

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202390733 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.05.05

(22) Дата подачи заявки
2021.09.10

(51) Int. Cl. *B01D 53/72* (2006.01)
B01D 53/86 (2006.01)
A61L 9/20 (2006.01)
F24F 8/22 (2021.01)

(54) ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ЛЕТУЧИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

(31) 20195550.7

(32) 2020.09.10

(33) EP

(86) PCT/EP2021/074916

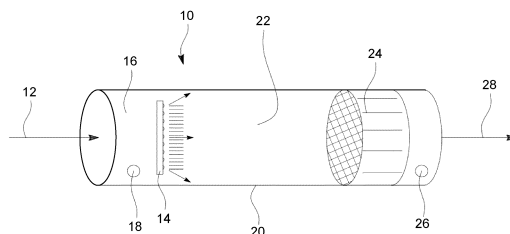
(87) WO 2022/053603 2022.03.17

(71) Заявитель:
ЭМБИЕНТ КАРБОН МЕТХАНЕ
ХОЛДИНГ АПС (DK)

(72) Изобретатель:
Джонсон Мэтью (SE), Шмидт Йохан
Альбрехт (DK), Пульезе Сильвия (IT)

(74) Представитель:
Толыбаев Ж.М. (KZ)

(57) Изобретение относится к способу удаления концентраций метана и неметановых летучих органических соединений из газового потока. Способ включает воздействие на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до радикалов галогена, при этом радикалы галогена вступают в реакцию с ЛОС в целевом газе для обеспечения целевого газа, свободного от концентрации ЛОС, а также устройство, представляющее собой реакционную камеру для взаимодействия радикалов галогена с ЛОС в целевом газе.



A1

202390733

202390733

A1

ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕТУЧИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к способу и устройству для контроля загрязнения воздуха.

- 5 В частности, настоящее изобретение относится к фотохимическому способу и устройству для удаления летучих органических соединений, включая метан, из целевого газа и использованию устройства.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- Летучие органические соединения (ЛОС) включают метановую и неметановую фракции, последняя обычно сокращенно называются НМЛОС. Многие специфические НМЛОС являются опасными загрязнителями воздуха, а также НМЛОС наряду с метаном оказывают вторичное действие, включающее изменение климата и загрязнение воздуха [Harnung 2012]. По оценкам Всемирной организации здравоохранения [WHO Ambient, WHO Indoor], Всемирного банка [WB 2016] и других, загрязнение воздуха является глобальной проблемой; ежегодно от загрязнения атмосферного воздуха умирает 3,3 миллиона человек [WHO Ambient] и 3,8 миллиона — от загрязнения воздуха в бытовых помещениях [WHO Indoor]. По данным Организации Объединенных Наций [IPCC 2013], Католической церкви [Francis 2015], Министерства обороны США [U.S. DoD 2014] и т.д., изменение климата является глобальной проблемой.
- 20 Метан имеет замкнутую оболочку из восьми валентных электронов и химически подобен благородным газам, обладая такими физическими свойствами, как очень низкая температура кипения, высокая энергия ионизации и низкая поляризуемость [Atkins 2013; NIST Chemistry Webbook]. Эта уникальная химическая структура имеет ряд последствий. Метан является наименее реакционноспособным из всех углеводородов в атмосфере, что обеспечивает ему
- 25 наиболее длительное время выдержки и большой потенциал для глобального потепления (72) в 20-летнем промежутке времени [Harnung 2012]. Эта низкая реакционная способность (низкий коэффициент скорости реакции) означает, что разрушить метан с помощью

- газофазных радикальных реакций затруднительно без сжигания его при высокой температуре, и часто метан обнаруживается в концентрациях ниже требуемых для сжигания. Кроме того, сжигание может быть нежелательным, например, если его невозможно контролировать и/или существует риск взрыва. В дополнение к тому, что метан относительно инертен химически,
- 5 его уникальная электронная структура означает, что он обладает очень слабыми межмолекулярными взаимодействиями [NIST Chemistry Webbook]. Метан проводит очень мало времени на поверхностях гетерогенных катализаторов из-за низкого сродства к поверхностям, вследствие чего реакция неэффективна, и его трудно улавливать с помощью адсорбентов в целях повышения концентрации.
- 10 Существует потребность в эффективной и дешевой технологии контроля выбросов метана и НМЛОС. Реакция и адсорбция являются наиболее распространенными методами борьбы с загрязнением метаном и НМЛОС при концентрациях ниже предела горения (около 4,4%) [Kwiatkowski 2019].

В этом сценарии газофазное эффективное окисление (GPAO) [Johnson 2009] представляет собой метод очистки воздуха на основе гидроксильного радикала. Технология генерирует

15 газофазные гидроксильные радикалы, которые инициируют окисление путём разрыва связи С-Н широкого спектра ЛОС. Он обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами очистки воздуха [Adnew 2016], наиболее важным из которых является повышение энергоэффективности, кроме того, снижение затрат на установку и эксплуатацию и

20 сокращение потока отходов. Однако современные технологии на основе гидроксильных радикалов [Johnson 2009] не способны вступать в эффективную и быструю реакцию с метаном. Молекулы, такие как пропан, 2-метилпентан или н-гексан, вступают в реакцию в сотни или тысячи раз быстрее, чем метан [Darnall 1976]. Это явно представляет собой недостаток, который необходимо преодолеть для достижения достаточно быстрых реакций с метаном в

25 газовой фазе. При GPAO короткая (высокоэнергичная) длина волны света используется для фотолиза озона, энергия теряется в виде тепла, когда дочерний атом кислорода вступает в реакцию с водяным паром или углеводородами с образованием гидроксильного радикала, а гидроксил теряется в результате побочных реакций. Эти побочные реакции также

самоограничивают процесс, ограничивая концентрацию гидроксила, который может образовываться в системе.

Английский химик и промышленник Генри Дикон в 1868 году изобрел процесс Дикона. В нём используется катализатор для преобразования соляной кислоты в газообразный хлор. $4\text{HCl} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Единственное изменение с тех пор заключается в том, что были разработаны другие более совершенные катализаторы. Одним из лучших катализаторов, доступных в настоящее время, является катализатор на основе оксида рутения, разработанный компанией Sumitomo Corp.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

10 Мир столкнулся с техническими проблемами, связанными с удалением метана и/или НМЛОС из воздушного потока, например, из промышленной вентиляции или дымохода или другого точечного источника, в соответствии с требованиями норм по выбросам или для защиты окружающих людей и среды, контроля запаха от домашнего скота или ферментации и т.д. Современные технологии часто слишком затратны, что затрудняет установку. Удаление
15 метана из воздушного потока также является приоритетом в отношении загрязнения воздуха и изменения климата.

Метан, ввиду его уникального химического состава, трудно удалить с помощью гомогенной или гетерогенной химической реакции или отделить адсорбцией. В частности, в промышленных условиях, например в горнодобывающей промышленности, по сравнению со
20 многими другими точечными источниками концентрация метана выше, а расход воздуха больше. Для условий большего расхода и концентрации метана необходима адаптация к технологическому процессу. Кроме того, более высокие капитальные затраты могут быть оправданы возросшей интенсивностью и стоимостью процесса.

25 Авторы настоящего изобретения предлагают решение данных проблем.

В первом аспекте настоящее изобретение относится к способу для удаления концентраций ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, включающему, необязательно в подходящей реакционной камере, воздействие на целевой газ предшественником галогенного радикала, таким как газообразный галоген, и светом от подходящего источника света с длиной волны,

достаточной для активации предшественника галогенного радикала до галогенных радикалов, при этом галогенные радикалы вступают в реакцию с ЛОС в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.

- 5 Во втором аспекте настоящее изобретение относится к устройству для удаления концентраций ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, где устройство содержит а) реакционную камеру для воздействия на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие
10 для выпуска целевого газа, свободного от концентрации ЛОС; d) источник света для обеспечения длины волны, достаточной для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; и е) необязательно фильтр и/или газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновые кислоты, например, HCl, не вступивший в реакцию галоген, например, хлор, формальдегид, CO, CO₂, прежде чем целевой газ, свободный
15 от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие.

В третьем аспекте настоящее изобретение относится к системе, содержащей устройство второго аспекта.

- В основном, настоящее изобретение относится к системе для удаления концентрации ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, где система содержит а) реакционную камеру для
20 воздействия на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие для выпуска целевого газа, свободного от концентрации ЛОС; d) источник света для обеспечения длины волны, достаточной для активации газообразного галогена до галогенных
25 радикалов; е) газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновые кислоты, например, HCl, не вступивший в реакцию галоген, например хлор, формальдегид, CO, CO₂, прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие, при этом газоочиститель извлекает галогеновую кислоту и преобразует её в газообразный галоген путём окисления и в присутствии катализатора; f)

необязательно секцию сжижения, собирающую не вступивший в реакцию газообразный галоген из выходного отверстия; g) optionally систему рециркуляции для рециркуляции газообразного галогена из выходного отверстия в реакционную камеру; h) optionally систему рециркуляции для рециркуляции газообразного галогена, извлеченного из газоочистителя, в реакционную камеру. В одном варианте осуществления присутствуют два газоочистителя для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновые кислоты, например, HCl, не вступивший в реакцию галоген, например, хлор, формальдегид, CO, CO₂, прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие, при этом газоочистители извлекают галогеновую кислоту и преобразуют её в газообразный галоген путём окисления и в присутствии катализатора.

В другом альтернативном аспекте настоящее изобретение относится к системе для удаления концентрации ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, где система содержит а) реакционную камеру для воздействия на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие для выпуска целевого газа, свободного от концентрации ЛОС; d) источник света для обеспечения длины волны, достаточной для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; е) optionally секцию сжижения, собирающую не вступивший в реакцию газообразный галоген из выходного отверстия; f) optionally систему рециркуляции для рециркуляции газообразного галогена из выходного отверстия в реакционную камеру; g) средство для введения кислорода и катализатора в реакционную камеру после воздействия на целевой газ газообразного галогена и света от подходящего источника света, имеющего длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов, для преобразования галогеновой кислоты в газообразный галоген, и систему рециркуляции для рециркуляции преобразованного газообразного галогена в реакционную камеру.

В другом аспекте настоящее изобретение относится к способу удаления концентрации ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, включающему, optionally, в подходящей реакционной камере,

- 5 i) воздействие на целевой газ предшественником галогенного радикала, таким как газообразный галоген, и светом от подходящего источника света с длиной волны, достаточной для активации предшественника галогенного радикала до галогенных радикалов, при этом галогенные радикалы вступают в реакцию с ЛОС в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации ЛОС,
- 10 ii) необязательно пропускание целевого газа через газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов и преобразования галогеновой кислоты в предшественника галогенных радикалов, например, газообразный галоген, и повторное использование предшественника галогенных радикалов, извлечённого из газоочистителя, для получения предшественника галогенных радикалов при подходящем источнике света,
- 15 iii) необязательно сбор не вступившего в реакцию предшественника галогенных радикалов путём сжигания и рециркуляции предшественника галогенных радикалов при подходящем источнике света; и
- iv) получение целевого газа, свободного от концентраций ЛОС.

В одном варианте осуществления ЛОС представляет собой метан. В другом варианте осуществления ЛОС представляет собой НМЛОС.

- 20 В дополнительном варианте осуществления ЛОС в целевом газе выбирается из первичных и/или вторичных агентов радиационного воздействия (парниковых газов), таких как углеводороды, в частности метан.

- 25 В другом варианте осуществления целевой газ, загрязнённый метаном и/или НМЛОС, представляет собой загрязнённый атмосферный воздух, воздух в животноводческих помещениях, неорганизованные выбросы и т.д.

- 30 В ещё одном варианте осуществления элементы целевого газа (например, химически активные вещества или более крупные частицы), которые могут повредить устройство или разрушить или подавить действие газообразного галогена, удаляются перед воздействием газообразного

галогена. Обычно целевой газ пропускается через предварительный фильтр для удаления веществ или более крупных частиц из целевого газа перед воздействием газообразного галогена.

В другом варианте предшественником галогенного радикала является газообразный галоген.

- 5 В ещё одном варианте осуществления предшественник галогенного радикала, такой как газообразный галоген, присутствует в концентрации в количестве, которое находится по меньшей мере на стехиометрическом уровне по отношению к концентрации метана и/или НМЛОС в целевом газе.

- 10 В другом варианте осуществления используется фильтр для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновая кислота, например, HCl , не вступивший в реакцию галоген, например, хлор, формальдегид, CO , CO_2 , прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие.

- 15 В другом варианте осуществления используется газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновая кислота, например, HCl , не вступивший в реакцию галоген, например, хлор, формальдегид, CO , CO_2 , прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие. В частном случае варианта осуществления галогеновая кислота преобразуется в газообразный галоген и рециркулируется в реакционную камеру в обход выходного отверстия. Примерами такого преобразования являются реакция Дикона или реакция отбеливания, см., например, Фиг. 6.
- 20 При преобразовании газообразного галогена, в частности газообразного хлора, с использованием катализируемой реакции Дикона, в частности процесса, катализируемого оксидом рутения, разработанного компанией Sumitomo Corp, кислород подается из атмосферного воздуха, однако, с использованием абсорбции с перепадом давления, чистый кислород может быть извлечен из воздуха, и чистый кислород является предпочтительным
- 25 вариантом по сравнению с использованием чистого атмосферного воздуха.

Целевой газ, свободный от концентрации ЛОС, выходящий из выходного отверстия, может все ещё содержать не вступивший в реакцию газообразный галоген, который улавливается конденсацией. Чрезмерное количество газообразного галогена, выходящего из выходного

отверстия, нежелательно в крупных промышленных масштабах, например в шахтных отработанных газах. Таким образом, в предпочтительном варианте не вступивший в реакцию газообразный галоген, выходящий из выходного отверстия, рециркулируется в реакционную камеру. Это снижает воздействие на окружающую среду и потоки отходов/эксплуатационные расходы. Газообразный галоген предпочтительно улавливается путём сжижения, например, газообразный хлор улавливается путём сжижения хлора.

Таким образом, для оптимального крупномасштабного процесса газообразный хлор преобразуется из HCl , а газообразный хлор, выходящий из выходного отверстия, используется повторно для реакции с метаном после активации с образованием галогенных радикалов.

В другом варианте осуществления отсутствует фильтр или газоочиститель.

При отсутствии фильтра или газоочистителя альтернативой является применение реакции Дикона, подобной той, которая реализована в процессе, катализируемом оксидом рутения, разработанном компанией Sumitomo Corp., для всего воздушного потока. Таким образом, в другом варианте осуществления, когда отсутствует фильтр или газоочиститель, галогеновая кислота подвергается воздействию кислорода и катализатора, такого как оксид рутения (IV) в реакционной камере (показано на фиг. 7).

Альтернативой применению реакции Дикона к образующейся галогеновой кислоте является включение по меньшей мере двух газоочистителей. Таким образом, один вариант осуществления заключается в пропускании целевого газа через два газоочистителя для уменьшения или удаления побочных продуктов, таких как галогеновая кислота, например, HCl , не вступивший в реакцию галоген, например, хлор, формальдегид, CO , CO_2 , прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие. Описанные выше варианты осуществления, когда галогеновая кислота преобразуется в газообразный галоген и рециркулируется в реакционную камеру в обход выходного отверстия, применимы к одному или обоим газоочистителям (показано на Фиг. 9).

В ещё одном варианте осуществления газообразный галоген выбирается из газообразных хлора и брома, в частности газообразного хлора. Газообразный хлор закупается или

производится на месте с использованием электролиза солёной воды или входит в состав других газов, содержащих хлор, которые могут быть подвергнуты фотолизу.

В другом варианте осуществления длина волны составляет от 540–180 нм, в частности 400–300 нм, например 380–320 нм, в особенности от 370–350 нм.

- 5 В ещё одном варианте осуществления источник света выбирается из люминесцентной лампы, светодиодной лампы, лампы накаливания, газоразрядной лампы, солнечного света или их комбинаций. В частности, предпочтительны светодиодные лампы, и здесь оптимальный фотолиз достигается при длине волны приблизительно 365 нм в диапазоне от 300 нм до 400 нм (показано на Фиг. 8).
- 10 Одним из основных продуктов, образующихся в результате окисления метана (удаления метана), является монооксид углерода. Это нежелательно, и поэтому может быть полезно преобразовать его в CO_2 с использованием катализатора. Таким образом, в дополнительном варианте осуществления CO , образующийся при удалении метана, подвергается воздействию катализатора, в частности катализатора на основе платины или палладия, альтернативно родия
- 15 и рутения, при подходящей температуре (от 150 до 600°C в зависимости от катализатора, предпочтительно 300°C) с интегрированным регулированием температуры, для окисления CO до CO_2 . В частности, CO , образующегося при удалении метана и присутствующего в целевом газе, свободном от концентрации ЛОС, покидающем выходное отверстие.

В другом варианте осуществления концентрация ЛОС в целевом газе ниже предела горения.

- 20 В ещё одном варианте осуществления концентрации метана и/или НМЛОС в целевом газе ниже предела горения. Как правило, целевой газ содержит метан в концентрации от 1,8 частей на миллион до 5% (50000 частей на миллион).

В другом варианте осуществления концентрация ЛОС в целевом газе выше предела горения.

- В другом варианте осуществления концентрации метана в целевом газе превышают предел
- 25 горения; такие целевые газы могут быть обнаружены в угольных шахтах, в местах захоронения отходов или в нефтяном пласте. Как правило, целевой газ содержит метан в концентрации, по меньшей мере 4,4%, например, от 4,4 до 50%.

В ещё одном варианте осуществления имеется подходящая реакционная камера, имеющая входное отверстие для приёма целевого газа, реакционную зону, в которой целевой газ вступает в реакцию с галогенными радикалами для удаления концентраций ЛОС, таких как метан и/или НМЛОС, в присутствии подходящего источника света, необязательно систему для
5 увеличения канала источника света (например, зеркал), необязательно фильтр или газоочиститель и выходное отверстие, обеспечивающее целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.

В другом варианте целевой газ, свободный от концентрации ЛОС, в частности метана, пропускается через фильтр или газоочиститель для уменьшения или удаления галогеновой
10 кислоты, например, HCl, не вступившего в реакцию хлора, формальдегида, CO, CO₂.

В ещё одном варианте осуществления имеется подходящая реакционная камера, имеющая входное отверстие для приёма целевого газа, реакционную зону, в которой целевой газ вступает в реакцию с галогенными радикалами для удаления концентраций ЛОС, необязательно систему для увеличения длины пути облучения, например, с использованием
15 отражающих поверхностей, необязательно фильтр или газоочиститель и выходное отверстие, выпускающее целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.

В другом варианте осуществления газообразный озон в подходящем газе-носителе, в частности воздухе, добавляется в реакционную камеру в подходящей концентрации для превращения галогенида водорода (включая HI, HBr и HCl) в летучие и/или фотолабильные
20 соединения галогена. Что касается термина “подходящий носитель”, содержащий газообразный озон, то он известен специалисту и включает, среди прочего, воздух, азот (N₂) и кислород (O₂).

В ещё одном варианте осуществления озон в форме жидкости или газа, в частности жидкий или газообразный озон, добавляется в реакционную камеру в подходящей концентрации для
25 превращения галогенидов (или других соединений галогена в степени окисления I) в летучие и/или фотолабильные соединения галогена.

В другом варианте осуществления элементы целевого газа, в частности пыль, агрессивные

вещества, аммиак и другие основания, которые могут нанести вред устройству, разрушить газообразный галоген или иным образом помешать работе, удаляются перед воздействием газообразного галогена.

5 В еще одном варианте осуществления целевой газ пропускают через предварительный фильтр для удаления более крупных частиц из целевого газа перед воздействием газообразного галогена.

10 В дополнительном варианте осуществления присутствует реакционная камера, и камера содержит два отсека, один первый реакционный отсек и второй отсек, фильтрующий/насадочный слой, разделяющий первый и второй отсеки, в которой целевой газ после реакции в первом отсеке пропускается через фильтрующий/насадочный слой во второй отсек, в котором целевой газ, свободной от концентрации ЛОС, подвергается воздействию воды, которая вступает в реакцию с галогеновой кислотой с образованием галогена, который рециркулируется в реакционный отсек.

15 В другом варианте осуществления присутствует реакционная камера, и камера содержит два отсека, один первый реакционный отсек газовой фазы и второй отсек, содержащий газоочиститель, в которой целевой газ после реакции в первом отсеке пропускается через газоочиститель, в котором целевой газ подвергается воздействию жидкой среды, которая реагирует с галогенидом водорода с образованием водного галогенида и галогена в состоянии нулевого окисления, который рециркулируется в реакционный отсек.

20 В третьем аспекте настоящее изобретение относится к способу удаления концентраций метана и/или МНЛОС из целевого газа, содержащего метан и/или НМЛОС, как описано в первом аспекте, в котором устройство дополнительно содержит рециркуляционный элемент для рециркуляции предшественника галогенного радикала, регенерированного из газообразного галогенида водорода, образующегося во время реакции, в реакционную камеру.

25 В дополнительном варианте осуществления второй аспект настоящего изобретения содержит рециркуляционный элемент для рециркуляции газообразного галогена, регенерированного из газообразной галогеновой кислоты, образующейся во время реакции, в реакционную камеру.

В четвёртом аспекте настоящее изобретение относится к использованию устройства любого из первого, второго и третьего аспектов и любых вариантов его осуществления для удаления концентраций ЛОС, например метана или НМЛОС, из целевого газа, содержащего ЛОС.

Дополнительные объекты и преимущества настоящего изобретения будут понятны из
5 следующего описания и формулы изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Далее изобретение будет описано более полно со ссылкой на прилагаемые чертежи, иллюстрирующие типичные варианты осуществления изобретения. Данные чертежи не ограничивают объём настоящего изобретения и предназначены исключительно для создания
10 у специалиста более полного представления об изобретении.

На Фиг. 1 показана фотохимическая очистка воздуха в соответствии с настоящим изобретением.

На Фиг. 2 показана фотохимическая очистка воздуха с повторным
15 использованием/рециркуляцией в соответствии с настоящим изобретением.

На Фиг. 3 показана система очистки воздуха, в рамках системы вентиляции, для использования в животноводческом помещении в соответствии с настоящим изобретением.

20 На Фиг. 4 показана система улавливания и деструкции метана из неорганизованных выбросов в соответствии с настоящим изобретением.

На Фиг. 5 показана система удаления метана из атмосферного воздуха в соответствии с настоящим изобретением.

25

На Фиг. 6 показана предлагаемая система, пригодная для использования в крупной промышленности.

На Фиг. 7 показана предлагаемая система без газоочистителя, в которой он заменяется на реакцию Дикона во время процесса удаления метана.

На Фиг. 8 показан выбор длин волн светодиода.

На Фиг. 9 показана предлагаемая система, использующая два газоочистителя.

5 На Фиг. 10 показана модель фотохимических реакций.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Авторы настоящего изобретения предлагают решение для низкой реакционной способности метана и/или НМЛОС в газовой фазе и, следовательно, для контроля выбросов метана и/или НМЛОС.

10

Газофазные и гетерогенно-фазные галогеновые реакторы способны контролировать загрязнение воздуха, в том числе метан и другие газы, используя преимущества более высокой скорости реакций радикалов Cl со многими загрязнителями по сравнению с большим количеством других радикалов (OH, NO₃, ¹O₂, O₃...), а также используя преимущества более

15 низкой энергии, необходимой для образования радикала Cl относительно, например, радикала OH, а также за счёт использования преимуществ более высокой концентрации радикалов Cl, которая может поддерживаться, относительно других радикалов ввиду природы самоограничивающихся реакций в этих системах. Примеры приведены для Cl, но применимы также к Br.

20

Настоящее изобретение представляет собой быстрый и недорогой способ контроля загрязнения воздуха метаном, например, при концентрациях ниже предела взрыва/горения. Этот диапазон концентраций включает многие из наиболее важных источников неорганизованных выбросов метана, таких как домашний скот, производство биогаза,

25 водоочистные сооружения, свалки, нефтяные и газовые скважины (включая заброшенные скважины), угольные шахты (включая заброшенные угольные шахты), таяние вечной мерзлоты и аналогичные источники в природе. Более того, предлагаемый способ уничтожает неметановые виды ЛОС, которые также являются мощными (первичными и вторичными)

парниковыми газами и сами по себе являются первичными загрязнителями и вызывают вредное вторичное загрязнение. Кроме того, предлагаемый способ обеспечивает надлежащую объёмную энергоэффективность (измеряемую, например, в кДж/м³ воздуха), низкие эксплуатационные расходы и решает проблему запаха, например, в животноводстве, и
5 обеспечивает короткое время обработки, в результате чего получается компактная система, способная обрабатывать большой поток воздуха, выраженный например, в метрике объёмной скорости.

Хотя воздействие на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника
10 света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов, может осуществляться в больших ограниченных пространствах или полужакрытых пространствах, реакция предпочтительно протекает в подходящей реакционной камере.

Предпочтительно, настоящее изобретение относится к системе для удаления метана из
15 целевого газа, содержащего метан, где система содержит а) реакционную камеру для воздействия на целевой газ газообразным хлором и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны от 300 нм до 400 нм, достаточную для активации газообразного хлора до радикалов хлора; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие для выпуска целевого газа, свободного от концентрации метана; d) источник света для
20 обеспечения длины волны, достаточной для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; е) газоочиститель для уменьшения или удаления HCl, прежде чем целевой газ, свободный от концентраций метана, выйдет через выходное отверстие, при этом газоочиститель извлекает HCl и преобразует её в газообразный хлор путём окисления и в присутствии катализатора; f) необязательно секцию сжижения, собирающую не вступивший
25 в реакцию газообразный хлор из выходного отверстия; g) необязательно систему рециркуляции для рециркуляции газообразного хлора из выходного отверстия в реакционную камеру; h) необязательно систему рециркуляции для рециркуляции газообразного хлора, извлеченного из газоочистителя, в реакционную камеру.

В другом альтернативном аспекте настоящее изобретение относится к системе для удаления метана из целевого газа, содержащего метан, где система содержит а) реакционную камеру для воздействия на целевой газ газообразным хлором и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны от 300 нм до 400 нм, достаточную для активации газообразного хлора до радикалов хлора; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие для выпуска целевого газа, свободного от концентрации метана; d) источник света для обеспечения длины волны от 300 нм до 400 нм; е) необязательно секцию сжижения, собирающую не вступивший в реакцию газообразный хлор из выходного отверстия; f) необязательно систему рециркуляции для рециркуляции газообразного хлора из выходного отверстия в реакционную камеру; g) средство для введения кислорода и катализатора в реакционную камеру после воздействия на целевой газ газообразного хлора и света от подходящего источника света, имеющего длину волны от 300 нм до 400 нм, для преобразования HCl в газообразный хлор, и систему рециркуляции для рециркуляции преобразованного газообразного хлора в реакционную камеру.

15

В другом аспекте настоящее изобретение относится к способу удаления концентрации метана из целевого газа, содержащего метан, включающему

- i) воздействие на целевой газ газообразным хлором и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны от 300 нм до 400 нм, достаточную для активации газообразного хлора до радикалов хлора, где радикалы хлора реагируют с метаном в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации метана,
- ii) необязательно пропускание целевого газа через газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов и преобразования HCl в газообразный хлор, и рециркулирование газообразного хлора, извлечённого из газоочистителя, для подачи газообразного хлора к подходящему источнику света,
- iii) необязательно сбор не вступившего в реакцию газообразного хлора путём сжижения и рециркуляция газообразного хлора к подходящему источнику света; и
- iv) обеспечение целевого газа, свободного от концентрации ЛОС.

В еще одном аспекте настоящее изобретение относится к способу удаления концентрации метана из целевого газа, содержащего метан, включающему

30

- i) воздействие на целевой газ газообразным хлором и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны от 300 нм до 400 нм, достаточную для активации газообразного хлора до радикалов хлора, где радикалы хлора реагируют с метаном в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации метана,
- 5 ii) пропускание целевого газа через газоочиститель для уменьшения или удаления побочных продуктов и преобразования HCl в газообразный хлор, и рециркулирование газообразного хлора, извлечённого из газоочистителя, для подачи газообразного хлора к подходящему источнику света,
- 10 iii) сбор не вступившего в реакцию газообразного хлора путём сжижения и рециркуляция газообразного хлора к подходящему источнику света; и
- iv) получение целевого газа, свободного от концентраций ЛОС.

Термины "уменьшить", "уменьшенный", "удаление" и "уменьшение", используемые здесь в отношении удаления метана и/или ЛОС, означают снижение, сокращение, ликвидацию, 15 деструкцию или конверсию метана и/или ЛОС с целью снижения концентрации метана и/или ЛОС в целевом газе после реакции с галогенными радикалами, в частности в предлагаемом устройстве, относительно целевого газа до реакции с галогенными радикалами, в частности перед введением в предлагаемое устройство. Удаление может составлять 100% (объём), в частности по меньшей мере 90%, по меньшей мере 80%, по меньшей мере 70%, по меньшей 20 мере 60%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 40%, по меньшей мере 30%, по меньшей мере 20%, по меньшей мере 10%, в частности от 10 до 100%. Все процентные соотношения (%) считаются отдельными вариантами осуществления настоящего изобретения. Таким образом, например, в одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к способу удаления от 10 до 100% концентрации ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, 25 включающему, необязательно в подходящей реакционной камере, воздействие на целевой газ предшественником галогенного радикала, таким как газообразный галоген, и светом от подходящего источника света с длиной волны, достаточной для активации предшественника галогенного радикала до галогенных радикалов, при этом галогенные радикалы вступают в реакцию с ЛОС в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.

30 Термин "летучие органические соединения", используемый здесь, а также сокращённый ЛОС

означает как метановые, так и неметановые ЛОС (т.е. НМЛОС), например ароматические и алифатические углеводороды, аммиак и органические фрагменты, включая гетероатомы, в частности N, S и/или O, в частности выбранные из первичных и/или вторичных агентов радиационного воздействия (парниковых газов), в частности углеводородов, в частности метана.

Используемый здесь термин “подходящая реакционная камера” означает любую реакционную камеру, имеющую по меньшей мере одно входное отверстие и по меньшей мере одно выходное отверстие и изготовленную из материала, который не разрушается газообразным галогеном и/или светом и/или галогенными радикалами, в частности стеклянные реакционные камеры и/или пластиковые реакционные камеры, необязательно оснащенную зеркалами или другими оптическими устройствами для концентрации и увеличения канала источника света.

Используемый здесь термин “подходящий источник света” означает любой источник света, который может генерировать свет с длиной волны, достаточной для удаления концентрации одного или более ЛОС, в частности метана, из целевого газа, в частности атмосферного воздуха, в особенности загрязнённого атмосферного воздуха. Как правило, источник света выбирается из одной или нескольких люминесцентных ламп, светодиодной лампы, лампы накаливания, газоразрядной лампы, солнечного света и т.д. Как правило, длина волны составляет от 540–180 нм, в частности 400–300 нм, например 380–320 нм, в особенности от 370–350 нм.

Используемый здесь термин “целевой газ” означает любой газ, в частности воздух, в особенности атмосферный воздух, содержащий, по меньшей мере метан, но обычно также и другие ЛОС, такие как НМЛОС, в концентрациях по меньшей мере 1,8 частей на миллион. Как правило, целевой газ содержит метан и ЛОС в концентрациях, которые следует снизить и/или удалить полностью или до уровня, не превышающего предел обнаружения. В одном варианте осуществления целевой газ представляет собой атмосферный воздух, включающий метан в концентрации по меньшей мере 1,8 частей на миллион.

Используемый здесь термин “атмосферный воздух” означает без ограничения городской воздух, воздух сельской местности, воздух внутри помещений, воздух, выбрасываемый

промышленными предприятиями, отработанный технологический воздух, воздух в закрытых пространствах (внутри легковых автомобилей, автобусов, грузовиков, такси и т.д.), воздух в полужакрытых пространствах (автобусные остановки, железнодорожные вокзалы, гаражи и т.д.), воздух, выбрасываемый транспортными средствами или судами, воздух, выбрасываемый в процессе строительства, воздух, выбрасываемый из биогенных или природных источников, воздух, находящийся в атмосфере Земли, воздух, неспособный избежать земного притяжения. Атмосферный воздух также включает “загрязненный атмосферный воздух”, что означает атмосферный воздух с высокой концентрацией ЛОС, в частности метана, выше 1,8 частей на миллион. Такой загрязненный атмосферный воздух обычно находится в животноводческих помещениях, источниках неорганизованных выбросах, местах гидроразрыва пласта, протекающих или заброшенных колодцах, свалках отходов, водно-болотных угодьях и т.д.

Как описано в настоящем документе, целевым газом обычно является атмосферный воздух, в частности загрязненный атмосферный воздух, но также может быть другой целевой газ, выпускаемый с химического предприятия или другой промышленной площадки и содержащий агенты, разрушающие газообразный галоген. В таких обстоятельствах реакционная камера оснащается предварительным фильтром, пригодным для удаления таких агентов перед воздействием газообразного галогена.

При использовании реакционной камеры и пропускании атмосферного воздуха через камеру часто целесообразно иметь предварительный фильтр для удаления взвешенных частиц из целевого газа перед воздействием газообразного галогена. Целевой газ, в частности атмосферный воздух, может пропускаться через реакционную камеру пассивными средствами, в частности благодаря циркуляции воздуха и/или условиям ветра, или может пропускаться через камеру с помощью вентилятора или с помощью насоса.

Когда концентрации ЛОС в целевом газе ниже предела горения, они обычно составляют менее 4,4%, например, от 1,8 частей на миллион до 4,4%.

Когда концентрации ЛОС в целевом газе превышают нижний предел горения, они обычно выше 4,4%, но ниже верхнего предела воспламенения, как правило, 16,4%

Для удаления ЛОС, в частности метана, из целевого газа, в частности атмосферного воздуха, могут быть пригодны даже небольшие концентрации газообразного галогена, то есть концентрации ниже стехиометрического уровня по отношению к концентрации ЛОС в газе, или концентрации, достаточные для поддержания реакционной способности с помощью каталитического способа рециркуляции галогена, поскольку такие концентрации газообразного галогена удаляют ЛОС из целевого газа. Как правило, и для удаления всех ЛОС концентрация газообразного галогена присутствует в количестве, находящемся по меньшей мере на стехиометрическом уровне по отношению к концентрации ЛОС в газе. Для обеспечения удаления всех следов ЛОС могут быть использованы более высокие концентрации газообразного галогена.

Известно, что газообразный галоген представляет собой газообразные хлор, бром, фтор и йод, и, следовательно, удаление ЛОС, в частности метана, согласно настоящему изобретению приводит к образованию HCl , HBr , HF и HI соответственно.

При использовании хлора в качестве газообразного галогена, предлагаемый способ генерирует HCl , что выгодно в условиях животноводства, поскольку помогает улавливать аммиак в жидкой фазе, уменьшая выбросы аммиака. Отработанная вода, выходящая из системы, может быть использована в составе шламовых отходов в качестве удобрения или для производства биогаза.

Предлагаемый способ осуществляется в подходящей реакционной камере, имеющей входное отверстие для приёма целевого газа, реакционную зону, в которой целевой газ реагирует с галогенными радикалами для удаления концентраций ЛОС, и выходное отверстие, обеспечивающее целевой газ, свободный от концентрации ЛОС. Образование газообразного галогенида водорода, не вступившего в реакцию хлора, формальдегида и оксидов углерода делает предпочтительным наличие фильтра, в частности газоочистителя, в реакционной камере перед выходным отверстием. Фильтр настраивается для удаления галогенида водорода, не вступившего в реакцию хлора, формальдегида и оксидов углерода и может быть выбран из группы, включающей капельный фильтр, активный угольный фильтр, адсорбирующий газ фильтр, электростатический фильтр, ячеистый фильтр, фильтр на основе

губки, тканевый фильтр, или катализатор для дальнейшего удаления концентраций ЛОС, или фотокатализатор, или струйный газоочистительный фильтр.

- Другой вариант осуществления включает в себя функционал, посредством которого перерабатывается галогенный материал. Например, HCl и HOCl собираются в газоочистителе (например, в специальном фильтре для удаления HCl , изготовленном из активированного угля или другого подходящего материала) и вступают в реакцию с образованием Cl_2 , который снова используется в реакционной камере. Выход HOCl можно увеличить, добавив озон. Производительность может быть улучшена с помощью противотока. Этот вариант осуществления уменьшает использование галогена и выброс галогена.
- 10 Для оптимизации протекающей реакции предпочтительно добавлять в реакционную камеру озон, где озон вступает в реакцию с соединениями галогена в степени окисления (-1) с образованием летучих и/или фотолabile соединений галогена, механизм, таким образом, становится каталитическим для галогена. Озон вводится в реакционную камеру через входное отверстие или через отверстие в стенке реактора в реакционную зону.
- 15 На Фиг.1 показан вариант предлагаемого устройства (10), в частности устройства для фотохимической очистки воздуха цилиндрической формы (20). Воздух, содержащий целевой газ, например метан, поступает через входное отверстие (12) устройства (10), далее в реакционную зону (22) через катализатор, фильтр и/или газоочиститель (24) и выходит через выходное отверстие (28). Целевой газ вступает в реакцию с газообразным хлором в реакционной зоне (22), когда лампы (14) фотолитически генерируют радикалы хлора, показанные здесь в виде матрицы светодиодных ламп (14). Газообразный хлор впрыскивается (16) в реакционную камеру перед реакционной зоной и поступает в реакционную зону (22) для образования радикалов хлора, как описано выше. Затем радикалы хлора вступают в реакцию с метаном в целевом газе для удаления указанного метана из целевого газа. Побочные
- 20 продукты удаляются с помощью катализатора, фильтра и/или газоочистителя (24). Датчик (18) для измерения концентрации газа расположен после светодиодной матрицы (14), а другой аналогичный датчик (26) расположен после катализатора, фильтра и/или газоочистителя (24).
- 25

На Фиг.2 показан вариант осуществления предлагаемого устройства (30), в частности устройства для фотохимической очистки воздуха в форме резервуара. Воздух, содержащий целевой газ, пропускается через входное отверстие (32) устройства (30), далее в реакционную зону (60) через газоочиститель (42) и выходит через выходное отверстие (34). В нижней части резервуара имеется поддон (36). Целевой газ вступает в реакцию с газообразным хлором, подаваемым через входное отверстие (46), и газообразным озоном, подаваемым через входное отверстие (46), в реакционной зоне, и светодиодные лампы (50) фотолитически генерируют радикалы хлора. Озон добавляется в камеру реактора, чтобы способствовать образованию HOCl . Лампы (48) предназначены для фотолитического образования радикалов хлора в газоочистителе (42). Затем радикалы хлора вступают в реакцию с метаном в целевом газе для удаления указанного метана из целевого газа. В верхней части резервуара установлена форсунка (40) для распыления воды, подводимой сверху от ёмкости (52) для воды, подаваемой из источника водоснабжения (56). Рециркуляция газообразного хлора со дна резервуара (54) с помощью насоса (38) и в ёмкость для воды (52). Датчик (58) для измерения концентрации газа, физических условий и т.д. расположен в камере над газоочистительной средой (42). Другой датчик (60) для измерения концентрации газа, физических условий и т.д. расположен в камере под газоочистительной средой (42).

На Фиг.3 показан вариант осуществления предлагаемого устройства (60) в рамках системы вентиляции, для использования в животноводческом помещении (62). Дымоход является неотъемлемой частью крыши (64) и содержит предлагаемое устройство. Воздух, содержащий целевой газ (80), из помещения пропускается через вентиляционную систему/дымоход, содержащие предлагаемое устройство. Вентилятор (76) прогоняет воздух через дымоход из входного отверстия (74), где подается газообразный хлор, и воздух поступает в реакционную зону (70), где газообразный хлор подвергается воздействию ультрафиолетового излучения, например света от светодиодных ламп (72), чтобы инициировать образование радикалов хлора. Затем радикалы хлора вступают в реакцию с метаном в целевом газе для удаления указанного метана из целевого газа, а остаточный газ пропускается через катализатор, фильтр и/или газоочиститель (82) и далее выводится через выходные отверстия в верхней части

дымохода (66). Датчик для измерения концентрации газа, физических условий и т.д. размещён как в верхней части (68), так и в нижней части (78) дымохода.

На Фиг.4 показан вариант осуществления предлагаемого устройства (90) для улавливания и
5 деструкции метана из источников неорганизованных выбросов, в частности газа, утекающего
из земли, с мусорных свалок, из канализации, заброшенных колодцев или шахт. Система
деструкции метана (90) имеет кромку (92), покрывающую землю и приспособленную для
сбора выбросов метана (114). Устройство (90) оснащено ножками для поддержки устройства
(94, 96, 98). Вентилятор (100) пропускает поступающий целевой газ/воздух (102) из
10 источников неорганизованных выбросов вверх через дымоход (внутренний объём
устройства). Целевой газ перемещается в реакционную камеру и далее в реакционную зону,
где газообразный хлор, вводимый из источника (104) в реакционную камеру, подвергается
воздействию ультрафиолетового света, например света от светодиодных ламп (108), чтобы
инициировать образование радикалов хлора в реакционной зоне. Затем радикалы хлора
15 вступают в реакцию с метаном в целевом газе для удаления указанного метана из целевого
газа, а остаточный газ пропускается через катализатор, фильтр и/или газоочиститель (110),
расположенный после реакционной зоны, и далее выводится через верх дымохода (112) и
выпускается в атмосферу (116). Датчик для измерения концентрации газа, физических
условий и т.д. размещён как в верхней части (120), так и в нижней части (106) дымохода.

20

На Фиг.5 показан вариант осуществления предлагаемого устройства (150) для улавливания и
деструкции метана из атмосферного воздуха, подаваемого через входное отверстие (152).
Вентилятор (154) пропускает поступающий целевой газ/воздух (152) из атмосферного воздуха
вверх через дымоход (внутренний объём устройства). Атмосферный воздух поступает в
25 реакционную камеру и далее в реакционную зону, где газообразный хлор, вводимый из
входного отверстия источника (164) в реакционную камеру, и озон, вводимый из входного
отверстия источника (162) в реакционную камеру, подвергаются воздействию
ультрафиолетового света, например света от светодиодных ламп (156, 158), чтобы
инициировать образование радикалов хлора в реакционной зоне. Затем радикалы хлора
30 вступают в реакцию с метаном в целевом газе для удаления указанного метана из

атмосферного воздуха, а остаточный воздух выпускается через верх дымохода (174) и высвобождается в атмосферу (170). Озон добавляется в реактор, чтобы способствовать образованию HOCl. Датчик для измерения концентрации газа, физических условий и т.д. размещается как в верхней части (178), так и в нижней части (176) дымохода. В верхней части

5 устройства (150) в реакционной камере расположена форсунка (168) для распыления воды, подаваемой сверху из резервуара для водного раствора (160). Происходит рециркуляция воды из нижней части устройства в резервуар для воды (160) с помощью насоса (166) через трубку к форсунке (168).

10 На Фиг. 6 показана одна предпочтительная предлагаемая система, имеющая предлагаемое устройство и выполняющая предлагаемый процесс. Окисление HCl может быть осуществлено с помощью реакции отбеливания $\text{HCl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$, но предпочтительнее окислять HCl с использованием реакции Дикона: $4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Существуют катализаторы для ускорения этого процесса, последнее поколение основано на оксиде рутения (IV),

15 разработанном компанией Sumitomo Corp. Более ранние процессы включают Kel-Chlor, Shell-Chlor и MT-Chlor. Реакция Дикона является предпочтительной альтернативой реакции отбеливания. На Фиг. 6 показан обзор предлагаемого высокоинтенсивного процесса. Воздушный поток, содержащий метан, поступает снизу справа. Газ Cl₂ добавляется и фотолизуется ультрафиолетовыми светодиодными лампами с образованием радикалов хлора,

20 которые вступают в реакцию с метаном с образованием HCl. HCl извлекается с помощью газоочистителя и превращается в газообразный хлор (Cl₂) в соответствии с реакцией Дикона. Этот газообразный хлор затем используется повторно. Кроме того, в потоке отходящего газа присутствует некоторое количество Cl₂, которое улавливается с помощью конденсации, как показано. Как показано, воздух поступает в систему для образования чистого кислорода,

25 используемого во время реакции Дикона. Это возможная предпочтительная альтернатива использованию чистой среды. Далее, как показано, Cl₂ извлекается из потока отработанного воздуха путём сжижения. Управление температурой с использованием теплообменника повышает эффективность данного процесса. Перед удалением Cl₂ необходимо сначала удалить из воздуха водяной пар.

На Фиг. 7 показана одна предпочтительная предлагаемая система, в которой реакция Дикона действует на весь воздушный поток, таким образом, устраняя необходимость в газоочистителе. В дополнение к устранению необходимости в газоочистителе, эта модификация исключает экстрактивную ректификацию и, возможно, также очистку кислорода адсорбцией с перепадом давления.

На Фиг. 8 показан выбор длины волны светодиода, и, как видно, сечение поглощения хлора увеличивается от 400 до 320 нм, однако стоимость светодиодных ламп увеличивается по мере уменьшения длины волны. Оптимальная длина волны фотолиза составляет около 365 нм в диапазоне от 300 до 400 нм.

На Фиг. 9 показана другая предпочтительная предлагаемая систем, которая представляет собой включение второго газоочистителя для регенерации Cl_2 . В вопросе снижения энергозатрат лучшим выбором является реакция Дикона и охлаждение.

На Фиг. 10 показана модель фотохимических реакций, происходящих во время использования предлагаемых устройства, процесса и системы. Было определено, что образование хлорированных производных метана очень незначительно и не имеет значения. Основным продуктом окисления метана является монооксид углерода. Это может быть нежелательным, и поэтому может быть полезно преобразовать его в CO_2 с использованием катализатора. Для этой цели доступны различные катализаторы, в частности катализатор на основе платины или палладия, альтернативно родия и рутения.

Ниже описаны некоторые конкретные варианты осуществления. Первый представляет собой газофазный реактор с дополнительной системой улавливания продуктов. Второй представляет собой интегрированный гетерогенный реактор с циклированием хлора. Обратите внимание, что соединения хлора в газовой и водной фазах вызывают коррозию, и необходимо соблюдать осторожность при выборе материалов, совместимых с химическими свойствами реакторов. Например, стекло и многие виды пластика инертны.

Газофазный фотохимический реактор на основе атомов хлора.

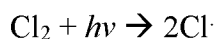
Способ включает следующие этапы: предполагается, что отработанный воздух проходит по каналу.

1. Введение предшественника хлора.

5 Подходящим предшественником является молекула, которая может быть подвергнута фотолизу с образованием атомов хлора (Cl), в частности газообразный хлор (Cl₂). Газообразный хлор можно приобрести или его можно дешево и легко произвести на месте в небольших количествах, которые требуются для процесса, с использованием электролиза соленой воды [Harnung and Johnson 2012]. Можно также использовать другие газы, содержащие хлор, которые могут быть подвергнуты фотолизу.

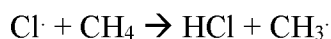
10 2. Активация предшественника хлора с образованием атомов хлора.

Предпочтительным способом является фотолиз, в частности

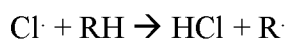


15 Источником света является любой свет, способный к фотолизу предшественника, в частности солнечный, например светодиодная лампа, люминесцентная лампа, газоразрядная лампа, лампа накаливания, лазер. Длина волны света (" $h\nu$ " означает фотон) короче 550 нм, в идеале ультрафиолетовый свет с длиной волны короче 400 нм, например, светодиод с длиной волны 360 нм.

За этим следует реакция атома хлора с загрязнителем, в случае метана:



20 В более общем случае:



где RH представляет собой углеводород-загрязнитель с атомом водорода H, а остальная часть молекулы называется "R", R и H вместе включают метан, бензол, каприновую кислоту и т.д., и т.д.

25 После первоначального воздействия Cl· молекулярный фрагмент R· начинает реагировать с атмосферным молекулярным кислородом O₂ и другими окисляющими веществами, присутствующими в системе; ключом к инициированию этого каскада реакций является первоначальное воздействие Cl·.

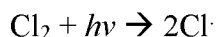
3. Окисленный материал удаляется из воздушного потока.

Это можно выполнить с помощью фильтра дисперсных частиц, в частности волоконно-оптического фильтра [Ardkapan 2014] или электрофильтра [Kwiatkowski 2019]. Предпочтительным вариантом осуществления является мокрый газоочиститель, поскольку он может улавливать частицы, действуя в качестве диффузионной батареи, а также улавливать
5 кислоты, в частности соляную и органические кислоты, образующиеся в результате фотохимических реакций, из-за их сродства к водной фазе.

Второе циклирование хлора с использованием газоочистительного фотохимического реактора (гетерогенный реактор, противоток, насадочный слой).

10 Камера газоочистителя заполнена объектами, способными рассеивать поток водной фазы, увеличивая площадь поверхности и площадь контакта между жидкостью и воздухом и не блокируя ультрафиолетовый свет, в частности специально разработанными шариками или кольцами Рашига из инертного материала. Водная фаза течёт вниз через слой, например, из форсунки, действующей в качестве лейки в верхней части реактора. Воздушный поток
15 поступает вверх снизу или сбоку. Ультрафиолетовые лампы прикреплены к внешней стороне реактора. Для инициирования процесса вводится хлор.

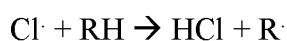
Например, с использованием газообразного хлора,



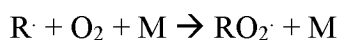
И, в присутствии метана:



данная реакция является конкретным примером общей формы:



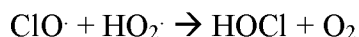
Последовательно образовавшийся радикал реагирует с кислородом следующим образом:



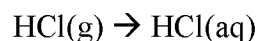
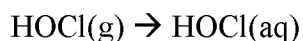
25 Где 'M' — молекула из атмосферы, которая действует как партнер при столкновении. Система производит $\text{RO}_2\cdot$ и $\text{HO}_2\cdot$ благодаря известным процессам (например, $\text{RO}\cdot$ и один атом углерода образуют $\text{CH}_3\text{O}\cdot$, что приводит к образованию $\text{RO}_2\cdot$ и $\text{HO}_2\cdot$), что приводит к образованию $\text{ClO}\cdot$



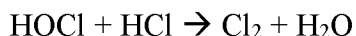
30 Затем $\text{ClO}\cdot$ вступает в реакцию с $\text{HO}_2\cdot$ образуя HOCl и кислород:



HOCl и HCl легко растворяются в воде:



5 Где они реагируют с преобразованием Cl₂:



Эта реакция завершает цикл, позволяя повторно использовать хлор. Если условия позволяют, электролиз водных сред, в которых растворены HOCl и HCl, может дополнительно увеличить выработку газообразного хлора.

10 Эти реакции перечислены, чтобы пояснить основные особенности химического процесса, они не ограничивают изобретение и не являются исчерпывающим списком.

Кроме того, поскольку водная фаза движется вниз, в то время как загрязнённый воздух движется вверх, это способствует сохранению хлора в системе, повышая каталитическую эффективность и снижая затраты и утечку хлора. При необходимости может быть добавлен

15 второй газоочиститель или фильтр после гетерогенного реактора/газоочистителя в качестве дополнительного фильтра для улавливания частиц хлора.

В реактор может быть добавлен озон для стимулирования образования HOCl, чтобы поддерживать стехиометрию HCl к HOCl для оптимизации рециркуляции хлора.

Водная фаза поступает в газоочиститель, проходит через него и собирается внизу, где её
20 можно слить или перекачать в резервуар, из которого её можно слить или перекачать в верхнюю часть системы для рециркуляции через газоочиститель. Необходимо обновлять эту жидкость либо путём её замены через определённые промежутки времени, либо путём постоянного введения медленного потока воды в систему; отработанную воду можно сливать в городскую систему водоснабжения при условии, что она соответствует требованиям к
25 уровню загрязнения и т.д. В качестве альтернативы, её можно использовать для повышения кислотности системы выработки биогаза, например, с использованием отходов животноводства на ферме. Хлор добавляется в систему медленно, чтобы компенсировать потери в газовой и водной фазах.

Система управления регулирует добавление воды, хлора, ультрафиолетовое излучение, расход
30 воздуха, откачивание. При введении озона в систему возникает мощный эффект

рециркуляции. Это означает, что для инициирования процесса используется лишь небольшое количество хлора и света, а затем для его поддержания можно использовать озон, что еще больше повышает производительность и экономит энергию, а также уменьшает выбросы хлора.

5

Вариант осуществления для животноводческого помещения

Новая система, как показано на Фиг. 6, использует сценарий животноводческого помещения для определения производительности. Она может быть построена в качестве прототипа для демонстрации эффективности.

10 При условиях $60000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($17 \text{ м}^3/\text{с}$) и 50 частей метана на миллион.

Предпочтительные условия:

Время выдержки от 5 до 20 секунд

Объём от 100 до 400 м^3

Скорость фотолиза хлора от 0,1 до 10 с^{-1}

15 Концентрация хлора от 100 до 50000 частей на миллион

Производительность удаления метана $>90\%$ предпочтительно $>95\%$

Общая мощность 50 кВт.

Вариант осуществления для шахт

20 Технико-экономическое обоснование сосредоточено на отработанном воздухе из шахты с расходом $150 \text{ м}^3/\text{с}$, температурой 40°C , относительной влажностью 100%, мольной долей метана 5000 частей на миллион.

Предпочтительная система требует времени выдержки 15 с, соответствующего объёму 2250 м^3 , скорости фотолиза $0,2 \text{ с}^{-1}$ и 8750 частей Cl_2 на миллион, светодиодного освещения, процесса, катализируемого оксидом рутения, разработанного компанией Sumitomo Corp., для извлечения хлора, что позволяет достичь 99% конверсии метана при входной мощности 14,6 МВт. Потребляемая энергия может быть дополнительно снижена примерно до 11,9 МВт в зависимости от модификаций процесса, катализируемого оксидом рутения, разработанного компанией Sumitomo Corp., или снижена за счёт более эффективного охлаждения.

30

Предпочтительными диапазонами в приведенном выше варианте осуществления являются:

Время выдержки от 5 до 25 с

Скорость фотолиза хлора от 0,1 до 10 с⁻¹

5 Концентрация хлора от 100 до 50000 частей на миллион

Производительность удаления метана >90% предпочтительно >95%

10 Все ссылки, включая публикации, патентные заявки и патентообладатели, приведенные в настоящем документе, настоящим включаются посредством ссылки в том же объеме, как если бы каждая ссылка была индивидуально и конкретно указана для включения посредством ссылки и была изложена в настоящем документе полностью.

Все заголовки и подзаголовки используются в настоящем документе исключительно для удобства и не ограничивают настоящее изобретение.

15 Любая комбинация вышеописанных элементов во всех возможных их вариациях охватывается изобретением, если в настоящем документе не указано иное или иным образом явно не противоречит контексту.

20 Приведенные в настоящем документе диапазоны значений предназначены исключительно для того, чтобы служить упрощенным методом ссылки по отдельности на каждое отдельное значение, попадающее в диапазон, если в настоящем документе не указано иное, и каждое отдельное значение включено в спецификацию, как если бы оно было в отдельности указано в настоящем документе. Если не указано иное, все точные значения, приведенные в настоящем документе, отражают соответствующие приблизительные значения (например, все точные значения, приводимые в качестве примера, предоставленные в отношении конкретного фактора или измерения, могут рассматриваться как также обеспечивающие соответствующее приблизительное измерение при использовании слова “приблизительно”, где это уместно).

25 Все методы, описанные в настоящем документе, могут быть выполнены в любом подходящем порядке, если в настоящем документе не указано иное или иным образом явно не противоречит контексту.

Указания на единственное и множественное число и аналогичные обозначения, используемые в контексте описания изобретения, должны толковаться как сочетающие в себе как единственное, так и множественное число, если в настоящем документе не указано иное или явно не противоречит контексту. Таким образом, указания на единственное и множественное
5 число могут означать по меньшей мере один или несколько предметов.

Термин “и/или”, используемый в настоящем документе, означает каждую отдельную альтернативу, а также альтернативы в совокупности, например, “первый и/или второй барьер” обозначает только один барьер, только другой барьер или и первый, и второй барьер одновременно.

10 Использование любых без исключения примеров или вводных слов перед примером (например, “в частности”), представленных в настоящем документе, предназначено исключительно для лучшего освещения изобретения и не ограничивает объём изобретения, если не указано иное. Никакая формулировка в спецификации не должна толковаться как указывающая на существенность какого-либо элемента для практического применения
15 изобретения, если только это не указано явно.

По всему объёму описания, когда используются формулировки “выбирается из” или “выбирается из группы, включающей”, это также означает все возможные комбинации указанных терминов, а также каждый отдельный термин.

Цитирование и включение патентных документов в настоящий документ сделано
20 исключительно для удобства и не отражает какого-либо мнения о действительности, патентоспособности и/или правовой обеспеченности таких патентных документов.

Описание в настоящем документе любого аспекта или варианта осуществления изобретения с использованием таких терминов, как “представляющий собой”, “имеющий”, “включающий” или “содержащий”, со ссылкой на элемент или элементы предназначено для обеспечения
25 поддержки аналогичного аспекта или варианта осуществления изобретения, который “состоит из”, “ по существу состоит из”, или “по существу представляет собой” этот конкретный элемент или элементы, если иное не указано или явно не противоречит контексту (например,

композиция, описанная в настоящем документе как представляющая собой конкретный элемент, должна пониматься также как композиция, состоящая из этого элемента, если иное не указано или явно не противоречит контексту).

Настоящее изобретение включает в себя все модификации и эквиваленты предмета, описанного в аспектах или формуле изобретения, представленных здесь, в максимальной степени, разрешенной применимым законодательством.

Признаки, раскрытые в вышеизложенном описании, могут, как по отдельности, так и в любой их комбинации, быть материалом для реализации изобретения в различных его формах.

Каждый вариант осуществления, описанный в связи с различными аспектами, также применим к другим аспектам, описанным выше, как по отдельности, так и в комбинации.

КОНКРЕТНЫЕ ВАРИАНТЫ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Животноводческое помещение

Повышенные концентрации метана обычно наблюдаются в воздухе, выходящем из животноводческих помещений, например, для содержания дойных коров, крупного рогатого скота, свиней, кур и другого домашнего скота. Данный вариант осуществления, показанный на Фиг. 3, устанавливается в систему выпуска воздуха, обеспечивающую простой, не требующий технического обслуживания и низкочатратный способ деструкции метана. Например, Кортус и др. [Cortus 2015] обнаружили, что дойная корова выделяет 390 г метана в день. Для коровника на 300 коров и вентиляции 1500 м³ в час на корову концентрация метана в выходящем воздухе составляет 16 частей на миллион. Такое помещение может иметь несколько вентиляционных установок, каждая производительностью от 10000 до 20000 м³ воздуха в час. Это простой прямой хлорный реактор, который при необходимости может быть оснащён газоочистителем и системой рециркуляции хлора.

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Название
Q	м ³ /час	20000	объёмный расход
r _m (Cl)	m(атомов Cl) г/час	2000	скорость добавления Cl
d	м	1	Диаметр трубы
x(CH ₄)	частей на миллион	16	соотношение смеси метана

x(VOC)	частей на миллион	20	соотношение смеси ЛОС
P	Вт	3000	Мощность диода при 360 нм
l	м	3	длина области фотолиза
v	м/с	7	скорость потока

Неорганизованные выбросы

- 5 Метан выделяется из таких источников, как протекающие трубопроводы природного газа, угольные пласты, протекающие резервуары для хранения, таяние вечной мерзлоты и свалки. Этот вариант осуществления (Фиг. 4) собирает воздух из данных источников неорганизованных выбросов и уничтожает метан и неприятный запах. Портативный, для временной установки.

10

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Название
Q	м ³ /час	1000	объёмный расход
r_m(Cl)	m(атомов Cl) г/час	50	скорость добавления Cl
d	м	1	Диаметр трубы
x(CH ₄)	частей на миллион	10	соотношение смеси метана
x(VOC)	частей на миллион	5	соотношение смеси ЛОС
P	Вт	250	Мощность диода при 360 нм
l	м	1	длина области фотолиза
v	м/с	1	скорость потока

Промышленный газоочиститель

- 15 Промышленные условия могут предъявлять повышенные требования к системе контроля выбросов в целях сокращения выбросов побочных продуктов. Постоянная установка (Фиг. 5) может служить основанием для системы с более высокой производительностью; поэтому данное устройство включает в себя газоочиститель для улавливания выбросов HCl и рециркуляции хлора.

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Название
-------------	---------------	----------	----------

Q	м ³ /час	5000	объёмный расход
r_m(Cl)	m(атомов Cl) г/час	250	скорость добавления Cl
d	м	1	Диаметр трубы
x(CH ₄)	частей на миллион	10	соотношение смеси метана
x(VOC)	частей на миллион	5	соотношение смеси ЛОС
P	Вт	750	Мощность диода при 360 нм
l	м	2	длина области фотолиза
v	м/с	2	скорость потока

Испытательный прототип

Портативная система (в частности показанная на Фиг. 1 или Фиг. 2) для использования в лаборатории для оптимизации и для проверки технической осуществимости на месте.

5

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Название
Q	м ³ /час	500	объёмный расход
r_m(Cl)	m(атомов Cl) г/час	25	скорость добавления Cl
d	м	1	Диаметр трубы
x(CH ₄)	частей на миллион	10	соотношение смеси метана
x(VOC)	частей на миллион	5	соотношение смеси ЛОС
P	Вт	100	Мощность диода при 360 нм
l	м	1	длина области фотолиза
v	м/с	0,5	скорость потока

Очистка атмосферного воздуха

Существует значительный интерес к системе, которая могла бы удалять метан из воздуха при концентрациях, соизмеримых с атмосферными.

10

Обозначение	Ед. измерения	Значение	Название
Q	м ³ /час	10000	объёмный расход
r_m(Cl)	m(атомов Cl) г/час	75	скорость добавления Cl
d	м	2	Диаметр трубы
x(CH ₄)	частей на миллион	2	соотношение смеси метана
x(VOC)	частей на миллион	1	соотношение смеси ЛОС

P	Вт	400	Мощность диода при 360 нм
l	м	3	длина области фотолиза
v	м/с	0,9	скорость потока

Ссылки

- Adnew 2016: Adnew, G. A., C. Meusinger, N. Bork, M. Gallus, M. Kyte, V. Rodins, T. Rosenørn, and M. S. Johnson, Gas-phase advanced oxidation as an integrated air pollution control technique (Расширенное окисление в газовой фазе как комплексный метод борьбы с загрязнением воздуха), AIMS Environmental Science 3(1), 141-158, doi: 10.3934/environsci.2016.1.141, 2016.
- Ardkapan 2014: S. R. Ardkapan, M. S. Johnson, S. Yazdi, A. Afshari, and N. C. Bergsøe, Filtration efficiency of an electrostatic fibrous filter: Studying filtration dependency on ultrafine particle exposure and composition (Эффективность фильтрации электростатического волокнистого фильтра: изучение зависимости фильтрации от воздействия и состава ультрадисперсных частиц), Journal of Aerosol Science, 72, 14-20, 2014.
- Atkins 2013: Atkins, P. and De Paula, J., 2013. Elements of physical chemistry (Элементы физической химии). Oxford University Press, USA.
- Cortus 2015: Cortus, E.L., Jacobson, L.D., Hetchler, B.P., Heber, A.J. and Bogan, B.W., 2015. Methane and nitrous oxide analyzer comparison and emissions from dairy freestall barns with manure flushing and scraping (Сравнение анализаторов метана и закиси азота и выбросов из молочных ферм со стойлами открытого типа с промывкой и выскабливанием навоза). Atmospheric Environment, 100, pp.57-65.
- Darnall, K. R., Lloyd, A. C., Winer, A. M., and Pitts, J. N. (1976). Reactivity Scale for Atmospheric Hydrocarbons Based on Reaction with Hydroxyl Radical (Шкала реакционной способности атмосферных углеводородов, основанная на реакции с гидроксильным радикалом). Environmental Science and Technology, 10(7):692–696.
- Francis 2015: Pope Francis, 2015. Encyclical on climate change and inequality: On care for our common home (Энциклика об изменении климата и неравенстве: О заботе о нашем общем доме). Melville House.

- IPCC 2013: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M., 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Изменение климата 2013: Основы физической науки. Вклад рабочей группы I в пятый оценочный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата), 1535.
- Harnung and Johnson, 2012: Harnung, S.E. and Johnson, M.S., 2012. Chemistry and the Environment. (Химия и окружающая среда) Cambridge University Press.
- Johnson 2009: M. S. Johnson and J. Arlemark, A method and device for cleaning air, European Patent Agency 08388017.9; International Patent Cooperation Treaty PCT/EP2009/055849 (Способ и устройство для очистки воздуха, Европейское патентное агентство 08388017.9; Договор о международной патентной кооперации PCT/EP2009/055849), 2009; U.S. Patent 8,318,084 B2, 2011.
- Kwiatkowski 2019: S. Kwiatkowski, M. Polat, W. Yu and M. S. Johnson, Industrial Emissions Control Technologies: Introduction, In: Meyers R. (eds) Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (Технологии контроля промышленных выбросов: введение. Из: Энциклопедии науки и технологий в области устойчивого развития под ред. Мейерс Р.), Springer, New York, NY, 2019, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1083-1.
- NIST Chemistry WebBook: NIST Standard Reference Database Number 69 (Стандартная справочная база данных Национального института по стандартизации и технологии (NIST) номер 69), <https://webbook.nist.gov/chemistry/>, DOI: <https://doi.org/10.18434/T4D303>, 2018.
- U.S. DoD 2014: Quadrennial Defense Review 2014 (Четырехгодовой обзор обороны за 2014 год), United States of America Department of Defense (Министерство обороны Соединенных Штатов Америки)
- WB 2016: World Bank (Всемирный банк). 2016. The cost of air pollution : strengthening the economic case for action (English) (Стоимость загрязнения воздуха: усиление экономических обоснований для принятия мер (на английском языке)). Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/The-cost-of-air->

pollution-strengthening-the-economic-case-for-action

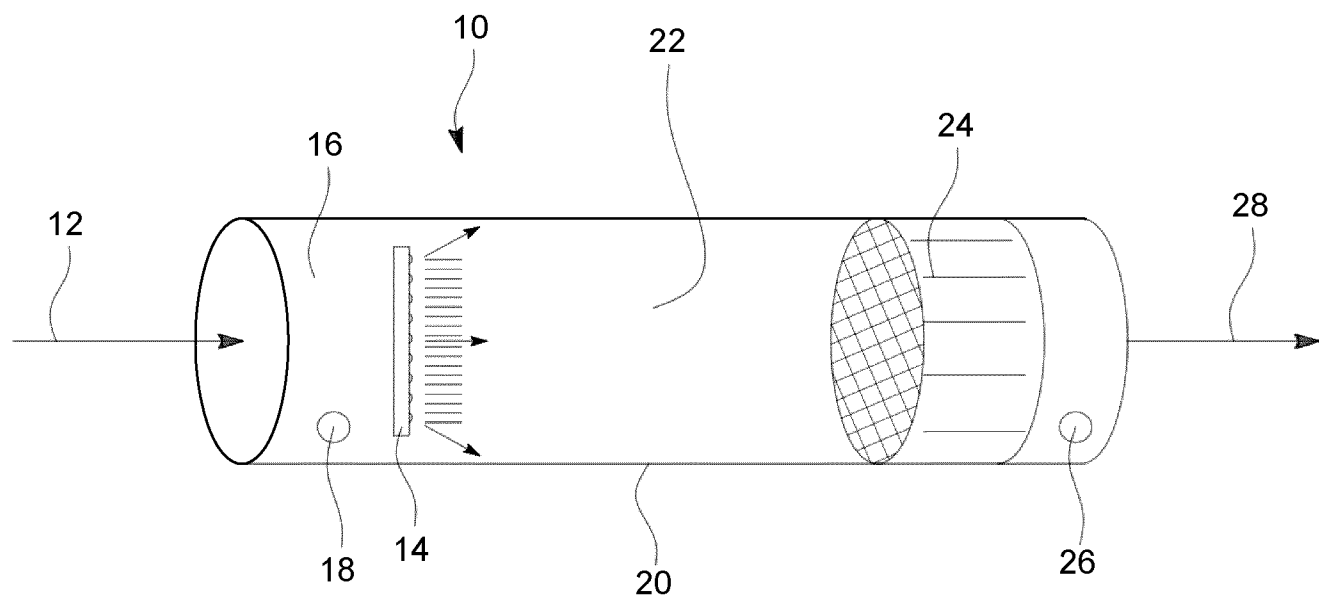
- WHO Ambient: Ambient (outdoor) air pollution, World Health Organization Fact Sheet (Загрязнение атмосферного (наружного) воздуха, Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения), 08-05-2018, accessed 4 March 2020, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- WHO Indoor: Household air pollution and health, World Health Organization Fact Sheet (Загрязнение воздуха в бытовых помещениях и здоровье, Информационный бюллетень Всемирной организации здравоохранения), 08-05-2018, accessed 4 March 2020, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

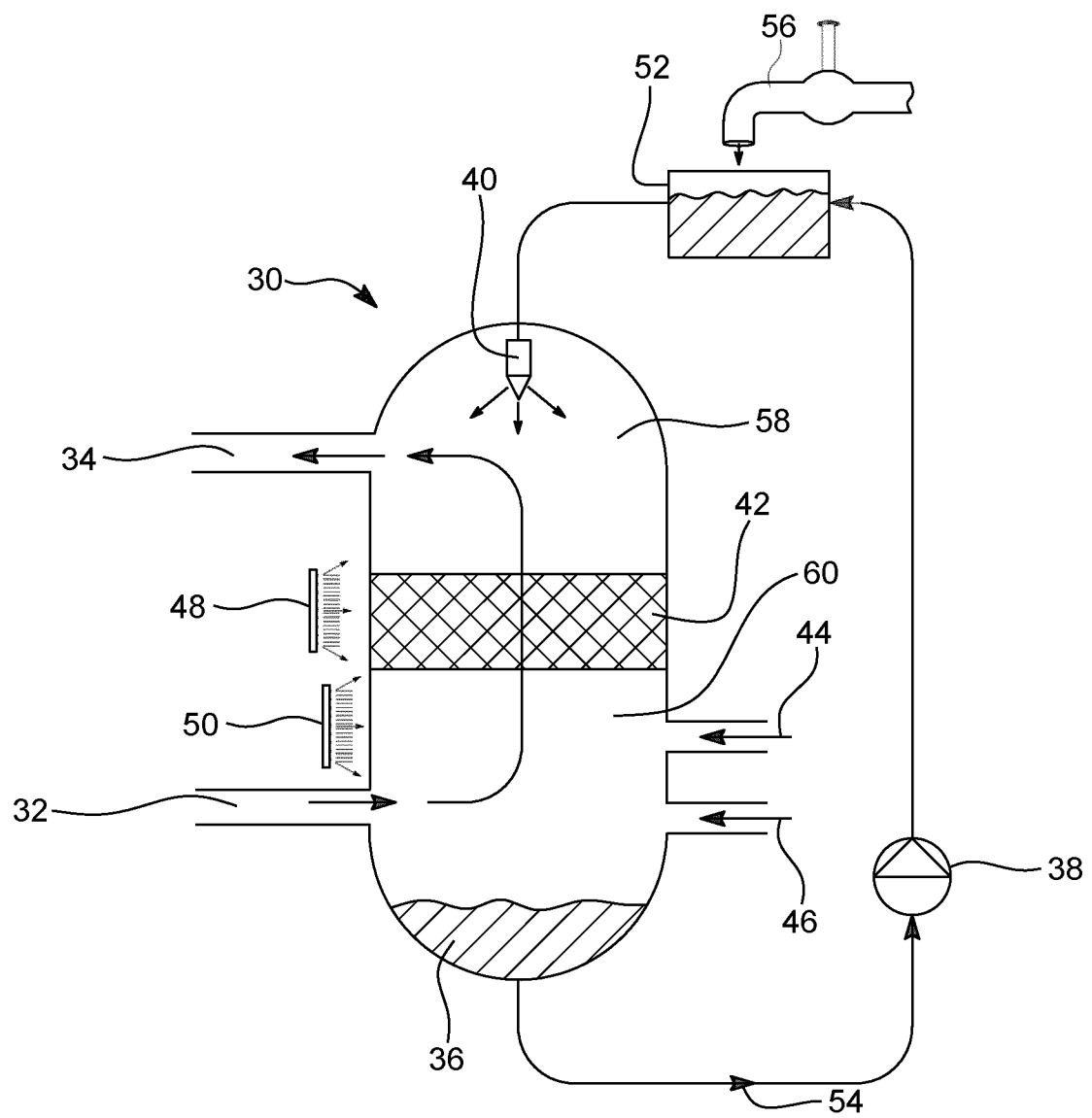
1. Способ для удаления концентраций ЛОС, в частности метана, из целевого газа, содержащего ЛОС, включающий, необязательно в подходящей реакционной камере, воздействие на целевой газ предшественником галогенного радикала, таким как газообразный галоген, и светом от подходящего источника света с длиной волны, достаточной для активации предшественника галогенного радикала до галогенных радикалов, при этом галогенные радикалы вступают в реакцию с ЛОС в целевом газе, обеспечивая целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.
2. Способ, согласно пункту 1 формулы, в котором ЛОС в целевом газе выбирается из первичных и/или вторичных агентов радиационного воздействия (парниковых газов), в частности углеводородов, в особенности метана.
3. Способ, согласно пунктам 1 или 2 формулы, в котором целевым газом, загрязнённым ЛОС, является загрязнённый атмосферный воздух, воздух в животноводческих помещениях, неорганизованные выбросы и т.д.
4. Способ, согласно любому из пунктов 1–3 формулы, в котором газообразный галоген выбирается из газообразных хлора и брома, в частности газообразного хлора, где газообразный хлор закупается или производится на месте с использованием электролиза солёной воды или входит в состав других газов, содержащих хлор, которые могут быть подвергнуты фотолизу.
5. Способ, согласно любому из пунктов 1–4 формулы, в котором длина волны составляет от 540–180 нм, в частности 400–300 нм, например 380–320 нм, в особенности от 370–350 нм.
6. Способ, согласно любому из пунктов 1–5 формулы, в котором источник света выбирается из люминесцентной лампы, светодиодной лампы, лампы накаливания, газоразрядной лампы, солнечного света или их комбинаций.
7. Способ, согласно любому из пунктов 1–6 формулы, в котором концентрации ЛОС в целевом газе ниже предела горения.

8. Способ, согласно пункту 7 формулы, в котором ЛОС представляет собой метан в концентрации от 1,8 частей на миллион до 5 % (50000 частей на миллион).
9. Способ, согласно любому из пунктов 1–6 формулы, в котором концентрации ЛОС в целевом газе выше предела горения.
- 5 10. Способ, согласно любому из пунктов 1–9 формулы, в котором концентрация газообразного галогена присутствует в количестве, которое находится по меньшей мере на стехиометрическом уровне по отношению к концентрации ЛОС в газе.
11. Способ, согласно любому из пунктов 1–10 формулы, в котором газ, свободный от концентрации ЛОС, в частности метана, пропускается через фильтр или газоочиститель для
10 уменьшения или удаления галогеновой кислоты, например, HCl, не вступившего в реакцию хлора, формальдегида, CO, CO₂.
12. Способ, согласно любому из пунктов 1–11 формулы, в котором имеется подходящая реакционная камера, имеющая входное отверстие для приёма целевого газа, реакционную зону, в которой целевой газ вступает в реакцию с радикалами галогена для удаления
15 концентраций ЛОС, необязательно систему для увеличения канала источника света (например, зеркал), необязательно фильтр или газоочиститель и выходное отверстие, обеспечивающее целевой газ, свободный от концентрации ЛОС.
13. Способ, согласно любому из пунктов 1–12 формулы, в котором озон в форме жидкости или газа, такой как газообразный озон, добавляется в реакционную камеру в подходящей
20 концентрации для превращения галогенидов (или других соединений галогена в степени окисления I) в летучие и/или фотолабильные соединения галогена.
14. Способ, согласно любому из пунктов 1–13 формулы, в котором элементы целевого газа, которые могут нанести вред устройству или разрушить газообразный галоген, удаляются перед воздействием газообразного галогена.
- 25 15. Способ, согласно любому из пунктов 1–14 формулы, в котором целевой газ пропускается через предварительный фильтр для удаления более крупных частиц из целевого газа перед воздействием газообразного галогена.

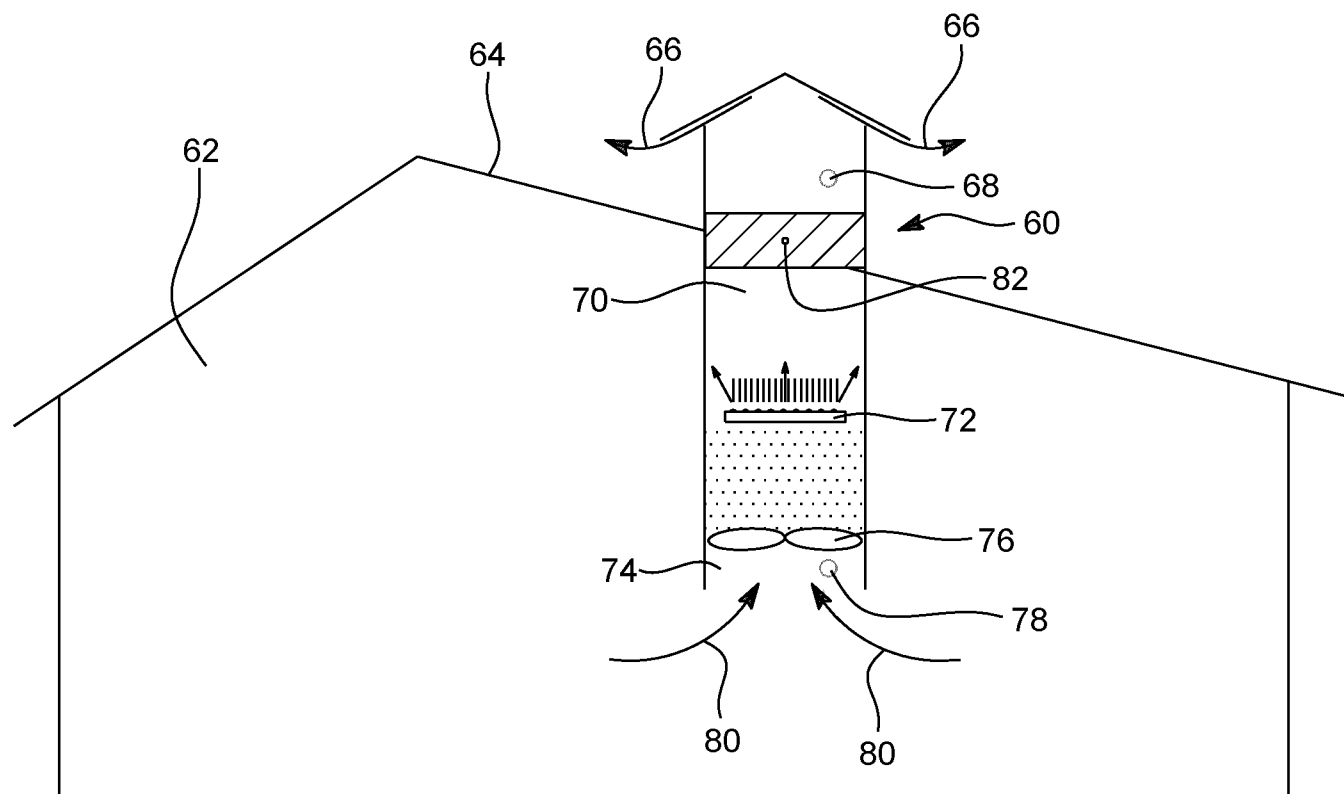
16. Способ, согласно любому из пунктов 1–15 формулы, в котором присутствует реакционная камера, и камера содержит два отсека, один первый реакционный отсек и второй отсек, фильтрующий/насадочный слой, разделяющий первый и второй отсеки, в которой целевой газ после реакции в первом отсеке пропускается через фильтрующий/насадочный слой во второй отсек, в котором целевой газ, свободной от концентрации ЛОС, подвергается воздействию воды, которая вступает в реакцию с галогеновой кислотой с образованием галогена, который рециркулируется в реакционный отсек.
17. Устройство для удаления концентраций ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС, где устройство содержит а) реакционную камеру для воздействия на целевой газ газообразным галогеном и светом от подходящего источника света, имеющим длину волны, достаточную для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; б) входное отверстие для приёма целевого газа; с) выходное отверстие для выпуска целевого газа, свободного от концентрации ЛОС; d) источник света для обеспечения длины волны, достаточной для активации газообразного галогена до галогенных радикалов; и е) необязательно фильтр и/или газоочиститель для уменьшения или удаления галогеновой кислоты, например, HCl , не вступившего в реакцию галогена, например, хлора, формальдегида, CO , CO_2 , прежде чем целевой газ, свободный от концентраций ЛОС, выйдет через выходное отверстие.
18. Устройство, согласно пункту 17 формулы, содержащее рециркуляционный элемент для рециркуляции газообразного галогена, регенерированного из газообразной галогеновой кислоты, образующейся во время реакции, в реакционную камеру.
19. Применение устройства, согласно пунктам 17 или 18 формулы, для удаления концентраций ЛОС из целевого газа, содержащего ЛОС.



ФИГ. 1

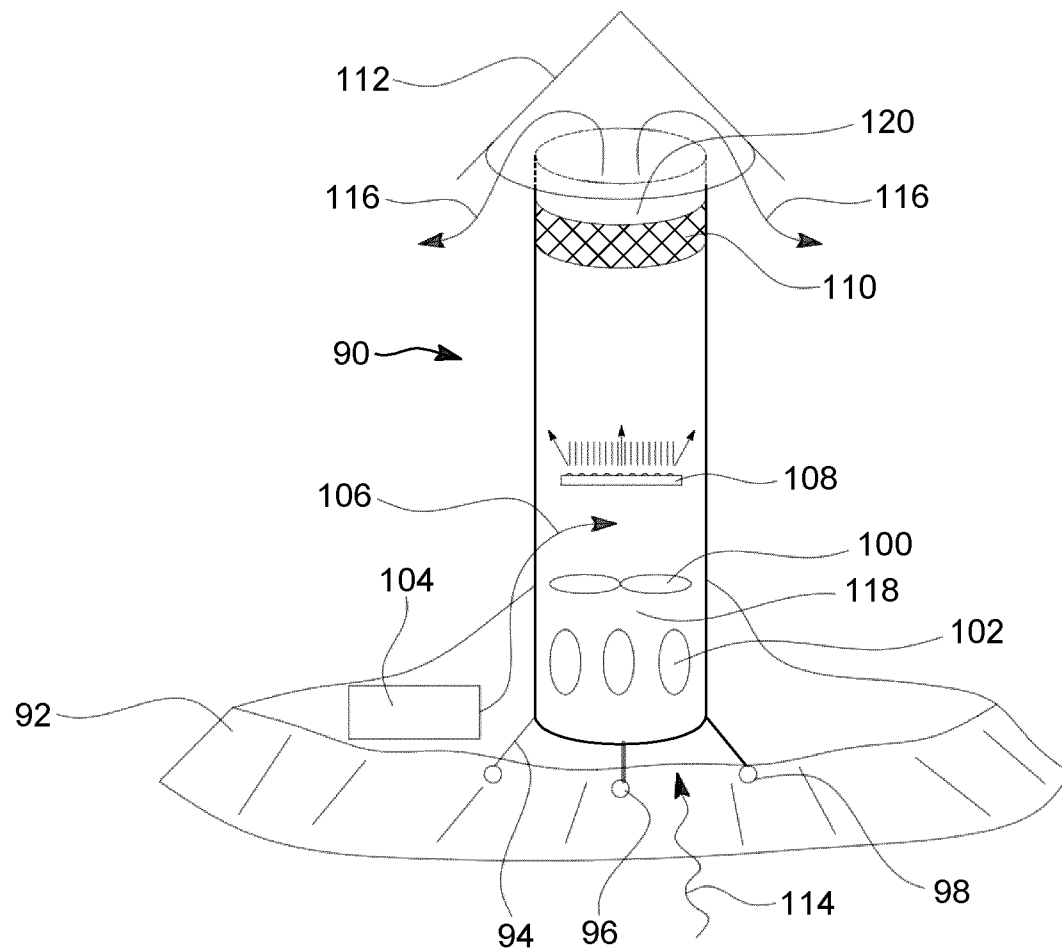


ФИГ. 2

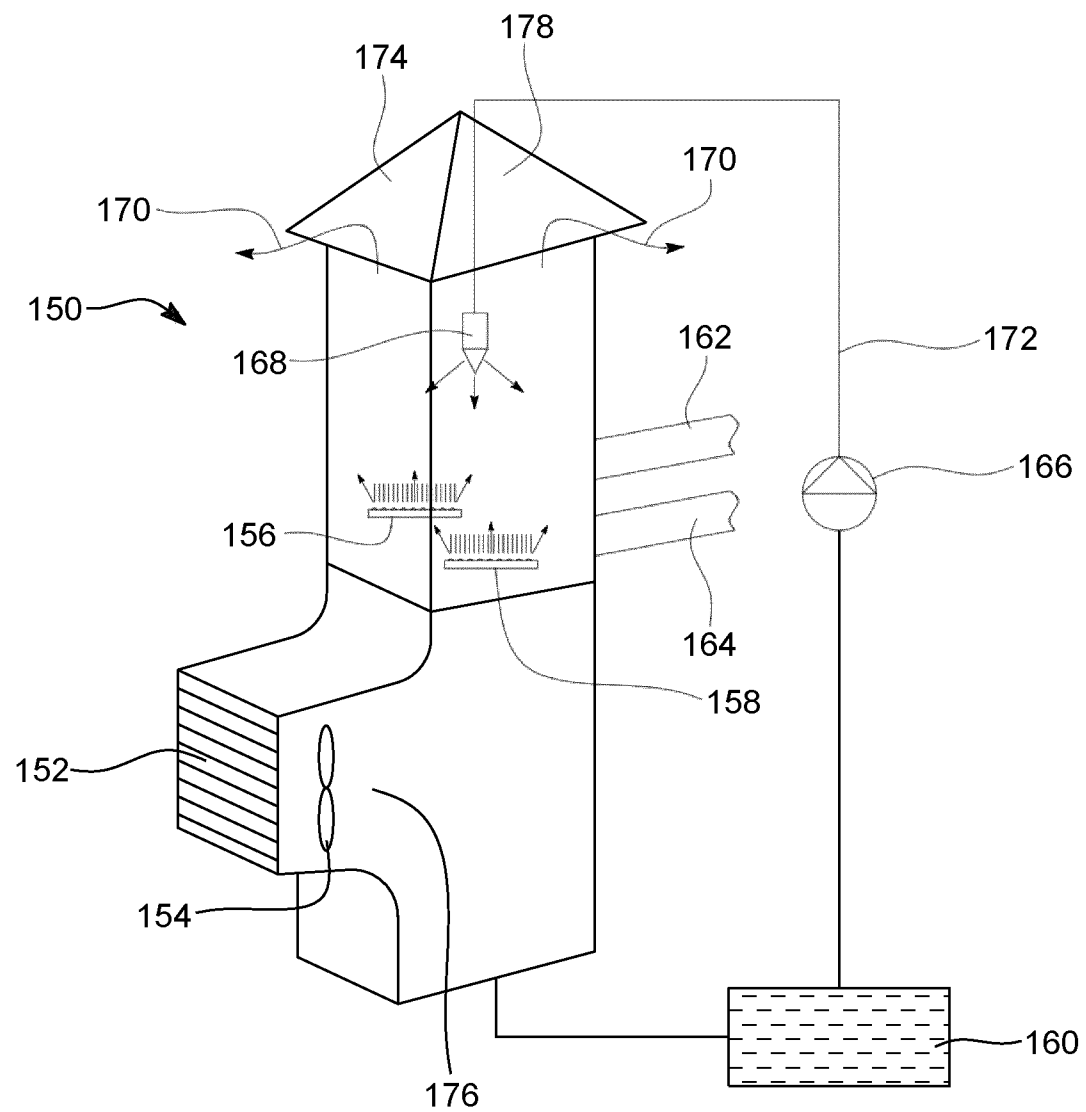


3/10

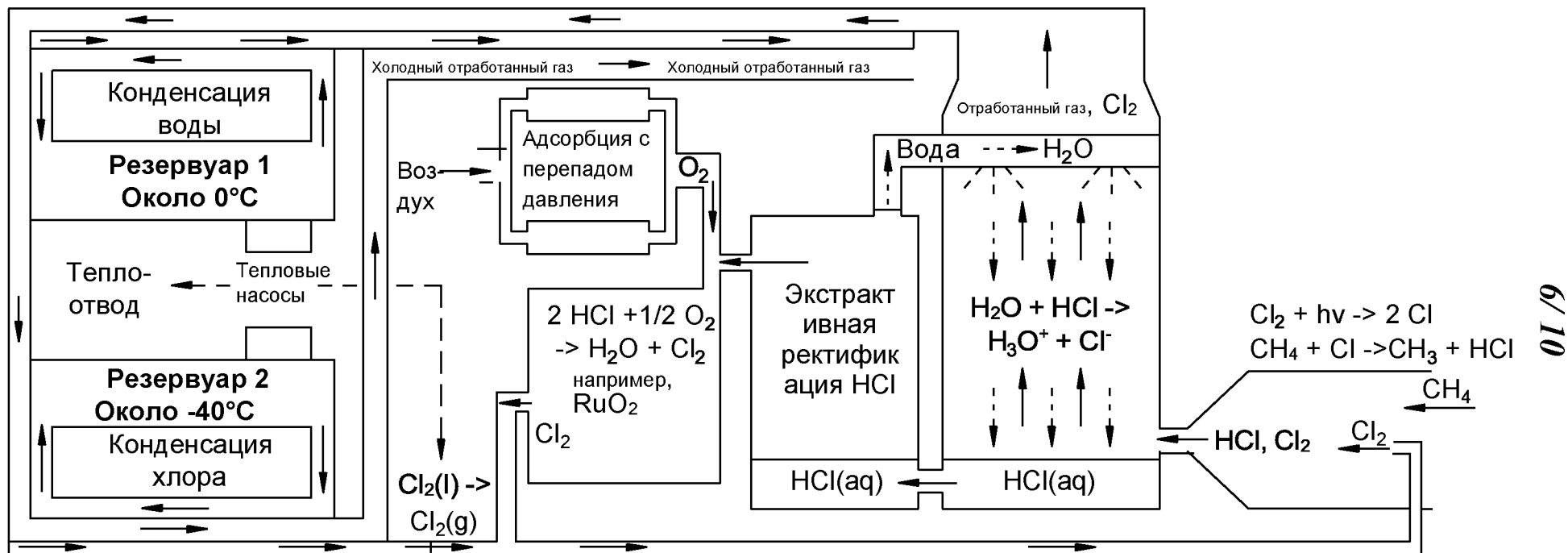
ФИГ. 3



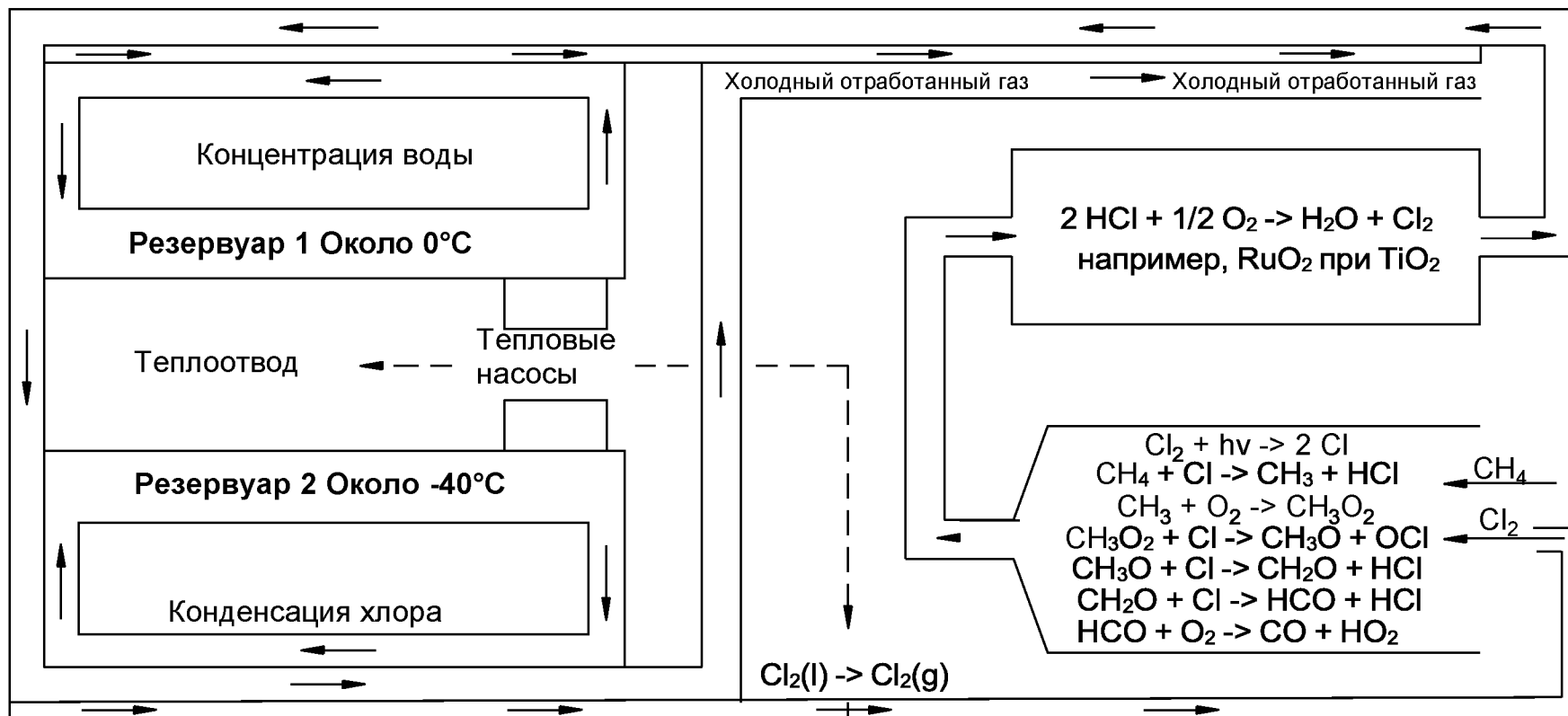
ФИГ. 4



ФИГ. 5

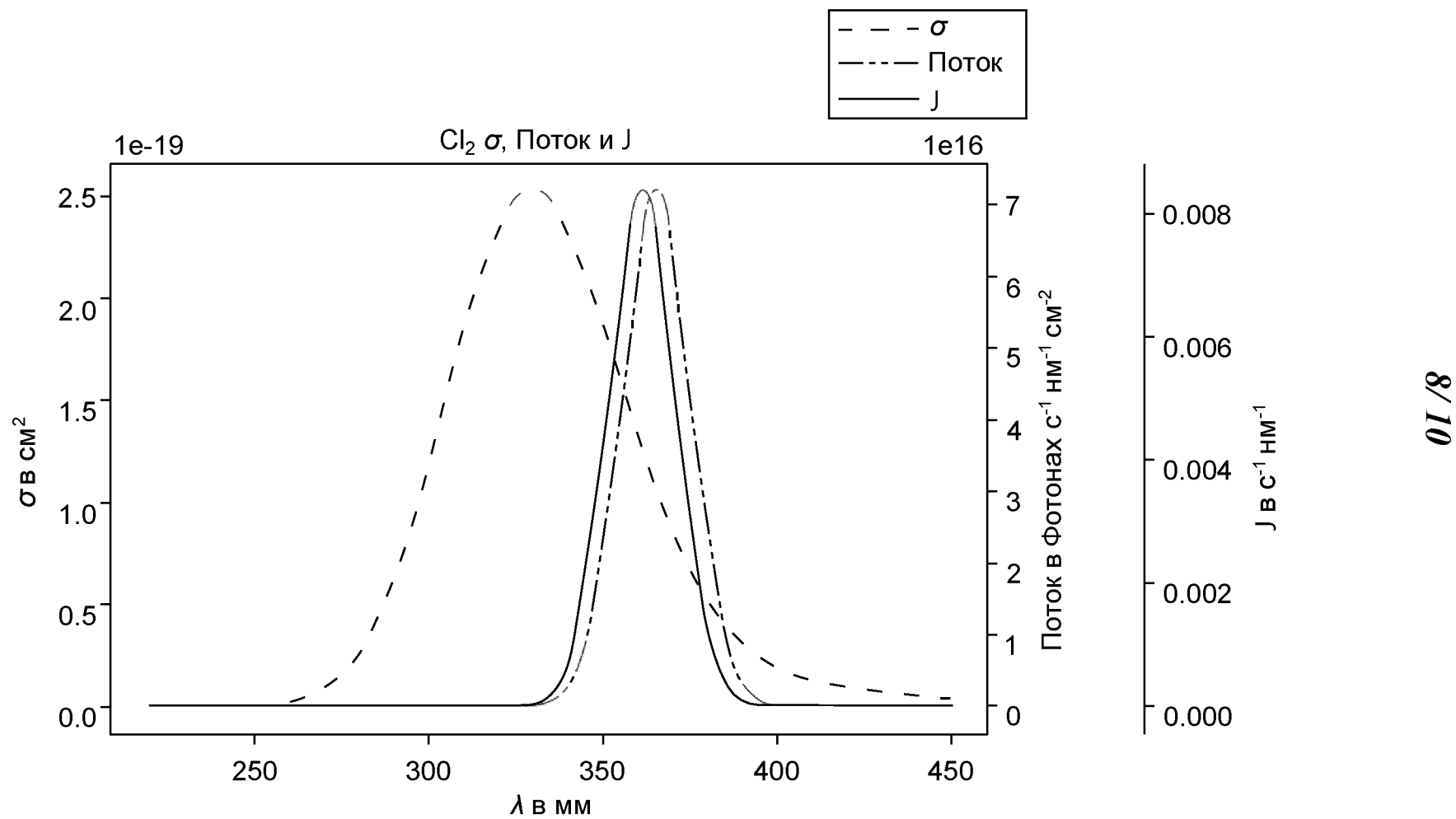


ФИГ. 6

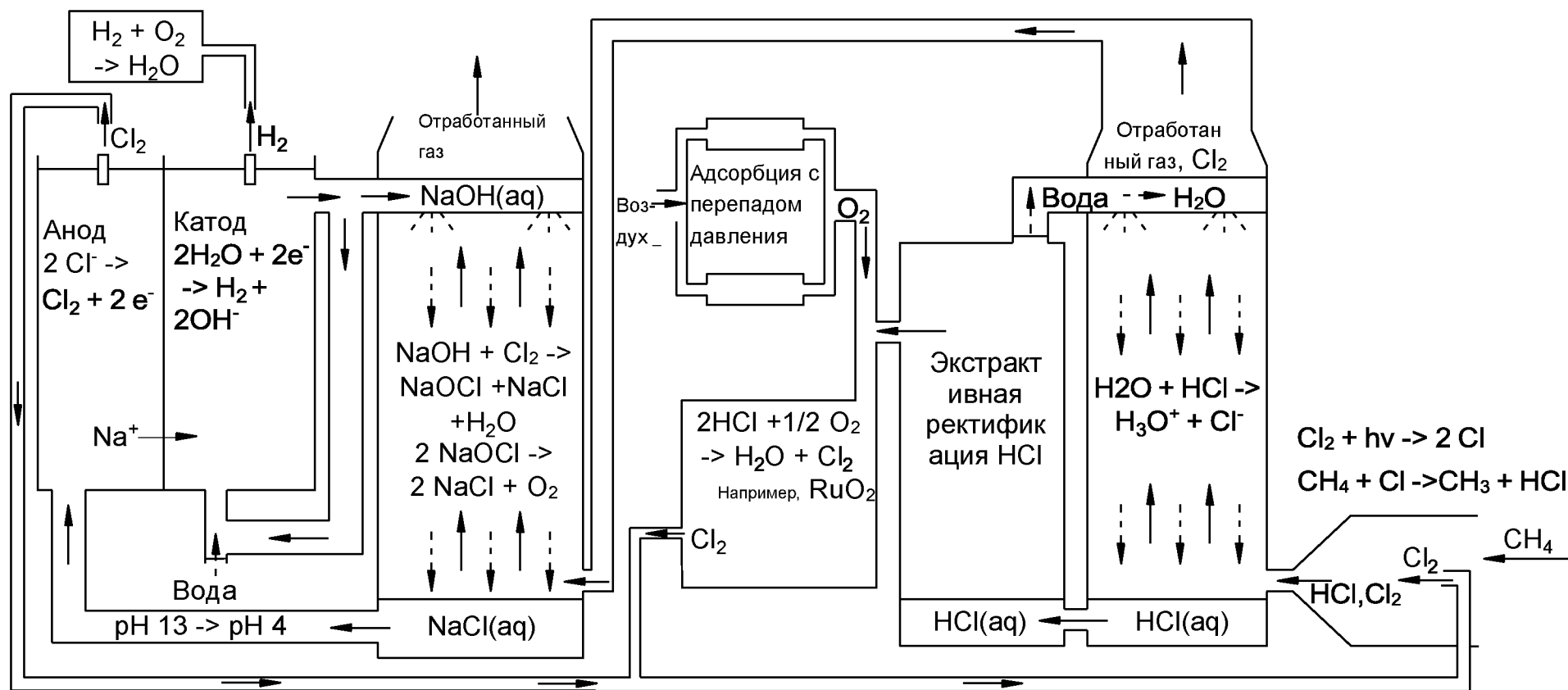


7/10

ФИГ. 7

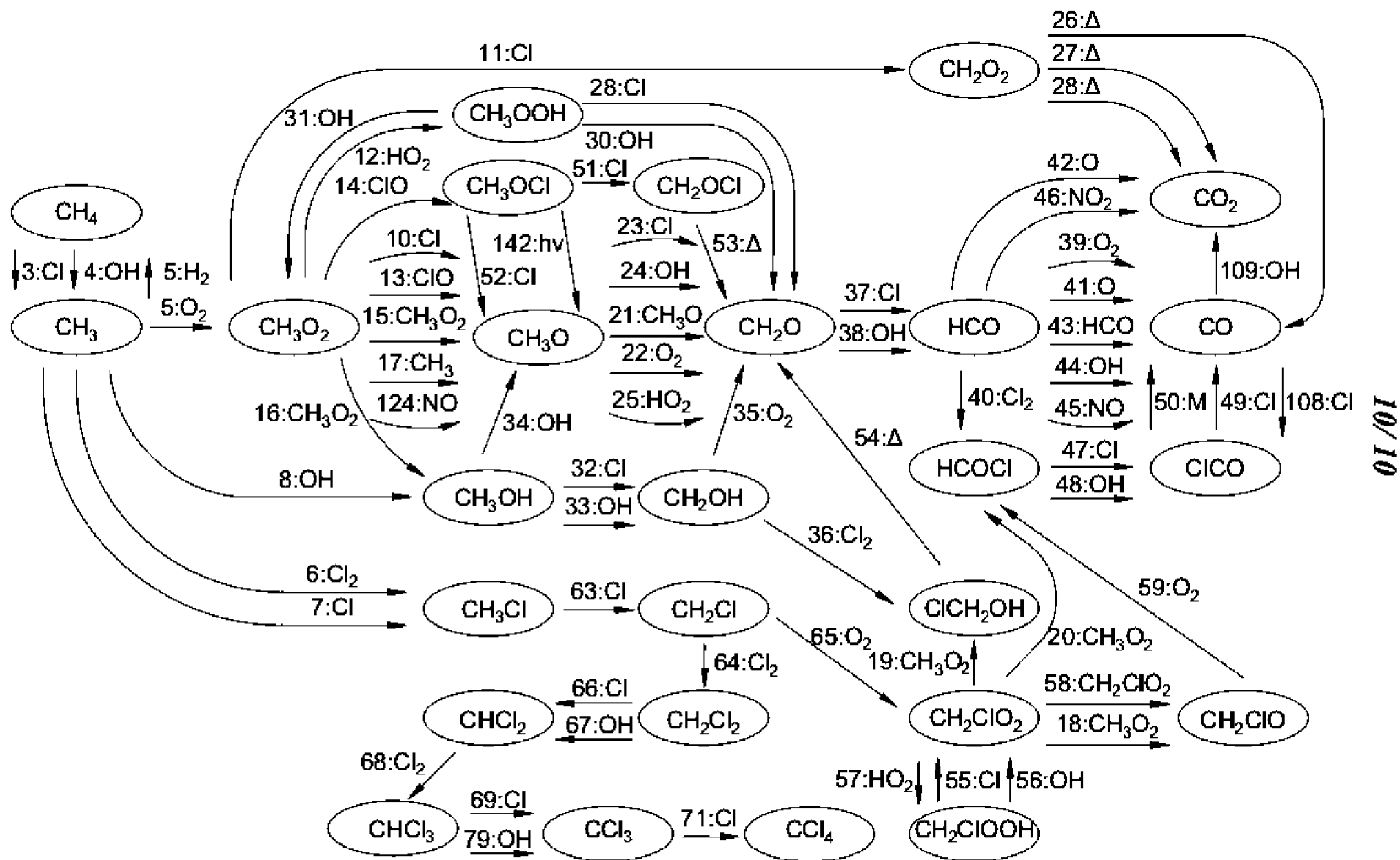


ФИГ. 8



9/10

ФИГ. 9



ФИГ. 10