

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 614

## ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АВАРИЙ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2016 Е. В. Семенова

*Воронежский институт высоких технологий*

*В статье рассмотрены возможные сценарии возникновения и развития аварий коксохимического производства, дана оценка риска их реализации и проведен анализ основных причин произошедших аварий.*

*Ключевые слова: авария, риски, воздействие на человека и окружающую среду, класс опасности, частота возникновения аварии, порог выживания.*

Современное производство металлургического комбината включает все технологические процессы: от переработки сырья до производства металлопродукции. Комбинаты подобного типа производят чугун, стальную заготовку, горячекатаный, холоднокатаный и оцинкованный прокат, прокат с полимерным покрытием, динамную и трансформаторную сталь, а также другие виды металлопродукции. Получение высоких температур свыше 1500 °С в производстве сплавов различных марок достигается сжиганием кокса, поэтому металлургические комбинаты в свою технологическую схему включают производство кокса, который производится из коксующихся углей в коксовых батареях коксохимического производства. Помимо топлива кокс применяют и как восстановитель в доменной плавке.

Основным сырьём для коксохимической промышленности служат специализированные угли. В основе коксохимического производства лежит процесс пиролиза углей, или их сухой перегон. Он связан с нагреванием продукта без доступа воздуха. Цель пиролиза – отделение углерода от остальных веществ, содержащихся в углях, которые выделяются в виде коксового газа и содержат в большом количестве горючие газы (например, угарный), ЛВЖ (например, бензол) и ГЖ (например, каменноугольная смола). Далее коксовый газ поступает в цех улавливания химических продуктов

(ЦУХП), который относится к I классу опасности и предназначен для эвакуации коксового газа из газосборников коксовых батарей; очистки коксового газа от смолы, аммиака, бензола и нафталина; переработки надсмольной воды; обезвоживания каменноугольной смолы и очистки ее от фусов, переработки извлеченных из коксового газа компонентов с получением товарной продукции; очистки сточных вод, а также для обеспечения коксохимического производства пожарно-питьевой, пожарно-технической, оборотной водой, природным газом, кислородом, азотом, технологическим воздухом, паром, горячей водой по технологическим трубопроводам, вырабатывает технологический воздух, воздух КИПиА (осушенный), очистки сточных вод на биохимической установке. Следовательно, для разделения на составляющие коксового газа и их очистки применяют щелочь и концентрированную серную кислоту, а в результате получают товарные органические соединения, например бензол, толуол и др.

Приведем характеристику опасных веществ, обращающихся на производстве и получаемых при утилизации коксового газа, негативно воздействующих на организм человека и окружающую природную среду при возникновении аварии:

1) *Смола каменноугольная.* Чрезвычайно опасное вещество при воздействии на организм. Опасно при вдыхании, проглатывании, попадании на кожный покров и в глаза. Горючая, взрывоопасная жидкость. Опасна для окружающей среды. Обладает

канцерогенной опасностью. Класс опасности не классифицируется. Основной опасный компонент Бенз(а)пирен, класс опасности 1.

2) *Поглотительное масло каменноугольное*. При воздействии на организм человека – высокоопасное вещество. Опасно при вдыхании, проглатывании, попадании в глаза и на кожу. Оказывает сильное раздражающее и прижигающее действие на кожу. Канцероген. Опасно для окружающей среды. Горюч. Класс опасности 2.

3) *Бензол каменноугольный*. Высокоопасное вещество при воздействии на организм человека. Канцероген. При попадании на кожу оказывает резорбтивное и раздражающее действие. При контакте со слизистыми глаз вызывает раздражение. При приеме внутрь и вдыхании может вызвать отравление. Оказывает негативное влияние на функцию воспроизводства. Легко воспламеняющаяся жидкость. Пары взрывоопасны. Может загрязнять объекты окружающей среды. Класс опасности 2.

4) *Толуол каменноугольный*. Умеренно опасное вещество по воздействию на организм человека. Обладает наркотическим действием. Может проникать в организм человека через поврежденную кожу. Раздражает слизистые глаз и верхние дыхательные пути. Предполагается отрицательное действие на репродуктивную функцию. Легко воспламеняющаяся жидкость. Может загрязнять объекты окружающей среды при нарушении правил обращения. Класс опасности 3.

5) *Сольвент каменноугольный*. Умеренно опасное вещество по воздействию на организм человека. Может причинять вред при проглатывании и вдыхании. Вызывает умеренное раздражение кожных покровов, слабое верхних дыхательных путей. Может всасываться через кожу. Оказывает общее наркотическое действие. Легковоспламеняющаяся жидкость. Пары взрывоопасны. Может загрязнять объекты окружающей среды. Класс опасности 3.

6) *Смесь полученная от переработки сырого бензола*. Умеренно опасное вещество по воздействию на организм человека. Может причинять вред при проглатывании и вдыхании. Вызывает слабое раздражение кожных покровов и глаз. Обладает слабым наркотическим эффектом. Горючая жидкость. Может загрязнять объекты окружающей среды при нарушении правил обращения. Класс опасности 3.

7) *Кислота серная техническая*. Высокoопасный продукт по воздействию на организм человека. Вызывает ожоги глаз, кожи, верхних дыхательных путей. Токсичен для водной биоты. Реагирует с водой с выделением большого количества тепла. Способен вызвать самовоспламенение горючих веществ. Класс опасности 2.

8) *Кислород жидкий и газообразный*. Кислород относится к сильным окисляющим веществам. При определенных для каждого материала условиях его окисляющая способность может протекать в виде горения или взрыва. Особую опасность при контакте с жидким кислородом представляют такие материалы, как дерево, асфальт, смазочные масла, которые пропитываясь кислородом, образуют, так называемые окисилквиты, близкие по своим свойствам к наиболее сильным взрывчатым веществам.

Жидкий кислород при нормальных условиях имеет температуру  $-182,9^{\circ}\text{C}$ , при которой разрушаются углеродистые стали, резина, и другие материалы. Кислород не оказывает на организм человека токсического воздействия, однако нахождение человека в среде чистого кислорода при парциальном его давлении выше  $0,6 \text{ кгс/см}^2$  приводит к поражениям легких. Нахождение человека в среде с содержанием кислорода выше 23% и ниже 19% опасно для здоровья. Загоревшуюся одежду, пропитанную кислородом, необходимо либо сорвать, либо быстро окунуть человека в горящей одежде в воду. Контакты человека с жидким кислородом вызывают сильные обморожения

9) *Щёлочь (Напр едкий)*. Высокоопасное вещество по воздействию на организм. Вызывает раздражение верхних дыхательных путей. Может вызывать экземы и дерматиты кожи. Опасно попадание в глаза. Взрывобезопасно. Опасно для окружающей среды. Класс опасности 2.

В цехе улавливания химических продуктов к основным факторам способствующим возникновению и развитию аварий относятся: наличие на объектах опасных веществ: смолы и поглотительного масла; сырого бензола и продуктов его переработки; кислоты серной технической; выброс горючих и токсичных продуктов в результате разгерметизации оборудования, трубопроводов: пожары горючих жидкостей и взрывы газоздушных смесей, токсическое поражение персонала и третьих лиц, находящихся вблизи эпицентра аварии, разрушение зданий и сооружений; возможные прекра-

щения подачи электроэнергии, воды, пара, воздуха для приборов КИПиА создают дополнительную опасность возникновения аварии. Причинами аварий может быть:

- разгерметизация аппаратов, ёмкостного оборудования, насосов, трубопроводов по техническим причинам;

- ошибки персонала при ведении технологического режима;

- отказы арматуры, предохранительных устройств;

- опрокидывание цистерн при аварийном состоянии подъездных ж/д путей;

- переполнение хранилищ и ж/д цистерн при наливе;

- природные катаклизмы, связанные с воздействием природных аномалий на опасные производственные объекты;

- террористические акты.

На складе каменноугольной смолы и масел наиболее вероятный сценарий аварии: частичное разрушение резервуара с каменноугольной смолой: → разгерметизация резервуара → выброс каменноугольной смолы из резервуара → растекание каменноугольной смолы в обваловании без возгорания → токсическое поражение персонала продуктами испарений (ингаляционное воздействие); а наиболее опасный сценарий: полное разрушение резервуара с каменноугольной смолой: → разгерметизация резервуара → растекание смолы, в обваловании → возгорание каменноугольной смолы → тепловое и токсическое поражение людей, разрушение собственных и соседних объектов → травмирование и гибель персонала. В случае реализации аварии на складе каменноугольной смолы и масел наиболее значимыми факторами, влияющими на показатели риска являются: наличие больших масс каменноугольной смолы и масла, хранящихся и обращающихся на складе; а так же аварийный выброс большого количества каменноугольной смолы и масла, и в случае возгорания может привести к токсическому и термическому поражению обслуживающего персонала и персонала близлежащих объектов.

На складе бензольных продуктов, установке ректификации сырого бензола наиболее вероятный сценарий аварии: частичное разрушение на складе резервуара с бензолом: → разгерметизация резервуара → выброс бензола из резервуара → растекание бензола в обваловании без возгорания → токсическое поражение персонала продуктами испарений (ингаляционное воздейст-

вие); а наиболее опасный сценарий: полное разрушение на складе резервуара с бензолом: → разгерметизация резервуара → растекание бензола, в обваловании → возгорание бензола → взрыв топливо-воздушной смеси → тепловое и токсическое поражение людей, воздействие УВВ → разрушение собственных и соседних объектов → гибель людей. В случае реализации аварии на складе бензольных продуктов наиболее значимыми факторами, влияющими на показатели риска являются: наличие больших масс бензольных продуктов, хранящихся и обращающихся на складах; аварийный выброс большого количества бензольных продуктов, что может привести к токсическому поражению обслуживающего персонала и персонала близлежащих объектов; возможность возгорания пролива бензольных продуктов, что может привести к термическому поражению обслуживающего персонала и персонала близлежащих объектов; возможность создания взрывоопасной концентрации паров бензольных продуктов при разливе, что может, при наличии источника загорания, привести к взрыву.

На складе серной кислоты наиболее вероятный сценарий аварии: частичное разрушение резервуара с кислотой серной → разгерметизация резервуара → выброс кислоты из резервуара → растекание кислоты в складе → токсическое поражение персонала, химические ожоги или частичная разгерметизация ж/д цистерны с кислотой серной технической → растекание кислоты на подстилающую поверхность → токсическое поражение персонала, химические ожоги; а наиболее опасный сценарий: полная разгерметизация резервуара с кислотой серной технической в поддоне склада → выброс кислоты серной на ограниченную поверхность пола склада → растекание кислоты серной по ограниченной площади → образование и распространение облака паров кислоты → попадание в зону распространения облака паров кислоты персонала → токсическое поражение людей (ингаляционное воздействие или попадание на кожные покровы) или полная разгерметизация ж/д цистерны с кислотой серной технической → выброс кислоты серной технической за пределы поддона → растекание кислоты на подстилающую поверхность → образование аэрозольного облака кислоты серной технической → попадание в зону пролива и облака паров кислоты серной технической людей → ток-

сическое поражение людей (ингаляционное воздействие или попадание на кожные покровы), оказавшихся в зоне аварии или дрейфа облака. В случае реализации аварии на складе серной кислоты наиболее значимыми факторами являются: наличие больших масс кислоты серной технической, хранящейся и обращающейся на складах; аварийный выброс большого количества кислоты серной технической, что может

привести к поражению обслуживающего персонала и персонала близлежащих объектов; высокая коррозионная активность хранящейся и обращающейся на складах кислоты, особенно в местах сварных швов и фланцевых соединений трубопроводов, насосов, что создает дополнительную опасность разгерметизации емкостей (резервуаров) и трубопроводов (см. рис. 1 и 2).



Рис. 1. Дерево событий при нарушении целостности резервуара хранения кислоты серной технической в Цехе улавливания химических продуктов коксохимического производства

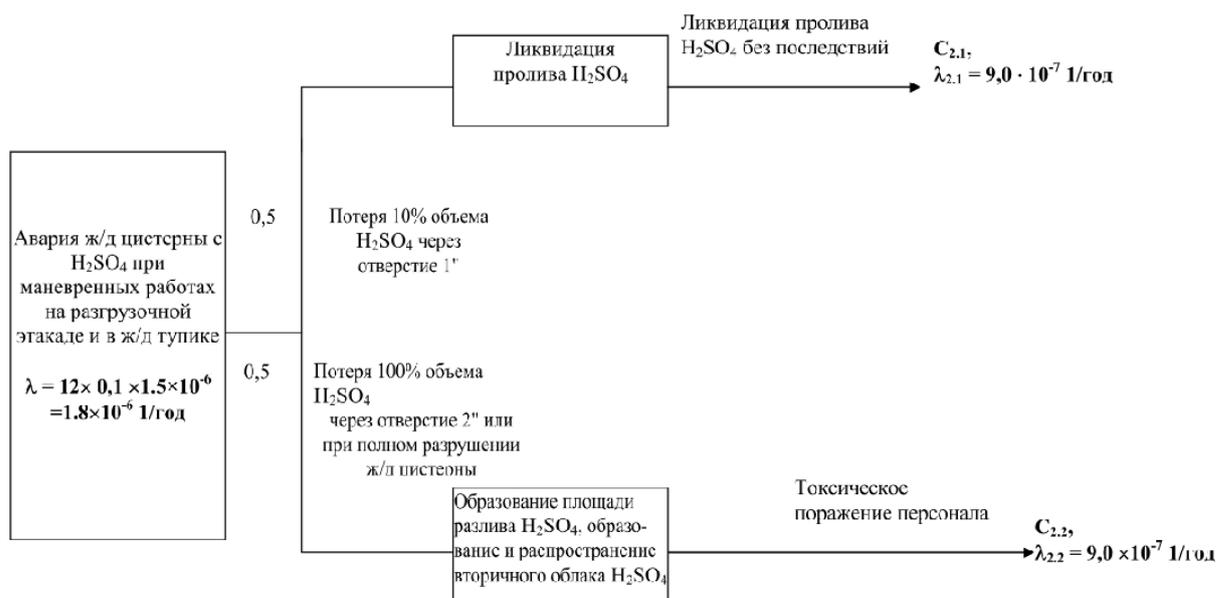


Рис. 2. Дерево событий в случае аварии ж/д цистерны с кислотой серной на сливной Цехе улавливания химических продуктов коксохимического производства

Оценка риска аварий на коксохимических производствах проводится с использованием обобщённых статистических данных по частотам отказов (разгерметизации) технологического оборудования и частотам реализации инициирующих событий, приводящих к разрушению этого оборудования.

Описание сценариев наиболее вероятных и наиболее опасных по последствиям сценариев возможных аварий показывается для технических устройств с наибольшими количествами опасных веществ при частичной или полной их аварийной разгерметизации (см. табл.).

Таблица

Основные поражающие факторы в случае аварии

Объект	Вероятность реализации сценария, 1/год			
	Наиболее вероятный сценарий		Наиболее опасный сценарий	
	Поражающий фактор	Вероятность реализации	Поражающий фактор	Вероятность реализации
<b>Цех улавливания химических продуктов</b>				
Склад каменноугольной смолы и масел	Тепловое излучение	$4,4 \times 10^{-7}$	Тепловое излучение	$3,15 \times 10^{-6}$
	Токсическое поражение	$8,7 \times 10^{-5}$	Токсическое поражение	$1,85 \times 10^{-6}$
Склад бензольных продуктов	Тепловое излучение	$3,2 \times 10^{-5}$	Тепловое излучение	$1,89 \times 10^{-6}$
	Токсическое поражение	$5,5 \times 10^{-5}$	Токсическое поражение	$3,04 \times 10^{-6}$
	Поражение УВВ	$8,8 \times 10^{-8}$	Поражение УВВ	$7 \times 10^{-8}$
Склады серной кислоты	Токсическое поражение	$0,9 \times 10^{-4}$	Токсическое поражение	$0,9 \times 10^{-6}$

Вероятность инициирующих событий при аварии технологического оборудования принимается на основании справочных данных и составляет для резервуаров ЛВЖ и ГЖ:

- частичная разгерметизация –  $8,8 \times 10^{-5}$  в год;
- полная разгерметизация –  $5 \times 10^{-6}$  в год;
- разгерметизация технологического трубопровода –  $1,2 \times 10^{-6}$  в год.

Для резервуаров с токсическими веществами (кислоты, щёлочи):

- частичная разгерметизация –  $0,9 \times 10^{-4}$  в год;
- полная разгерметизация –  $1 \times 10^{-5}$  в год;
- опрокидывание ж/д цистерн при маневровых работах –  $1,8 \times 10^{-6}$ .

Тепловое излучение и открытое пламя при пожаре пролива горючих жидкостей – каменноугольной смолы до 1900т, поглотительного масла до 320 т с частотой возникновения  $3,15 \times 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, а бензола до 280т с частотой возникновения  $2,4 \times 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>. Зона возможного смертельного поражения

от пожара пролива не превысит 20 м от края разлития, ограниченного бортами склада смолы или склада бензольных углеводородов.

Летальное токсическое поражение облаком испарений пролива 280 т бензола (при 60 мин экспозиции) составит до 16 м в зависимости от силы и направления ветра с частотой реализации  $3,04 \times 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>. Порог выживания при воздействии ударно-воздушной волны составит 35 м с частотой реализации  $7 \times 10^{-8}$  год<sup>-1</sup>. Токсическое поражение и химический ожог при проливе 570т кислоты серной концентрированной на складе с частотой возникновения аварии  $0,9 \times 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>. Зона возможного смертельного поражения от облака испарения ограничена бортами складов кислоты серной концентрированной сульфатных отделений и отделения ректификации сырого бензола и составляет до 3 м в зависимости от силы и направления ветра.

Анализ основных причин произошедших аварий позволил выделить следующие группы причин, характеризующихся:

- 1) неисправностью (отказом) оборудования – 25 %;

- 2) нарушением правил пожарной безопасности – 25 %;
- 3) грозовыми разрядами (ударами молнии) – 12 %;
- 4) искровыми разрядами статического электричества – 6 %;
- 5) сходом с рельсов поездов с цистернами – 13 %;
- 6) разгерметизацией железнодорожных цистерн – 13 %;
- 7) грубыми нарушениями правил безопасности при работе с ЛВЖ и ГЖ – 6 %.

Таким образом, проведенный анализ возможных сценариев возникновения и развития аварий коксохимического производства, оценка риска их реализации и анализ основных причин произошедших аварий, позволяет сделать вывод о том, что наблюдается комплексное воздействие на окружающую среду, сотрудников предприятия и населения, живущего на прилегающей территории к заводу. Снижение рисков возможно за счет обновления морально и физически устаревшего оборудования, совершенствование технологических процессов с доведением их до безотходного или малоотходного производства, а также усиления контроля за выполнением правил техники безопасности и пожарной безопасности, повышение квалификации сотрудников на всех уровнях коксохимического предприятия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в ред. от 13.07.2015).
2. ГОСТ 12.3.047-2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
3. СП 6.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности» (Приказ МЧС России от 21.02.2013 № 115).
4. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (в ред. Изменения № 1, утв. Приказом МЧС РФ от 09.12.2010 № 643).
5. Большая Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.
6. Горячев С.А. Пожарная безопасность технологических процессов. / С.А. Горячев [и др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, Ч. 2., 2007. – 221 с.
7. Корольченко А. Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения / А. Я. Корольченко, Д. А. Корольченко. Справочник: в 2-х ч. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. – 713 с. – Ч. II. – 774 с.

## POSSIBLE SCENARIOS OF OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF ACCIDENTS OF COKE PRODUCTION

© 2016 E. V. Semenova

*Voronezh Institute of high technologies*

*The article describes the possible scenarios of occurrence and development of accidents of coke production, the estimation of the risk of their implementation and the analysis of the main causes of accidents that have occurred.*

*Key words: accident, risk, human exposure and environmental hazard class, the frequency of occurrence of an accident, the threshold of survival.*