давления в трубопроводе, средняя скорость которого, в соответствии с формулой Н.Е. Жуковского, равна $(\Delta p / \Delta t)_{сз}^{ср} = \rho v_0 c / t_{эф}^{сз}$ где ρ – плотность нефти; v_0 – начальная скорость нефти в трубопроводе; c – скорость распространения волн давления в

трубопроводе; $t_{эф}^{сз}$ – эффективное время закрытия судовых задвижек [3]. Волна разряжения от СЗГУ должна вернуться к стендерам причала не позже чем через время t^{max} , в течение которого давление $p_{сз}$ перед судовыми задвижками повышается от $p_{сз}^0$ начального значения до $p_{сз}^{max}$ максимального допустимого уров-



**Воронежский
механический
завод**

фонтанная арматура
обвязки устья скважин
комплекты подземного
оборудования
станции управления
противовыбросовое
оборудование
сертификация API и ISO

на правах рекламы



394055, г. Воронеж, ул. Ворошилова, 22,
тел.: (473) 234-87-49, 234-82-73
e-mail: 348168@rambler.ru, www.vmpzrn.ru

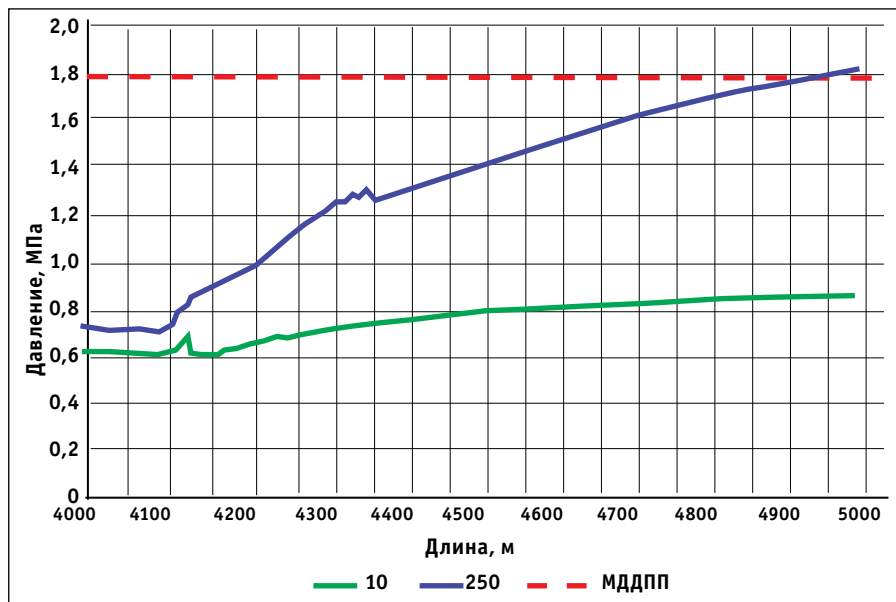


Рис. 3. Распределение максимального давления по длине трубопровода на пирсе при размещении СЗГУ у причала № 3

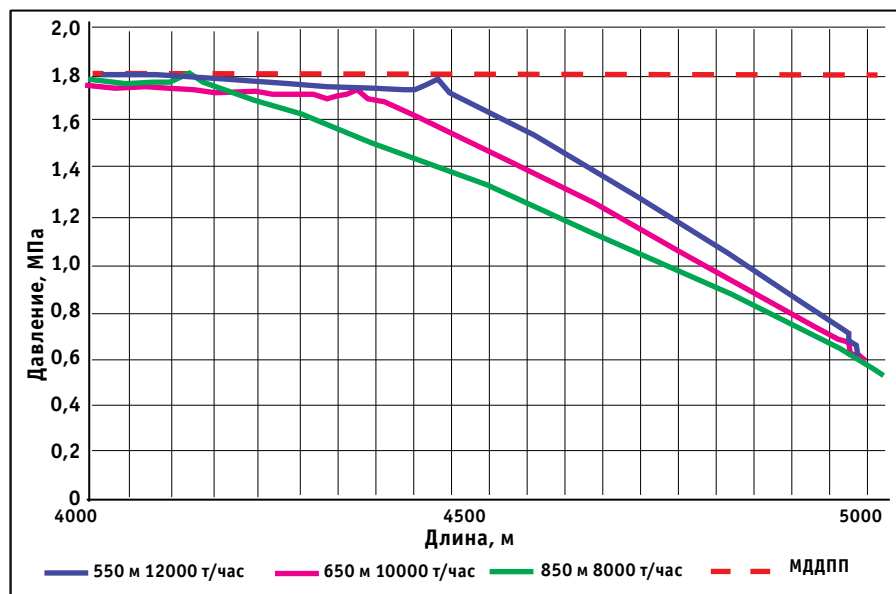


Рис. 4. Распределение максимального давления по длине трубопровода на пирсе при размещении СЗГУ у причала № 1

на величину $\Delta p_{c3}^{\max} = p_{c3}^{\max} - p_{c3}^0$. Это условие будет удовлетворено, если время $2 \cdot t_{c3гу}^L$ двойного пробега волны давления от судовых задвижек до СЗГУ и обратно плюс время $t_{c3гу}^{\Delta p}$, в течение которого давление $p_{mp}^{L_{c3гу}}$ в трубопроводе перед СЗГУ повышается на $\Delta p_{c3гу}^{настр} = p_{c3гу}^{настр} - p_{mp}^0$ от p_{mp}^0 начального значения до $p_{c3гу}^{настр}$ настроечного давления срабатывания предохранительных клапанов, не превысит t^{\max} , т.е. если выполняется неравенство:

$$t_{c3гу}^{\max} = 2 \cdot t_{c3гу}^L + t_{c3гу}^{\Delta p} \leq t^{\max}. \quad (1)$$

Здесь $t_{c3гу}^L = l_{c3гу}^{\max} / c$, $l_{c3гу}^{\max}$ – максимально допустимое расстояние от стендеров до СЗГУ, c – скорость звука в трубопроводе ($c \approx 1000$ м/с). Чтобы не допустить ложного срабатывания СЗГУ, значение $p_{c3гу}^{настр}$ настроечного давления предохранительных клапанов должно лежать выше диапазона изменения рабочего давления в трубопроводе на величину $p_{c3гу}^{настр} - p_{mp}^0$. В относительно коротком участке трубопровода между СЗГУ и причалом можно пренебречь потерями давления и принять, что давление перед СЗГУ бу-

дет увеличиваться с той же скоростью $(\Delta p / \Delta t)_{c3}^{cp}$, что и перед судовыми задвижками. В этом случае неравенство (1) можно преобразовать к виду

$$l_{c3гу}^{\max} \leq \frac{c \cdot \Delta p_{c3}^{\max} - \Delta p_{c3гу}^{настр}}{2 \cdot (\Delta p / \Delta t)_{c3}^{cp}} \approx t_{эф}^{c3} \cdot \frac{(p_{c3}^{\max} - p_{c3гу}^{настр})}{2 \rho v_0}, \quad (2)$$

что позволяет оценить максимальное допустимое расстояние $l_{c3гу}^{\max}$ между СЗГУ и судовыми задвижками в зависимости от режима погрузки, быстродействия запорной арматуры, допустимого уровня давления и принятых параметров настройки СЗГУ.

Рассмотрим конкретный пример с исходными данными, характерными для нефтеналивного терминала Новороссийского морского порта. Учитывая, что скорость течения нефти в технологических трубопроводах примерно в два раза выше аналогичной скорости в магистральных трубопроводах, примем ее равной ≈ 5 м/с. Плотность и вязкость нефти возьмем 865 кг/м³ и 10 сСт соответственно. Расход погрузки составляет 14000 м³/ч. Погрузка осуществляется из резервуарного парка, расположенного на площадке с высотной отметкой 150 м. Подводящий трубопровод имеет диаметр 1020 мм, общую протяженность 5000 м, причем 1000 м из них проложена по пирсу. Рабочее давление перед стендерами может изменяться в пределах от $0,2$ – $0,4$ МПа, поэтому давление срабатывания предохранительных клапанов СЗГУ принимается минимально возможным, равным $0,5$ МПа. Рассмотрим, как будет изменяться эффективность действия СЗГУ по мере удаления места ее расположения от причала № 1 в переходном процессе, вызванном экстренным прекращением погрузки судна на причале № 1 в результате закрытия задвижек дрейфовой безопасности за 5 с. На рисунке 2 представлены графики распределения максимального давления по длине трубопровода на пирсе в рассматриваемом переходном процессе. Зеленая линия соответствует графику распределения давления в случае размещения СЗГУ непосредственно у причала № 1. Если разместить СЗГУ на удалении 400 м от причала № 1, давление (синяя линия) перед стендерами превысит максимально допустимое значение, показанное на рисунке 2 красной штриховой линией. Из рисунка 2 видно,

что СЗГУ, установленная на причале № 2, обеспечит защиту от гидравлического удара, вызванного прекращением погрузки судна на причале № 1 в случае, если расстояние между причалами № 1 и № 2 не превышает 350 м.

Выполним оценку допустимого удаления СЗГУ от причала по формуле (2). Учитывая, что для судовых задвижек эффективное время $t_{эф}^{сз}$ их закрытия [3] составляет $\approx 50\%$ от полного времени закрытия, равного 5 с, то в соответствии с указанной формулой при погрузке нефти с начальной скоростью течения $v_0 = 5$ м/с и максимально допустимым давлением 1,76 МПа максимальное расстояние, на которое СЗГУ можно удалить от стендеров, не должно превышать 364 м:

$$l_{сзгу}^{max} = t_{эф}^{сз} \frac{(P_{сз}^{max} - P_{сзгу}^{настп})}{2\rho v_0} =$$

$$= 2,5 \frac{(1,76 - 0,5) \cdot 10^6}{2 \cdot 865 \cdot 5} = 364 \text{ м} .$$

Таким образом, если в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 1, СЗГУ будет установлена на причале № 3, то причал № 1, расстояние до которого может достигать 800–900 м, останется

незащищенным. Более того, если погрузка танкера происходит на причале № 3, то трубопровод, идущий к причалу № 1, представляет собой «тупиковый» конец, при отражении от которого амплитуда волны давления, как известно, удваивается [5]. Вот почему при гидравлическом ударе, вызванном остановкой погрузки судна на причале № 3 или № 2, возникает угроза превышения допустимого уровня давления в трубопроводе на причале № 1.

Рассмотрим, как будет изменяться эффективность действия СЗГУ, размещенной у причала № 3, при гидравлическом ударе, вызванном закрытием задвижек дрейфовой безопасности на причале № 2 в зависимости от увеличения расстояния между причалами № 3 и № 2. Заметим, что конец трубопровода у причала № 1 остается тупиковым. По-прежнему принимается, что давление срабатывания предохранительных клапанов СЗГУ равно 0,5 МПа. На рисунке 3 приведены графики распределения максимального давления по длине трубопровода на пирсе в рассматриваемом переходном процессе. Зеленая линия соответствует уровню

давления для случая гидравлического удара, вызванного прекращением погрузки судна на причале № 3. Фиолетовая линия соответствует распределению давления по длине трубопровода при гидравлическом ударе, вызванном прекращением погрузки судна на причале № 2. Из графиков следует, что при прекращении погрузки на причале № 3 увеличению давления до значения 0,65 МПа перед стендерами причала № 3 соответствует увеличение давления на причале № 1 до значения 0,85 МПа.

Из рисунка 3 видно, что прекращение погрузки на причале № 2, отстоящем на 250 м от причала № 3 с установленной на нем СЗГУ, приводит к повышению давления перед стендерами причала № 1 до 1,8 МПа. Поскольку эта величина превышает предельно допустимое значение 1,76 МПа, то можно сделать вывод, что размещение СЗГУ непосредственно у причала № 3 также не обеспечивает полной защиты всего терминала. В работе [4] показано, что заполненный нефтью участок трубопровода с подключенной в тупиковом конце сбросной емкостью обладает демпфирующими

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

КОПЕЙСКИЙ ЗАВОД ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ

НАНЕСЕНИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ (ДВУХ- И ТРЕХСЛОЙНЫХ) НА ОСНОВЕ ЭКСТРУДИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНА НА НАРУЖНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ ОТ 159 ДО 1420ММ.

НАНЕСЕНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НАРУЖНУЮ И ВНУТРЕННЮЮ ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ ОТ 159 ДО 1420ММ. ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ И НАЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В СООТВЕТСТВИИ С ПРОЕКТОМ ИЛИ ТРЕБОВАНИЯМИ ЗАКАЗЧИКА.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГНУТЫХ ОТВОДОВ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГНУТЬЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ ОТ 219 ДО 1420ММ

ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ ТРУБ В СОБСТВЕННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ:

- НЕРАЗРУШАЮЩЕГО УЗК И РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ПРОКАТА;
- СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛА;
- МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ;
- ГИДРОИСПЫТАНИЙ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 720 И 1020 ММ.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРУБ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ:

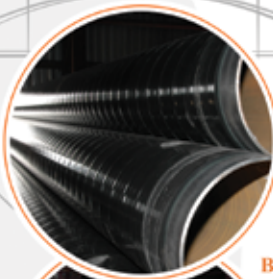
- ОЧИСТКА ОТ НАРУЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ Б/У ГИДРОКЛИНЕРОМ;
- ВНУТРЕННЯЯ ОЧИСТКА ТРУБ Б/У;
- ВИЗУАЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ;
- МЕХАНИЧЕСКАЯ И ОГНЕВАЯ ТОРЦОВКА КОНЦОВ ТРУБ;
- РЕМОНТ КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ;
- НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ;
- ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАЙ ИЗ ТРУБЫ ДИАМЕТРОМ 159-1420 ММ, ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛЫХ И НЕЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ, ДОРОЖНЫХ И ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ, А ТАКЖЕ В КАЧЕСТВЕ ОПОРА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ, КАК В ГРУНТЕ, ТАК И В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ С ПОГРУЖЕНИЕМ В ВОДУ.

ВСЯ ПРОДУКЦИЯ ООО «КОПЕЙСКИЙ ЗАВОД ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ» СЕРТИФИЦИРОВАНА В СООТВЕТСТВИИ С ГОСТ Р ИСО 9001-2001 И СТО ГАЗПРОМ 9001-2001. ПРЕДПРИЯТИЕ ИМЕЕТ СЕРТИФИКАТ «ТРАНССЕРТ». ПРОИЗВОДСТВО НА ООО «КОПЕЙСКИЙ ЗАВОД ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ» ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ НА ОСНОВАНИИ ТУ, СОГЛАСОВАННЫХ ОАО «ВНИИСТ» И ООО «ВНИИГАЗ».

**ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛ., Г. КОПЕЙСК, УЛ. МЕЧНИКОВА, 1
ТЕЛЕФОН/ФАКС: (35139) 20-981, (35139) 20-982
E-MAIL: KZIT@KZIT.RU WWW.KZIT.RU**

на правах рекламы



свойствами и его наличие позволяет до двух раз уменьшить амплитуду волны давления при гидравлическом ударе. Следовательно, в соответствии с формулой (2), размещение СЗГУ в конце пирса у причала № 1 обеспечивает эффективность ее действия на длине трубопровода примерно в два раза больше, чем в случае размещения СЗГУ на причале № 2. Кроме того, СЗГУ, установленная в конце пирса, позволяет исключить опасный эффект удвоения давления в тупиковом конце трубопровода.

Рассмотрим теперь, как будет изменяться эффективность СЗГУ, расположенной у причала № 1, по мере увеличения расстояния между причалами № 1 и № 2. На рисунке 4 приведены графики распределения максимального давления по длине трубопровода на пирсе при возникновении гидравлического удара. Синяя линия соответствует распределению давления для случая гидравлического удара, вызванного прекращением погрузки судна на причале № 2, если расстояние между причалами № 1 и № 2 равно 550 м (ранее было показано, что при размещении СЗГУ на причале № 2 расстояние от СЗГУ до причала № 1 не должно превышать 350 м). Следовательно, размещение СЗГУ в конце мола более эффективно, так как при прочих равных условиях позволяет выбрать более высокое давление срабатывания предохранительных клапанов, что позволит сократить их число и уменьшить объем нефти, перепускаемой при гидравлическом ударе в сбросную емкость.

Из рисунка 4 видно, что при уменьшении производительности погрузки увеличивается расстояние, на котором действие СЗГУ, установленной в конце пирса, остается эффективным. При уменьшении производительности погрузки до 10 тыс. т/ч СЗГУ эффективна на расстоянии до 650 м и, соответственно, при производительности 8000 т/ч – на расстоянии до 850 м. Таким образом, если на расположенных ближе к берегу причалах обрабатываются суда с меньшим дедвейтом и с меньшей производительностью погрузки, то в случае 3-причальной системы налива нефти существует возможность обеспечить защиту терминала от гидравлического удара с помощью всего лишь одной СЗГУ, установленной в конце пирса.

ВЫВОДЫ

1. В случае 2-причальной системы налива нефти на суда СЗГУ может быть размещена у любого причала, однако предпочтение должно отдаваться месту у причала в конце пирса, где СЗГУ более эффективна (ее можно настроить на более высокое давление срабатывания, что сокращает число клапанов и снижает объем сброса нефти).
2. В случае 3-причальной системы налива нефти на суда размещение СЗГУ у ближнего к берегу причала не обеспечивает защиту терминала при гидравлическом ударе, вызванном экстренным прекращением погрузки на причале № 2 (из-за чрезмерного увеличения давления в конечном участке трубопровода у причала № 1). Тем более не обеспечивается

защита на причале № 1 из-за слишком большого удаления от него СЗГУ.

3. В случае 3-причальной системы налива нефти на суда размещение СЗГУ у причала в конце пирса является предпочтительным. При уменьшении производительности погрузки судов на причалах, расположенных ближе к берегу, имеется возможность обеспечить защиту терминала от гидравлического удара всего лишь одной СЗГУ, расположенной в конце пирса, и при этом избежать необходимости в защите от волн давления тупиковых участков технологических трубопроводов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Арбузов Н.С. Комбинированная система защиты морских нефтеналивных терминалов от гидроударных явлений // Трубопроводный транспорт (теория и практика). – 2010. – № 4. – С. 20–23.
2. Арбузов Н.С. Влияние времени закрытия судовых задвижек на уровень максимального давления в трубопроводах нефтеналивных терминалов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 1. – С. 38–40 с.
3. Арбузов Н.С. Эффективное время закрытия секущей задвижки и гидроудар в трубопроводной системе морского нефтеналивного терминала // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 4. – С. 21–23.
4. Арбузов Н.С., Дидковская А.С., Лурье М.В. Защита трубопроводов морских нефтеналивных терминалов от гидравлического удара с помощью береговой компенсаторной емкости // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – № 4. – С. 33–35.
5. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012. – 456 с.

Transport and storage of oil and gas

N.S. Arbuzov, PhD, department head of IMS Industries ltd, e-mail: Arbuzov@imsholding.ru

Features of the protection of the marine oil terminals with consecutive berths from hydraulic water hammer

Marine oil terminals, which include not one, but several consecutive berths on the pier for tankers of various dwt are considered. The question of the minimum number of protection systems from the water hammer (SZGU) and their locations to ensure safe conditions for the loading of ships at all berths of the terminal investigated. It is shown that location of the protection systems of the water hammer (SZGU) at the end of the pier is the most preferred for the serial arrangement of two berths at the pier. This allows protecting the terminal in case of the loading on each of the berths, and also avoiding the need for protection against the pressure wave in a dead end of the pipe. Under certain conditions, SZGU, placed at the end of pier, provides protection from the water hammer is not only 2, but 3 consecutive berths

Keywords: water hammer, marine oil terminal, the effective time of closing valves, consistent layout berths.

References:

1. 1. Arbuzov N.S. Kombinirovannaya sistema zashchity morskikh neftenalivnykh terminalov ot gidroudarnykh yavleniy (Combined protection system of marinoil terminals against hydropercussion effects) // Pipeline transport (theory and practice). – 2010. – No 4. – p. 20-23.
2. Arbuzov N.S. Vliyaniye vremeni zakrytiya sudovykh zadvizhek na uroven' maksimal'nogo davleniya v truboprovodakh neftenalivnykh terminalov (Influence of marine valves closing time on maximum pressure level in oil terminals pipelines) // Science and technologies of oil and oil products pipeline transport. – 2011. – No 1 – p. 38-40.
3. Arbuzov N.S. Effektivnoye vremya zakrytiya sekushei zadvizhki i gidroudara v truboprovodnoi sisteme morskogo neftenalivnogo terminala (Effective closing time of mainline block valve and water hammer effect in marine oil terminal piping system) // Science and technologies of oil and oil products pipeline transport. – 2011. – No. 4 - p. 21-23.
4. Arbuzov N.S., Didkovskaya A.S., Lurye M.V. Zashchita truboprovodov morskikh neftenalivnykh terminalov ot gidravlichesкого удара s pomoshch'yu beregovoi kompensatornoi emkosti (Pipeline protection of marine oil terminals against water hammer effect using coastal compensatory capacity) // Science and technologies of oil and oil products pipeline transport. – 2012. – No 4. – p. 33-35.
5. Lurye M.V. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov truboprovodnogo transporta nefiti, nefteproduktov i gaza (Mathematical modeling of oil, oil products and gas pipeline transport processes). – М.: the Publishing Centre of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. – 2012. – 456 p.