

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТАНОВКИ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА НЕФТЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Суворов Д.В.¹, Худоногова Л.И.²

¹ Томский политехнический университет, студент гр. 8ТМ32, e-mail: dvs88@tpu.ru

² Томский политехнический университет, доцент ОИС ИШИНЭС, e-mail: likhud@tpu.ru

Введение

Аварийные ситуации на объектах нефтяной промышленности представляют собой серьезную угрозу как для безопасности персонала, так и для окружающей среды. Эффективное управление рисками и предотвращение аварий требуют глубокого анализа причин, способствующих их возникновению. В данной статье рассматривается исследование аварийных ситуаций в процессе эксплуатации установки по перекачке нефтепродуктов на нефтяном месторождении.

Целью данного исследования является не только выявление причин и последствий аварийных ситуаций, но и разработка рекомендаций по улучшению системы безопасности на объектах нефтяной промышленности, что в конечном итоге позволит снизить вероятность возникновения аварий и обеспечить безопасную эксплуатацию оборудования.

Анализ возможных причин и последствий аварийных ситуаций в процессе перекачки нефтепродуктов

Для формирования рекомендаций по снижению фактора риска при эксплуатации системы перекачки нефтепродуктов был рассмотрен следующий перечень причин, для каждой из которых указана вероятность их возникновения: превышение допустимых нагрузок на оборудование (10^{-3}); неверная настройка систем оборудования и регулирования (10^{-2}); разгерметизация фланцевого соединения (10^{-3}); разгерметизация запорной арматуры (10^{-4}); редкая проверка состояния оборудования и трубопроводов (10^{-2}); износ и коррозия оборудования в силу недостаточного ухода (10^{-3}); неверные манипуляции при управлении запорной арматурой (10^{-2}); недостаточная обученность персонала по правилам эксплуатации (10^{-2}); несоблюдение правил безопасности при эксплуатации системы (10^{-2}); прорыв трубопроводов из-за износа или повреждений (10^{-3}); попадание посторонних предметов систему перекачки (10^{-3}); паводки или наводнения (10^{-3}); сейсмическая активность (10^{-4}). Вероятностные значения получены из статистических данных и отчета Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [1, 2]. Наиболее вероятной причиной возникновения аварии оказался человеческий фактор, составляющими которого были выделены неверные манипуляции при управлении запорной арматурой, недостаточная обученность персонала по правилам эксплуатации и несоблюдение правил безопасности при эксплуатации системы.

На основе полученных данных был проведен HAZOP-анализ (таблица 1), в ходе которого рассматривались такие отклонения в следствие недостаточной квалификации персонала и неверных манипуляций при управлении запорной арматурой как увеличение уровня жидкости в резервуаре, неконтролируемое увеличение давления в резервуаре и подводящих трубопроводах, а также отсутствие потока газожидкостной смеси.

Таблица 1

Результаты проведения HAZOP-анализа

Отклонение (управляющее слово)	Причина	Последствия	Меры обеспечения безопасности	Приоритет	Уровень серьезности		
					S	E	C
УРОВЕНЬ БОЛЬШЕ	Авария при эксплуатации технологической установки	Прекращение отвода нефтепродукта; неисправность датчика уровня; нарушение технологического режима; разлив нефтепродукта, травмы персонала; пожар на технологической площадке.	Разработка алгоритмов противоаварийной защиты: блокировка работы, пожаротушение, сигнализация (аварийная)	2	E	E	F

ДАВЛЕНИЕ БОЛЬШЕ	Разгерметизация фланцевых соединений; нарушение технологического режима; пожар на технологической площадке; загрязнение окружающей среды; смерть персонала.	и предупредительная); установление необходимого срока проверки оборудования.	1	D	E	F
ПОТОК ГЖС НЕТ	Прекращение подачи исходного продукта; нарушение технологического режима; пожар.	Установка датчиков загазованности с сигнализацией.	3	E	G	F

В результате анализа в качестве общего и наиболее опасного последствия был выделен пожар на технологической площадке. Для выделенного события было составлено дерево событий (рис. 1), в котором отражена вероятность возникновения пожара и выделены цепочки опасных событий, которые могут быть устранены с использованием таких программно-аппаратных средств и слоев защиты как отключение электропитания и активация системы пожаротушения. Числовые значения рядом с наименованием события означают условную вероятность возникновения этого события [3].

Пожар на технологической площадке	Сигнализация высокого давления	Реакция оператора	Отключение электропитания	Активация системы пожаротушения	Результирующее событие	Частота (в год)
-----------------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------------------	---------------------------------	------------------------	-----------------

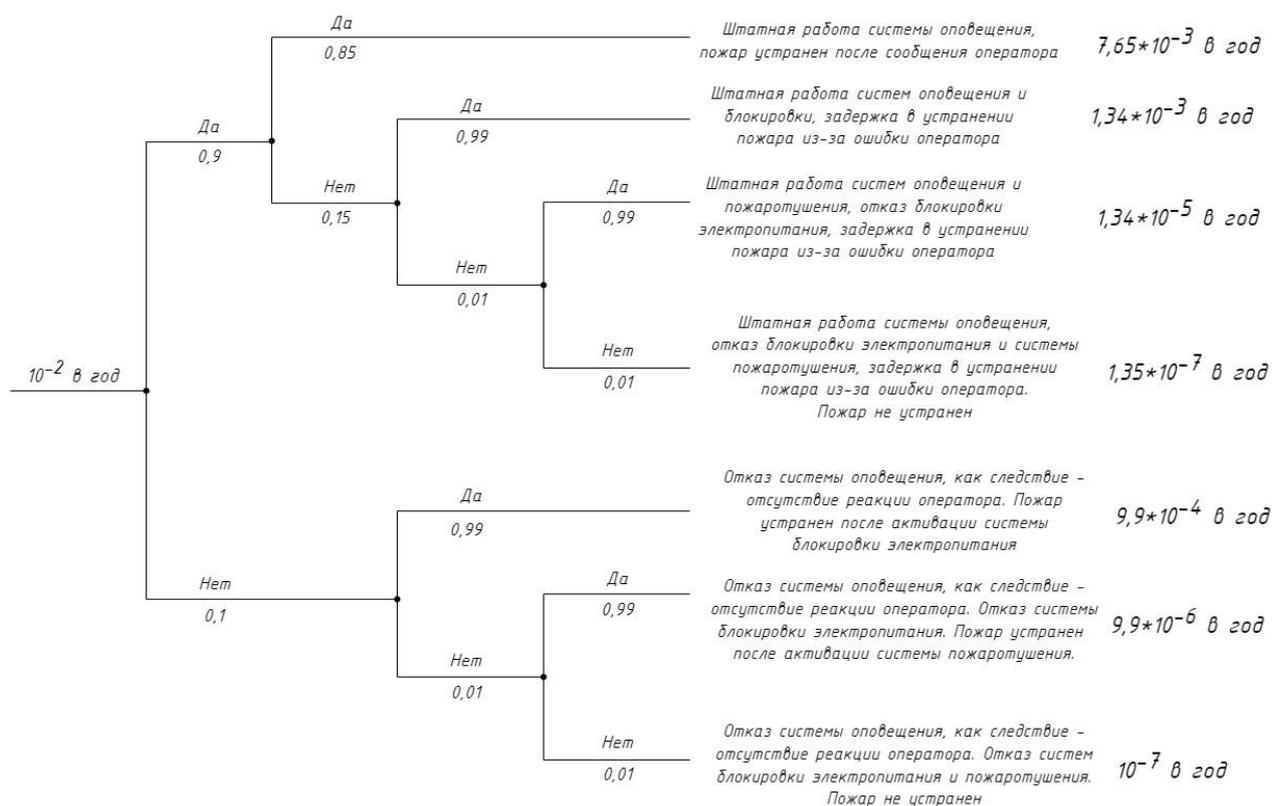


Рис. 1. Дерево событий

Далее с помощью диаграммы риска (рис. 2) определим необходимый интегральный уровень безопасности SIL (Safety Integrity Level), необходимый для сведения к минимуму количества аварийных ситуаций.

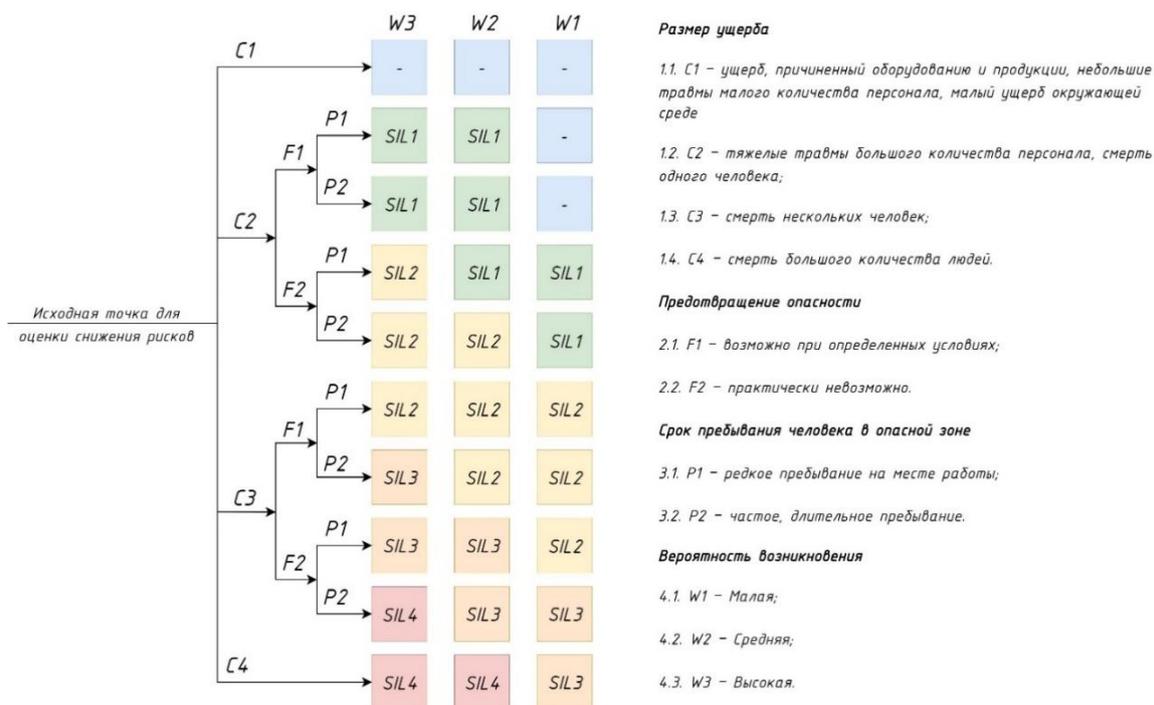


Рис. 2. Диаграмма риска

Анализируя дерево событий в контексте ситуации «Пожар на технологической площадке», описанной в дереве событий, наиболее подходящей будет являться траектория C3F2P1W1: существует вероятность смерть нескольких человек, предотвращение которой практически невозможно, при этом оператор находится в рабочей зоне не постоянно, так как мониторинг ведется с автоматизированного рабочего места АРМ. Вероятность возникновения пожара малая. Исходя из диаграммы риска, представленной на рисунке 2, необходимо обеспечить уровень безопасности SIL2, откуда следует, что допустимым числом отказов будет являться 1 отказ на 1 млн. часов работы [4].

Таким образом, из предварительного анализа можно сделать вывод о том, что основной причиной аварии при эксплуатации системы является ошибка оператора АСУ ТП, однако с точки зрения технической реализации способом уменьшения рисков аварии при неверных действиях оператора является лишь сведение к минимуму его манипуляций при эксплуатации, а также использование таких элементов проектирования SCADA-системы как маскирование или блокировка кнопок при определенных технологических условиях. Соответственно, существует необходимость в создании определенного количества «барьеров», которые препятствовали бы возникновению аварийных ситуаций.

Оценка факторов риска возникновения аварии и возможных превентивных мер методом «галстук-бабочка»

Подход, применяемый при формировании перечня рекомендаций, формируемых для анализа данных о факторах риска, которые могут привести к неблагоприятным событиям, а также для оценки эффективности мер по снижению риска носит название диаграмма «галстук-бабочка» и применяется в целях получения наглядного представления о факторах риска, а также формирования систематического подхода к анализу рисков и разработке мер по снижению риска. Центральная часть диаграммы представляет собой неблагоприятное событие, которое требуется проанализировать. «Крылья» бабочки представляют собой категорию факторов риска. Каждое «крыло» является отдельной категорией. «Тело» бабочки содержит подробную информацию о факторах риска в каждой категории, разбитую на такие уровни как основные факторы риска, подробные факторы риска, конкретные факторы риска [5]. Факторы риска на разных уровнях связаны друг с другом стрелками для отображения причинно-следственных связей. Барьеры в правой части диаграммы представляют меры по снижению риска, связанные с определенными факторами.

Разработанная диаграмма-бабочка представлена на рис. 3. В качестве центральной части диаграммы было рассмотрено событие неконтролируемого повышения давления в ходе эксплуатации системы. В качестве причин рассматриваемого события были выявлены износ насосных агрегатов, неисправность сбросного клапана, засорение трубопроводов, неисправность запорной арматуры, неверные настройки параметров техн. Оборудования, несвоевременное устранение утечек в трубопроводах, несвоевременное техническое обслуживание оборудования, а также несоблюдение допустимых скоростей перекачки.

Между событием и последствиями были сформированы барьеры обнаружения и контроля с условными обозначения от 1 до 10, расшифровка каждого из которых представлена ниже.

1. Необходимо разработать автоматизированные системы контроля давления в трубопроводах, включая внедрение систем SCADA с высокоточными датчиками, для мониторинга и регулирования давления в реальном времени.

2. Необходимо установить системы дистанционного мониторинга состояния скважин на предмет образований коррозии для предупреждения о возможных проблемах до их возникновения.

3. Необходимо внедрить регулярное техническое обслуживание, используя автоматизированные системы управления техническим обслуживанием для отслеживания проверок оборудования.

4. Необходимо создать централизованные панели управления с визуальными индикаторами и звуковыми сигналами, информирующими операторов о критических изменениях в режиме реального времени для минимизации времени реакции.

5. Необходимо заложить логику аварийного останова при превышении заданного порога давления, мгновенно закрывающего поток и предотвращающего дальнейший рост давления.

6. Необходимо проводить обучение персонала по использованию новых технологий и систем, а также симуляции сценариев аварийных ситуаций для повышения готовности к реагированию.

7. Необходимо использовать программное обеспечение для прогнозирования аварийных ситуаций, основанное на машинном обучении и анализе архивных данных.

8. Необходимо интегрировать системы контроля давления с общими системами безопасности предприятия, чтобы обеспечить автоматическое реагирование на аварийные ситуации.

9. Необходимо применять стандарты проектирования оборудования, выбирая оборудование с избыточными характеристиками прочности для снижения вероятности аварий.

10. Необходимо реализовать байпасные линии и резервирование компонентов АСУ ТП для обеспечения бесперебойной работы установки.



Рис. 3. Диаграмма «галстук-бабочка» для события неконтролируемого повышения давления при эксплуатации системы перекачки нефтепродуктов на базе ГСМ

Для каждого из указанных последствий неконтролируемого повышения давления необходимо установить специализированные системы мониторинга, такие как системы контроля давления, температуры, вибраций, дыма, огня и газов. Эти системы помогут оперативно обнаруживать предвестники возможных аварий и предотвращать серьезные последствия. После обнаружения потенциальной угрозы необходимо иметь механизмы для контроля ситуации. Это включает в себя регулярные инспекции, техническое обслуживание, регулярные проверки и обучение персонала. Такие меры помогут минимизировать риски и предотвратить непредвиденные ситуации. При этом эффективная система безопасности должна включать в себя не только барьеры обнаружения, но и меры контроля и реагирования на обнаруженные угрозы. Данные выводы подчеркивают важность комплексного подхода к обеспечению безопасности на производственных объектах.

Заключение

Таким образом, реализация предложенных рекомендаций позволит не только снизить вероятность возникновения аварий, но и повысить общую безопасность на объектах нефтяной промышленности, что является приоритетной задачей в условиях современного производства. Эффективное управление рисками и профилактика аварийных ситуаций – это залог устойчивого развития отрасли и защиты окружающей среды.

Список использованных источников

1. Годовые отчеты о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2022 году – [Электронный ресурс] – URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/.
2. Статистика аварий на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности – [Электронный ресурс] – URL: <https://ntk.kubstu.ru/data/mc/0067/3264.pdf>.
3. Масловский Е.А., Сметанкина Г.И., Дорохова О.В. Возможные причины развития пожара на объектах нефтяной и газовой отрасли // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – № 9. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnye-prichiny-razvitiya-pozhara-na-obektah-neftyanoy-i-gazovoy-otrasli>.
4. ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018. Системы безопасности приборные для промышленных процессов. Термины, определения и технические требования промышленности – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160087?section=text>.
5. Наянов П.А., Хамидуллина Е.А. Метод "галстук-бабочка" в процедуре оценки профессиональных рисков // XXI век. Техносферная безопасность. – 2022. – № 1 (25). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-galstuk-babochka-v-protsedure-otsenki-professionalnyh-riskov>.