

# Анализ риска

УДК 331.821.003.12-547.912.54-16 (049.1)

© А.В. Савина, Е.В. Ханин, С.И. Сумской, 2007

## ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, НА КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ СОЛЯНАЯ КИСЛОТА, ПРИ ДЕКЛАРИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. САВИНА, Е.В. ХАНИН (НТЦ «Промышленная безопасность»), С.И. СУМСКОЙ (МИФИ)

**С**оляная кислота довольно широко используется в различных производствах. Поскольку ее выбросы могут создавать угрозу жизни и здоровью человека, необходимо уметь оценивать уровень опасности опасных производственных объектов (далее — ОПО), на которых обращается соляная кислота.

В настоящей работе на примере склада соляной кислоты (далее — Склад) рассматривается подход к анализу риска, и приводятся результаты оценки уровня опасности ОПО, который можно считать типовым.

Соляная кислота относится к токсичным веществам (приложение 2 к федеральному закону № 116-ФЗ от 21.07.97 [1]) — II класс опасности по степени воздействия на организм человека (по хлористому водороду) (ГОСТ 12.1.005—88) [2]. При ингаляционном поражении наиболее опасен «туман» — газообразный хлористый водород, абсорбированный имеющимися в воздухе парами воды, который при высоких концентрациях вызывает раздражение слизистых оболочек, конъюнктивит, помутнение роговицы; появляются охриплость, чувство удушья, покалывание в груди, насморк, кашель. Длительное воздействие хлористого водорода приводит к катарам верхних дыхательных путей, разрушению зубов, изъязвлению слизистой оболочки носа (даже прободению носовой перегородки), желудочно-кишечным расстройствам, возможны воспалительные заболевания кожи. При ожоге соляной кислотой (аэрозолем) обычно возникает серозное воспаление с пузырями. Изъязвления появляются лишь при сравнительно длительном контакте. Летальная токсодоза ( $LCt_{50}$ ) составляет 12 000 мг·с/л, пороговая ( $PCt$ ) — 660 мг·с/л [3].

Соляная кислота реагирует почти со всеми металлами с выделением водорода, взаимодействует с оксидами и гидроксидами металлов, солями (фосфатами, силикатами, боратами и др.). При взаимодействии с сильными окислителями выделяется хлор. В связи с этим требуется специальное покрытие рабочих поверхностей оборудования, контактирующего с соляной кислотой.

Основная ошибка при декларировании ОПО указанного типа — игнорирование возможности испарения хлористого водорода из кислоты с образованием токсичных облаков или аэрозольных (в случае тумана или высокой влажности) облаков соляной кислоты. Это приводит к занижению опасности рассматриваемых объектов.

В качестве составляющих ОПО выделены:

Склад для приема, хранения и выдачи в производство до 5112 т соляной кислоты различной концентрации; Склад имеет в своем составе 12 вертикальных емкостей полезным объемом по 500 м<sup>3</sup> каждая, предназначенных для хранения концентрированной<sup>1</sup> соляной кислоты (одна емкость); травильного раствора (ТР) и регенерированной 10–12 %-ной соляной кислоты (три емкости); отработанного 8–10 %-ного ТР (три емкости); конденсата, кислых стоков, очищенных кислых стоков (по одной емкости), а также две резервные емкости;

Участок приема и разгрузки железнодорожных цистерн с соляной кислотой (далее — Участок) (до 36 цистерн в год);

Система трубопроводов для подачи свежего раствора кислоты в производство и возврата отработанного раствора (далее — Система трубопроводов). Общая протяженность эстакады с трубопроводами — около 380 м, скорость подачи растворов — до 45 м<sup>3</sup>/ч.

Соляную кислоту поставляют на Склад железнодорожным транспортом в специальных цистернах (до 3 цистерн (186 т) в месяц). Прибывшие цистерны с кислотой заводят в железнодорожный тупик и по одной устанавливают под сифон для разгрузки на эстакаде Участка, находящегося на расстоянии 2–3 м от Склада. Соляную кислоту откачивают из железнодорожной цистерны насосом в емкости склада через сливное устройство (гусак). Систему «насос — бурак-сифон — гусак» (до цистерны) заполняют очищенными кислыми стоками.

Хранят соляную кислоту «под наливом». Все выбросы из емкостей поступают на очистку в абсорбер, где хлористый водород поглощается оборот-

<sup>1</sup> Здесь и далее «концентрированная» означает 34–37 %-ная.

ной водой. Полученная соляная кислота самотеком поступает на Склад. Для транспортирования растворов кислоты используют химические углеродные насосы.

Травильный раствор готовят из регенерированной соляной кислоты, доводя концентрацию хлористого водорода до нужной величины добавлением концентрированной соляной кислоты либо путем смешения последней с очищенными кислотными стоками.

Отработанный ТР возвращают на Склад и подают на установку регенерации. Растворы перекачивают по стальным трубопроводам, внутренняя поверхность которых защищена фторопластом. Подают ТР на производство периодически. Каждый трубопровод (подачи и возврата ТР) имеет рабочие и резервные нитки. Объем раствора, подаваемого в термотравильное отделение, составляет 10–40 м<sup>3</sup>/сут, количество перекачек — 15–20 в месяц.

Через железнодорожную эстакаду кислоту и растворы со Склада не отгружают.

Склад оборудован герметичным поддоном, рассчитанным на объем максимальной емкости, с двумя приемками и дренажными насосами для откачки проливов, а также автоматической системой сигнализации повышения концентрации хлористого водорода в помещении Склада в блоке с аварийной вентиляцией.

Схема основных технологических потоков Склада приведена на рисунке.

Общая численность персонала рассматриваемого объекта — 17 чел., наибольшее число работающих в смене — 5 человек.

На расстоянии 500 м (максимальная расчетная зона возможного смертельного поражения) от

Склада расположены 8 других подразделений организации с численностью персонала до 118 человек.

Населенные пункты вблизи ОПО:

поселок А — на расстоянии 500 м в западном направлении, население 500 чел., 3-, 4- и 5-этажная застройка;

поселок Б — на расстоянии 800 м в северо-западном направлении, население 500 чел., 1- и 2-этажная застройка.

Анализ 3 аварий, происшедших на рассматриваемом ОПО, и 21 аварии — на других аналогичных объектах, показал возможность химического поражения персонала в случае разгерметизации оборудования и выброса соляной кислоты. Наиболее опасны аварийные ситуации, связанные с разгерметизацией резервуаров, что влечет за собой выброс больших количеств опасного вещества.

На основании анализа происшедших аварий условно выделены следующие взаимосвязанные группы причин:

отказы (неполадки) оборудования (нарушение гидродинамики технологических процессов, физический износ, коррозия, ошибки при проектировании и изготовлении, прекращение подачи энергоресурсов и пр.);

ошибочные действия персонала (нарушение требований технологических инструкций, неадекватное восприятие информации, ошибки при локализации и ликвидации аварийных ситуаций и пр.); нерасчетные внешние воздействия природного и техногенного характера.

Из факторов, способствующих возникновению и развитию аварий на Складе, выделены следующие:

большой объем опасного вещества (соляной кислоты), находящегося в единичном емкостном оборудовании;

агрессивные свойства соляной кислоты по отношению к металлам;

большая протяженность трубопроводных систем, на которых имеется определенное количество фланцевых соединений;

значительное количество насосного оборудования, работающего в агрессивной среде и обладающего довольно высокой производительностью, что обуславливает большие объемы выбросов при разгерметизации трубопроводов.

При выборе сценариев аварии учитывался тот факт, что пораже-

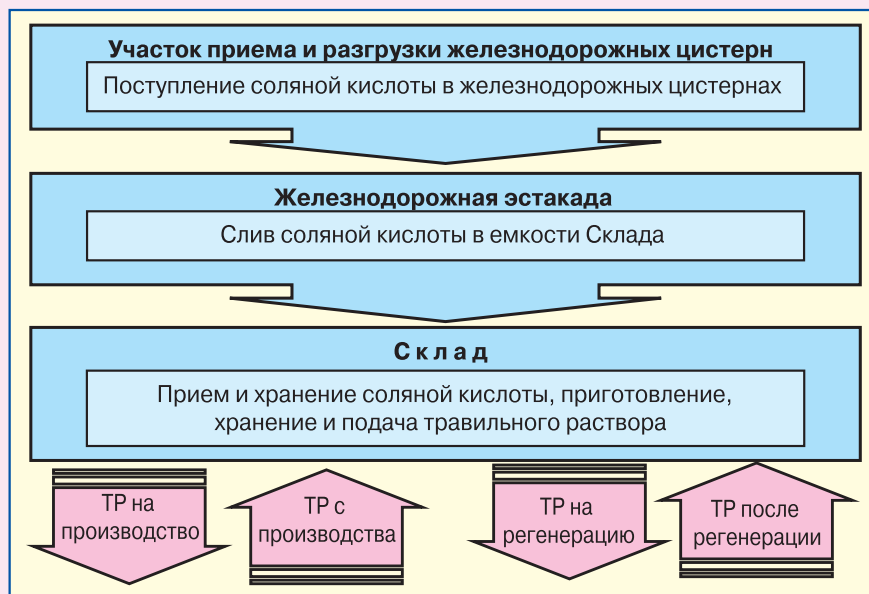


Схема основных технологических потоков склада соляной кислоты

ние (в том числе со смертельным исходом) при выбросе соляной кислоты возможно при прямом воздействии жидкой фазы на человека или при вдыхании паров хлористого водорода. Поэтому в первую очередь рассматривали сценарии с распространением соляной кислоты в окружающей среде: растекание по поверхности либо рассеивание в воздухе (облако хлористого водорода, выделившегося из кислоты). Типовой вариант развития аварии — выброс жидкой фазы из разрушенного оборудования и ее последующее распространение (растекание) по окружающей территории.

Все оборудование, где обращается соляная кислота, расположено в помещении Склада, оборудованном сигнализацией повышения концентрации хлористого водорода и системой поглощения на случай выброса, поэтому можно сделать вывод, что при его разгерметизации зоны поражения будут ограничены размерами помещения Склада. Этому будет способствовать и наличие приямка для аварийных стоков, резервной емкости и аварийной вытяжной вентиляции с направлением выброса хлористого водорода на абсорбер.

Аварийные ситуации вне помещения связаны с разгерметизацией железнодорожных цистерн и Системы трубопроводов. В этом случае возможны свободный выброс с последующим растеканием соляной кислоты по подстилающей поверхности и выброс с одновременным образованием облака хлористого водорода и (или) аэрозольного облака (в результате воздействия направленного потока воздуха на струю истекающей соляной кислоты или при наличии тумана).

Учитывая сказанное, для рассмотрения и анализа последствий возможных аварий приняты следующие группы сценариев:

$C_1$  — частичная или полная разгерметизация трубопровода подачи ТР (концентрация до 12 %) — истечение ТР на подстилающую поверхность (при образовании свища возможно частичное диспергирование выброса) — поражение кислотой людей, оказавшихся в зоне выброса, — растекание ТР на подстилающей поверхности и образование облака хлористого водорода (в случае тумана — аэрозольного облака соляной кислоты) — рассеяние облака хлористого водорода (аэрозольного облака соляной кислоты) в атмосфере — поражение людей, оказавшихся в зоне дрейфа облака;

$C_2$  — частичная или полная разгерметизация трубопровода от Участка до Склада — истечение концентрированной соляной кислоты на подстилающую поверхность (при образовании свища возможно частичное диспергирование выброса); дальнейшее развитие аналогично группе сценариев  $C_1$ ;

$C_3$  — частичная или полная разгерметизация железнодорожной цистерны — истечение (выброс)

концентрированной соляной кислоты на подстилающую поверхность — дальнейшее развитие аналогично группе сценариев  $C_1$ ;

$C_4$  — разрушение резервуаров с соляной кислотой (диверсия) — выброс соляной кислоты из оборудования в виде аэрозоля — образование аэрозольного облака соляной кислоты с одновременным выделением хлористого водорода — дрейф и рассеяние облаков в поле ветра и одновременно частичное осаждение соляной кислоты на поверхность — поражение людей, оказавшихся в зоне дрейфа облака.

При реализации группы сценариев  $C_2$  объем выброса соляной кислоты не превысит нескольких десятков килограммов (в худшем случае), поскольку этот трубопровод — всасывающий, и в случае его разгерметизации перекачка прекратится. Размеры зон возможного поражения при этом незначительны, и расчеты для их определения не выполнялись.

В группе сценариев  $C_3$  возможны два варианта разгерметизации цистерны:

на Участке (пролив в приямок);

на подъездных путях (пролив на неограниченную поверхность).

В первом случае при отсутствии перелива через ограждение приямка весь пролив соляной кислоты через соединительный тоннель перетечет в приямок Склада, откуда его откачают в резервную емкость, и зоны действия поражающих факторов будут незначительны.

Перехлест пролива через ограждение приямка и растекание кислоты на неограниченной поверхности — частный случай варианта  $C_2$ . С целью определить максимальные размеры возможных зон поражения для расчетов была принята группа сценариев с разгерметизацией железнодорожной цистерны на подъездных путях и проливом на неограниченную поверхность.

Для расчетов размеров зон действия поражающих факторов из сценариев  $C_4$  выбран сценарий, по которому одновременно умышленно разрушены все емкости с соляной кислотой в состоянии их максимального заполнения.

Чтобы определить число пострадавших и величину ущерба, проанализировать риск и вычислить вероятностные характеристики, учитывали все указанные группы сценариев для оборудования всех типов.

Количественные показатели возможных последствий развития аварий по принятым сценариям оценивали с использованием физико-математических моделей и методов расчета, изложенных в следующих документах:

1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов

(РД 03-418—01) [4] — нормативный документ Ростехнадзора, устанавливающий общие требования к процедуре и оформлению результатов анализа риска. В качестве основы методологии экспертной оценки рекомендованы взаимосвязанные количественные и качественные показатели вероятности и тяжести последствий события (отказа).

2. Методика «ТОКСИ» [5] позволяет оценить возможную зону поражения как окружность радиусом, соответствующим зоне смертельного поражения или порогового воздействия, а также фактическую зону поражения (эллипсовидная область, вытянутая вдоль направления ветра, где возможно смертельное поражение или пороговый уровень воздействия) при выбросе токсичных веществ.

3. Порядок определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия [6] использовали для оценки экологического ущерба при аварийных выбросах.

4. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах (РД 03-496—02) [7] дают возможность оценить ущерб при возникновении аварий на декларируемом объекте.

В указанных целях сделаны также некоторые предположения и допущения:

время экспозиции при расчете размеров зон смертельного поражения принято 10–30 мин, что соответствует предположению о возможности выхода человека за это время из опасной зоны (ско-

такой его размер, при котором толщина слоя жидкости составляла 0,05 м; при проливах внутри обвалования площадь пролива ограничена площадью поддонов или приподнятыми дорогами;

максимальные размеры зон поражения при рассеянии паров определяли, исходя из наихудших условий рассеяния: температура окружающей среды — 25 °С; скорость ветра — 1 м/с; класс стабильности атмосферы — инверсия;

при расчете максимальных зон поражения при рассеянии аэрозолей скорость ветра считали равной 5 м/с.

Оценивая зоны поражения при распространении аэрозолей для группы сценариев  $C_4$ , размер аэрозольных капель принимали 50–200 мкм; скорость оседания аэрозольных частиц определяли по формуле Стокса. Предполагалось, что высота выброса соляной кислоты не превышает 10 м. При таком подходе за протяженность зоны поражения принимали расстояние, на которое капли могут переноситься ветровым потоком за время их осаждения на подстилающую поверхность. Количество опасных веществ, участвующих в аварии, приведено в табл. 1. Основные результаты расчета вероятных зон действия поражающих факторов по методике «Токси» приведены в табл. 2. Из приведенных данных видно, что в случае реализации группы сценариев  $C_1$  не достигается даже пороговое поражение. Это связано с тем, что давление насыщенных паров раствора соляной кислоты данной концентрации невелико — 1,33–2,66 Па (0,01–0,02 мм рт. ст.).

Таблица 1

Сценарий	Последствия аварии	Основной поражающий фактор	Количество опасного вещества, участвующего в аварии и создании поражающих факторов, т
$C_1$	Выброс ТР, пролив на подстилающую поверхность, образование токсичного облака хлористого водорода (при наличии тумана — аэрозольного облака соляной кислоты)	Ингаляционное поражение парами хлористого водорода (аэрозоль соляной кислоты), возможен химический ожог кожи	До 11
$C_3$	Выброс кислоты, пролив на подстилающую поверхность, образование токсичного облака хлористого водорода (при наличии тумана — аэрозольного облака соляной кислоты)	То же	До 62
$C_4$	Выброс соляной кислоты в виде аэрозоля, образование облака с одновременным выделением хлористого водорода	— « —	До 5112

рость передвижения 4–5 км/ч), а при расчете зон порогового воздействия — предполагалось равным времени распространения облака;

максимальным проливом при выбросе жидкой фазы на неограниченную поверхность считали

Таблица 2

Сценарий	Площадь пролива, м <sup>2</sup>	Размер зоны поражения (протяженность / ширина), м					
		порогового при времени экспозиции, мин			смертельного при времени экспозиции, мин		
		1	10	30	1	10	30
$C_1$	200	–	–/–	5/> 1	–/–	–/–	–/–
$C_3$	1200	130/7	779/38	1404/68	69/3	228/11	409/20
$C_4$	–	–	–/–	–/–	–/–	–/–	< 500/–

Необходимо отметить, что полученные результаты отражают максимально возможное поражение. Например, при повышении скорости ветра (среднегодовая скорость ветра в районе расположения рассматриваемого ОПО составляет 3,8 м/с), изменении класса устойчивости атмосферы и понижении температуры окружающей среды и подстилающей поверхности (среднегодовая температура в районе расположения рассматриваемого ОПО 3,5 °С) размеры зон поражения в сценариях С<sub>1</sub>–С<sub>3</sub> будут в 2–5 раз меньше приведенных результатов.

Результаты оценки максимально возможного количества пострадавших при возникновении аварии на исследуемом ОПО приведены в табл. 3. Рассмотрены два варианта поражения: химический ожог кожи при попадании человека в зону пролива и токсическое воздействие при вдыхании паров (аэрозолей) соляной кислоты.

сонала в рабочее время находится в помещениях, которые служат дополнительной защитой (действие токсических веществ, распространяющихся снаружи, ослаблено вследствие затрудненного их проникновения внутрь);

не принимались во внимание навыки персонала действовать в аварийных ситуациях и оснащенность средствами индивидуальной защиты.

Уменьшению числа пострадавших также способствуют:

низкая температура атмосферного воздуха и подстилающей поверхности, высокая скорость ветра (ускорение рассеяния выброшенного в атмосферу опасного вещества);

нахождение людей на верхних этажах зданий, в то время как пары хлористого водорода тяжелее воздуха и распространяются ближе к поверхности земли;

Таблица 3

Сценарий	Основные поражающие факторы	Число погибших	
		Персонал Склада	Третьи лица, в том числе персонал других подразделений организации
С <sub>1</sub>	Токсическое воздействие	–	–
	Химический ожог	1–2	1
С <sub>3</sub>	Токсическое воздействие	1–2	5–7 из числа персонала других подразделений и до нескольких человек из близлежащих населенных пунктов, в зависимости от направления ветра в момент аварии
	Химический ожог	1–2	1
С <sub>4</sub>	Токсическое воздействие	1–2	5–7 из числа персонала других подразделений и до нескольких человек из близлежащих населенных пунктов, в зависимости от направления ветра в момент аварии
	Химический ожог	1–2	1

Приведенные результаты получены с учетом следующих предположений:

наихудшие условия рассеяния АХОВ<sup>1</sup> (высокая температура окружающей среды, низкая скорость ветра, инверсия);

попадание в зоны поражения максимально возможного для данной территории числа людей;

5 % работников, находившихся в момент аварии в зоне поражения, оказались на открытой площадке и не принимали меры к выходу из зоны возможного поражения и (или) укрытию в зданиях и помещениях.

В реальной ситуации число пострадавших может быть существенно меньше (вплоть до их полного отсутствия), поскольку при расчетах были приняты следующие допущения:

предполагалось, что на рабочих местах организации находится максимально возможное по штатному расписанию количество персонала (что возможно только в дневную смену по рабочим дням, и то не всегда);

не учитывался тот факт, что большая часть пер-

наличие на территории организации определенных сооружений (сплошные ограждения, приподнятые насыпи, дороги и пр.), а также кустарниковых насаждений, ограничивающих распространение зараженного облака (или пролива), и существенно снижающих размеры зон поражения;

задержка по времени между возникновением поражающего фактора и появлением его в прогнозируемой точке, позволяющая персоналу и населению (при своевременном оповещении и адекватной реакции) выйти из зоны поражения или укрыться в помещениях (при средней скорости пешехода 4–5 км/ч (65–80 м/мин) человек покидает зону поражения примерно за 1 мин, так как ее ширина не превышает 70 м).

Таким образом, среднее количество пострадавших, как из числа персонала, так и из числа третьих лиц составит 1–2 человека (как правило, попавшие непосредственно под пролив соляной кислоты в момент разгерметизации оборудования).

В соответствии с РД 03-496—02 структура ущерба от возможных аварий на декларируемом объекте включает:

<sup>1</sup> Аварийно химически опасные вещества.

социально-экономические потери (затраты, понесенные вследствие гибели и травматизма людей) и ущерб от выбытия трудовых ресурсов;

прямые потери (строения, оборудование, продукция и т.д.);

затраты на локализацию (ликвидацию) и расследование аварии;

потери (убытки) из-за неиспользованных производственных возможностей (или упущенной экономической выгоды);

экологический ущерб (урон, нанесенный объектам окружающей природной среды).

Социально-экономический ущерб определяется числом пострадавших (см. табл. 3). Для его расчета использовали данные о региональном ВВП, средней зарплате, численности населения, числе занятых в экономике, среднем возрасте, количестве иждивенцев на одного занятого в экономике и др. Кроме того, учитывали также установленные размеры единовременной выплаты, порядок определения ежемесячной выплаты и размер средней зарплаты на предприятии (около 10 500 руб.). Таким образом, социально-экономический ущерб может составить, тыс. руб: для персонала — 446–892, для третьих лиц — 446–3122; ущерб от выбытия трудовых ресурсов, млн. руб.: для персонала — 2,7–5,4, для третьих лиц — 2,7–18,8.

Эти цифры представляют максимально возможный ущерб от поражения людей. По причинам, изложенным выше, число пострадавших будет меньше, и размеры ущерба (социально-экономического и от выбытия трудовых ресурсов), скорее всего, не превысят соответственно 0,5 и 2,7 млн. руб.

Прямые потери обусловлены повреждением и(или) уничтожением основных производственных фондов и товарно-материальных ценностей (продукция, сырье и т.д.) и компенсацией ущерба, нанесенного имуществу третьих лиц.

При возникновении аварийных ситуаций на Складе потери оборудования возможны только в случае террористического акта. Во всех остальных случаях полное разрушение расположенных рядом оборудования и сооружений маловероятно. В основном прямые потери могут быть связаны только с потерей соляной кислоты.

Максимально возможные прямые потери составят от 42,5 тыс. руб. (потери 11 т соляной кислоты при реализации группы сценариев  $C_1$ ) до 22,5 млн. руб. (полное разрушение Склада и потеря 5112 т соляной кислоты при реализации группы сценариев  $C_4$ ).

Затраты на локализацию (ликвидацию) аварии включают непредусмотренные выплаты заработной платы (премии) персоналу, стоимость израсходованных энергоносителей и материалов, а также услуг специализированных организаций по лока-

лизации и ликвидации ЧС и пр. Расходы на расследование аварии включают оплату труда членов комиссии по расследованию аварии, затраты на научно-исследовательские работы и мероприятия, связанные с выяснением технических причин аварии, стоимостью услуг экспертов, привлекаемых для расследования причин аварии, оценки (в том числе экономической) последствий аварии и пр. Данные расходы можно принять в размере 10 % стоимости прямого имущественного ущерба.

В силу того, что территория рассматриваемого объекта — промышленно освоенная площадка, платежи за загрязнение окружающей среды определяются главным образом размером взысканий за вред, причиненный загрязнением атмосферного воздуха парами опасных веществ.

Поскольку концентрация используемой соляной кислоты составляет приблизительно 35 %, т.е. давление насыщенных паров над поверхностью жидкости не превышает 532 Па (4 мм рт. ст.), можно сделать вывод о том, что при испарении пролива соляной кислоты (сценарии  $C_1$ ,  $C_3$ ) вред окружающей среде не превысит 120 руб. (плата за выброс 1 т соляной кислоты). При реализации сценария  $C_4$  возможно образование облака аэрозольной мелкодисперсной взвеси, и ущерб окружающей среде может достичь 600 тыс. руб.

При определении частоты возникновения аварии на оборудовании, в котором обращается соляная кислота, учитывали следующие факторы:

количество оборудования и протяженность трубопроводов;

степень загруженности оборудования:

круглосуточное (в течение года) нахождение в 9 емкостях соляной кислоты, а в одной из емкостей — концентрированной соляной кислоты;

частота поступления кислоты — 3 цистерны в мес;

подача ТР на производство 15 раз в мес (продолжительность одной перекачки — около 1 ч);

частоту возникновения инициирующего события или того или иного исхода.

Значения частоты возникновения аварий выбрали на основе обобщенных статистических данных. Следует особо подчеркнуть, что в настоящее время в России отсутствует механизм сбора сведений об отказах оборудования, и поэтому, пользуясь статистическими данными из литературных источников, следует оценивать степень их достоверности, понимая, что такие данные, как правило, позволяют оценить лишь порядок величины. В данной работе при оценке риска использованы следующие данные об отказе единичного оборудования (выбраны верхние, наиболее консервативные оценки частот):

разгерметизация емкости —  $1 \cdot 10^{-4}$  год $^{-1}$ ;

разрушение насоса —  $1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ;  
 разрушение трубопроводов —  $5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ ;  
 опрокидывание (сход) железнодорожных цистерн при маневровых работах —  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} \text{ км}^{-1}$ ;  
 условная вероятность разрушения цистерны при ее сходе принята равной 1.

Полученная путем расчета частота возникновения аварий на различном оборудовании представлена в табл. 4. Из приведенных данных видно, что наиболее вероятны аварии насосного оборудования и емкостей с соляной кислотой в помещении склада. Вероятность других вариантов аварий существенно меньше.

существом девяти емкостей с растворами соляной кислоты различной концентрации.

Зоны повышенного потенциального риска за пределами Склада — участки территории, прилегающие к местам прохождения трубопровода от Склада до производства и к местам вблизи железнодорожных путей, по которым транспортируют соляную кислоту. В этих зонах потенциальный риск существенно ниже, чем на Складе. Основная составляющая этих рисков — поражение человека при проливе. Максимальный потенциальный риск смертельного поражения при ингаляционном воздействии на полосе вдоль желез-

Таблица 4

Тип отказа оборудования	Частота отказа, $\text{год}^{-1}$
Разгерметизация емкостей хранения	$9,00 \cdot 10^{-4}$
Нарушение целостности трубопровода на Складе	$1,25 \cdot 10^{-5}$
Нарушение целостности трубопровода подачи ТР	$7,50 \cdot 10^{-5}$
Опрокидывание (сход) железнодорожных цистерн при маневровых работах	$5,40 \cdot 10^{-5*}$
Неисправность насоса	$1,10 \cdot 10^{-2}$
Природные катастрофы, техногенные аварии, преднамеренные действия (терроризм)	$1,00 \cdot 10^{-8}$
Общая частота	$1,20 \cdot 10^{-2}$

\*  $\text{Год}^{-1} \cdot \text{км}^{-1}$ .

ной дороги шириной примерно 120–150 м составляет около  $2 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ . Расположение этой полосы по отношению к железной дороге несимметрично, что объясняется преобладающим направлением ветра.

Потенциальный риск смертельного поражения на территориях близлежащих населенных пунктов (поселки А и Б) не превышает  $1 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ .

На основе полученного пространственно-временного распределения потенциального риска,

согласно анализу, частота возникновения аварийной ситуации, сопровождающейся проявлением поражающих факторов, составляет около  $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ . С учетом сделанных допущений данную величину следует считать завышенной в 2–5 раз. Реальная частота возникновения аварий лежит в пределах  $2,4 \cdot 10^{-3} \div 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ . При этом следует подчеркнуть, что вероятность аварии с выходом поражающих факторов за пределы помещения Склада составит  $1,3 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ , а с учетом консервативности принятых допущений – от  $2,6 \cdot 10^{-5}$  до  $6,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

По всем описанным группам сценариев разыграны возможные сценарии конкретных аварий в зависимости от времени года, скорости и направления ветра, времени суток. Всего рассмотрено несколько десятков тысяч конкретных реализаций сценариев и определено пространственное распределение потенциального риска, показывающее частоту реализации поражающего фактора, приводящего к смертельному для человека исходу, как на территории декларируемого объекта, так и на прилегающих площадях.

Наибольший потенциальный риск возникновения смертельных поражающих факторов наблюдается в помещении Склада (более  $10^{-4} \text{ год}^{-1}$ ). Столь высокое значение обусловлено постоянным при-

сутствием распределения людей на рассматриваемом объекте и прилегающей территории, определены коллективные риски гибели различных категорий людей (как ожидаемое число пострадавших в год):

персонал Склада — до  $1 \cdot 10^{-4}$ ;

персонал других подразделений организации — до  $6 \cdot 10^{-4}$ ;

население поселков А и Б — до  $1 \cdot 10^{-4}$ .

Средние значения индивидуального риска для различных категорий людей составляют ( $\text{год}^{-1}$ ):

персонал Склада — до  $10^{-5}$ ;

персонал других подразделений организации — до  $10^{-6}$ ;

население — до  $10^{-7}$ .

С учетом сделанных при расчетах допущений, данные величины следует считать консервативными (максимально возможными).

Аналогично рискам для людей определены риски потери продукции (соляной кислоты) — до 15 кг/год по всем сценариям.

Оценка рисков потери оборудования показала, что они несущественны по сравнению с другими рисками.

Основные показатели риска для Склада выглядят следующим образом:

максимальная частота возникновения аварийных ситуаций, связанных с возникновением пора-

жающего фактора (пролив, дрейф паров) на технологическом оборудовании (емкости, насосы, трубопроводы и пр.), — не более  $1,2 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup> (примерно 1 ситуация в 80 лет);

общий коллективный риск (ожидаемое число пораженных среди персонала Склада и третьих лиц, в том числе населения поселков за год в результате аварии) составляет  $8,1 \cdot 10^{-4}$  (в том числе для персонала других подразделений организации — до  $6 \cdot 10^{-4}$ , для населения — до  $1 \cdot 10^{-4}$ );

средний индивидуальный риск гибели (частота поражения конкретного человека в результате аварии) для персонала Склада — до  $10^{-5}$  год<sup>-1</sup>;

средний индивидуальный риск гибели для персонала других подразделений организации — не более  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>, для населения — не более  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>;

риск потери продукции — до 15 кг/год.

### Выводы

Наиболее вероятная авария на территории Склада — утечка внутри помещения Склада, а ее наиболее вероятные причины — отказы оборудования (нарушение гидродинамики технологических процессов, физический износ, коррозия и пр.) или ошибки персонала (нарушение требований технологических инструкций, неадекватное восприятие информации, ошибки при локализации и ликвидации аварийных ситуаций и пр.).

Наиболее опасные аварии — разрушение (полное) железнодорожной цистерны с соляной кислотой на подъездных путях или в отстойном тупике либо террористический акт (одновременный подрыв всех емкостей с соляной кислотой на Складе зарядами большой мощности).

В случае наиболее опасной по своим последствиям аварии радиус зоны смертельного поражения (ингаляционного) может достигать 500 м. При этом (по самым консервативным оценкам) возможна гибель персонала организации — 6–9 человек. Гибель населения маловероятна, однако возможна при самом неудачном стечении обстоятельств (ветер в на-

правлении населенного пункта, неблагоприятные условия для рассеяния выброса, отсутствие попыток покинуть зону дрейфа зараженного облака и пр.).

На основании проведенного анализа сделан вывод, что индивидуальный риск для персонала рассматриваемого объекта не выходит за границы принятых в мировой практике допустимых рисков ( $1 \cdot 10^{-3}$  год<sup>-1</sup>) и ниже фоновых показателей риска, связанных с обыденной жизнью человека в России (риск гибели человека от любых причин  $1,6 \cdot 10^{-2}$  год<sup>-1</sup>). Для персонала близлежащих объектов и населения индивидуальный риск существенно меньше фоновых значений.

### Список литературы

1. *Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»* от 21.07.97 № 116-ФЗ с изменением на 18.12.06 (Собрание законодательства Российской Федерации, 1997, № 30, ст. 3588.).

2. *ГОСТ 12.1.005–88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.*

3. *Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей /Под общ. ред. Н.В. Лазарева. — 7-е изд., перераб. и доп. — В 3 т. — Л.: Химия, 1977. — Т. 3. — С. 41–43.*

4. *РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.*

5. *Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ. Методика «ТОКСИ».* Редакция 3.1 (ТОКСИ-3).

6. *Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия»* от 28.08.92 № 632. С последующими изменениями // Собрание законодательства Российской Федерации (СЗ РФ). — 1995. — № 3. — Ст. 190.

7. *РД 03-496–02. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах.*

## ПОДПИСКА 2007

### ОБЪЕДИНЕННЫЙ КАТАЛОГ «ПРЕССА РОССИИ» «Газеты и Журналы» 1 том

Издание	На II полугодие
Журнал «Безопасность труда в промышленности»	<b>42097</b>
Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору	<b>42099</b>
Комплект: журнал «Безопасность труда в промышленности» и Информационный бюллетень Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору	<b>42103</b>