

Актуальные вопросы промышленной и экологической безопасности химически опасных объектов по производству серной кислоты

¹КУДРЯВЦЕВ Сергей Сергеевич, к.б.н., доцент, sk74_07@mail.ru,

²ЕМЕЛИН Павел Владимирович, д.т.н., профессор, зам. директора, emelinsz@mail.ru,

¹АМИРОВ Азамат Жанбулатович, PhD, директор ДРЦУ, azamat-amirov@mail.ru,

¹КОЖАНОВ Мурат Галиаскарович, магистр, руководитель УИУ, m.kozhanov@kstu.kz,

¹*РАХИМБЕРЛИНА Айгерим Амантаевна, магистр, преподаватель, altuwa1986@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

²ТОО «НАКС ГАЦ», Казахстан, Караганда, ул. Абая, 42,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Решение проблемы утилизации газов, являющихся побочными продуктами металлургического производства, делает актуальной проблему оценки состояния охраны труда, промышленной и экологической безопасности на химически опасных объектах по производству серной кислоты. Целью статьи являются разработка и апробация методологического подхода к оценке профессионального и экологического риска, связанного с деятельностью химически опасных объектов, производящих серную кислоту. Авторами апробирована оригинальная методика по оценке последствий техногенных чрезвычайных ситуаций на примере химически опасных объектов по производству серной кислоты. Данная методика основывается на многофакторном анализе причин техногенных чрезвычайных ситуаций с выбросом аварийно химически опасных веществ. В качестве ключевых параметров для оценки таких рисков были использованы параметры, характеризующие физико-химические и экотоксические свойства аварийно химически опасных веществ, состояние технологического оборудования и средств защиты, человеческий фактор и уязвимость окружающей среды.

Ключевые слова: химическая безопасность, промышленная безопасность, техногенная чрезвычайная ситуация, аварийно химически опасное вещество, серная кислота, риск, оценка риска, окружающая среда, показатель экологической опасности, опасные производственные объекты.

Введение. Одним из важных аспектов природоохранной политики является контроль образования газов, образующихся в процессе сжигания твёрдого топлива и в ходе различных технологических процессов металлургического производства. Для предприятий горно-металлургического комплекса очень перспективным направлением является применение сернистого ангидрида в качестве сырья для производства серной кислоты. Эта технология, наряду с решением проблемы загрязнения окружающей среды, позволяет им наладить производство серной кислоты в количествах, достаточных как для удовлетворения собственных потребностей в этом веществе, так и для получения прибыли за счёт его реализации.

В связи с использованием и хранением на этих предприятиях сернистого ангидрида и серной кислоты, являющихся аварийно химически опасными веществами (АХОВ), в соответствии

с Правилами Республики Казахстан «Правила идентификации опасных производственных объектов» от 30 декабря 2014 года № 353 [1], данные предприятия получили статус опасных производственных объектов. Данные Правила в числе необходимых мероприятий по охране труда и промышленной безопасности на опасных производственных объектах устанавливают проведение оценки рисков. При этом следует заметить, что в Республике Казахстан до настоящего времени не приняты на законодательном уровне методики, позволяющие оценить риски, связанные с воздействием химически опасных объектов (ХОО) на персонал и окружающую среду.

Целью статьи являются разработка и апробация методологического подхода к оценке профессионального и экологического риска, связанного с деятельностью химически опасных объектов, производящих серную кислоту. В качестве при-

мера в статье рассматривается риск воздействия на экосистему озера Балхаш в случае возможной чрезвычайной ситуации на химически опасном объекте по производству серной кислоты.

Материалы и методы исследования. Исследование рисков, связанных с функционированием химически опасного объекта по производству серной кислоты производилось по оригинальной методике [2, 3]. В основе данной методики лежит экспертный метод, позволяющий экспертам определить долевой вклад параметров в развитие неблагоприятного события.

Риск для окружающей среды от возможной техногенной чрезвычайной ситуации (ЧС) на ХОО оценивался по сочетанию показателей опасности ХОО для окружающей среды и уязвимости окружающей среды от ХОО.

Результаты и их обсуждение. В цехе по производству серной кислоты в обороте находятся 2 АХОВ: серная кислота и сернистый ангидрид. Для хранения серной кислоты возле здания цеха построены 4 резервуара объемом 7200 м³ каждый. Один из них периодически оставляют пустым, что может быть необходимо для экстренной перекачки в него кислоты в случае утечки из заполненных резервуаров. Таким образом, одномоментно на данном ХОО может храниться до 45000 тонн серной кислоты. Сернистый ангидрид является побочным продуктом металлургического производства и доставляется в цех из других цехов по системе трубопроводов, где сразу же включается в цикл производства серной кислоты. В таблице 1 приведены результаты оценки свойств [2, 3] сернистого ангидрида и серной кислоты.

Серная кислота – это простое неорганическое вещество, которое не разлагается. Вещество легко диссоциирует в воде с образованием ионов

водорода и сульфат-ионов (при экологическом значении pH) и полностью смешивается с водой. Вместе с этим известен ряд случаев, когда при попадании в водоемы в больших количествах серная кислота вызывала массовую гибель водных организмов. При этом в отношении серной кислоты отсутствуют какие-либо данные о токсичности в почве.

Аварийные выбросы серной кислоты могут привести к химическим ожогам работников предприятия, персонала аварийных служб, оказавшегося в зоне химического заражения. При этом опасность представляет и вторичное облако серной кислоты, поскольку при вдыхании её паров возможны ожоги верхних дыхательных путей.

Цех серной кислоты был построен относительно недавно, в 2008 г. Коэффициент износа основных фондов не превышает 0,01, коэффициент замены основных средств – более 0,95.

Производительность насосов для перекачки серной кислоты составляет до 1300 м³/час, компрессоров, подающих сернистый ангидрид, – до 300000 м³/час. Системы циркуляции обоих веществ оснащены необходимыми автоматическими запорными клапанами. На данном ХОО имеются все виды средств для локализации химических аварий, связанных с утечкой серной кислоты и сернистого ангидрида. В случае утечки последнего происходит автоматическая остановка его подачи.

Весь персонал данного ХОО регулярно и своевременно проходит обучение правилам безопасной эксплуатации технологического оборудования, действиям в случае химической аварии. Технологический процесс на предприятии осуществляется круглосуточно. Режим труда и отдыха операторов и технологического персонала

Таблица 1 – Результаты оценки свойств сернистого ангидрида и уксусной кислоты (ТОО «Kazakhmys Smelting», г. Балхаш, цех по производству серной кислоты)

Дескриптор\Вещество	Сернистый ангидрид	Серная кислота
Летучесть (давление пара), кПа	1	3
Плотность, г/см ³	1	5
Растворимость в воде, мг/л	5	5
Постоянство (BIOWIN ₃ период полураспада)	4	3
Биоаккумуляция (logKow)	1	1
Острая токсичность (LC / EC50):		
Рыба – 96 ч.	0	2
Дафния – 48 ч.	-	-
Водоросли – 72 ч.	-	-
Хроническая токсичность (NOEC)		
Рыба	-	-
Дафния	0	4
Водоросли	-	-
Объем хранения	0	5
ИТОГО:	12	28

– 2 смены по 12 часов. Пересмотр инструкций, направленных на безопасное функционирование объекта, осуществляется в соответствии с действующими нормативами. Вся необходимая документация присутствует в полном объеме. Технологический процесс оснащен средствами автоматического контроля и мониторинга. На предприятии регулярно проводится мониторинг кислотности почвы. Качество профилактических работ и ремонта хорошее.

Результаты анкетирования персонала предприятия, ответственного за эксплуатацию технологического оборудования и его безопасное функционирование, приведены в таблице 2.

Используя данные, представленные в таблицах 1 и 2, определим показатель экологической опасности (ПЭО) для АХОВ (серная кислота) [2], имеющегося в цехе по производству серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting» расположенном на расстоянии 986 м до озера Балхаш:

$$\text{ПЭО}_i = (0,05 \cdot (3+5+3) + 0,04 \cdot 5 + 0,06 \cdot (1+4) + 0,12 \cdot 2 + 0,17 \cdot 5) + (0,037 \cdot 5 + 0,035 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1 + 0,03 \cdot (5+1) + 0,033 \cdot 3 + 0,04 \cdot 1) + (0,07 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1) = 2,874.$$

Рассчитанное значение показателя экологической опасности химически опасного объекта [2] соответствуют умеренной степени экологической опасности химически опасного объекта для АХОВ (серная кислота) цеха по производству серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting».

Используя данные, представленные в таблицах 1 и 2, определим показатель экологической опасности (ПЭО) для АХОВ (сернистый ангидрид) [2], используемого в цехе по производству серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting» расположен-

ном на расстоянии 986 м до озера Балхаш:

$$\text{ПЭО}_i = (0,05 \cdot (1+5+4) + 0,04 \cdot 1 + 0,06 \cdot (1+0) + 0,12 \cdot 0 + 0,17 \cdot 0) + (0,037 \cdot 5 + 0,035 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1 + 0,03 \cdot (5+1) + 0,033 \cdot 0 + 0,04 \cdot 1) + (0,07 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1) = 1,235.$$

Рассчитанное значение показателя экологической опасности химически опасного объекта [2] соответствуют «слабой» степени экологической опасности химически опасного объекта для АХОВ (сернистый ангидрид) цеха по производству серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting».

Для оценки уязвимости окружающей среды в случае возможной аварии на данном ХОО была выбрана акватория озера Балхаш, минимальное расстояние до которой от резервуаров цеха по производству серной кислоты составляет 986 м. Расположение ХОО и исследуемого объекта окружающей среды представлено на рисунке.

Так, по сведениям, полученным при бурении скважины, нами была взята глубина подземных вод 4 м, коэффициент фильтрации 0,82 м/сутки. На основании GPS данных был определен уклон от изучаемого ХОО в сторону озера Балхаш. Озеро Балхаш имеет водохозяйственное назначение.

Необходимо отметить, что при проектировании расположения танков для хранения серной кислоты было сделано важное проектное решение. Благодаря изменённому при строительстве ландшафту местности, ёмкости с серной кислотой находятся ниже уровня береговой линии озера Балхаш. Такое решение делает практически невозможным попадание серной кислоты в озеро Балхаш в случае разрушения ёмкости для её хранения. В связи с этим отмечаем, что уязвимость окружающей среды отсутствует.

Таблица 2 – Результаты оценки по показателям технологического оборудования и персонала [2, 3] цеха серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting», г. Балхаш

По применяемому оборудованию		
Наименование критериального параметра	Баллы	
	H ₂ SO ₄	SO ₂
Длина систем трубопроводов, транспортирующих АХОВ, м	5	5
Коэффициент износа основных фондов, доли	1	1
Коэффициент замены основных средств, доли	1	1
Производительность насосов (компрессоров), м ³ /час	5	5
Количество резервуаров для хранения АХОВ на объекте, шт.	3	0
Наличие автоматических запорных клапанов	1	1
Наличие средств локализации	1	1
ИТОГО	17	14
По работающему персоналу		
Количество работников ХОО, прошедших обучение по курсу «Промышленная безопасность на опасных производственных объектах» /повышение квалификации (за отчетный период), %	1	1
Проведение организационных мероприятий, направленных на безаварийное функционирование производства	1	1
ИТОГО	2	2

Далее в соответствии с таблицей 4 определяем уровень риска по сочетанию показателей опасности ХОО и уязвимости от него окружающей среды [2].

Таким образом, анализ критериальных параметров, описывающих их вклад в уровень экологи-

ческого риска от ХОО ТОО «Kazakhmys Smelting», расположенного в городе Балхаш, показал отсутствие экологического риска для водных участков озера Балхаш.

Заключение. Представленная оригинальная методика позволяет провести оценку рисков воз-



Расположение химически опасного объекта и объекта окружающей среды

Таблица 3 – Результаты оценки показателей уязвимости окружающей среды для цеха серной кислоты ТОО «Kazakhmys Smelting», г. Балхаш

Для водной среды	
Наименование критериального параметра	Балл
Расстояние до рассматриваемой скважины, озера или водотока, м	1
Глубина до поверхности подземных вод, м	6
Уклон поверхности подземных вод и направление потока	0
Степень водопроницаемости грунта, м/сут	3
Назначение водоема	8
ИТОГО	18

Таблица 4 – Матрица оценки уровня риска экологических последствий в результате чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах для i-го земельного участка (почвы), объекта или водной среды

Показатель опасности	Показатель уязвимости				
	0	$0 < ПУ_i \leq 2$	$2 < ПУ_i \leq 4$	$4 < ПУ_i \leq 6$	Более 6
0	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
$0 < ПЭО_i \leq 2$	отсутствует	незначительный	малый	умеренный	повышенный
$2 < ПЭО_i \leq 3$	отсутствует	малый	умеренный	повышенный	повышенный
$3 < ПЭО_i \leq 4$	отсутствует	умеренный	повышенный	повышенный	критический
$4 < ПЭО_i \leq 5$	отсутствует	повышенный	повышенный	критический	критический

действия на окружающую среду АХОВ, высвобождающихся в результате техногенных ЧС на ХОО. Для оценки таких рисков применяются параметры, характеризующие физико-химические и экотоксические свойства АХОВ, состояние технологического оборудования и средств защиты,

человеческий фактор и уязвимость окружающей среды. В дальнейшем видится перспективным разработка информационно-аналитической системы, позволяющей автоматизировать процесс прогнозирования последствий техногенных ЧС на ХОО.

Данное исследование выполнялось и финансируется/финансировалось в рамках проекта АР09259869 Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила Республики Казахстан «Правила идентификации опасных производственных объектов» от 30 декабря 2014 года № 353. [Электронный ресурс]. URL <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (дата обращения: 09.05.2018г.).
2. 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). – pp. 100-111.
3. Емелин П.В., Кудрявцев С.С., Емелина Н.К. Методические рекомендации по оценке риска для окружающей среды от чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах. Свид-во РК о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 12555 от 14.10.2020 г.

Күкірт қышқылын өндіру бойынша химиялық қауіпті объектілердің өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздігінің өзекті мәселелері

¹КУДРЯВЦЕВ Сергей Сергеевич, б.ғ.к., доцент, sk74_07@mail.ru,

²ЕМЕЛИН Павел Владимирович, т.ғ.д., профессор, директордың орынбасары, emelinsz@mail.ru,

¹АМИРОВ Азамат Жанбулатович, PhD, ЦУДД директоры, azamat-amirov@mail.ru,

¹КОЖАНОВ Мурат Галиаскарович, магистр, УАБ басшысы, m.kozhanov@kstu.kz,

¹*РАХИМБЕРЛИНА Айгерим Амантаевна, магистр, оқытушы, altuwa1986@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

²«НАКС ГАЦ» ЖШС, Қазақстан, Қарағанды, Абай көшесі, 42,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Металлургиялық өндірістің жанама өнімдері болып табылатын газдарды кәдеге жарату проблемасын шешу күкірт қышқылын өндіретін химиялық қауіпті объектілердегі еңбекті қорғау, өнеркәсіптік және экологиялық қауіпсіздік жағдайын бағалау проблемасын өзекті етеді. Мақаланың мақсаты күкірт қышқылын өндіретін химиялық қауіпті объектілердің қызметіне байланысты кәсіби және экологиялық қауіпті бағалауға әдіснамалық тәсілді әзірлеу және сынақтан өткізу болып табылады. Авторлар күкірт қышқылын өндіретін химиялық қауіпті нысандар мысалында техногендік төтенше жағдайлардың салдарын бағалаудың өзіндік әдісін сынақтан өткізді. Бұл әдістеме авариялық химиялық қауіпті заттардың шығарылуымен техногендік төтенше жағдайлардың себептерін көп факторлы талдауға негізделеді. Осындай қауіптерді бағалау үшін негізгі параметрлер ретінде авариялық химиялық қауіпті заттардың физикалық-химиялық және экотоксикалық қасиеттерін, технологиялық жабдықтар мен қорғау құралдарының жай-күйін, адами фактор мен қоршаған ортаның осалдығын сипаттайтын параметрлер пайдаланылды.

Кілт сөздер: химиялық қауіпсіздік, өнеркәсіптік қауіпсіздік, техногендік төтенше жағдай, авариялық химиялық қауіпті зат, күкірт қышқылы, қауіп, қауіпті бағалау, қоршаған орта, экологиялық қауіптілік көрсеткіші, қауіпті өндірістік объектілер.

Actual Issues of Industrial and Environmental Safety of Chemically Hazardous Sites for the Production of Sulfuric Acid

¹KUDRYAVTSEV Sergey, Cand. of Biol. Sci., Associate Professor, sk74_07@mail.ru,

²YEMELIN Pavel, Dr. of Tech. Sci., Professor, Deputy Director, emelinsz@mail.ru,

¹AMIROV Azamat, PhD, Director of DUDD, azamat-amirov@mail.ru,

¹KOZHANOV Murat, master, Head of UID, m.kozhanov@kstu.kz,

¹*RAKHIMBERLINA Aigerim, master, Teacher, altuwa1986@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

²«NAKS GAC» LLP, Kazakhstan, Karaganda, Abay Street, 42,

*corresponding author.

Abstract. Solving the problem of utilization of gases that are by-products of metallurgical production makes the problem of assessing the state of occupational, industrial, and environmental safety at chemically hazardous sulfuric acid manufacturing sites relevant. The purpose of the article is to develop and test a methodological approach to the assessment of occupational and environmental risks associated with the activities of chemically hazardous sites producing sulfuric acid. The authors have tested the original methodology for assessing the consequences of man-made emergencies on the example of chemically hazardous sites for the production of sulfuric acid. This methodology is based on a multivariate analysis of the causes of man-made emergencies with the release of hazardous chemicals. As key parameters for assessing such risks, parameters characterizing the physicochemical and ecotoxic properties of hazardous chemicals, the state of technological equipment and protective means, the human factor and environmental vulnerability were used.

Keywords: chemical safety, industrial safety, man-made emergency, hazardous chemical, sulfuric acid, risk, risk assessment, environment, indicator of environmental hazard, hazardous production facilities.

REFERENCES

1. Pravila Respubliki Kazakhstan «Pravila identifikacii opasnyh proizvodstvennyh obektov» ot 30 dekabrya 2014 goda no. 353. [Elektronnyj resurs]. URL <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010310> (data obrashhenija: 09.05.2018g.).
2. 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). – pp. 100-111.
3. Emelin P.V., Kudrjavcev S.S., Emelina N.K. Metodicheskie rekomendacii po ocenke riska dlja okruzhajushhej sredy ot chrezvychajnyh situacij na himicheski opasnyh obektah. Svid-vo RK o vnesenii svedenij v gosudarstvennyj reestr prav na obekty, ohranjaemye avtorskim pravom no. 12555 ot 14.10.2020 g.