

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №5, Том 14 / 2022, No 5, Vol 14 <https://esj.today/issue-5-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN522.pdf>

DOI: 10.15862/49SAVN522 (<https://doi.org/10.15862/49SAVN522>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сазонова, А. М. Анализ и оценка риска аварий на объекте хранения хлора / А. М. Сазонова, А. Н. Слизкая, Е. В. Стасева // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/49SAVN522.pdf> DOI: 10.15862/49SAVN522

For citation:

Sazonova A.M., Slizkaia A.N., Staseva E.V. Analysis and assessment of the risk of accidents at the chlorine storage facility. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(5): 49SAVN522. Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN522.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/49SAVN522

Сазонова Анна Михайловна

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
Санкт-Петербург, Россия
Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: amm_2005@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-978X>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=732316

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202813898>

Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/E-2291-2019>

Слизкая Ангелина Николаевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант

E-mail: tengaevaangelina@gmail.com

Стасева Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: elena_staseva@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=648316

Анализ и оценка риска аварий на объекте хранения хлора

Аннотация. В статье проведен анализ и оценка риска аварий на объекте водоподготовки — склад хранения хлора. Рассмотрен «типовой склад хранения хлора», с характеристиками наиболее распространенными на объектах водоподготовки. Авторами представлено распределение опасных веществ на складе хлора по элементам объекта. Рассмотрены основные причины возникновения аварии на объекте, все причины распределены на две группы: производственного и непроизводственного характера. Идентифицированы факторы, способствующие возникновению негативных событий. Рассмотрены типы возможных аварий на складе хлора. Представлено краткое описание сценариев наиболее вероятных аварий. Выявлены наиболее вероятные зоны действия поражающих факторов в зависимости от метеоусловий. Определены размеры зон заражения (площадь и глубина) со смертельной токсодозой и с пороговой токсодозой для разных сценариев наиболее вероятных аварий при разных метеоусловиях. Данные о размерах вероятных зон действия поражающих факторов для рассмотренных сценариев аварий, определенные согласно расчетной модели, представленной в «Методике оценки последствий химических аварий» (методика «Токси»). Возможные аварии

представляют опасность как для работающей смены и ремонтного персонала склада хлора, так и для производственного персонала сторонних предприятий и организаций, а также для населения. Приведены сведения о возможном ущербе здоровью от аварий. Проведены анализ и оценка риска от аварий на основе данных о показателях риска причинения вреда работникам и иным физическим лицам. Приведены данные по структуре пораженных работников и иных физических лиц на складе хлора для разных сценариев аварий и разных метеоусловий.

Ключевые слова: анализ и оценка риска; объект хранения хлора; авария; зона заражения; опасные факторы; охрана труда; несчастные случаи

Введение

Процесс обработки воды, поступающей из природного источника, является базовой процедурой для повышения её качества. Водоподготовка — необходимый этап для приведения качества воды в соответствие с требованиями потребителей. Данный этап производится на сооружениях или установках как для нужд жилищно-коммунального хозяйства, так и для многих отраслей промышленности. Объекты водоподготовки занимаются вопросами обеспечения питьевой водой населения, учреждений и предприятий, отводом и очисткой канализационных сточных вод, поступающих с предприятий и жилых секторов.

На объектах водоподготовки возможно возникновение аварийных ситуаций с угрозой выброса химически опасных веществ, таким образом станция водоподготовки является химически опасным объектом. Анализ данных статистики аварий на объектах водоподготовки показал, что наибольшую опасность представляют такие вещества, как хлор, аммиак и минеральные кислоты.¹ Распределение аварийных случаев, в процентном соотношении, с участием данных веществ, следующее:

- хлор — 22 %;
- аммиак — 19 %;
- минеральные кислоты — 12 %;

Согласно официальным данным за последние 5 лет, ежегодно в России происходит от 80 до 100 случаев выбросов опасных веществ в окружающую среду.

Из всех имеющихся производственных объектов предприятия одним из наиболее опасных с точки зрения возникновения аварии, сопровождающейся выбросом токсичного вещества — является склад хлора.

Основная часть

В качестве реагента для обеззараживания питьевой воды и промышленно-бытовых стоков на объектах водоподготовки используется товарный хлор. Максимальное количество хлора, одновременно обращающегося на объектах водоподготовки в среднем составляет 100 т. Вместимость одного контейнера составляет — 1 т жидкого хлора ($V = 0,8 \text{ м}^3$).

На территории склада хлора потенциальную опасность, с точки зрения возникновения аварии с возможным негативным воздействием на людей и окружающую среду, представляет

¹ Приказ Ростехнадзора от 26.12.2012 № 781 «Об утверждении рекомендаций по разработке планов локализации и ликвидации аварий на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах» // СПС «КонсультантПлюс». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_147686/.

товарный жидкий хлор, хранящийся в контейнерах. Хлор — опасное вещество, обладает раздражающим запахом и удушающим действием. Степень опасности и характер воздействия хлора на организм человека связаны с общетоксическим и раздражающим действием на кожу, слизистую оболочку глаз и верхних дыхательных путей. При высоких концентрациях вызывает химические ожоги, поражение легких. Концентрация хлора более 300 мг/м³ является смертельной дозой.

В целях проведения анализа риска аварии, в работе рассмотрен «типовой склад хлора», по характеристикам соответствующий наиболее распространенным на объектах водоподготовки. Данные о распределении опасных веществ на «типовом складе хлора» (далее — склад хлора) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные о распределении опасных веществ на складе хлора

Составляющая объекта	Наименование опасного вещества	Количество, т		
		в аппаратах	в трубопроводах	в наибольшей единице оборудования
Площадка разгрузки-погрузки из ж/д вагонов	Хлор	До 42	-	1,0
Площадка разгрузки-погрузки в автотранспорт	Хлор	До 5	-	1,0
Площадка для хранения контейнеров с хлором и порожней тары	Хлор	До 100	-	1,0

Составлено авторами

Крупная авария на складе хлора может произойти вследствие нескольких причин (или их комбинаций), которые можно условно разделить на две группы: технологические (производственные) и внешние (непроизводственные) [1].

К технологической группе причин относятся:

- опасности, связанные с производственным процессом;
- физический износ, механические повреждения, коррозия;
- дефекты изготовления контейнеров;
- попадание в контейнеры с жидким хлором посторонних веществ;
- гидравлических разрыв контейнера при переполнении;
- отказы разъемных соединений и запорной арматуры;
- прекращение подачи энергоресурсы;
- поломка или остановка машин (насосов, вентилятор).

К внешним факторам относятся природные и техногенные катастрофы, диверсионные акты и другие.

Перечень факторов и причин, способствующих возникновению и развитию аварий на объекте, представлен в таблице 2.

Размеры зон поражения могут существенно меняться в зависимости от объема выброса хлора, фазового состояния (газ или жидкость), характера возникновения и развития аварийной ситуации, метеоусловий, характера рельефа местности и места аварии (помещение или открытая площадка) [2].

Таблица 2

**Перечень факторов и причин,
способствующих возникновению и развитию аварий на объекте**

Наименование объекта	Факторы возможного возникновения аварий	Причины аварий
Склад хлора	<ol style="list-style-type: none">1. Наличие на объекте до 100 т товарного хлора в контейнерах (до 1 т в единичной емкости), являющегося токсичным веществом, создает потенциальную опасность выброса хлора при аварийной разгерметизации сосуда.2. Хранение хлора в контейнерах под давлением и их перемещение при выполнении операций погрузки-выгрузки создают потенциальную опасность разгерметизации контейнеров с жидким хлором при падениях и ударах.3. Высокая коррозионная активность хлора.4. Наличие запорной арматуры создает опасность разгерметизации контейнера.	<ol style="list-style-type: none">1. Ошибки производственного персонала при ведении технологического процесса.2. Разгерметизация или разрушение контейнеров — при их переполнении, механические повреждения и деформации, вследствие нагрева или коррозии.3. Перебои или прекращение подачи энергоресурсов (электроэнергии, воды).4. Причины, связанные с негативным воздействием на рассматриваемый объект внешних факторов — природные и техногенные катастрофы, диверсионные акты.

Составлено авторами

На складе хлора возможны следующие аварийные ситуации:

- трещина в корпусе контейнера;
- разгерметизация в подвижных и разъёмных сведениях запорной арматуры;
- отрыв или разрушение вентиля контейнера в результате падения при проведении погрузо-разгрузочных операций;
- разрушение контейнера с жидким хлором при хранении или в результате падения при проведении погрузо-разгрузочных работ.

Наибольшую опасность при авариях с участием хлора — возможность токсического поражения людей. При разливах жидкого хлора, хранящегося под давлением при температуре окружающей среды, на неограниченных (не обвалованных) площадях происходит практически мгновенно образование первичного облака (20 % массы хлора в емкости). Далее происходит достаточно медленное испарение хлора из лужи пролива и образование так называемого вторичного облака, приводящего к пролонгации токсического воздействия аварийного выброса по следу облака [3].

При хранении контейнеров с хлором на складе одной из основных причин аварийного выброса хлора является разрушение корпуса контейнера (утечки хлора из фланцевых соединений, арматуры) при его переполнении на заводе-наполнителе и хранение под действием прямых солнечных лучей. Зачастую такого рода аварии случаются в весенний период при резком потеплении и весенним повышении температуры воздуха.²

При полном разрушении или частичной разгерметизации контейнера на открытой площадке хлорное облако будет сначала распространяться в пределах огороженной территории склада хлора. Выход хлорного облака за пределы территории склад зависит от масштабов выброса и принятых мер по локализации хлорного облака.

² Приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 № 486 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора» // СПС «КонсультантПлюс». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372194/.

Краткое описание сценариев наиболее вероятных аварий представлено ниже.³

Сценарий 1 (С₁): разрушение контейнера возможно при повышении температуры переполненного сосуда, возможного падения и удара, например, при выполнении погрузки и разгрузке контейнеров, а также при хранении сосудов.

Сценарий 2 (С₂): так как контейнеры на складе хлора хранятся в вертикальном положении, то в зависимости от окружающей температуры открытые концы сифонов вентилях контейнеров могут находиться в газовой фазе или быть погружены в хлор. В зависимости от этого возможен отрыв запорного вентиля контейнера.

Сценарий 3 (С₃): при образовании коррозионного отверстия в корпусе контейнера, происходит выброс жидкого хлора.

Наиболее вероятными зонами действия поражающих факторов являются метеоусловия со следующими значениями параметров [4; 5]: скорость ветра 1 м/с, температура окружающей среды +20°C, состояние атмосферы — инверсия, что создает условия для свободного распространения зараженного воздуха и сохранения высоких концентраций вредного вещества. Другие состояния атмосферы (степени вертикальной устойчивости воздуха), изотермия и конвекция, способствуют более быстрому рассеиванию зараженного воздуха. Таким образом, зоны со следующие метеоусловия будут считаться «средними» зонами действия поражающих факторов: скорость ветра 3 м/с, температура окружающей среды +20°C, состояние атмосферы — изотермия.

След «хлорного облака» имеет форму вытянутого эллипса, большая полуось которого равна радиусу соответствующей зоны, ширина облака 1/20 радиуса, высота «облака» не более 3–5 м.

В соответствии с расчетами по «Методике оценки последствий химических аварий» (методика «Токси») рассматривались:

- зоны со смертельной токсодозой, т. е. может наблюдаться летальный исход для 50 % людей при времени экспозиции — 30 минут;
- зоны с пороговой токсодозой, т. е. граница зоны дискомфорта, человек обонянием может ощущать присутствие хлора в атмосфере, при этом внутри зоны токсического поражения могут наблюдаться единичные смертельные исходы, в частности, детей, стариков, больных астмой.

Данные о размерах вероятных зон действия поражающих факторов для рассмотренных сценариев аварий, определенные согласно расчетной модели, представленной в «Методике оценки последствий химических аварий» (методика «Токси») представлены в таблице 3.

Согласно полученным данным, о наибольшие размеры зон заражения хлором будут иметь место при возникновении аварий, сопровождающихся разрушением контейнера с жидким хлором (сценарий С₁) [6]. При возникновении такой аварийной ситуации и принятых в расчетах неблагоприятных метеоусловиях глубина зоны смертельного поражения составит:

- для сценария С₁ равна 640 м от площадки для хранения контейнеров под навесами;
- для сценария С₃ равна 450 м.

³ Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144 «Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» // СПС «КонсультантПлюс». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_196804/.

Таблица 3

Наиболее вероятные зоны действия поражающих факторов

Показатели	Сценарии при времени экспозиции $t = 1,5$ час. (0,5 час.)			
	C_1 (инверсия, $v = 1$ м/с)	C_1 (изотермия, $v = 3$ м/с)	C_3 (инверсия, $v = 1$ м/с)	C_3 (изотермия, $v = 3$ м/с)
Глубина зоны заражения с пороговой токсодозой, км	2,5 (1,6)	0,83	1,6(1,05)	0,5
Площадь зоны возможного заражения с пороговой токсодозой, км ²	0,49 (0,2)	0,054	0,2 (0,086)	0,02
Глубина зоны заражения со смертельной токсодозой, км	0,64 (0,4)	0,22	0,45 (0,3)	0,13
Площадь зоны возможного заражения со смертельной токсодозой, км ²	0,032 (0,0126)	0,0038	0,016(0,007)	0,0013

Составлено авторами

При сокращении времени ликвидации последствий аварии с 1,5 часа до 0,5 часа глубины зон смертельного поражения для сценариев C_1 и C_3 могут быть снижены до 400 м и 300 м соответственно.

При увеличении скорости ветра и изменении вертикальной устойчивости атмосферы масштабы заражения хлором значительно снижаются [7]. Так, увеличение скорости ветра с 1 м/с до 3 м/с (состояние атмосферы — изотермия) приводит к сокращению глубин зон действия поражающих факторов указанных в таблице 11 не менее чем в 3 раза.

Аварии, протекающие по сценариям C_1 , C_2 , C_3 представляют опасность как для работающей смены и ремонтного персонала склада хлора, так и для производственного персонала сторонних предприятий и организаций, а также для населения. В зависимости от времени ликвидации аварии и сценария для неблагоприятных метеоусловий (инверсия) радиус зоны со смертельной токсодозой (6 мг/(л*мин)) на границе составит от 300 до 640 м, а радиус зоны с пороговой токсодозой (6 мг/(л*мин)) на границе составит от 1,0 до 2,5 км.

Данные по структуре пораженных работников и иных физических лиц при возникновении аварий на складе хлора представлены в таблице 4.

Таблица 4

Структура пораженных работников и иных физических лиц при возникновении аварий на складе хлора

№ сценариев аварии	Смертельные, чел.	Тяжелой, средней и легкой степени, чел.	Число пораженных среди населения, чел.	Общее число пораженных, чел.
C_1 в т. ч.:	12	41	6	59
C_{11} (ветер С-В)	3	11	0	14
C_{12} (ветер Ю)	7	22	6	35
C_{13} (ветер З)	2	6	0	8
C_{14} (ветер В)	1	2	0	3
C_{15} (ветер Ю-В)	2	6	0	8
C_2 (при инверсии)	5	18	0	23
C_3 (при инверсии)	5	18	0	23

Составлено авторами

Заключение (выводы и рекомендации)

Проведенная оценка риска аварий на объекте водоподготовки — склад хранения хлора — позволила установить следующее:

- максимальная глубина зоны возможного смертельного поражения при наихудших метеоусловиях, состоянии атмосферы и времени локализации аварии равном 90÷30 минут составляет 640–400 м от площадки для хранения контейнеров с хлором и порожней тары под навесами склада хлора;
- максимальное число смертельных исходов при возникновении наиболее тяжелой по последствиям аварии — разрушение контейнера с жидким хлором и южном ветре — достигает 8 человек, при этом максимальное число пострадавших достигает 27 человек, в том числе среди персонала склада хлора не менее 1 и 2 человек соответственно.

Таким образом, число пострадавших при авариях на складе хлора существенно зависит от сценария развития аварии, сопровождающейся выбросом хлора в окружающую среду. При отрыве вентиля контейнера (сценарий С₂, С₃) процесс утечки растянут во времени, наибольшая угроза жизни возникает для персонала склада хлора, участвующего в ликвидации аварии. Внезапность возникновения и развитие рассматриваемых сценариев аварий, представляет угрозу гибели людей как из числа персонала склада хлора, так и персонала сторонних организаций [8].

Количество пострадавших, в том числе погибших из числа персонала склада хлора, главным образом зависит от оснащенности его эффективными средствами индивидуальной защиты, так как персонал в период аварии принимает участие в ее локализации. Для персонала сторонних организаций и населения дополнительными факторами, снижающими риски токсического или смертельного поражения, является возможность эвакуации или защиты внутри простейших укрытий [9; 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шестоперов, О.М. Анализ современной ситуации в области применения оценки рисков в техническом регулировании. Европейский опыт и возможности применения в России / О.М. Шестоперов, А.С. Белов, К.В. Степанюк. — М: тип. ООО ГрафДизайн, 2005. — 63 с. — ISBN 5-98984-006-3.
2. Адамчук, Н.Г. Управление риском на предприятии и страхование / Н.Г. Адамчук, Д.А. Алешин // Управление риском. — 2001. — № 1(28) — С. 32–39. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23898897> (дата обращения 10 октября 2022).
3. Прогнозирование последствий разлива хлора и рекомендации по повышению безопасности объекта / Л.А. Брусницына, С.М. Мурзин, А.А. Рязанов [и др.]. // Техносферная безопасность. — 2017. — № 1(14). — С. 57–60. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=34467302> (дата обращения 10 октября 2022).
4. Филопулос, Я. Формирование политики и институциональная основа оценки риска в ЕС: рекомендации по созданию в стране системы оценки риска / Я. Филопулос. — М.: ТЕИС, 2005. — 85 с. — ISBN 5-7218-0793-8.
5. Hardy, K. Managing Risk in Government: An Introduction to Enterprise Risk Management / K. Hardy. — IBM Center for The Business of Government, 2010. — 53 p. — URL: <https://www.businessofgovernment.org/sites/default/files/RiskinGovernment.pdf> (Accessed 10 oktober 2022).

6. Стасева, Е.В. Оценка профессиональных рисков / Е.В. Стасева, И.А. Трофимов. // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии. Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции с научной школой для молодежи / Тверской государственный технический университет. — Тверь, 2016. — С. 87–89. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26019769> (дата обращения 10 октября 2022).
7. Фомин, Е.П. Социально-гигиенические и медико-демографические аспекты здоровья работающего населения / Е.П. Фомин // Здоровье населения и среда обитания. — 2014. — № 10. — С. 22–25. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22539812> (дата обращения 10 октября 2022).
8. Горбаткова, А.В. Метод анкетирования как способ контроля состояния и условий и охраны труда на предприятии / А.В. Горбаткова, Е.И. Турянская // Аспекты безопасности жизнедеятельности и медицины: материалы международной научно-практической конференции. — 2017. — С. 128–130. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32794067> (дата обращения 10 октября 2022).
9. Сазонова, А.М. Роль «человеческого фактора» в возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций / А.М. Сазонова, Е.В. Стасева // непосредственный // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность 2020): Материалы II Международной научно-практической конференции, Уфа, 08 апреля 2020 года. — Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. — С. 184–187. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42776303> (дата обращения 10 октября 2022).
10. Sazonova, A. Risk of pathologies when exposed to fine dust in the construction industry / A. Sazonova, O. Kopytenkova, E. Staseva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction — The Formation of Living Environment. — 2018. — P. 032039. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/3/032039/pdf> (Accessed 10 oktober 2022).

Sazonova Anna Mikhaylovna

Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia
E-mail: amm_2005@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-978X>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=732316

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202813898>

Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/E-2291-2019>

Slizkaia Angelina Nikolaevna

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: tengaevaangelina@gmail.com

Staseva Elena Vladimirovna

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: elena_staseva@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=648316

Analysis and assessment of the risk of accidents at the chlorine storage facility

Abstract. The article analyzes and assesses the risk of accidents at a water treatment facility — a chlorine storage warehouse. A "typical chlorine storage warehouse" with the characteristics most common at water treatment facilities is considered. The authors present the distribution of hazardous substances in the chlorine warehouse by the elements of the facility. The main causes of the accident at the facility are considered, all the causes are divided into two groups: occupational and non-occupational. The factors contributing to the occurrence of negative events have been identified. The types of possible accidents in the chlorine warehouse are considered. A brief description of the scenarios of the most likely accidents is presented. The most probable zones of action of damaging factors depending on weather conditions are revealed. The sizes of contaminated zones (area and depth) with lethal toxodose and with threshold toxodose for different scenarios of the most probable accidents under different weather conditions are determined. Data on the size of the probable zones of action of damaging factors for the considered accident scenarios, determined according to the calculation model presented in the "Methodology for assessing the consequences of chemical accidents" (the "Toxi" methodology). Possible accidents are dangerous both for the working shift and the maintenance staff of the chlorine warehouse, and for the technical staff personnel of third-party enterprises and organizations, as well as for the public. Information about possible health damage from accidents is provided. The analysis and assessment of the risk of accidents based on data on the indicators of the risk of harm to employees and other individuals were carried out. Data on the composition of affected workers and other individuals in the chlorine warehouse for different accident scenarios and different weather conditions are presented.

Keywords: risk analysis and assessment; chlorine storage facility; accident; contamination area; hazardous factors; occupational safety; injuries