

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-88-101

ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА РАБОТНИКОВ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

✉ Кудрявцев Сергей Сергеевич.

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан

✉ sk74_07@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является апробация оригинальной методики для оценки риска аварий, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на примере химически опасных объектов предприятия по производству азотных удобрений. Состояние системы управления охраной труда и промышленной безопасностью оценивается по трем независимым показателям: уровням риска аварий, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. В основе методики оценки риска аварий лежит метод экспертных оценок, в основе методик оценки риска производственного травматизма и профессиональной заболеваемости – статистический. Было показано, что на исследованных химически опасных объектах ведущими факторами, определяющими риск техногенных аварий, являются показатели, характеризующие применяемое в цехах технологическое оборудование, а также объем хранения и некоторые физико-химические свойства аварийно химически опасных веществ. Вместе с этим эффективное функционирование службы охраны труда и промышленной безопасности предприятия позволяет удерживать риск аварий на низком уровне. Даже единичные несчастные случаи переводят предприятие в категорию повышенного риска производственного травматизма. Соответствие рабочих мест санитарно-гигиеническим требованиям и отсутствие случаев впервые выявленных профессиональных заболеваний среди работников предприятия свидетельствуют об отсутствии риска профессиональных заболеваний у персонала.

Внедрение представленного в статье методологического подхода позволит надзорным органам в области промышленной безопасности и чрезвычайных ситуаций и службе охраны труда и промышленной безопасности предприятия оценить уровень функционирования системы управления безопасностью производственных процессов на предприятии и при необходимости разработать комплекс мероприятий по предотвращению химических аварий и уменьшить последствия в случае их возникновения.

Ключевые слова: риск, оценка риска, химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, авария, несчастный случай, профессиональная заболеваемость

Для цитирования: Кудрявцев С.С. Оценка профессионального риска работников химически опасных объектов предприятия по производству азотных удобрений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 1 (73). С. 88–101. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-88-101.

Scientific article

OCCUPATIONAL RISK ASSESSMENT FOR WORKERS AT CHEMICALLY HAZARDOUS SITES IN NITROGEN FERTILIZER PRODUCTION FACILITIES

✉ Kudryavtsev Sergey S.

Karaganda technical university of Abylkasa Saginov, Republic of Kazakhstan, Karaganda

✉ sk74_07@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to validate an original methodology for assessing the risks of accidents, occupational injuries, and occupational diseases, using chemically hazardous sites within a nitrogen fertilizer production enterprise as a case study. The state of the occupational health and safety management system is evaluated based on three independent indicators: accident risk levels, work-related injury rates, and occupational sickness rate. The accident risk assessment method relies on expert evaluations, whereas the assessment of occupational injury and disease risks is based on statistical analysis. The study identifies that at the examined chemically hazardous sites, the primary factors influencing the risk of industrial accidents are indicators related to technological equipment used in production, as well as the storage volume and specific physical and chemical properties of hazardous substances. Despite these risks, the effective functioning of the enterprise's occupational and industrial safety service helps maintain accident risk at a low level. However, even isolated accidents classify the enterprise as having an elevated risk of occupational injuries. Workplace compliance with sanitary and hygienic standards, along with the absence of newly diagnosed occupational diseases among employees, indicates no significant risk of occupational illnesses.

The implementation of the proposed methodological approach will enable regulatory authorities in industrial safety, emergency management, and occupational health to assess the effectiveness of the enterprise's safety management system. If necessary, it will also support the development of targeted measures to prevent chemical accidents and mitigate their consequences.

Keywords: risk, risk assessment, chemically hazardous site, hazardous chemical, failure, accident, occupational sickness rate

For citation: Kudryavtsev S.S. Occupational risk assessment for workers at chemically hazardous sites in nitrogen fertilizer production facilities // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 1 (73). P. 88–101. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-1-88-101.

Введение

Аммиачная селитра имеет широкий спектр применения во многих технологических процессах. Помимо непосредственного использования в качестве удобрения в сельском хозяйстве она является основой при производстве жидких азотсодержащих удобрений, применяется при производстве промышленных взрывчатых веществ и в выщелачивании урановых руд. За последние 10 лет в Республике Казахстан производство аммиачной селитры и сопутствующих технологическому процессу ее производства азотистых соединений показывает значительный рост. Азотные удобрения производятся более одного века на предприятиях, расположенных в разных странах мира, и почти столько же времени ведется счет крупных аварий на таких предприятиях.

Так, одной из масштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС), случившихся за последнее время на химически опасном объекте (ХОО), стал взрыв безводного аммиака 17 апреля 2013 г. на «West Fertilizer Company» – предприятии по выпуску азотных удобрений, расположенному в г. Вест, Техас, США. В результате взрыва погибло 15 чел., 180 чел. получили ранения, здания в радиусе пяти кварталов от эпицентра взрыва были разрушены [1]. При этом ранее

проведенная владельцами предприятия оценка риска показала отсутствие риска пожара или взрыва. В качестве наихудшего возможного сценария рассматривался 10-минутный выброс аммиака, не представляющий угрозы для чьего-либо здоровья и жизни [2]. Этот факт указывает на несовершенство существующих подходов к оценке рисков, связанных с функционированием ХОО, что делает актуальным поиск новых решений, направленных на повышение эффективности и достоверности оценки риска. Целью исследования является апробация оригинальной методики для оценки риска аварий, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на примере ХОО предприятия по производству азотных удобрений.

Имеющиеся потенциальные угрозы на ХОО достаточно серьезны. ЧС на данных объектах могут привести к особо опасным последствиям, с которыми в первую очередь сталкивается работающий персонал. Опасности на предприятиях химической отрасли могут проявляться и при нормальном регламентированном их функционировании, поскольку в силу своей природы и свойств применяемые в производственных процессах химические вещества могут оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье персонала.

Заболевания, связанные с трудовой деятельностью, вызывают наибольшее количество смертей среди работников. Согласно последним данным Всемирной организации здравоохранения [3] одни только опасные вещества являются причиной более 650 тыс. смертей в год. В результате химических аварий, произошедших в мире в период с 1998 по 2015 г., был нанесен ущерб здоровью свыше 6 тыс. чел., третья часть из которых погибла [4].

В настоящее время ученые из разных стран провели обширные исследования последствий отказов, связанных с утечкой опасных химических веществ и взрывами [5–7]. Вместе с этим развитие систем управления рисками, в том числе и в сфере предупреждения возникновения аварийных ситуаций, травматизма и профессиональных заболеваний на предприятиях, требует применения системного подхода при учете и изучении разнообразных факторов, влияющих на безопасность труда.

Разработка методологического подхода к оценке риска химических аварий и инцидентов была сопряжена с рядом трудностей, основная из которых связана с несовершенством системы сбора информации о произошедших инцидентах. Так, по официальным данным, за период с 2011 по 2021 г. в Республике Казахстан на предприятиях с ХОО аварий, приведших к несчастным случаям, зарегистрировано не было. В связи с несовершенством правовой системы администрация предприятий старается избегать информирования надзорных организаций о незначительных инцидентах и авариях. Этот факт делает имеющуюся информацию о частоте отказов недостоверной.

На сегодняшний день существует несколько широко распространенных методов анализа безопасности, применяемых при проектировании и эксплуатации химических предприятий. Наиболее часто используемыми методами оценки безопасности при проектировании промышленных предприятий с ХОО являются контрольные списки (Checklists), исследование опасностей и работоспособности (Hazard and operability study, HAZOP), анализ уровня защиты (Layer of Protection Analysis, LOPA), обследования опасностей, такие как индекс пожаров и взрывов (Dow Fire and Explosion Index, F&EI), и обзоры безопасности. Как правило, каждый метод имеет свои преимущества и определенные ограничения. Это зависит от выбранных критериев оценки безопасности и от того, на какой стадии жизненного цикла предприятия он используется [8, 9]. Большинство методов оценки рисков достаточно сложны и требуют значительных знаний, обучения и практического опыта выполнения подобных работ [10, 11]. Кроме того, применение сложных методов оценки безопасности является дорогостоящим и затратным по времени, что может задержать реализацию работы. По мнению M. Hurne и M. Rahman [12], каждый метод оценки безопасности требует разного количества информации о процессе, что делает его наиболее применимым только на определенных этапах проектирования или жизненного цикла предприятия. В целом большинство существующих методов оценки рисков не полностью

подходят для использования на ранних стадиях проектирования, когда затраты на устранение проектных ошибок еще низкие, хотя некоторые методы (HAZOP и Dow F&E) могут быть использованы и в сокращенной форме.

Как правило, в этих методиках используются статистические данные о химических авариях и инцидентах и их причинах из национальных и международных баз данных.

Методы исследования

При разработке методологического подхода учитывалось отсутствие базы данных о химических инцидентах и авариях в Казахстане. Этот факт делает применение экспериментального метода оценки наиболее эффективным в случае отсутствия достоверной статистической информации. В отличие от уже изученных, в разработанной методике учитываются физико-химические свойства аварийно химически опасных веществ (АХОВ), способные оказать влияние на развитие аварийной ситуации (в частности, коррозионная активность, пожаровзрывоопасность). Проведенные исследования позволили создать методологический подход к анализу и оценке риска аварий, производственного травматизма и профессиональных заболеваний персонала на ХОО промышленных предприятий. Данный подход основан на построении многофакторных моделей, применении многокритериальной методологии принятия решений, основанной на методе экспертных оценок и статистического анализа, которые успешно были использованы для подобных целей [13–15].

Разработанная методика направлена на оценку сложившейся ситуации на промышленном предприятии с ХОО, прежде всего, с позиции недопущения возникновения и развития аварийной ситуации, нежели для анализа последствий нежелательных событий.

Состояние безопасности промышленного предприятия в целом оценивается по результатам оценки трех независимых показателей: рисков аварий, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости на отдельных его производственных объектах. В результате оценки, соответственно, устанавливается класс аварийноопасности, травматизма и вредности как отдельного производственного объекта, так и предприятия в целом. Подробное описание методики представлено в ранее опубликованной работе [16].

Результаты исследования и их обсуждение

Основным направлением деятельности предприятия является производство азотных удобрений. Сырьем для производства аммиака, азотной кислоты и аммиачной селитры, используемых для производства удобрений, является природный газ, который поставляется на предприятие по газопроводу с собственного месторождения. На территории предприятия расположены три ХОО (с соответствующими АХОВ): цех по производству аммиака (аммиак), цех по производству слабой азотной кислоты (аммиак и азотная кислота) и производство сложных минеральных удобрений (азотная кислота). В нижеприведенных табл. 1–10 данным ХОО соответствуют столбцы 1, 2 и 3.

В цехе по производству аммиака природный газ после предварительной очистки подается в печь ППР-600, после нагревания он поступает в реактор вторичного реформинга. Конвентированный в реакторе газ подается далее и подвергается метанированию. Образовавшийся синтез-газ подается в аппарат синтеза, где производится аммиак, который перекачивается в склад жидкого аммиака. Со склада производится загрузка авто- и железнодорожных цистерн. Также аммиак используется для получения слабой азотной кислоты на предприятии.

В цехе слабой азотной кислоты данная кислота производится методом каталитического окисления аммиака воздухом с последующим поглощением полученных оксидов водой. Данный технологический процесс состоит из четырех основных стадий:

- конверсия аммиака;
- охлаждение нитрозных газов;

- абсорбция оксидов азота;
- катализическая очистка побочных газов.

В цехе по производству сложных минеральных удобрений аммиачная селитра производится в ходе аммонизации, когда в специальном реакторе происходит нейтрализация азотной кислоты аммиаком.

Расчет риска аварий и определение класса аварийноопасности ХОО и предприятия в целом

В табл. 1 представлены балльные оценки критериальных параметров, входящих в организационный кластер. Следует отметить, что служба охраны труда (ОТ) и промышленной безопасности (ПБ) функционирует на предприятии централизованно, в связи с чем описание критериальных параметров, входящих в этот кластер, приведено в едином для всех трех ХОО порядке.

Таблица 1

Кластер организационных критериальных параметров оценки системы управления производственной безопасностью на предприятии

№	Наименование критериального параметра	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Организация обучения управлению производственной безопасностью	1	1	1
2	Функционирование отдела (ответственного лица) по ПБ и ОТ на предприятии	4	4	4
3	Наличие полного пакета технической документации, актов, журналов, паспортов	1	1	1
4	Проведение периодического пересмотра инструкций и схем	1	1	1
5	Выполнение письменных рабочих процедур и задач с четкими инструкциями	1	1	1
6	Проведение анализа (рисков) опасностей процесса для выявления, оценки и контроля опасностей процессов	5	5	5
7	Применение и проверка состояния систем контрольно-измерительных приборов (КИП) и средств автоматизации	1	1	1
8	Проведение периодических проверок рабочих мест, оборудования и конструкции проектным спецификациям и соответствуя требованиям ПБ	1	1	1
9	Мониторинг содержания территории предприятия (участка) в надлежащем порядке (безаварийном состоянии)	1	1	1
10	Наличие обратной связи персонала с руководством по вопросам анализа рисков процесса и других элементов управления процессами. Наличие программ стимулирования безопасности	1	1	1
11	Наличия подробного плана действий в ЧС. Проведение обучения и учебно-тренировочных занятий	1	1	1
12	Проведение периодического аудита управления производственной безопасностью	1	1	1
13	Содержание в надлежащем порядке вспомогательных систем: вентиляции, отопления, канализации на предприятии в целом, участках, рабочих местах	2	2	2

На момент анкетирования штат службы безопасности и охраны труда был укомплектован менее чем на 75 %, планируется расширение. Стаж двух работников службы составляет более 5 лет, одного – 3–5 лет и одного – менее 3 лет. В цехах своевременно (ежегодно) производится пересмотр инструкций и схем, направленных на безопасность технологических процессов. На момент анкетирования разработка документации по анализу опасностей процесса на предприятии находилась на начальной стадии. На предприятии постоянно и эффективно (100 %) проводится мониторинг содержания территории в надлежащем порядке. В цехах имеется подробный план действий персонала в случае ЧС, регулярно проводятся учебно-тренировочные занятия по действиям при возникновении аварийной ситуации. Места для подъезда, стоянки и выезда спецтехники, используемой для ликвидации аварий в соответствии с планом, находятся в хорошем состоянии. Системы

вентиляции, отопления, канализации на предприятии в целом и в отдельных его подразделениях содержатся в хорошем состоянии, однако невысокая эффективность функционирования системы вентиляции была очевидной.

В кластере организационных критериальных параметров большинство оценок системы управления производственной безопасностью на предприятии имеют минимальное значение, равное 1 (табл. 1). Имеют повышенный уровень 2-й и 6-й параметры – 4 и 5 баллов соответственно. Руководству предприятия рекомендуется решить вопрос доукомплектования службы ОТ и ПБ. Данной службе следует акцентировать внимание на процессе проведения анализа рисков для выявления, оценки и контроля опасностей процессов, организовать проектирование более эффективной системы вентиляции в цехах.

Проведение анкетирования персонала предприятия позволило определить необходимые показатели, характеризующие применяемое в цехах оборудование (табл. 2).

Таблица 2

**Кластер технических критериальных параметров оценки
системы управления производственной безопасностью на предприятии**

№	Наименование критериального параметра	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Сосуды, работающие под давлением, группа	5	5	5
2	Сепарационное оборудование, м ³	0	0	0
3	Химические реакторы. Рабочий объем, м ³	4	5	5
4	Теплообменное оборудование. Площадь поверхности нагрева, м ²	4	5	5
5	Длина систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ, м	5	5	5
6	Коэффициент износа основных фондов, доли	5	5	5
7	Коэффициент замены основных средств, доли	4	4	4
8	Производительность насосов (компрессоров), м ³ /ч	3	4	4
9	Количество резервуаров для хранения АХОВ на объекте, шт.	5	5	0
10	Органы управления (устройства контроля, сигнализации, датчики, блокировки, наличие предохранительных систем, в том числе автоматических запорных клапанов)	1	5	5
11	Наличие средств локализации	1	5	5

В цехе по производству аммиака используются сосуды, работающие под давлением, относящиеся ко всем группам. Сепарационное оборудование не используется. Рабочий объем реактора вторичного реформинга составляет 20 м³. В сумме площадь поверхности нагрева теплообменников составляет 600 м². Длина систем трубопроводов, транспортирующих газообразный аммиак, составляет 450 м. Коэффициент износа технологического оборудования в цехе составляет 0,7. Коэффициент замены основных средств – 0,3. Производительность компрессоров составляет 120 м³/ч. В цехе имеется 27 резервуаров с АХОВ. Технологическое оборудование оснащено всеми необходимыми органами управления, средствами локализации, системами и устройствами аварийного сброса и вентиляции.

В цехе слабой азотной кислоты используются сосуды, работающие под давлением, относящиеся ко всем группам. Сепарационное оборудование не используется. Рабочий объем восьми агрегатов конверсии – 160 м³. В сумме площадь поверхности нагрева теплообменников составляет 1 000 м². Длина систем трубопроводов, транспортирующих газообразный аммиак, составляет около 450 м, слабую азотную кислоту – около 500 м. Коэффициент износа технологического оборудования в цехе составляет 0,7. Коэффициент замены основных средств – 0,3. Производительность компрессоров составляет 320 м³/ч. В цехе имеется восемь резервуаров с АХОВ.

В цехе по производству сложных минеральных удобрений используются сосуды, работающие под давлением, относящиеся ко всем группам. Сепарационное оборудование

в цехе не используется. Рабочий объем реактора, в котором протекает реакция аммонизации, составляет 280 м^3 . В сумме площадь поверхности нагрева теплообменников составляет 820 м^2 . Длина систем трубопроводов, транспортирующих газообразный аммиак, составляет около 300 м, слабую азотную кислоту – около 400 м. Коэффициент износа технологического оборудования в цехе составляет 0,7. Коэффициент замены основных средств – 0,3. Производительность компрессоров составляет $520 \text{ м}^3/\text{ч}$. В цехе отсутствуют резервуары с АХОВ.

В табл. 2 представлена балльная оценка по кластеру технических критериальных параметров оценки системы управления производственной безопасностью в исследуемых цехах (по применяемому на промышленном предприятии оборудованию). Как видно из представленных данных (табл. 2), балльные оценки критериальных параметров в кластере достаточно высоки. Большинство критериальных параметров требует постоянного контроля, так как они описывают те элементы технологического процесса, изменение которых не представляется возможным. Следует обратить внимание на критериальные параметры 6 и 7, указывающие на значительный износ применяемого оборудования и необходимость проведения работ по обновлению основных средств и фондов. В цехе по производству сложных минеральных удобрений и слабой азотной кислоты необходимо уделить внимание органам управления и средствам локализации последствий возможных аварий.

Проведение анкетирования персонала исследуемых цехов позволило определить необходимые показатели, характеризующие вклад персонала в возможное развитие аварийной ситуации (табл. 3). Весь персонал цехов и работающие в них подрядчики своевременно прошли обучение и успешно сдали экзамен на знание правил техники безопасности и промышленной безопасности на опасных производственных объектах. Бригады цехов укомплектованы работниками на 100 %. В зависимости от особенностей технологического процесса на предприятии персонал цехов работает в две или три смены.

Таблица 3

Кластер человеческих критериальных параметров (работающий на промышленном предприятии персонал) оценки системы управления производственной безопасностью на предприятии

№	Наименование критериального параметра	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Оценка уровня знаний персонала техники безопасности (ТБ) и производственных инструкций, об опасности АХОВ, находящихся в обороте, технологии процесса производства. Количество работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» / повышение квалификации (за отчетный период)	1	1	1
2	Соответствие знаний подрядчиков ТБ и производственного процесса (аналогично п. 1)	1	1	1
3	Наличие укомплектованности бригад, %	1	1	1
4	График трудового процесса	5	5	5

В табл. 3 представлен кластер человеческих (работающий на промышленном предприятии персонал) критериальных параметров оценки системы управления производственной безопасностью на предприятии. Наибольшее внимание необходимо обратить на состояние работающего персонала (напряжение, утомляемость, работа в ночное время). Критериальный параметр «График трудового процесса» в этой связи получил наивысший балл.

В табл. 4 приведены технологические (проектные) критериальные параметры оценки системы управления производственной безопасностью в исследуемых цехах, в том числе и свойств АХОВ, влияющих на безопасность технологических процессов. Во всех цехах функционирует система управления процессом изменений: ежегодно рассматривается возможность изменений с целью повышения уровня безопасности труда. Здания, сооружения,

склады для хранения АХОВ, функционирование технологических линий и нового оборудования, защитные и предохраниительные устройства, КИП, системы вентиляции, отопления, водопровода, канализации, освещения полностью соответствуют проектным решениям. На складе цеха по производству аммиака может храниться до 2 079 т жидкого аммиака, в цехе слабой азотной кислоты – до 250 т азотной кислоты, в цехе по производству сложных минеральных удобрений АХОВ не хранятся. Как видно из табл. 4, критериальный параметр «Объем хранения» в первых двух цехах имеет максимальное значение – 5 баллов, что указывает на необходимость тщательного контроля за состоянием резервуаров с АХОВ.

Таблица 4

Кластер технологических (проектных) критериальных параметров оценки системы управления производственной безопасностью на предприятии с учетом (свойств), применяемых в технологическом процессе АХОВ

№	Наименование критериального параметра	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Функционирование системы «Управление процессом изменений», год	1	1	1
2	Соответствие проектным решениям для зданий и сооружений, складов, мест хранения АХОВ, %	1	1	1
3	Соответствие проектным решениям защитных и предохраниительных устройств, КИП, %	1	1	1
4	Соответствие проекту систем вентиляции, отопления, канализации, водопровода, освещения на предприятии в целом, участках, рабочих местах, %	1	1	1
5	Соответствие проекту работы технологических линий и нового оборудования, %	1	1	1
6	Данные о коррозионной активности	3	5	5
7	Объем хранения, т	5	5	0
8	Классы опасности химической продукции, представляющей собой: – воспламеняющуюся жидкость; – воспламеняющееся твердое вещество; – воспламеняющийся газ	0	0	0
9	Классы опасности взрывчатой химической продукции	0	0	0
10	Температурный класс (температура самовоспламенения смеси, °C)	1	1	1
11	Группа горючести	0	0	0

Анкетирование персонала исследованных ХОО позволило определить значения показателей, характеризующих их уязвимость (табл. 5). В случае аварии с АХОВ в цехе по производству аммиака более 80 % персонала будет иметь достаточно времени для эвакуации из аварийного участка, в остальных исследованных цехах весь персонал будет иметь достаточно времени для эвакуации. Во всех цехах имеется план эвакуации персонала на случай аварийной ситуации, производственные помещения имеют не менее двух эвакуационных выходов. Защитные сооружения для защиты от аммиака в цехах по производству аммиака и сложных минеральных удобрений не предусмотрены проектом. На территории цеха слабой азотной кислоты имеются защитные сооружения. Укомплектованность вспомогательными средствами безопасности во всех цехах составляет 100 %. Системы аспирации, вентиляции, пылеподавления, утилизации и локализации вредных веществ содержатся в хорошем состоянии. С учетом специфики технологического процесса все оборудование оснащено необходимыми системами дистанционного управления и контроля, системой защиты от самозапуска, круглосуточного наблюдения. Все технологическое оборудование оснащено предохраниительными устройствами. Более 80 % рабочих мест оснащено местными системами вентиляции, водопровода, канализации, защитными устройствами. Персонал предприятия полностью укомплектован необходимыми средствами индивидуальной защиты (СИЗ), которые на рабочих местах находятся в отличном состоянии.

Таблица 5

Кластер для оценки показателя уязвимости работающего персонала при воздействии повреждающего фактора в результате техногенных ЧС на ХОО

№	Наименование критериального параметра	ХОО, балльная оценка		
		1	3	3
1	Наличие времени для эвакуации и других экстренных мероприятий при возникновении аварии	2	1	1
2	Наличие плана эвакуации персонала ХОО предприятия в случае отказа оборудования или возникновения неподходящей ситуации и наличие в помещениях машинного, аппаратного отделений эвакуационных выходов	1	1	1
3	Наличие защитных сооружений	1	1	1
4	Наличие опознавательных знаков, ограждений, световой сигнализации, съемных закрывающихся щитов, средств предупредительной сигнализации, предупредительных плакатов	1	1	1
5	Наличие систем аспирации, вентиляции, пылеподавления, утилизации и локализации вредных веществ	2	2	2
6	Наличие дистанционных приборов и управления, систем контроля, обеспечение защитой от самозапуска, круглосуточного наблюдения	1	1	1
7	Наличие предохранительных устройств	1	1	1
8	Наличие местных вентиляционных систем, системы местных отсосов, индивидуальной канализации, водопровода и защитных устройств	2	2	2
9	Наличие на рабочих местах СИЗ	1	1	1
10	Укомплектованность персонала предприятия СИЗ	1	1	1

Значения критериальных параметров кластера по оценке показателя уязвимости работающего персонала (табл. 5) имеют минимальные величины, показывающие, что на территории исследуемых цехов выполняются в достаточном объеме мероприятия, направленные на повышение уровня безопасности работающего персонала. Имеются некоторые недочеты в параметрах «Наличие систем аспирации, вентиляции, пылеподавления, утилизации и локализации вредных веществ» и «Наличие местных вентиляционных систем, системы местных отсосов, индивидуальной канализации, водопровода и защитных устройств» – 2 балла.

Используя матрицы [16], были определены риски аварий и классы аварийности исследованных ХОО. В табл. 6 представлены конечные результаты проведенного моделирования по аварийности в исследуемых цехах. Как следует из результатов оценки риска аварий на исследуемых ХОО, везде он оценен как «малый» и установлен IV класс аварийноопасности. Соответственно, эти же уровень риска и класс аварийноопасности определены для предприятия в целом.

Таблица 6

Результаты моделирования по аварийности

Показатели	ХОО, балльная оценка		
	1	2	3
Показатель опасности	2,212	2,424	2,159
Показатель уязвимости	1,56	1,16	1,16
Риск аварий	Малый	Малый	Малый
Класс аварийноопасности	IV	IV	IV

Расчет риска производственного травматизма и определение класса травмоопасности ХОО и предприятия в целом

Среднесписочное количество работников цеха по производству аммиака за исследуемый период (последние 5 лет) составило 132 чел. (табл. 7). Случаев производственного травматизма зарегистрировано не было. Как следует из этой же таблицы, среднесписочное количество работников цеха слабой азотной кислоты за исследуемый период составило 75 чел. За исследуемый период был зарегистрирован один несчастный случай, связанный с АХОВ, – химический ожог азотной кислотой. Степень стойкой утраты трудоспособности работника по результатам медико-социальной экспертизы (МСЭК) составила 20 %. Среднесписочное количество работников цеха сложных минеральных удобрений за исследуемый период составило 258 чел. (табл. 7). Был зарегистрирован один несчастный случай, когда в результате вспышки аммиачно-воздушной смеси ударная волна привела к падению работника и травме головы. Степень стойкой утраты трудоспособности работника, по результатам МСЭК, составила 60 %.

Таблица 7

Кластер по оценке риска производственного травматизма работников ХОО предприятия

№	Показатели	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Количество несчастных случаев на предприятии (в отдельных его подразделениях) за исследуемый период	0	1	1
2	Среднесписочное количество работников на производственном предприятии (в отдельных его подразделениях) за исследуемый период	132	75	258
3	Степень стойкой утраты трудоспособности работников в результате травм, полученных за исследуемый период	–	20 %	60 %

Используя матрицы [16], были определены риски производственного травматизма и классы травмоопасности исследованных ХОО. В табл. 8 представлены конечные результаты проведенного моделирования по производственному травматизму в исследуемых цехах. Как следует из результатов оценки риска травматизма на исследуемых ХОО, в цехе по производству аммиака он отсутствует (класс травмоопасности – V), в двух других оценен как «повышенный» (класс травмоопасности – II). Соответственно, уровень риска и класс аварийноопасности определены для предприятия в целом как «повышенный» (класс травмоопасности – II).

Таблица 8

Результаты моделирования по производственному травматизму

Показатели	ХОО, балльная оценка		
	1	2	3
Показатель частоты производственного травматизма	0	0,0133	0,0039
Показатель тяжести вреда здоровью	0	20 %	60 %
Риск производственного травматизма	Отсутствует	Повышенный	Повышенный
Класс травмоопасности	V	II	II

Расчет риска профессиональных заболеваний и определение класса вредности ХОО и предприятия в целом

По итогам аттестации по условиям труда на всех рабочих местах не было отмечено превышения значений вредных производственных факторов (класс 2) (табл. 9). Также за исследуемый период среди работников ХОО не было выявлено случаев профессиональных заболеваний.

Таблица 9

Кластер по оценке риска развития профессиональных заболеваний у работников ХОО предприятия

№	Показатели	ХОО, балльная оценка		
		1	2	3
1	Количество рабочих мест производственного объекта в i -м классе условий труда, шт.	класс 2 – 38	класс 2 – 23	класс 2 – 59
2	Общее количество рабочих мест производственного объекта	38	23	59
3	Количество работников производственного объекта с впервые выявленными профессиональными заболеваниями	0	0	0
4	Общая численность работников на производственном объекте, шт.	132	75	258

С помощью матриц [16] были определены риски профессиональных заболеваний и классы вредности исследованных ХОО. В табл. 10 представлены конечные результаты проведенного моделирования по профессиональной заболеваемости в исследуемых цехах. Как следует из результатов оценки риска развития профессиональных заболеваний, было установлено отсутствие такового риска у работников всех исследованных цехов (класс вредности – V). Соответственно, уровень риска и класс вредности определены для предприятия в целом как «отсутствует» (класс вредности – V).

Таблица 10

Результаты моделирования по профессиональной заболеваемости

Показатели	ХОО, балльная оценка		
	1	2	3
Показатель вредности условий труда производственного объекта	2	2	2
Показатель впервые выявленных профессиональных заболеваний	0	0	0
Риск развития профессиональных заболеваний	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Класс вредности	V	V	V

Заключение

Представленная в статье методика позволяет всесторонне оценить риски для персонала, связанные с функционированием ХОО: риск инцидентов и аварий, производственного травматизма и профессиональных заболеваний. Разработанная методика для оценки риска аварий на основе метода экспертных оценок, в отличие от уже существующих, позволяет детально оценить вклад производственного оборудования и АХОВ, находящихся в обороте на ХОО, в развитие риска ЧС на таких объектах. Анализ опросных анкет, заполненных экспертами, позволяет выявить наиболее уязвимые места в системе управления безопасностью производственных процессов предприятия, что способствует оперативности и эффективности корректирующих мероприятий.

Проведенный анализ риска аварий показал, что основные параметры, обуславливающие риск аварий на ХОО предприятия, связаны с технологическим оборудованием: его ролью в технологическом процессе и техническим состоянием. Также значимую роль играют свойства АХОВ и объем их хранения на ХОО. Вместе с этим на предприятии достаточно много внимания уделяется вопросам ПБ и ОТ, что в итоге позволило добиться малого уровня риска аварий.

Список источников

1. Scharp J. Why was the texas fertilizer plant explosion so deadly? // *Scientific American*. 2013. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/why-texas-fertilizer-plant-explosion-deadly/> (дата обращения: 01.12.2024).
2. Than K. Explosion highlights dangers of anhydrous ammonia // *National Geographic*. 2013. URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/130418-west-texas-fertilizer-explosion-fire-anhydrous-ammonia-science> (дата обращения: 01.12.2024).
3. Reddy K.G., Yarakulla K. Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998–2015 // *International Journal of ChemTech Research*. 2016. № 4. P. 177–191.
4. Statistics on safety and health at work // *International Labour Organization*. 2021. URL: <https://ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/> (дата обращения: 01.12.2024).
5. Experimental and numerical study of the behavior of LPG tanks exposed to wildland fires / G.E. Scarponi [et al.] // *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 118. P. 251–270. DOI: 10.1016/j.psep.2017.12.013.
6. Three dimensional CFD simulation of LPG tanks exposed to partially engulfing pool fires / G.E. Scarponi [et al.] // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 150. P. 385–389. DOI: 10.1016/j.psep.2021.04.026.
7. Visualization of integrated failure consequences of hazardous chemical leakage and explosion / Yu. Kang [et al.] // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024. Vol. 92. P. 105464. DOI: 10.1016/j.jlp.2024.105464.
8. Crawley F., Tyler B. Hazard identification methods. Rugby: IChemE, 2003. P. 98.
9. Marhavilas P.K., Koulouriotis D.E., Mitrakas C. On the development of a new hybrid risk assessment process using occupational accidents' data: application on the Greek Public Electric Power Provider // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2011. Vol. 24. P. 671–687. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.05.010.
10. Khan F.I., Abbasi S.A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 1998. Vol. 11. P. 261–277.
11. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants / J. Tixier [et al.] // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2002. Vol. 15. P. 291–303.
12. Hurme M., Rahman M. Implementing inherent safety throughout process lifecycle // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2005. Vol. 18. P. 238–244. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.013.
13. Kudryavtsev S.S., Yemelin P.V., Yemelina N.K. The development of a risk management system in the field of industrial safety in the republic of kazakhstan // *Safety and Health at Work*. 2018. Vol. 9. № 1. P. 30–41.
14. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Information and analytical system for hazard level assessment and forecasting risk of emergencies // *Acta Polytechnica*. 2019. Vol. 59. № 2. P. 182–191.
15. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites // *Environmental Engineering Research*. 2021. Vol. 26. № 4. P. 100–111. DOI: 10.4491/eer.2020.386.
16. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Improving the industrial safety management system at enterprises with chemically hazardous sites // *Journal of Safety Science and Resilience*. 2024. Vol. 5. № 4. P. 432–448. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2024.06.005.

References

1. Scharp J. Why was the texas fertilizer plant explosion so deadly? // *Scientific American*. 2013. URL: <https://www.scientificamerican.com/article/why-texas-fertilizer-plant-explosion-deadly/> (data obrashcheniya: 01.12.2024).
2. Than K. Explosion highlights dangers of anhydrous ammonia // *National Geographic*. 2013. URL: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/130418-west-texas-fertilizer-explosion-fire-anhydrous-ammonia-science> (data obrashcheniya: 01.12.2024).
3. Reddy K.G., Yarakulla K. Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998–2015 // *International Journal of ChemTech Research*. 2016. № 4. P. 177–191.
4. Statistics on safety and health at work // *International Labour Organization*. 2021. URL: <https://ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/> (data obrashcheniya: 01.12.2024).
5. Experimental and numerical study of the behavior of LPG tanks exposed to wildland fires / G.E. Scarponi [et al.] // *Process Safety and Environmental Protection*. 2018. Vol. 118. P. 251–270. DOI: 10.1016/j.psep.2017.12.013.
6. Three dimensional CFD simulation of LPG tanks exposed to partially engulfing pool fires / G.E. Scarponi [et al.] // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 150. P. 385–389. DOI: 10.1016/j.psep.2021.04.026.
7. Visualization of integrated failure consequences of hazardous chemical leakage and explosion / Yu. Kang [et al.] // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2024. Vol. 92. P. 105464. DOI: 10.1016/j.jlp.2024.105464.
8. Crawley F., Tyler B. Hazard identification methods. *Rugby: IChemE*, 2003. P. 98.
9. Marhavilas P.K., Koulouriotis D.E., Mitrakas C. On the development of a new hybrid risk assessment process using occupational accidents' data: application on the Greek Public Electric Power Provider // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2011. Vol. 24. P. 671–687. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.05.010.
10. Khan F.I., Abbasi S.A. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 1998. Vol. 11. P. 261–277.
11. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants / J. Tixier [et al.] // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2002. Vol. 15. P. 291–303.
12. Hurme M., Rahman M. Implementing inherent safety throughout process lifecycle // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2005. Vol. 18. P. 238–244. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.013.
13. Kudryavtsev S.S., Yemelin P.V., Yemelina N.K. The development of a risk management system in the field of industrial safety in the republic of kazakhstan // *Safety and Health at Work*. 2018. Vol. 9. № 1. P. 30–41.
14. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Information and analytical system for hazard level assessment and forecasting risk of emergencies // *Acta Polytechnica*. 2019. Vol. 59. № 2. P. 182–191.
15. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites // *Environmental Engineering Research*. 2021. Vol. 26. № 4. P. 100–111. DOI: 10.4491/eer.2020.386.
16. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. Improving the industrial safety management system at enterprises with chemically hazardous sites // *Journal of Safety Science and Resilience*. 2024. Vol. 5. № 4. P. 432–448. DOI: 10.1016/j.jnlssr.2024.06.005.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.12.2024; одобрена после рецензирования: 20.01.2025;
принята к публикации: 10.02.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.12.2024; approved after review: 20.01.2025;
accepted for publication: 10.02.2025

Сведения об авторах:

Кудрявцев Сергей Сергеевич, и.о. профессора кафедры «Рудничная аэробиология и охрана труда» Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова (100027, Республика Казахстан, г. Караганда, пр. Нурсултана Назарбаева, д. 56), кандидат биологических наук, доцент, e-mail: sk74_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7232-6304>, SPIN-код: 2848-7331

Information about the authors:

Kudryavtsev Sergey S., acting professor of the department of mine aerobiology and occupational safety at Karaganda technical university of Abylkasa Saginov (100027, Republic of Kazakhstan, Karaganda, Nursultan Nazarbayev ave., 56), candidate of biological sciences, associate professor, e-mail: sk74_07@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7232-6304>, SPIN: 2848-7331