



УДК 622.692.4

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА ПРИ ОТСТУПЛЕНИИ ОТ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS TO ENSURE THE SAFETY OF THE MAIN OIL PIPELINE IN CASE OF DEVIATION FROM THE DESIGN STANDARDS

Федорин Денис Андреевич

аспирант кафедры транспорта и хранения нефти и газа,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
fedorin.denis.1@yandex.ru

Бахтизин Рамиль Назифович

доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
ramil_bahtizin@mail.ru

Аннотация. Проектирование таких объектов капитального строительства, как магистральных нефтепроводов, должно выполняться в строгом соблюдении требований действующих нормативно-технических документов (НТД). Однако, стоит отметить, что соблюдение всех требований НТД при проектировании не всегда представляется возможным ввиду наличия различных осложняющих факторов. Авторами данной статьи рассмотрены конкретные случаи отступления от норм проектирования, а также разработаны решения, направленные на обеспечение безопасности магистрального нефтепровода при его реконструкции с нарушением предписанных действующим законодательством требований. Достаточность разработанных решений доказана путем выполнения по утвержденной методике МЧС России расчетов, направленных на оценку пожарного риска.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, проектирование, реконструкция, отступление от норм проектирования, компенсирующие мероприятия.

Fedorin Denis Andreevich

postgraduate of the Department
Transportation and Storage of Oil and Gas,
Ufa State Petroleum Technological University
fedorin.denis.1@yandex.ru

Bahtizin Ramil Nazifovich

Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor,
professor of the Department Transportation
and Storage of Oil and Gas
Ufa State Petroleum Technological University
ramil_bahtizin@mail.ru

Annotation. The design of capital construction projects such as oil trunk pipelines must be carried out in strict compliance with the requirements of the current regulatory and technical documents (NTDs). However, it is worth noting that compliance with all the requirements of the NTD in the design is not always possible due to the presence of various complicating factors. The authors of this article have considered specific cases of deviation from the design standards, as well as developed solutions aimed at ensuring the safety of the main oil pipeline during its reconstruction in violation of the requirements prescribed by current legislation. The sufficiency of the developed solutions is proved by performing calculations based on the approved methodology of the Ministry of Emergency Situations of Russia aimed at assessing fire risk.

Keywords: oil trunk pipeline, design, reconstruction, deviation from design standards, compensating measures.

Актуальность данной работы заключается в разработке в соответствии с [1–4] компенсирующих отступление от норм проектирования мероприятий, направленных на обеспечение необходимого уровня безопасности.

На текущий момент времени и в обозримом будущем основным способом транспортировки подготовленной нефти на дальние расстояния является использование магистральных нефтепроводов (МН). Перекачиваемый по ним флюид подвержен высокой вероятности возникновения таких аварийных ситуаций как возгорание и взрыв. В связи с чем, обеспечение достаточного уровня безопасности МН является ключевой задачей проектирования новых и реконструкции существующих систем трубопроводного транспорта. Выполнение данной задачи возможно только при строгом соблюдении всех предписанных норм и правил проектирования, отображенных в действующих нормативно-технических документах (НТД) [5–10], но это не всегда представляется возможным ввиду наличия различных осложняющих проектирование факторов.

Рассматриваемым объектов в данной статье является МН имеющий следующие характеристики:

- 1) внешний диаметр – 1020 мм;
- 2) толщина стенки трубопровода – 14 мм;
- 3) проектная пропускная способность – 47,5 млн т/год;
- 4) у уровень ответственности – повышенный.

Реконструкция указанного выше нефтепровода предусматривается с целью повышения надежности при дальнейшей его эксплуатации и снижения вероятности возникновения аварийной ситуации.



Анализируя трассу трубопровода, были выявлены отступления от норм проектирования. Сведем их, а также послужившие этому причины в таблицу 1.

Таблица 1 – Перечень отступлений от требований НТД и причины их осуществления

№	Отступление	Причина
1	п. 7.15 (п. 1 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до границ сельскохозяйственного предприятия (сближение до 7 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
2	п. 7.22 [7] в части прокладки МН DN1000 на расстоянии менее 1000 м от населенных пунктов Поповка, Первомайское, Подборье и Хлебороб на отметках выше населенного пункта без устройства защитных сооружений на участках	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
3	п. 7.15 (п. 10 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до пруда (сближение до 60 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки
4	п. 7.15 (п. 10 таблицы 4) [7] в части несоблюдения минимально допустимого расстояния от оси проектируемого МН до реки (сближение до 8 м)	Отсутствие альтернативных вариантов прокладки

Как видно по таблице 1, все отступления от требований НТД вызваны отсутствием альтернативных вариантов прокладки трассы трубопровода. Однако, стоит отметить, что причины могут быть различными, например, ограничение размещения защитного сооружения по из-за рельефа местности, наличие водоохранных зон и прибрежно-защитных полос водных преград, наличие большое количество инженерных коммуникаций сторонних собственников, развитие населенных пунктов и, в связи с этим смещение их границ. Иначе можно сказать, что отсутствие альтернативных вариантов прокладки невозможно ввиду наличия территориальной стесненности.

Для разработки компенсирующих мероприятий определим основные сценарии возможных аварий и вероятности их возникновения. Для этого воспользуемся утвержденным МЧС России методом логических деревьев событий [11]. Составленные «деревья событий» представлены на рисунках 1–3.

Разработка компенсирующих мероприятий

Для случаев в представленных выше «деревьях событий», а также для обеспечения необходимого уровня безопасности МН и компенсаций отступлений, представленных в таблице 1 были разработаны следующие компенсирующие мероприятия:

- 1) категория трубопровода должна быть принята В;
- 2) толщину стенки трубопровода принять:

– не менее 16 мм на участке прокладки трубопровода методом ННБ (увеличение на 33,33 % относительно минимальной толщины стенки для магистрального трубопровода с номинальным диаметром DN 1000, определенной в соответствии с требованиями п. 12.3 [7] – 12 мм).

– не менее 14 мм на остальных участках действия СТУ (увеличение на 16,67 % относительно минимальной толщины стенки для магистрального трубопровода с номинальным диаметром DN 1000, определенной в соответствии с требованиями п. 12.3 [7] – 12 мм).

Частичное разрушение емкости с двухфазной смесью, Большой расход (>50 кг/с)



Рисунок 1 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате частичного разрушения трубопровода (большой расход истечения, тип разгерметизации «свищ»)



Частичное разрушение емкости с двухфазной смесью,
Большой расход (>50 кг/с)



Рисунок 2 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате частичного разрушения трубопровода (большой расход истечения, тип разгерметизации «трещина»)

Полное разрушение емкости
с двухфазной смесью



Рисунок 3 – Типовое дерево событий при аварии на магистральном трубопроводе с нефтью под давлением, инициируемой в результате полного разрушения оборудования (тип разгерметизации «гильотинный» разрыв)

3) применение труб классом прочности K56 по [12] из низколегированной стали контролируемой прокатки с минусовым допуском по толщине стенки не более 5 % со следующими свойствами:

- временное сопротивление (предел прочности) – 550 МПа;
- предел текучести – 410 МПа;

– значение эквивалента углерода, характеризующего свариваемость трубной стали, не должно превышать 0,42.

4) применение дублирующего контроля радиографическим методом 100 % всех сварных соединений трубопровода застройщиком или сторонней независимой лабораторией, нанятой застройщиком, в присутствии специалиста строительного контроля;

5) устройство противофильтрационного экрана из геомембраны по дну и боковым откосам траншеи проектируемого МН на участках траншейной прокладки;

6) установка опознавательных знаков в пределах прямой видимости на расстоянии не более 500 м.

Определение расчетных величин пожарного риска на объекте

Для определения достаточности разработанных компенсационных мероприятий необходимо определить расчетные величины пожарного риска МН в соответствии со статьей 6 [1]. Расчеты проведем по методикам, представленным в нормативно-правовых актах [11, 13]. Согласно данным методик, для количественной оценки риска аварийных ситуаций для людей, в случае МН, выступающего в качестве объекта защиты необходимо определить потенциальные, индивидуальные и социальные риски.



Величина потенциального пожарного риска $P(a)$ (год^{-1}) в определенной точке (a) как на территории, так и в селитебной зоне вблизи объекта определяется по формуле:

$$P(a) = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(a) \cdot Q_j, \quad (1)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий); $Q_{dj}(a)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию; Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год^{-1} .

Условные вероятности поражения человека $Q_{dj}(a)$ определялись по значениям пробит-функций.

При проведении расчета риска рассмотрены различные пожароопасные ситуации, определены зоны поражения опасными факторами пожара, взрыва и частоты реализации указанных пожароопасных ситуаций. Территория разделена на зоны, внутри которых величина $P(a)$ рассчитывалась с точностью 3 м (по каждой координате).

Оценка условной вероятности поражения человека проводилась с учетом совместного воздействия более чем одного опасного фактора.

Условная вероятность поражения человека $Q_{dj}(a)$ от совместного независимого воздействия несколькими опасными факторами в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций определялась по формуле:

$$Q_{dj}(a) = 1 - \prod_{k=1}^h (1 - Q_k \cdot Q_{djk}(a)), \quad (2)$$

где h – число рассматриваемых опасных факторов; Q_k – вероятность реализации k -го опасного фактора; $Q_{djk}(a)$ – условная вероятность поражения k -ым опасным фактором.

Максимальным значением, полученным в результате вычисления величины потенциального пожарного риска, является $1,58 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$.

Индивидуальный пожарный риск для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара в течение года.

Величина индивидуального риска R_m (год^{-1}) для работника при его нахождении на территории объекта определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} \cdot P(i), \quad (3)$$

где $P(i)$ – величина потенциального риска в i -ой области, год^{-1} ; q_{im} – вероятность присутствия работника m в i -ой области; I – число областей.

Наиболее рискованными группами людей, попадающими в зону действия поражающих факторов, являются:

- персонал, обслуживающий проектируемый участок МН (около 2 часов в сутки);
- персонал сторонних организаций (третьи лица), обслуживающий инженерные коммуникации, проходящие в одном техническом коридоре с проектируемым участком МН (около 2 часов в сутки);
- персонал строителей при проведении работ по строительству проектируемого объекта (во время проведения СМР продолжительность нахождения около 8 часов в сутки);
- водители и пассажиры автотранспортных средств на пересекаемой автодороге (при длине участка дороги, попадающего в зону потенциального риска от проектируемых объектов около 300 м и скорости движения 50 км/ч ориентировочное время нахождения не более 1 мин.).

Максимальным значением, полученным в результате вычисления величины индивидуального пожарного риска, является:

- для обслуживающего персонала – $1,26 \cdot 10^{-9}$;
- для персонала сторонних организаций – $1,26 \cdot 10^{-9}$;
- для строителей – $2,46 \cdot 10^{-9}$;
- для водителей и пассажиров автобусов – $1,11 \cdot 10^{-11}$.

Величина социальных пожарных рисков в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте для людей, находящихся в ближайшей жилой застройке равна 0, поскольку зоны рекреационного назначения, а также жилые и общественно-деловые зоны не попадают в зону действия поражающих факторов.



Выводы

Имея актуальную проблему отступления от требований действующих НТД, авторами были разработаны компенсирующие данные отступления мероприятия. Достаточность разработанных решений была доказана путем выполнения расчетов по оценке пожарного риска. Все полученные значения расчетных величин пожарных рисков не превышают максимально допустимые значения, приведенные в [1]. С учетом рельефа местности, а также разработанных мероприятий при возникновении аварий на рассматриваемых участках МН разлив нефти не достигнет территории населенных пунктов. Таким образом, пожарная безопасность МН считается обеспеченной.

Представленная в данной статье информация носит как теоретическую, так и практическую ценность для работников нефтяной отрасли, связанных с как с проектированием, так и со строительством МН.

Список литературы:

1. Федеральный закон № 123. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». ФЗ № 123 от 22.07.2008 // Собрание законодательства РФ. – 2008.
2. Постановление Правительства РФ № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию». Постановление Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 (ред. от 01.12.2021), 2021 г.
3. Федеральный закон № 384. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». ФЗ № 384 от 30.12.2009 // Собрание законодательства РФ. – 2009.
4. Приказ министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ № 734/пр. «Порядок разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства» от 30.11.2020. Зарегистрировано в Минюсте России 18 декабря 2020 г. № 61581. Редакция от 22.10.2021.
5. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2006. – 96 с.
6. ГОСТ Р 12.3.047-2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М. : Стандартинформ, 2014. – 86 с.
7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*. – М. : Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2013. – 88 с.
8. Приказ Ростехнадзора № 306. «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности. Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта». Приказ Ростехнадзора от 15.07.2013 № 306. Зарегистрировано в Минюсте России 20 августа 2013 г. № 29581. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Редакция от 12.07.2018 – действует с 04.10.2018.
9. ФНИП «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» от 15 декабря 2020 года № 534, 2020 г.
10. Федеральный закон № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (в редакции от 24.04.2020). ФЗ № 256 от 21 июля 2011 г. Собрание законодательства РФ. – 2020.
11. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17 августа 2009 г. Регистрационный N 14541) утвержденная Приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 (с изменениями).
12. ГОСТ 31447-2012. Трубы стальные сварных для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2013. – 37 с.
13. Постановление Правительства РФ № 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска». Постановление Правительства РФ № 1084 от 22.07.2020, 2020 г.

List of references:

1. Federal Law No. 123. «Technical Regulations on Fire Safety Requirements». Federal Law No. 123 of 22.07.2008 // Sbranie zakonodatelstva RF. – 2008.
2. Decree of the Government of the Russian Federation № 87 "On the composition of sections of design documentation and requirements for their content. Decree of the RF Government № 87 of 16.02.2008 (revised on 01.12.2021), 2021.
3. Federal Law No. 384. «Technical regulation on safety of buildings and constructions». FZ № 384 from 30.12.2009 // Collection of Legislation of RF. – 2009.
4. Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation № 734/pr. «The order of development and approval of special technical conditions for the development of design documentation for the object of capital construction» from 30.11.2020. Registered with the Russian Ministry of Justice on December 18, 2020 № 61581. Revision of 22.10.2021.



5. GOST 12.1.004–91. SSBT. Fire safety. General requirements. – М. : Standardin-form, 2006. – 96 p.
6. GOST P 12.3.047–2012. SSBT. Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods. – М. : Standardinform, 2014. – 86 p.
7. SP 36.13330.2012. Main pipelines. Revised edition of SNiP 2.05.06–85*. – М. : Gosstroj, Federal Autonomous Establishment «FTSS», 2013. – 88 p.
8. Order of Rostekhnadzor No 306. «On Approval of Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety. General requirements for justification of safety of hazardous production facility». Order of Rostekhnadzor of 15.07.2013 No. 306. Registered in the Ministry of Justice of Russia on August 20, 2013 № 29581. Federal Service for Ecological, Technological and Atomic Supervision. Revision of 12.07.2018 – in force from 04.10.2018.
9. FNIP «Safety Rules in the Oil and Gas Industry» dated December 15, 2020, No. 534, 2020.
10. Federal Law No. 256-FZ «On Safety of Fuel and Energy Complex Facilities» (as amended on 24.04.2020). FZ No. 256 of July 21, 2011. Collection of Laws of the Russian Federation. – 2020.
11. «Methods of calculation of fire risk in production facilities» (Registered with the Russian Ministry of Justice on August 17, 2009. Registration N 14541) approved by Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia from July 10, 2009 № 404 (as amended).
12. GOST 31447–2012. Welded steel pipes for main gas pipelines, oil pipelines and oil-products pipelines. Technical conditions. – М. : Standardinform, 2013. – 37 p.
13. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1084 «On the procedure of fire risk assessment calculations». Decree of the Government of the Russian Federation No. 1084 of 22.07.2020, 2020.