РАЗДЕЛ XV. ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Алабьев В.Р., Козлова М.О.

Предупреждение чрезвычайных ситуаций при реконструкции магистрального нефтепровода на нефтегазодобывающем предприятии

Кубанский государственный технологический университет
(Россия, Краснодар)

doi: 10.18411/lj-06-2020-89

idsp: ljournal-06-2020-89

Аннотация

В работе приведен анализ аварий на магистральных нефтепроводах. Для одного из объектов ПАО «Транснефть» определены наиболее вероятные и наиболее опасные сценарии развития аварий в ходе реконструкции магистрального нефтепровода. Установлены зоны действия основных поражающих факторов этих аварий. Предложены мероприятия по предотвращению таких аварий.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, сценарий аварии, поражающие факторы, зона поражения, мероприятия.

Abstract

The article presents an analysis of accidents on main oil pipelines. The most probable and most dangerous scenarios of accidents during the reconstruction of the main oil pipeline have been identified for one of the objects of Transneft oil company. The zones of action of the main striking factors of these accidents are established. Measures are proposed to prevent these accidents.

Keywords: main oil pipelines, accident scenario, striking factors, zone of striking, measures.

Российская Федерация имеет одну из самых обширных сетей магистральных трубопроводов в мире. Общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов в 2019 г. составляла более 266,4 тыс. км, из которых: магистральные газопроводы – 188,4 тыс. км; магистральные нефтепроводы – 54,8 тыс. км; магистральные продуктопроводы – 23,2 тыс. км, в том числе: аммиакопроводы – 1,4 тыс. км; трубопроводы для перекачки легких фракций углеводородов – 3,8 тыс. км.

Анализ годовых отчетов о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за период с 2014 по 2019 показал, что динамика показателей аварийности и травматизма на объектах магистрального трубопроводного транспорта имеет ярко выраженный волновой характер с тенденцией к затуханию. Тем не менее, в 2019 году произошло 7 аварий на объектах магистрального трубопроводного транспорта, при этом количество пострадавших резко возросло, по сравнению с 2018 годом (рис.1) [1].

Рисунок 1 - Динамика показателей промышленной безопасности на объектах нефтегазодобычи.

На данный момент в Российской Федерации срок эксплуатации более половины магистральных нефтепроводов (МНП) превысил свой проектный срок или уже приближается к нему. Данный факт подчеркивает огромную вероятность возникновения аварий на магистральных нефтепроводах. Поэтому крайне актуальна разработка мер по предотвращению аварий и их последствий.

Обеспечение эффективной и надежной работы МНП может быть достигнуто проведением капитального ремонта, реновации оборудования и реконструкции. Однако капитальный ремонт и реновация оборудования лишь поддерживают проектное техническое состояние и технико-экономические показатели объектов. Реконструкция, которая проводится на основе современных технических решений, разработанных с учетом последних достижений науки и техники, позволяет добиться улучшения технико-экономических показателей, заложенных в проекте магистрального нефтепровода. Реконструкция также позволяет обновить основные фонды с меньшими затратами и в более короткие сроки, чем при новом строительстве, что особенно важно в нынешних экономических условиях при ограниченных финансовых ресурсах. В процессе реконструкции осуществляется внедрение новейшей техники, новых конструктивных решений и технологий и одновременно решаются такие социально значимые проблемы, как улучшение условий труда и охрана окружающей среды.

Анализируя аварии на МНП при проведении работ по реконструкции за последнее десятилетие, можно выделить основные причины аварий [2,3]:

- 1) брак строительно-монтажных работ (22-32%);
- 2) механические повреждения труб машинами и механизмами при земляных работах (17-19%);
- 3) нарушение материалов и конструкций вызванные их длительной эксплуатацией (15%);
- 4) коррозия, в том числе локальная, вызванная блуждающими токами (12-29%);
- 5) нарушение требований эксплуатации и ошибки персонала (5%);
- 6) металлургические дефекты труб (9-12%);
- 7) природные и стихийные явления (7-10%).

Таким образом, до 60% всех аварий на МНП вызваны браком строительно-монтажных работ, механическим повреждением труб машинами и механизмами при земляных работах, а также коррозией.

Можно выделить следующие причины аварийных ситуаций, связанных с браком строительно-монтажных работ и механическими повреждениями труб при земляных работах [2,3]:

- дефекты при изготовлении труб и монтаже трубопроводов;
- несоблюдение проектных нормативов;
- брак сварки, и недостаточный контроль качества швов;
- несоблюдение техники безопасности и прочих нормативных актов;
- нарушение технологических регламентов.

Последствия аварий с выбросом нефти распределяются следующим образом:

- растекание по подстилающей поверхности – 85 % случаев;
- выброс нефти с мгновенным воспламенением – 3 % случаев;
- выброс нефти с последующим пожаром излития – 11 % случаев;
- аварии, сопровождающиеся объемным взрывом с последующим пожаром излития – 1 % случаев.

Объектом исследования в данной работе стал реконструируемый участок МНП «Крымск–Краснодар, 0,00–16,80 км» ПАО «Транснефть», расположенный в Краснодарском крае. В процессе проведения реконструкции магистрального нефтепровода планируется осуществлять следующие виды работ:

- замена магистрального нефтепровода «Крымск–Краснодар» на участке 0–16,8 км;
- строительство камеры пуска средств очистки и диагностики (СОД) на перевалочной нефтебазе «Крымская»;
- гидроиспытания построенных участков;
- проведение профилометрии (калибровки) построенного участка;
- установка маркерных пунктов и опознавательных знаков;
- опорожнение замененного участка трубопровода от нефти.

Основными опасностями при проведении работ по реконструкции линейной части МНП являются возможность разгерметизации участка трубопровода с последующей утечкой нефти и попаданием в окружающую природную среду, а также возможное воспламенение паров пролитой нефти с образованием пожаров, возможным развитием избыточного давления при сгорании топливно–воздушной смеси (ТВС) и загрязнением окружающей природной среды продуктами горения.

Рассмотрим аварийные ситуации на нефтепроводе с двумя наиболее характерными отверстиями повреждения: частичная разгерметизация нефтепровода путем образования свища; разгерметизация нефтепровода вследствие гильотинного разрыва. При определении типовых сценариев возможных аварий использовались результаты расследования ранее произошедших аварий, анализа неполадок и инцидентов на объектах аналогичных декларируемому.

Сценарий С1.1 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование свища) → разлив нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → появление источника зажигания → взрыв паровоздушного облака → воздействие избыточного давления на людей и окружающую среду.

Сценарий С1.2 – разгерметизация нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование свища) → разлив нефти → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → появление источника зажигания → пожар–вспышка → воздействие высокотемпературных продуктов горения паровоздушного облака на людей и окружающую среду.

Сценарий С1.3 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование свища) → разлив нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → появление источника зажигания → пожар пролива → тепловое воздействие на людей и окружающую среду.

Сценарий С1.4 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) → разлив нефти (образование свища) → загрязнение почвы, водного объекта (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → загрязнение парами нефти окружающей среды.

Сценарий С2.1 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование гильотинного разрыва) → разлив нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → появление источника зажигания → взрыв паровоздушного облака → воздействие избыточного давления на людей и окружающую среду.

Сценарий С2.2 – разгерметизация нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование гильотинного разрыва) → разлив нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование

взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → появление источника зажигания → пожар–вспышка → воздействие высокотемпературных продуктов горения паровоздушного облака на людей и окружающую среду.

Сценарий С2.3 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование гильотинного разрыва) → разлив нефти → загрязнение почвы (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → появление источника зажигания → пожар пролива → тепловое воздействие на людей и окружающую среду.

Сценарий С2.4 – разгерметизация магистрального нефтепровода (камеры пуска СОД) (образование гильотинного разрыва) → разлив нефти → загрязнение почвы, водного объекта (территории площадки камеры СОД) → испарение и формирование взрывопожароопасного облака паровоздушных смесей нефти → загрязнение парами нефти окружающей среды.

При построении логического «дерева событий» (рис.2) и оценке частоты реализации аварийных ситуаций использовались условные вероятности реализации различных ветвей логического дерева событий и перехода аварии на ту или иную стадию развития. Условные вероятности реализации аварийной ситуации определены на основе рекомендуемых условных вероятностей, приведенных в [4] с учетом факторов, которые влияют на возможное развитие аварии (табл. 1).

Рисунок 2 – «Дерево событий» при возникновении аварийных ситуаций на линейной части МНП

Таблица 1

Условные вероятности развития событий

Тип дефектного отверстия	Буквенное обозначение условной вероятности			
	a	b	c	d
Свищ	0	0,005	0,005	0,08
Гильотинный разрыв	0	0,200	0,240	0,60

Результаты расчетов вероятности развития сценариев аварийных ситуаций на проектируемом участке МНП показали, что наиболее вероятным сценарием является аварийная утечка нефти через дефектное отверстие (свищ) с последующей

локализацией и ликвидацией пролива – сценарий С1.4 (вероятность $2,96 \cdot 10^{-5}$). При этом возможен разлив нефти и загрязнение почвы, атмосферного воздуха, водных объектов, нанесение ущерба окружающей природной среде. Однако наиболее опасной по последствиям сценарием аварийной ситуации, является авария, развивающаяся по сценарию С2.1 (взрыв паровоздушного облака при гильотинном разрыве). При реализации данной аварии возможно наибольшее по масштабам нанесение ущерба людским и материальным ресурсам, а также компонентам природной среды.

Основными поражающими факторами этих аварий являются:

- ударная волна при взрывах и разлет осколков, возникающих от обрушенных зданий и конструкций, а также от разрушенного оборудования;
- тепловое излучение пожара пролива;
- загрязнения нефтью территории места аварии;
- загазованность воздушной среды вредными веществами, связанными с горением нефти в зоне разлива.

Количество опасного вещества, участвующего в аварии на рассматриваемом участке нефтепровода для наиболее вероятной и наиболее опасной аварии, приведено в таблице 2.

Таблица 2

Количество опасного вещества, участвующего в аварии для наиболее вероятной и наиболее опасной аварии

Номер сценария аварии	Последствия	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, участвующее в аварии, т
Дефектное отверстие "свищ"			
С1.4	загрязнение окружающей среды	интоксикация почвы и водной поверхности	14
Гильотинный разрыв			
С2.1	взрыв паровоздушного облака	ударная волна	0,590

При возможных авариях произойдет загрязнение земной и водной поверхностей. В связи с этим выполнена приближенная оценка площади загрязнения, результаты которых при наиболее вероятной и наиболее опасной аварии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчетов площадей разлива при наиболее вероятной и наиболее опасной аварии

Участок трубопровода	Площадь разлива, м ²	Радиус разлива, м
Дефектное отверстие "свищ"		
0-16,8 км	85	5
Гильотинный разрыв		
0-16,8 км	1340	21

Опасным фактором теплового воздействия является интенсивность теплового излучения. При пожаре пролива тепловые зоны будут повторять форму зон разлива. Данные о вероятных размерах зон теплового излучения при пожаре на рассматриваемом участке трубопровода приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчета зоны теплового излучения при пожаре пролива

Номер сценария аварии	Площадь разлива, м ²	Размер зоны теплового излучения с плотностью теплового потока, м			
		1,4 кВт/м ²	4,2 кВт/м ²	7,0 кВт/м ²	10,5 кВт/м ²
С1.4	85	28	15	10	7
С2.1	1340	64	33	22	21

Расчет избыточного давления взрыва проведен в соответствии [5]. Сгорание облака ТВС будет протекать в дефлаграционном режиме. Скорость фронта пламени определялась расчетным методом. Данные о размерах вероятных зон действия ударной волны при взрыве облака ТВС на проектируемом участке трубопровода приведены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты расчета зон действия ударной волны при взрыве

Номер сценария аварии	Размер зоны действия избыточного давления ударной волны при взрыве, м					
	100 кПа	53 кПа	28 кПа	12 кПа	5 кПа	3 кПа
C2.1	-	-	-	72	202	315

Таким образом, основные параметры наиболее опасной по последствиям аварийной ситуации на реконструируемом участке МНП «Крымск-Краснодар, 0-16,8 км» составят:

- площадь разлива нефти – 1340 м²;
- зона умеренных повреждений зданий (внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.) – 72 м;
- зона нижнего порога поражения человека ударной волной – 202 м;
- зона малых повреждений (разбита часть остекления) – 315 м;
- вероятность реализации данного сценария аварии 1/(км·год) – $1,47 \cdot 10^{-7}$;
- максимальное количество пораженных составит до 9 человек (обслуживающий персонал при проведении планового обхода трассы, а также производственный персонал во время производства работ в зоне аварии).

Границы зон поражения при наиболее опасных (масштабных авариях) на проектируемом участке нефтепровода нанесены на ситуационный план и реконструируемой части МНП и представлены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Границы зон поражения: 1 – перевалочная нефтебаза «Крымская»; 2 – магистральный нефтепровод; 3 – зона умеренных повреждений; 4 – зона поражения человека; 5 – зона малых повреждений

Необходимые мероприятия, направленные на предотвращение аварий, а при их возникновении – уменьшение тяжести последствий включают:

- организацию и осуществление производственного контроля, по результатам которого выполняется приведение объектов МНП в

соответствие с требованиями нормативных и правовых актов при помощи управление технологическим оборудованием линейной части МНП из диспетчерских пунктов (пунктов контроля управления);

- регулярное проведение диагностики объектов МНП, постоянный мониторинг их состояния и устранение выявленных отступлений от действующих норм и правил;
- регулярное проведение замен изношенного оборудования, текущих и капитальных ремонтов согласно утвержденным графикам;
- регулярное проведение обучения персонала и проверки знаний правил безопасного ведения работ, правил пользования коллективными и индивидуальными средствами защиты и штатными средствами пожаротушения;
- проведение работ повышенной опасности только по оформленным нарядам-допускам и разрешениям при соответствующей подготовке рабочего места;
- регулярное проведение учебно-тренировочных занятий согласно утвержденным графикам.

Население должно быть проинформировано о поведении в охранных зонах объектов магистрального нефтепровода, в т.ч. при возникновении аварийных ситуаций.

***

1. How rogue ales makes a great beer from wet hops, clean water and innovation Режим доступа: <https://blogs.intel.com/iot/2018/02/06/how-rogue-ales-makes-a-great-beer-from-wet-hops-clean-water-and-innovation/#gs.64mwp2> (дата обращения: 10.05.2020)
2. Implementing the internet of things in logistics and transportation Режим доступа: <https://www.losant.com/blog/implementing-the-internet-of-things-in-logistics-and-transportation> дата обращения: (10.05.2020)
3. UN Climate Change Conference - December 2019 Режим доступа: <https://unfccc.int/cop25> дата обращения: (12.05.2020)
4. How IoT Is Improving Transportation & Logistics Industry Режим доступа: <https://www.cioandleader.com/article/2015/12/09/how-iot-improving-transportation-logistics-industry> дата обращения: (12.05.2020)
5. IoT Use Cases in Transportation and Logistics Режим доступа: <https://boosthigh.com/iot-transportation-and-logistics/> дата обращения (12.05.2020)
6. Что такое RFID-метки. Технология радиочастотной идентификации Режим доступа: <https://www.atol.ru/blog/chto-takoe-rfid-metki-tehnologiya-radiochastotnoy-identifikatsii/> дата обращения: (15.05.2020)
7. Research firm Gartner is predicting strong growth in the drone market, with commercial and consumer applications overlapping. Режим доступа: <https://www.techrepublic.com/article/global-drone-market-to-hit-11-2b-by-2020-report-says/> дата обращения: (16.05.2020)

Забегалова Г.Н., Хайдукова Е.В., Ермолина А.М.

Исследование влияния муки злаковых и бобовых культур на органолептические показатели ферментированного молочного продукта функционального назначения

*ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина»
(Россия, Вологда)*

doi: 10.18411/lj-06-2020-90

idsp: ljjournal-06-2020-90

Аннотация

Проведен анализ патентной литературы в области производства кисломолочных продуктов функционального назначения с использованием муки зерновых культур. Представлены результаты исследований по изучению влияния муки зерновых и