

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей и неорганической химии

**Анализ рисков использования установки улавливания CO₂ на основе
моноэтаноламина**

АВТОРЕФЕРАТ
БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы

направления (специальности) 20.03.01 «Техносферная безопасность»

код и наименование направления (специальности)

 Института химии

наименование факультета, института, колледжа

 Хомяковой Валерии Алексеевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

 доцент, к.х.н.

должность, уч. степень, уч. звание

 М.В. Пожаров

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

 д.х.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

 И.Ю. Горячева

инициалы, фамилия

Саратов, 2024 г

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы выпускной квалификационной работы, определена цель работы и задачи, а также дана её общая характеристика.

Содержание 1 главы: в данном разделе рассмотрены образование углекислого газа и его влияние на человека и окружающую природную среду.

Содержание 2 главы: в данном разделе описана технология извлечения углекислого газа из дымовых газов. Рассмотрена экспериментальная установка на территории угольной электростанции Maasvlakte в Нидерландах, а также для большего понимания основных опасностей исследуемой установки, была представлена модель экспериментальной установки, созданная с помощью Aspen Plus 2006.5, с большим количеством данных о параметрах процесса. Представлены вредные и опасные факторы данной установки.

Содержание 3 главы: в настоящем разделе были рассмотрены воздействие водного раствора моноэтаноламина (МЭА) на человека и на оборудование. В частности, коррозионная активность данного раствора, которая была представлена в виде таблицы, созданной на основе экспериментальных данных, в качестве тестового материала выступали две марки стали AISI1018 и AISI316.

Содержание 4 главы: в указанном разделе проанализированы риски возникновения аварийных ситуаций на изучаемой установке, а именно пожарный и токсикологический риски.

Содержание 5 главы: в данном разделе были представлены способы защиты персонала от вредных и опасных факторов рассматриваемой установки, а также действия персонала при возникновении аварийной ситуации.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием промышленности увеличивается негативное воздействие на окружающую среду, в том числе и на персонал, который в процессе выполнения трудовых функций подвергается опасным и вредным для здоровья факторам.

С конца 19 века встал вопрос о влиянии углекислого газа, как отхода промышленных предприятий, на атмосферу Земли и на климат в целом. На текущий момент существует две точки зрения о воздействии данного газа на планету Земля. Одни придерживаются теории глобального потепления, что именно CO_2 является одной из основных причин повышения средней температуры Земли, так как он способствует образованию парникового эффекта. Другие опровергают данную взаимосвязь.

С выходом Федерального Закона №296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов», а именно со второго июля 2021 года в России, перед владельцами крупных источников выбросов углекислого газа встала задача о введении установки по улавливанию CO_2 .

В наши дни учёные, инженеры химии и технологи по всему миру работают над созданием наиболее эффективной установки по улавливанию диоксида углерода. Ведь проблема глобального потепления стоит не только перед Россией, но и перед другими странами, имеющими крупные источники выбросов CO_2 .

Наиболее распространена и изучена установка абсорбции диоксида углерода 30%-ым раствором моноэтаноламина (МЭА). В связи с этим, в данной работе рассмотрены основные источники возникновения аварийных ситуаций, опасные и вредные факторы данной установки, а также проведён анализ риска возникновения аварии.

Актуальность темы заключается в том, что по всему миру, а именно в странах, подписавших Парижское соглашение, в том числе и России, разрабатывают проекты, проводят наблюдения и различные экономические и технологические расчёты с помощью временной экспериментальной установки по улавливанию диоксида углерода. Поэтому, для обеспечения безопасности на производстве необходимо оценить возможные риски аварий данной пилотной установки и прочие вредные и опасные факторы.

В качестве *объекта* исследования выступает экспериментальная установка по улавливанию углекислого газа методом химической абсорбции 30%-ым раствором МЭА, временно установленной на типовой тепловой электростанции (ТЭС), работающей на угле. *Предметом исследования* являются опасные и вредные факторы данной установки.

Цель выпускной квалификационной работы – проанализировать возможные риски возникновения аварийных ситуаций, рассмотреть вредные и опасные факторы на экспериментальной установке химической абсорбции CO₂ 30%-ым раствором МЭА.

Достижение поставленной цели невозможно без решения следующих *задач*:

- изучить влияние углекислого газа на окружающую природную среду и на человека;
- рассмотреть установку по улавливанию CO₂ 30%-ым раствором МЭА;
- рассмотреть воздействие 30%-ого раствора МЭА на человека и на различные части установки, в частности на абсорбер, трубопровод и арматуру;
- рассмотреть способы и средства защиты персонала, работающего на изучаемой установке.

РАЗДЕЛ 1 ОБРАЗОВАНИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И НА ЧЕЛОВЕКА

Углекислый газ в основном образуется при сжигании природных газов, но также и других традиционных и альтернативных топлив, является парниковым газом, так как его молекулы пропускают лучи ультрафиолетовой и видимой части спектра, которые поступают от Солнца на Землю, но удерживают (поглощают) инфракрасные лучи. Незначительное повышение содержания данного газа в атмосфере воздуха каждый год по данным лаборатории глобального мониторинга США примерно на 2 ppm, а за 2023 год на 2,8ppm влияет на климате нашей планеты.

Как известно, углекислый газ не относится к едким, взрывоопасным и горючим веществам. Это относительно безвредный газ - по ГОСТ 12.1.007-76[9] относится к 4 классу опасности, так как ПДК_{м.р.} рабочей зоны равно 27000мг/м³.

Таким образом, углекислый газ не несёт опасности для человека на открытых участках. Он может являться причиной плохого самочувствия или даже смерти только в закрытых, плохо проветриваемых помещениях или при авариях на установках, расположенных в здании. В то же время, для окружающей среды вред и опасность диоксида углерода носит накопительный характер.

РАЗДЕЛ 2 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

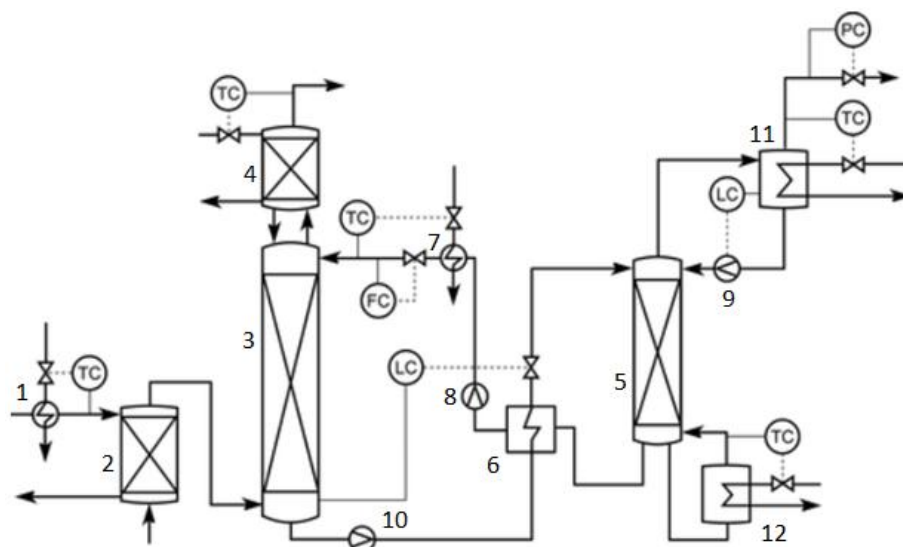


Рисунок 1 – технологическая схема опытной установки, включая структуру управления: 1,7 – теплообменники; 2 – охладитель дымовых газов; 3 – абсорбер; 4 – водяной скруббер; 5 – отпарная колонна; 6 – теплообменник-рекуператор; 8,9,10 – насосы; 11 – конденсатор; 12 – ребойлер; ТС – регулятор температуры, РС–регулятор расхода, LC–регулятор уровня, PC – регулятор давления

Основными технологическими узлами установки, представленной на рисунке 1, являются абсорбер тарельчатого типа и отпарная колонна.

В соответствии с Федеральным законом №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» рассматриваемая установка относится к опасным производственным объектам 3 класса опасности, потому что в ней используется оборудование (отпарная колонна, давление равно 1,8 бар), работающее под избыточным давлением газа, превышающим 0,07 МПа.

Вредные и опасные факторы производственной среды в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 на установке улавливания углекислого газа раствором МЭА подразделяются на порождаемые физическими свойствами материалов и порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых веществ. К вредным факторам данной установки при

аварийной ситуации относится чрезмерное загрязнение воздушной среды парами МЭА и CO_2 при разгерметизации оборудования. К опасным факторам данной установки при аварийной ситуации относятся:

1) струи горячей жидкости и парогазовой смеси температурой около 120°C при разгерметизации отпарной колонны;

А вот одновременно и к вредным и опасным факторам в зависимости от силы нанесённого вреда здоровью человека можно отнести:

2) токсическое действие паров МЭА;

3) высокую температуру материальных объектов производственной среды при истончении материалов установки вследствие коррозии;

В штатном режиме работы опасные факторы на данной установке отсутствуют, а к вредным факторам можно отнести шум, производимый компрессорами и насосами, наличие продуктов разложения раствора МЭА в воздухе рабочей зоны, выходящих из отпарной колонны, и повышенная вероятность содержания в воздухе паров МЭА в случае не герметичности соединений различных частей установки.

РАЗДЕЛ 3 ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОДНОГО РАСТВОРА МЭА НА ЧЕЛОВЕКА И НА ОБОРУДОВАНИЕ

МЭА – горючая жидкость, при нагревании ее пары могут образовывать взрывоопасные смеси с воздухом, горит с образованием токсичных газов. Нижний концентрационный предел воспламенения паров МЭА в воздухе, в объёмных долях равен 3%, а верхний 17,9%. По степени воздействия на организм относится к веществам 2-го класса опасности – вещество высоко опасное в соответствии с ГОСТ 12.1.007 – 76. Действует на ЦНС, функцию почек, печени и кроветворение; репродуктивную функцию, также обладает раздражающим действием на кожу и глаза. Может представлять опасность для объектов окружающей среды.

Рядом учёных-химиков во Франции были проведены лабораторные исследования на коррозионную активность 30%-ого водного раствора МЭА,

материалом для исследований выступали несколько видов марок стали, в частности AISI1018 и AISI316. В Таблице 1 приведены результаты эксперимента по изучению величины коррозии образцов, выполненных из сталей вышеуказанных марок, после воздействия 30% раствора МЭА в течение 500 часов.

Таблица 1. Степень коррозии изделий двух марок стали, полученная на экспериментальной установке

Степень насыщенности углекислым газом; расположение установки	AISI1018	AISI316
Обеднённый растворитель, вход в абсорбер	$3,6 \cdot 10^3$ мкм/год	8 мкм/год
Насыщенный растворитель, выход из абсорбера	4 мкм/год	5 мкм/год
Обеднённый растворитель, выходное отверстие отпарной колонны	$56 \cdot 10^3$ мкм/год	23 мкм/год
Дымовые газы, выход из абсорбера	4 мкм/год	5 мкм/год
Углекислый газ, выход из отпарной колонны	80 мкм/год	14 мкм/год

Марка стали AISI316 – это аустенитная нержавеющая сталь, содержащая 2,2% молибдена, благодаря чему она более устойчива к питтинговой коррозии и высоким температурам по сравнению с другими марками стали. Марка стали AISI1018 – это низкоуглеродистая сталь.

Таким образом, на исследуемой установке следует использовать сталь марки AISI316 и лишь на выходе из абсорбера насыщенного раствора и на выходе из абсорбера дымовых газов допустимо использовать сталь марки AISI1018.

Согласно ГОСТ 32569-2013 Приложение К периодичность проведения ревизий трубопроводов при скорости коррозии до 0,1 мм/год рекомендуется проводить не реже одного раза в 4 года. Категория трубопроводов I, так как транспортируется вещество второго класса опасности по токсическому действию.

РАЗДЕЛ 4 ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ НА УСТАНОВКЕ

4.1 Пожарный риск

В ходе анализа пожарного риска в связи с недостающими данными показателей пожаровзрывоопасности (а именно, температуры вспышки и давления насыщенных паров над раствором) 30%-ого раствора МЭА, был произведен расчет этих параметров.

Согласно расчетам, концентрация паров МЭА над раствором равна 1,14%, что не входит в концентрационные пределы воспламенения паров в воздухе, поэтому вероятность возникновения пожара стремится нулю, если установка работает в штатном режиме.

Только при изменении процентного соотношения МЭА с водой, а именно увеличении концентрации его до 83% может возникнуть пожар.

4.2 Токсикологический риск

К 2012 году было доказано, что возможные пути разложения выбрасываемых аминов в атмосфере на нитрозамины и нитрамины, является важным фактором в оценке токсикологического риска.

Согласно результатам оценки токсикологического воздействия МЭА, представленных в таблице 2, риск для персонала электростанций стремится к нулю, но в радиусе от 0,14 до 10 км имеется повышенный риск воздействия продуктов разложения МЭА, максимальный риск наблюдается на расстоянии около 1 км.

Таблица 4. Максимальные концентрации и расстояние НДМА и НДЭА

	ЭС 1	ЭС2	ЭС3	ЭС4	ЭС5
$C_{max_{НДМА}}(нг/м^3)$	3,50	2,65	21,75	81,55	142,52
$C_{max_{НДЕА}}(нг/м^3)$	2,55	1,93	15,84	59,26	103,73
D(м)	140	500	660	640	1260

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Углекислый газ не несёт опасности для человека на открытых участках. Он может являться причиной плохого самочувствия или даже смерти только в закрытых, плохо проветриваемых помещениях или при авариях на установках, расположенных в здании. В то же время, для окружающей среды вред и опасность диоксида углерода носит накопительный характер.

К вредным факторам установок по улавливанию CO₂ при аварийной ситуации относится чрезмерное загрязнение воздушной среды парами МЭА и CO₂ при разгерметизации оборудования. К опасным факторам данной установки при аварийной ситуации относятся высвобождение горячей парогазовой смеси при разгерметизации отпарной колонны, ударная волна, создаваемая углекислым газом при разгерметизации компрессора сжатия CO₂, а также токсическое действие паров МЭА; высокую температуру материальных объектов производственной среды при истончении материалов установки вследствие коррозии;

В штатном режиме работы опасные факторы на данной установке отсутствуют, а к вредным факторам можно отнести шум, производимый компрессорами и насосами, наличие продуктов разложения раствора МЭА в воздухе рабочей зоны, выходящих из отпарной колонны, и повышенная вероятность содержания в воздухе паров МЭА в случае не герметичности соединений различных частей установки.

Согласно результатам оценки скорости коррозии стальных конструкций под действием раствора МЭА, на исследуемой установке следует использовать сталь марки AISI316 и лишь на выходе из абсорбера насыщенного раствора и на выходе из абсорбера дымовых газов допустимо использовать сталь марки AISI1018. Согласно ГОСТ 32569-2013 Приложение К периодичность проведения ревизий трубопроводов при скорости коррозии до 0,1 мм/год рекомендуется проводить не реже одного раза в 4 года. Категория трубопроводов I, так как транспортируется вещество второго класса опасности по токсическому действию

.Согласно анализу пожарной опасности установки, вероятность возникновения пожара близка к нулю, если установка работает в штатном режиме. При разгерметизации установки в любом месте, кроме ёмкости с 30%-ым раствором МЭА, в окружающую среду выходит углекислый газ, который тяжелее воздуха и не поддерживает горение. Только при изменении увеличении концентрации МЭА в растворе до 83% может возникнуть пожар.

Согласно результатам оценки токсикологического воздействия МЭА, риск для персонала электростанций стремится к нулю, но в радиусе от 0,14 до 10 км имеется повышенный риск воздействия продуктов разложения МЭА, максимальный риск наблюдается на расстоянии около 1 км.