

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ АВАРИЙ НА ГПЗ

С.П. Шкаруппа

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия

ASSESSMENT OF THE RISK OF CHEMICAL ACCIDENTS AT THE GPP

S.P. Shkaruppa

Samara state technical University, Russia, Samara

Сведения об авторе:

Шкаруппа Светлана Петровна – к.х.н. (ORCID iD: 0000-0002-9626-0493). Место работы и должность: доцент кафедры «Химическая технология и промышленная экология» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Адрес: Россия, г. Самара, ул. Первомайская, 18. Электронная почта: sp0512@yandex.ru

В статье рассматривается влияние опасных веществ при химических авариях на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ). При аварийном вскрытии оборудования, выбросе и интенсивном испарении сжиженных углеводородов с образованием парогазовых облаков возможно не только их воспламенение и взрыв, но и образование зон химического загрязнения. Облака газопаровоздушных смесей оказывают токсическое воздействие на персонал предприятия. Для расчёта зон химического заражения при прогнозировании последствий аварий использованы программные продукты на основании действующих методик. Установлено влияние условий реализации аварии на характеристики зоны токсического заражения опасными веществами. На основании полученных результатов предложены рекомендации по снижению опасности отдельных участков ГПЗ.

Ключевые слова: риск; токсичность, авария, опасность, одорант, газопереработка, метеоусловия

Анализ и оценка опасности химических аварий на газоперерабатывающих предприятиях является важной задачей с точки зрения промышленной безопасности. Аварии на ГПЗ развиваются, как правило, по сложному сценарию, включающему разные типы событий чрезвычайных ситуаций, наиболее часто наблюдаются пожары, взрывы, выбросы опасных веществ. Многочисленные публикации в этой области в основном рассматривают пожаро- и взрывоопасность предприятий газовой отрасли. Однако выбросы токсичных веществ также чрезвычайно опасны. Поэтому прогнозирование последствий химических аварий представляет большой практический интерес.

На территории ГПЗ оборудование, содержащее потенциально опасное вещество, расположено неравномерно и на ограниченной площади. Поэтому даже на одной установке потенциальная опасность может быть разной в разных точках. Одним из факторов опасности является большое количество запорной и регулирующей аппаратуры. Потенциальную опасность представляет также эксплуатация оборудования, работающего под давлением [1].

В соответствии с ФЗ «О промышленной безопасности» критерием опасности технических объектов является количество использу-

емых химических веществ (пожароопасных, взрывоопасных, токсичных). На общий уровень опасности технологической установки влияют не только пожаро- и взрывоопасные, но и токсичные свойства обрабатываемых химических веществ [1].

Объектом исследования является территория ГПЗ и расположенные на ней технологические установки. Амурский ГПЗ, крупнейшее современное предприятие по переработке природного газа. Предприятие находится в Амурской области рядом с городом Свободный, поставляет природный газ в Китай по газопроводу «Сила Сибири». Проектная мощность ГПЗ по переработке природного газа 42 млрд м³/год [2, 3].

На территории Амурского ГПЗ находится в обращении разные токсичные вещества: нефтепродукты, метанол, одорант, моноэтанолламин (диэтанолламин). При разгерметизации оборудования в окружающую среду поступают химически опасные вещества [4].

Для расчёта зон химического заражения при прогнозировании последствий аварий разработаны программные продукты на основании действующих методик:

1. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов».

2. РД-03-26-2007 «Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ».

3. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ» (утв. приказом Ростехнадзора от 20.04.2015 № 158).

4. РД 52.04.253-90 «Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте».

5. Методика оценки последствий химических аварий (методика "ТОКСИ").

Анализ потенциально-опасных ситуаций на Амурском ГПЗ позволил идентифицировать следующие крупные источники химической опасности:

- на узле одоризации газа (смесь природных меркаптанов) – утечка одоранта,
- на узле емкостного оборудования – разгерметизация емкости метанола – разлив [2, 4].

Построение полей доз

Файл Правка Вид Настройки Помощь

Входные параметры

| Параметры | Значение | Единицы |
|-------------------------------|----------|---------------|
| Название вещества | Метанол | |
| Масса вещества в оборудовании | 18000 | кг |
| Пороговая концентрация | 1000 | мг*мин/куб. м |
| Летальная концентрация | 2500 | мг*мин/куб. м |
| Давление в оборудовании | 101325 | Па |
| Плотность газа | 725 | куб. м |
| Показатель адиабаты | 1,3 | |
| Высота источника | 15 | м |
| Скорость ветра на высоте 10 м | 1 | м/с |
| Шероховатость поверхности | 10 | см |
| Расстояние | 500 | м |
| Измеряемая высота | 5 | м |

Расчёты | Графики | Построение полей доз | Обзор карты

Состояние атмосферы: Конвекция

| | | |
|-----------------------------|----------|-----------|
| Масса облака | 18000 | кг |
| Размер облака | 1,816 | м |
| Максимальная доза | 258279,8 | мг/куб. м |
| Расстояние до её достижения | 100,123 | м |

Зона превышения CL

| | | |
|---------------------|----------|-------|
| x1 = | 30,256 | м |
| x2 = | 2670,833 | м |
| Общая протяжённость | 2640,577 | м |
| Площадь превышения | 928496 | кв. м |

Зона превышения Спор

| | | |
|---------------------|----------|-------|
| x1 = | 28,23 | м |
| x2 = | 4422,184 | м |
| Общая протяжённость | 4393,955 | м |
| Площадь превышения | 2606853 | кв. м |

Параметры атмосферы при аварии

День Облачно
 Ночь Безоблачно

% выполнения

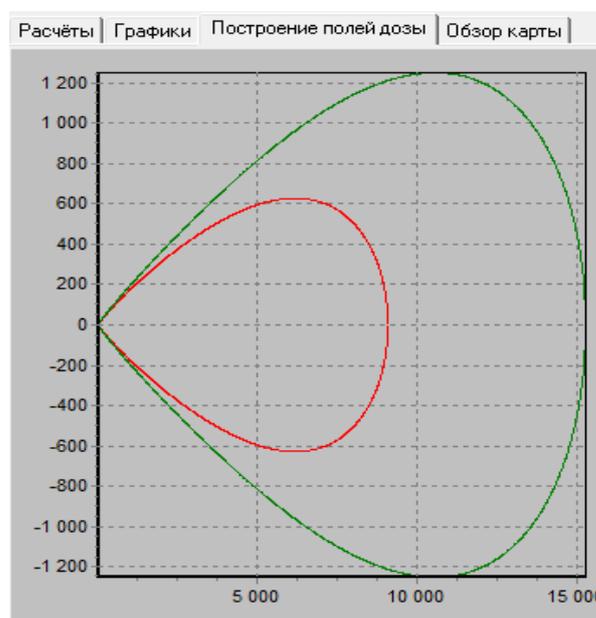
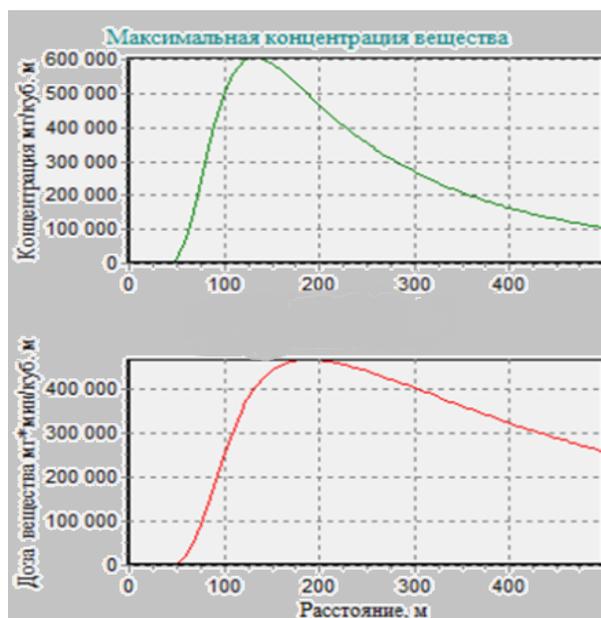


Рис. 1. Расчётные данные по программе Токси.

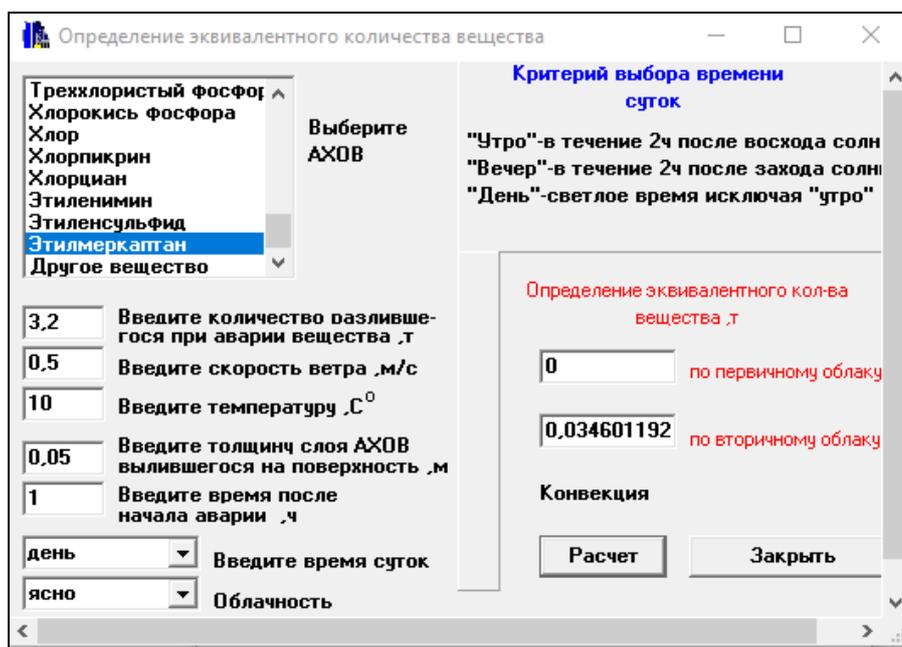


Рис. 2. Исходные данные для расчёта по программе АХОВ.

Оценка последствий аварий с выбросом опасных веществ (ОВ) проводилась с использованием программ Токси и АХОВ. В основу программного продукта «Токси» заложен алгоритм расчёта оценки последствий аварий на химически опасных объектах, приведённый в Методических указаниях Токси-3 (РД 03-26-2007), он основан на модели «тяжёлого газа» и позволяет рассчитывать:

- количество поступивших в атмосферу ОВ при различных сценариях аварии;
- пространственно-временное поле концентраций ОВ в атмосфере;
- размеры зон химического заражения, соответствующие различной степени поражения людей, определяемой по ингаляционной токсодозе.

В основе программного модуля «АХОВ» заложена Методика прогнозирования масштабов заражения СДЯВ при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Программа позволяет осуществлять прогнозирование масштабов зон заражения при авариях на технологических емкостях и хранилищах, при транспортировке железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случае разрушения химически опасных объектов, в том числе определять:

- эквивалентное количество АХОВ по первичному и вторичному облаку;
- продолжительность поражающего действия по времени испарения разлитого жидкого АХОВ;

- глубину зоны заражения первичным (вторичным) облаком при аварии;
- площадь зоны заражения;
- время подхода заражённого воздуха к объекту и продолжительности действия АХОВ.

Зоны возможного заражения и сектора распространения ОВ наносятся на карту (план, схему) в зависимости от скорости и направления ветра.

Метанол используется как средство предотвращения гидратобразования в распределительных и магистральных газопроводах. Метанол сильный яд, поражающий нервную и сосудистую системы, с резко выраженным кумулятивным действием. Количество метанола в емкости 18 тонн [4, 5].

Одорант (меркаптаны) – вещество, которое используется в качестве примеси к газу для придания ему запаха, в высоких концентрациях все одоранты ядовиты. Обогащение природного газа одорантами считается необходимым этапом в обеспечении безопасности в любых случаях использования. Это важно в процессе предотвращения аварий и взрывов, так как природный и сжиженные газы не обладают идентичным запахом и сложно определить их утечку.

Расчёт токсического воздействия при утечке метанола и одоранта осуществлялся по программе ТОХИ и АХОВ (рис. 1, 2).

При разгерметизации оборудования с метанолом образуется первичное и вторичное облако.

Результаты расчета в программе Токси при утечке метанола

| Скорость ветра, м/с | Время суток | Состояние атмосферы | Максимальная доза, мг*мин/м ³ | Расстояние до достижения максимальной дозы, м | Зона превышения пороговой концентрации, м | Общая протяжённость, м | Площадь заражения, м ² |
|---------------------|-------------|---------------------|--|---|---|------------------------|-----------------------------------|
| 0,5 | Ночь | Инверсия | 464720,4 | 188,68 | 15256,7 | 15211,55 | 25946812 |
| | День | Конвекция | 643025,4 | 76,96 | 6206,3 | 6187,255 | 6366369 |
| 1 | Ночь | Инверсия | 232360,2 | 188,68 | 12934,3 | 12886,7 | 12592764 |
| | День | Конвекция | 321512,7 | 76,96 | 4861,5 | 4841,509 | 3076357 |
| 1,5 | Ночь | Инверсия | 154906,8 | 188,68 | 11128,52 | 11079,33 | 7975379 |
| | День | Конвекция | 214341,8 | 76,96 | 4019,89 | 3999,29 | 1956688 |
| 2 | Ночь | Инверсия | 116180,1 | 188,68 | 9726,96 | 9676,52 | 5655646 |
| | День | Конвекция | 160756,3 | 76,96 | 3454,74 | 3433,66 | 1406423 |
| 3 | Ночь | Инверсия | 92944,07 | 188,683 | 8629,517 | 8578,047 | 4285412 |
| | День | Конвекция | 128605,1 | 76,962 | 3050,725 | 3029,26 | 1085264 |
| 4 | Ночь | Инверсия | 77453,39 | 188,683 | 7757,77 | 7705,409 | 3395921 |
| | День | Конвекция | 107170,9 | 76,962 | 2747,24 | 2725,44 | 877122 |
| 5 | Ночь | Инверсия | 89543,18 | 105,927 | 4000,266 | 3970,874 | 1284160 |
| | День | Конвекция | 91860,77 | 76,962 | 2510,305 | 2488,21 | 731908 |

При дрейфе облака паров метанола образуется зона заражения, размер которой зависит от скорости ветра, температуры воздуха, состояния атмосферы, шероховатости поверхности (табл. 1).

Перемещение облака ОВ определяется комплексным воздействием ряда факторов, таких как состояние атмосферы, характер подстилающей поверхности и теплофизические свойства вещества. На дрейф облака метанола, существенное влияние оказывает скорость ветра и устойчивость атмосферы (рис. 3).

Инверсия способствует более устойчивому движению облака в приземном слое ат-

мосферы. Внешние границы облаков определяются пороговыми и смертельными токсодозами. В результате вычислений было установлено, что максимальная площадь заражения наблюдается при небольших скоростях воздушного потока. На сегодняшний день задача описания образования и рассеивания облака тяжёлого газа в условиях термической и орографической неоднородности является одной из наиболее актуальных задач в промышленной безопасности. Современные методики, используя математическое моделирование, позволяют учесть рельеф местности и наличие застройки.

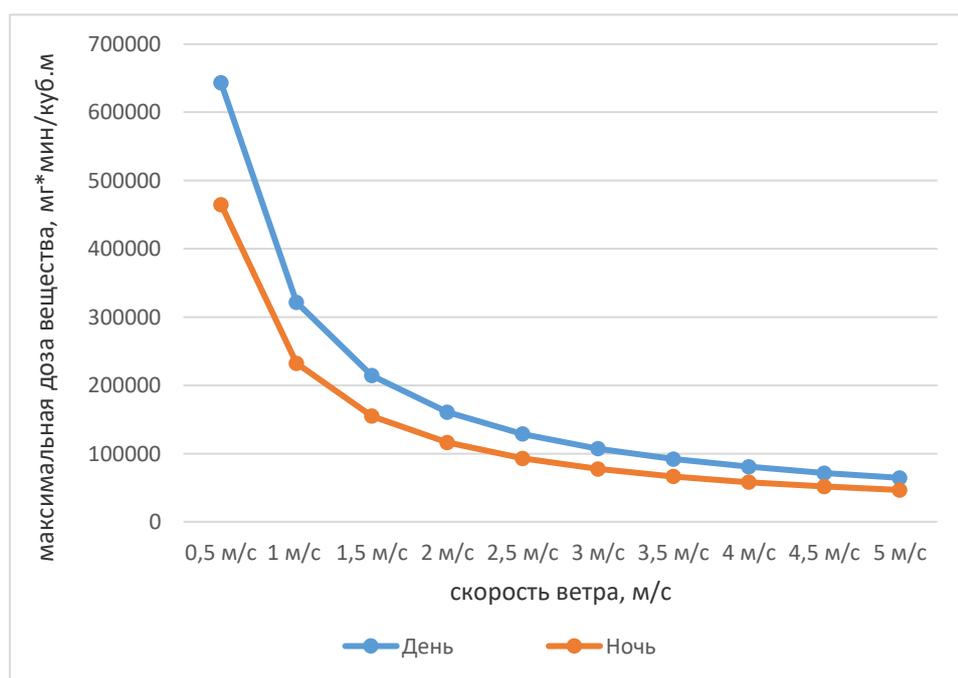


Рис. 3. Зависимость максимальной дозы вещества от скорости ветра.

Исходя из исследований, максимально опасным в использовании одоранта считают пролив вещества из блока хранения и проникновение его в окружающую среду. Обычно на объектах применяются резервуары и ёмкости из углеродистой или низколегированной стали, такой способ хранения не предусматривает безопасную эксплуатацию. В случае нарушения целостности ёмкости и резервуара резкий запах должен ощущаться носом человека уже при небольшой объёмной концентрации добавленного вещества, начиная с уровня от 20% нижнего порога образования взрывоопасной концентрации. Норма ввода этилмеркаптана составляет 16 г на 1000 м³ газа. Количество одоранта на предприятии 672000 тонн [4].

Расчёты возможной аварии с утечкой одоранта (этилмеркаптан) показали, что на характеристики зоны заражения время суток оказывает незначительное влияние, а существенно влияет состояние атмосферы, скорость ветра, температура воздуха. Первичное облако не образуется из-за низкой интенсивности испарения. Размер вторичного облака изменяется относительно скорости ветра, максимальный при 3,5 м/с, минимальный при 0,5-1 м/с. При скоростях ветра 4-5 м/с вторичное облако рассеивается. При высоких скоростях ветра интенсивность испарения возрастает в 2 раза, но большая скорость воздушного потока не даёт возможность образовываться высоким приземным концентрациям, за исключением зон затенения (в ложбинах, позади зданий). На формирование зоны опасных концентраций вещества рельеф

местности оказывает большое влияние. При увеличении температуры воздуха (зима, лето) глубина зоны заражения и площадь зоны фактического заражения возрастает в 1,5-2 раза (рис. 4).

Увеличение концентрации паров одоранта в приземном слое атмосферы соответствует изотермии. Инверсия способствует дрейфу облака токсичного вещества на значительные расстояния. При небольшой скорости ветра 0,5-1,5 м/с заражённый воздух распространяется медленно. Увеличение скорости ветра существенно снижает токсодозу вещества в зоне аварии от смертельных до пороговых значений.

При расчётах границы зоны поражения учитывалось влияние коэффициента шероховатости, который соответствует различным типам ландшафта (наличие растительного покрова, зданий). Конструкции и кустарники способствуют застою заражённого воздуха и увеличивают время существования облака.

Моделирование опасных процессов позволяет прогнозировать поведение опасных газопаровоздушных смесей в атмосфере, что является важной задачей, на основании которой обеспечивается возможность предотвращения или снижения последствий воздействия на окружающую среду и человека.

В частности, можно заменить метанол на менее токсичный ингибитор. В настоящее время разработаны принципиально новые ингибиторы гидратообразования кинетического действия, которые представляют собой водорастворимые полимеры, содержащие в своей структуре атомы азота и кислорода.

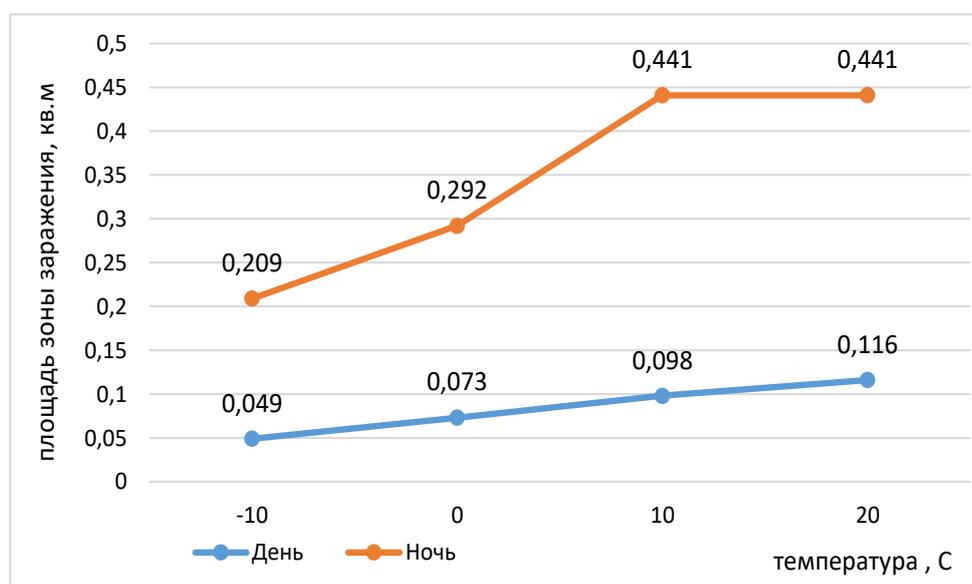


Рис. 4. Зависимость площади зоны фактического заражения от температуры.

Классические кинетические ингибиторы, например, полимеры на основе циклических структур N-винилпирролидона или капролактама являются более предпочтительными с позиции экологической безопасности. Принцип действия ингибиторов основан на предотвращении формирования кристаллов в гидрате за счёт блокирования полимерной молекулой центра кристаллизации [5].

Ликвидация последствий аварии, сопровождаемая утечкой одоранта, является технически сложной задачей. В качестве мероприятий по защите окружающей среды от воздействия одорантов можно рассмотреть вариант размещения емкости в подземном железобетонном бункере. Конструкция бетонного бункера позволяет удерживать проливы одоранта, не допуская утечек в почву (с внутренней стороны пол и стены выкладываются противощелочной керамической плиткой). Другой вариант заключается в использовании двустенной ёмкости для хране-

ния одоранта. Конструктивной особенностью данной ёмкости является установка системы обнаружения разгерметизации сосуда – установка датчиков давления в межстенном пространстве (рубашке). Объём рубашки наполняется инертным газом определенного давления, и в случае нарушения герметичности датчик регистрирует изменение давления. В результате поступает сигнал на центральный пульт управления о возможном возникновении аварии. Кроме того, такая конструкция полностью исключает попадание одоранта в грунт и атмосферу при аварии [6].

Как показывает практика, полностью исключить аварии и снизить до нуля опасность, создаваемую производственными объектами, невозможно. Поэтому техногенные аварии необходимо прогнозировать и уменьшать их вредное воздействие, а также быстро на них реагировать и эффективно ликвидировать последствия.

Литература / References:

1. Газизулина Э. Р. Особенности производственных рисков, характерных для предприятий газовой промышленности. *Молодой ученый*. 2023; 3 (450): 163-165. [Gazizulina E. R. Features of production risks typical for gas industry enterprises. *A young scientist*. 2023; 3 (450): 163-165.] (In Russ)
2. <https://www.gazprom.ru/projects/amur-gpp/>
3. Ливингстон Г.А., Сенченя И.П. Амурский газоперерабатывающий завод. Определение объема работ по экологическим и социальным аспектам. 2016. С. 34-48. [Livingston G.A., Senchenya I.P. Amur Gas Processing Plant. Determining the scope of work on environmental and social aspects. 2016. pp. 34-48.] (In Russ)
4. Технологический регламент Амурского газоперерабатывающего завода. [Technological regulations of the Amur Gas Processing Plant.] (In Russ)
5. Буслаев Г.В., Ламосов М.Е. Ингибиторы гидратообразования: российские и зарубежные разработки. *Neftegaz.RU*. 2023. [Buslaev G.V., Lamosov M.E. Inhibitors of hydrate formation: Russian and foreign developments. *Neftegaz.RU*. 2023.] (In Russ)
6. <https://sovet-ingenera.com/> Совет Инженера – портал сети инженерно-технического обеспечения. [The Engineer's Council is a portal about engineering support networks.] (In Russ)

ASSESSMENT OF THE RISK OF CHEMICAL ACCIDENTS AT THE GPP

S.P. Shkaruppa

Samara state technical University, Russia, Samara; cp0512@yandex.ru

Abstract:

This article examines the impact of hazardous substances in chemical accidents at gas processing plants (GPP). In case of emergency opening of equipment, release and intensive evaporation of liquefied hydrocarbons with the formation of vapor-gas clouds, not only their ignition and explosion are possible, but also the formation of zones of chemical contamination. Clouds of gas-vapor mixtures have a toxic effect on the company's personnel. Software products based on current methods were used to calculate chemical contamination zones when predicting the consequences of accidents. The influence of the conditions of the accident on the characteristics of the zone of toxic contamination with dangerous substances has been established. Based on the results obtained, recommendations can be developed to reduce the danger of individual sections of the GPP.

Keywords: risk, toxicity, accident, danger, odorant, gas processing, weather conditions

Финансирование: Данное исследование не имело финансовой поддержки.

Financing: The study was performed without external funding.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

Статья поступила / Article received: 25.02.2024. Принята к публикации / Accepted for publication: 20.03.2024.

Для цитирования: Шкаруппа С.П. Анализ и оценка опасности химических аварий на ГПЗ. *Академический журнал Западной Сибири*. 2024; 20 (1): 51-56. DOI: 10.32878/sibir.24-20-01(102)-51-56

For citation: Shkaruppa S.P. Assessment of the risk of chemical accidents at the GPP. *Academic Journal of West Siberia*. 2024; 20 (1): 51-56. (In Russ) DOI: 10.32878/sibir.24-20-01(102)-51-56