

Настоящее изобретение относится к способу очистки-воды от соединений серы.

Присутствие в воде соединений серы обычно является неприемлемым. В случае сульфатов, сульфитов и тиосульфатов, основными недостатками являются коррозия канализационных труб, зарастание водоемов водорослями и заиливание. Кроме того, в воде с высоким содержанием соединений серы часто присутствуют тяжелые металлы, являющиеся особенно нежелательными из-за их токсических свойств. Одним из типов сточных вод, в которых присутствуют трудноудаляемые соединения серы, в частности сульфиты, являются промывные воду установок по очистке дымовых газов. Дымовые газы тепловых электростанций и установок по сжиганию мусора создают сильное загрязнение окружающей среды из-за присутствующей в них кислотообразующей двуокиси серы (SO_2). Вредные последствия воздействия кислотообразующих веществ на леса, воду, здания и т. д. общеизвестны. Другими типами сточных вод, содержащих соединения серы, являются сточные воды полиграфического производства, горнодобывающей, бумажной и резиновой промышленности, производств кожи и вискозы.

Обобщая, можно выделить два метода удаления серусодержащих соединений, а именно физико-химические методы и биологические методы.

Методы физико-химической обработки включают осаждение, ионный обмен и фильтрацию через мембраны (электродиализ и обратный осмос). Недостатками таких методов являются высокая стоимость и большой объем образующихся отходов. Для обработки дымовых газов обычно используют метод поглощения известью или аммиаком. В этом случае образуется большое количество гипса или сульфата аммония, которые могут быть частично утилизированы. Однако, возможные области их применения постоянно сужаются, особенно в случае гипса, поскольку требования к качеству гипса становятся все более строгими, а рынок гипса близок к насыщению.

В случае биологической обработки, сульфаты, сульфиты и другие соединения серы восстанавливаются путем анаэробной обработки до сульфидов, которые, в свою очередь, могут быть окислены до элементарной серы. Такие процессы известны, например, из международной заявки WO 91/16269 и Европейской патентной заявки N 451922.

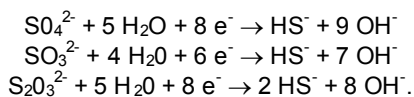
Преимуществом этого метода является незначительное количество остающихся стоков, поскольку полученная сера может быть утилизирована. Однако, недостатком этого способа является то, что для обеспечения достаточного восстановительного эквивалента для сульфат-редуцирующих бактерий (SRB), необходимо добавлять соединения, обладающие электронодонорными свойствами, особенно в тех случаях, когда сточные воды содержат малые количества органического вещества. Наиболее важными электронодонорными соединениями являются метанол, этанол, глюкоза и другие сахараиды, органические кислоты, такие как уксусная, пропионовая, масляная и молочная кислоты, водород и окись углерода. Использование этих электронодонорных соединений приводит к существенному увеличению стоимости данного метода удаления серы из сточных вод.

Как было определено, органические соединения, содержащие два и более атомов углерода, разлагаются в анаэробных условиях с образованием водорода и ацетатов. Водород может быть использован в качестве донора электронов при восстановлении сульфатов, сульфитов и тому подобных соединений, но, в нормальных условиях, примерно 50% ацетатов превращаются в метан метан-продуцирующими бактериями (MPB). В нормальных анаэробных условиях степень превращения метанола в метан составляет примерно 90%. В этом случае образование метана имеет те недостатки, что требуется введение дополнительного донора электронов (что приводит к увеличению затрат) и что образуется газ, загрязненный сероводородом, который должен подвергаться промывке и сжигаться в факелах.

Был разработан ряд действий, которые, совокупно или по отдельности, позволяют значительно снизить расход электронодонорных соединений при анаэробной обработке соединений серы в сточных водах, содержащих незначительное количество органического вещества, за счет снижения количества образующегося метана вплоть до отсутствия его образования.

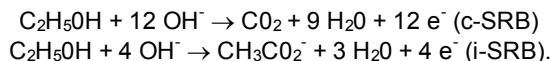
В соответствии с настоящим изобретением, предпринимаемыми для этого действиями являются: a1) поддержание концентрации сульфат-иона в отходящей жидкости после анаэробной обработки на уровне не ниже 500 мг/л; a2) поддержание концентрации сульфит-иона в отходящей жидкости после анаэробной обработки на уровне не ниже 100 мг/л; b) поддержание концентрации солей (в пересчете на ион натрия) в жидкой среде во время проведения анаэробной обработки на уровне не ниже 6 г/л в мезофильных условиях, или не ниже 3 г/л в термофильных условиях; c) поддержание концентрации сульфит-иона в жидкости, поступающей на анаэробную обработку, на уровне не ниже 100 мг/л; d) введение в среду для проведения анаэробной обработки ингибитора, обладающего большей токсичностью по отношению к метан-продуцирующим бактериям по сравнению с неполностью окисляющими сульфат-редуцирующими бактериями или с сульфат-редуцирующими бактериями, окисляющими соединения, содержащие один атом углерода.

Для восстановления соединений серы до сульфидов необходим донор электронов, как это следует из приведенных ниже уравнений реакций для сульфата, сульфита и тиосульфата:



В случае обработки сточных вод, не содержащих органического вещества или содержащих его в незначительных количествах, такой донор электронов должен добавляться извне. В зависимости от

конкретного способа очистки могут быть использованы, например, следующие электронодонорные соединения: водород, окись углерода и органические соединения, такие как жирные кислоты, спирты, сахара, крахмалы и содержащие органическое вещество отходы. Предпочтительно используются метанол, этанол, глюкоза, полисахариды, такие как сахароза, крахмал или целлюлоза, или карбоновые кислоты (жирные кислоты). Приведенные в качестве примера следующие реакции показывают использование этанола в качестве электронодонорного соединения:

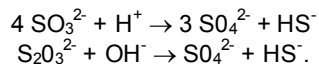


При необходимости добавляют также питательные элементы в форме соединений азота, фосфатов и микроэлементов.

При использовании способа по настоящему изобретению эффективность использования электронодонорных соединений значительно возрастает.

Действие (а) относится к концентрации сульфатов. Минимальной концентрацией сульфатов в соответствии с настоящим изобретением является их концентрация в отходящей жидкости анаэробного реактора. Для реактора с перемешиванием она соответствует также их концентрации в самом реакторе (в анаэробной среде). Показатель минимальной концентрации сульфат-иона в отходящих водах анаэробного реактора особенно применим в случае сточных вод, имеющих относительно низкое содержание органического вещества, т.е. сточных вод, к которым должны быть добавлены органические соединения (доноры электронов). Такие низкие концентрации органических соединений могут быть выражены через химическую потребность в кислороде (COD), составляющую менее примерно 2 г, предпочтительно менее 1,5 г O_2 на 1 г сульфат-иона. Она также может быть выражена через содержание растворенного органического углерода, составляющее менее примерно 600 мг С на 1 г сульфат-иона. Показатель минимальной концентрации сульфата особенно применим при проведении процесса в равновесных условиях и/или в условиях, когда большая часть, т.е. более 50% или даже более 75% поступающего сульфата восстанавливается до сульфида.

Поскольку сульфит и тиосульфат могут быть превращены в сульфат по реакции диспропорционирования в условиях проведения процесса, может быть использовано также эквивалентное количество сульфита или тиосульфата. Уравнения реакций диспропорционирования для сульфита и тиосульфата имеют вид:



Из приведенных уравнений следует, что коэффициент конверсии для реакции превращения сульфат \rightarrow сульфит равен $4/3 \cdot 80/96 = 1,11$, а для реакции превращения сульфат \rightarrow тиосульфат - $1 \cdot 112/96 = 1,16$. Таким образом, концентрация сульфат-иона 500 мг/л соответствует концентрации сульфита 550 мг/л или концентрации тиосульфата 580 мг/л. Однако, было обнаружено, что в случае сульфит-иона эффективная концентрация промотирования процесса восстановления до сульфида ниже соответствующей концентрации сульфат-иона. Таким образом, минимальная концентрация сульфит-иона в способе по настоящему изобретению составляет 100 мг/л.

Предпочтительно, концентрация сульфат-иона в отходящих водах анаэробного процесса поддерживается на уровне не ниже 900 мг/л. Верхний предел концентрации сульфат-иона определяется в первую очередь верхним пределом концентрации солей (см. пункт (b)), который в пересчете на сульфат натрия составляет примерно 50 г/л. Кроме того, предпочтительно, чтобы не более 3 г сульфата на 1 л раствора превращались в сульфид в анаэробном реакторе, поскольку более высокие концентрации сульфидов токсичны для сульфат-редуцирующих бактерий. Поэтому при отсутствии в анаэробном реакторе каких-либо ограничивающих условий (таких как содержание электронодонорных соединений или питательных веществ) концентрация сульфат-иона в поступающей в реактор воде не должна превышать 3 г/л. В случае тиосульфата могут быть использованы те же значения концентраций, что и для сульфата.

Для сульфит-иона (a2) величина концентрации составляет предпочтительно не менее 300, наиболее предпочтительно не менее 400 мг на 1 л отходящей воды анаэробного реактора. Верхний предел концентрации сульфит-иона определяется пределом токсичности самого сульфит-иона. Предпочтительно, концентрация сульфит-иона не превышает 2 г/л.

Концентрация сульфата (сульфита, тиосульфата) может контролироваться различными способами. В системах с рециркуляцией, где большая часть очищенной воды возвращается на рециркуляцию, таких как установках для обессеривания дымовых газов, концентрация сульфата (сульфита) может регулироваться путем изменения условий проведения реакции. Таким образом, концентрация сульфатов в воде с высоким содержанием сульфатов (или сульфитов), например, более 7 г/л, в системах с рециркуляцией большей части воды и сбросом небольшой ее части может регулироваться путем изменения количества прибавляемого электронодонорного соединения или путем ограничения концентрации питательных веществ, таких как фосфаты. В водоочистных системах, практически не использующих рециркуляцию воды, с объемом сбрасываемой воды почти равным объему поступающей воды, например, в системах для очистки сточных вод с низкой концентрацией сульфатов, такой как 1-7 г/л, сульфат-редуцирующая система может быть устроена двухстадийно, причем концентрация сульфатов поддерживается на указанном выше уровне на первой стадии и дополнительно снижается на второй стадии.

Бактерии, которые могут быть использованы для осуществления анаэробной стадии способа по настоящему изобретению, а именно для восстановления соединений серы до сульфидов, представляют собой, в частности, серу- и сульфат-редуцирующие бактерии (SRB), такие как бактерии родов *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas*, *Desulfobulbus*, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfonema*, *Desulfosarcina*, *Desulfo-bacterium* и *Desulforomas*.

SRB могут быть классифицированы в зависимости от их метаболизма. Полностью окисляющие сульфат-редуцирующие бактерии (с-SRB) способны окислять органический субстрат до CO_2 , в то время как неполностью окисляющие сульфат-редуцирующие бактерии (i-SRB) окисляют органический субстрат до ацетата, который далее не окисляется. i-SRB растут значительно быстрее, чем с-SRB (примерно в 5 раз). Пригодные сульфат-редуцирующие бактерии обычно могут быть получены из различных анаэробных культур и/или могут спонтанно начать расти в реакторе.

Оптимальные концентрации сульфатов и сульфитов, указанные выше, несколько различаются для этих типов SRB. Для i-SRB концентрация сульфат-иона составляет предпочтительно от 0,5 до 3 г/л, особенно предпочтительно от 1 до 2 г/л, тогда как концентрация сульфит-иона составляет предпочтительно от 0,5 до 2 г/л, особенно предпочтительно от 0,9 до 1,5 г/л (фиг. 1). Для с-SRB концентрация сульфат-иона составляет предпочтительно от 0,4 до 5 г/л, особенно предпочтительно от 1 до 2 г/л, тогда как концентрация сульфит-иона составляет предпочтительно от 0,3 до 1,5 г/л, особенно предпочтительно от 0,4 до 1 г/л (фиг. 2). На прилагаемых фиг. 1 и 2 приведена функциональная зависимость сульфид-образующей активности в мг на 1 л среды в день от концентрации сульфат-иона (-) и сульфит-иона (+) для i-SRB и с-SRB, соответственно.

Концентрация солей в соответствии с действием (b) в мезофильных условиях, т.е. при умеренных температурах, например, 20-40 °C, предпочтительно поддерживается на уровне примерно 6 г Na^+ /л или выше. В таких условиях концентрация солей предпочтительно составляет не менее 7 г/л, более предпочтительно от 10 до 25 г Na^+ /л, наиболее предпочтительно от 12 до 14 г Na^+ /л. В термофильных условиях, т.е. при температурах свыше 40 °C, особенно свыше 45 °C, которые могут быть использованы в процессе обескислечения дымовых газов, концентрация солей может быть ниже для обеспечения аналогичных благоприятных условий потребления электронодонорных соединений. При использовании в термофильных условиях электронодонорного соединения, содержащего два или более атомов углерода, такого как этанол, предпочтительная концентрация натрия составляет не менее 3 г/л, более предпочтительно от 4 до 8 г/л. Для электронодонорного соединения с одним атомом углерода, такого как метанол, величина оптимальной концентрации соли в термофильных условиях отличается и составляет предпочтительно от 6 до 14 г/л.

Для солей, содержащих катионы, отличные от натрия, применимы соответствующие значения концентраций. Например, для калия концентрация составляет не менее примерно 10 г/л, предпочтительно не менее 12 г/л. Вместо величины концентрации соли в качестве параметра может быть использована удельная электропроводность раствора: в мезофильных условиях ее величина должна составлять не менее примерно 24 мСм/см и не более 90 мСм/см; предпочтительно величина электропроводности составляет от 24 до 48 мСм/см. В термофильных условиях эти значения соответственно ниже: от 12 до 56 мСм/см.

Было обнаружено, что поддержание минимальной концентрации сульфид-ионов в воде, поступающей на анаэробную обработку, составляющей примерно 100 мг/л, приводит к созданию относительно благоприятных условий для SRB. Минимальная концентрация сульфид-ионов, в соответствии с действием (с), может быть достигнута, например, путем прибавления сульфидов к поступающей в реактор воде при запуске реактора для анаэробной обработки, и частичным рециркулированием отходящей из реактора воды для поддержания концентрации сульфид-ионов на требуемом уровне. Концентрация сульфид-ионов составляет предпочтительно не менее 100 мг/л, более предпочтительно не менее 150 мг/л, наиболее предпочтительно не менее 200 мг/л, в то время как увеличение концентрации сульфид-ионов свыше 500 мг/л обычно не приводит к дальнейшему улучшению.

В качестве предпочтительной дополнительной меры, толщина биопленки анаэробных бактерий поддерживается на уровне не более 0,5 мм. Это может быть достигнуто, например, путем создания сильно турбулентного режима течения среды, например, путем вдувания газа. Толщина пленки может также регулироваться путем подбора материала носителя. Носитель предпочтительно имеет величину удельной поверхности от 50 до 250 $\text{м}^2/\text{м}^3$ при использовании "фиксированной пленки" или фильтрующего слоя; в тех случаях, когда используется псевдооживленный слой или вертикальная циркуляция под действием струи воздуха, величина удельной поверхности может быть больше, до 3000 $\text{м}^2/\text{м}^3$. Толщина биопленки предпочтительно составляет не более 0,25 мм. Для получения более тонких биопленок предпочтительным может быть использование флокулированных, а не гранулированных илов.

Указанные выше действия (a), (b) и (c) с успехом могут быть скомбинированы, например, высокая концентрация сульфат-ионов или сульфит-ионов в отходящей жидкости (a) используется вместе с высокой концентрацией соли (b), или высокая концентрация сульфат-ионов или сульфит-ионов в отходящей жидкости (a) используется вместе с высокой концентрацией сульфид-ионов в поступающей жидкости (c), или высокая концентрация соли (b) используется вместе с высокой концентрацией сульфид-ионов в поступающей жидкости (c).

Кроме того, было обнаружено, что для протекания реакции создаются более благоприятные условия, если величина pH анаэробной среды поддерживается выше 7,5.

Предпочтительно анаэробная обработка может осуществляться, по крайней мере в течение части времени ее проведения, при повышенной температуре, в частности, при температуре от 40 до 100 °C.

Повышенная температура может использоваться непрерывно, или практически непрерывно, например, в случае наличия дешевого источника энергии, такого как горячие дымовые газы и/или теплая промывочная жидкость. В этих случаях обычно в сточной воде отсутствуют электронодонорные соединения, и особенно большое значение имеет экономное использование прибавляемых электронодонорных соединений. Пригодной повышенной температурой является, в частности, температура от 45 до 70°C, более предпочтительно 50-55°C. Анаэробная обработка может также проводиться при периодическом нагреве. Для периодического нагрева наиболее пригодной является температура 60-80°C. Повышенная температура может поддерживаться в течение времени от 1 часа или нескольких часов до нескольких дней, например, 1 недели.

Действие (d) относится к использованию ингибитора, особенно ингибитора метан-продуцирующих бактерий. Так, расход электронодонорного соединения снижается при введении в среду при проведении анаэробной обработки ингибитора, являющегося более токсичным по отношению к метан-продуцирующим бактериям, чем к неполностью окисляющим сульфат-редуцирующим бактериям или к сульфат-редуцирующим бактериям, окисляющим соединения, содержащие один атом углерода.

По способу очистки воды от соединений серы в соответствии с настоящим изобретением, вода подвергается анаэробной обработке бактериями, которые обычно включают неполностью окисляющие сульфат-редуцирующие бактерии, сульфат-редуцирующие бактерии, окисляющие соединения, содержащие один атом углерода, а также метан-продуцирующие бактерии. В общем, i-SRB при использовании соединений, содержащих два или несколько атомов углерода, выделяют ацетат-ион, который может быть разрушен только c-SRB. Поэтому способ по настоящему изобретению с использованием ингибиторов может быть использован с большим успехом, если вводятся электронодонорные соединения, из которых в процессе метаболизма бактерий не образуется ацетат-ион. Предпочтительно в качестве электронодонорного соединения используется соединения, не содержащие атомов углерода или содержащие один атом углерода, такие как водород, метан, метанол, формальдегид, муравьиная кислота и окись углерода.

Было обнаружено, что галогенированные соединения, содержащие один атом углерода, пригодны для использования в качестве ингибиторов в способе по настоящему изобретению, причем предпочтительно в качестве ингибитора используется хлороформ.

По другим вариантам исполнения в качестве галогенированных соединений, содержащих один атом углерода, могут быть использованы монохлорметан, дихлорметан и тетрахлорметан. Тетрахлорметан в анаэробных условиях процесса по настоящему изобретению может превращаться в хлороформ и/или другие производные метана, содержащие менее трех атомов хлора. Кроме хлорированных соединений, с успехом могут быть использованы также бромированные и иодированные производные метана.

Ингибитор может быть использован в количестве, например, 0,01-20 мг, предпочтительно 0,05-5 мг на 1 литр обрабатываемой жидкости. Оптимальное значение активности ингибитора соответствует, в случае хлороформа, концентрации примерно 0,1 мг/л.

Действие (d) может быть использовано в комбинациях с одним или несколькими из описанных выше действий (a), (b) и (c).

Различные виды сточных вод могут быть подвергнуты обработке в соответствии со способом по настоящему изобретению, например, грунтовые воды, шахтные стоки, промышленные стоки, например, сточные воды полиграфической промышленности, металлургии, кожевенного производства, резиновой промышленности, производства вискозы и волокон, бумажной промышленности и промышленности полимеров, а также промывочные воды установок для очистки дымовых газов.

Настоящее изобретение относится также к способу очистки серусодержащего дымового газа, по которому газ подвергается промывке промывочной жидкостью, а промывочная жидкость регенерируется с использованием описанного выше способа по настоящему изобретению. В случае обработки дымовых газов, двуокись серы может удаляться из дымовых газов при помощи большого скруббера, а затем подаваться в растворенной форме с промывочной водой в реактор для анаэробной обработки. Растворенная двуокись серы находится в основном в форме сульфитов и бисульфитов. Эти сульфиты и бисульфиты в биологическом реакторе анаэробной обработки превращаются в сульфиды.

Образующиеся сульфиды после этого могут быть окислены до элементарной серы в отдельном реакторе. Элементарная сера может быть использована в качестве сырьевого материала в различных областях применения.

Это окисление предпочтительно осуществляется во втором биологическом реакторе. Во втором биологическом реакторе скорость подачи кислорода регулируется таким образом, чтобы сульфиды окислялись до серы, и не окислялись, или только в незначительной степени окислялись до сульфатов. Частичное окисление может быть осуществлено, например, путем поддержания количества ила в реакторе на низком уровне или путем использования краткосрочного пребывания в реакторе. Однако, предпочтительным является использование недостаточного количества кислорода. Расход кислорода может быть быстро и просто отрегулирован в соответствии с параметрами подлежащего обработке потока.

Способ по настоящему изобретению может быть использован для очистки от различных соединений серы: во-первых, способ особенно пригоден для очистки от неорганических сульфатов и сульфитов. Другими возможными соединениями являются другие неорганические соединения серы, такие как тиосульфата, тетратионаты, дитионаты, элементарная сера и т.п. Органические серусодержащие соединения, такие как алкилсульфонаты, сернистые алкилы, двусернистые алкиды, меркаптаны, сульфоны, сульфоксиды, сероуглерод и т.п. также могут быть удалены из воды при помощи способа по настоящему изобретению.

Образующимся в результате процесса по настоящему изобретению продуктом является, в случае использования доокисления, элементарная сера, которая легко может быть отделена от воды, например, осаждением, фильтрацией, центрифугированием или флотацией, и может быть повторно использована.

Для доокисления сульфидов с помощью сульфид-окисляющих бактерий в условиях недостатка кислорода может быть использован способ в соответствии с заявкой Нидерландов N 88.01009. Бактерии, которые могут быть использованы в данном случае, относятся к группе бесцветных сернистых бактерий, таких как *Thiobacillus*, *Thiomicrospira*, *Sulfolobus* и *Thermithrix*.

Примеры

Таблица А показывает влияние концентрации сульфат-иона на поглощение этанола в реакторе, содержащем гранулированный ил, выращенный на сточных водах бумажной промышленности и адаптированный затем к этанолу.

Таблица А

Влияние концентрации сульфат-иона на поглощение этанола в процессе восстановления сульфатов

Концентрация сульфат-иона (мг/л)	кг сульфидов/кг этанола	молей этанола/моль сульфат-ионов
500	1,4	1,04
1400	2,2	0,65

Табл. В показывает влияние концентрации соли на поглощение метанола (электронодонорного соединения) в процессе восстановления сульфатов с использованием гранулированного ила, выращенного на сточных водах и затем адаптированного к метанолу (30°C, pH 7,5, время нахождения в реакторе 5 часов). Из приведенных данных следует, что при увеличении концентрации соли на 1 кг получаемого сульфида используется всего лишь примерно 25% от общего количества расходуемого метанола. Теоретическое максимальное значение составляет 0,75 кг S²⁻ на 1 кг метанола.

Таблица В

Влияние концентрации соли на поглощение метанола в процессе восстановления сульфатов

Концентрация соли (г Na ⁺ /л)	Доля метанола, расходуемого на восстановление сульфатов, от общего потребления метанола	кг получаемого сульфида на 1 кг расходуемого метанола
0,2	11%	0,09
12,5	50%	0,38

Табл. С показывает влияние концентрации соли на восстановление сульфатов для реактора, содержащего гранулированный ил, выращенный на смеси ацетата, пропионата и бутирата в мезофильных условиях.

Таблица С

Влияние концентрации соли (в пересчете на Na⁺) на восстановление сульфатов и выделение метана

Концентрация соли (г Na ⁺ /л)	Восстановление сульфатов, % от максимального	Выделение метана, % от максимального
5	100	100
7,5	100	50
10	100	25
12,5	100	10
15	55	5

Табл. D показывает влияние концентрации натрия на сульфидогенную и метаногенную активность (в % от теоретического максимального значения) в термофильной системе (55°C), содержащей сульфат- и сульфит-ионы и этанол.

Табл. Е показывает влияние концентрации натрия на сульфидогенную и метаногенную активность (в % от теоретического максимального значения) в термофильной системе (55°C), содержащей сульфат- и сульфит-ионы и метанол.

Таблица D

Концентрация натрия (г/л)	Образование сульфидов (% от максимального)	Образование метана (% от теор. максимума)
5,0	100	не определялось
7,5	70	0
10,0	50	0
12,5	50	0
15,0	50	0
20,0	50	0

Таблица E

Концентрация (г/л) натрия	Образование сульфидов (% от максимального)	Образование метана (% от теор. максимума)
5,0	83	88
7,5	100	88
10,0	88	88
12,5	92	88
15,0	75	не определялось
20,0	15	не определялось

В табл. F показано влияние толщины биопленки на восстановление сульфатов для реактора, содержащего гранулированный ил. выращенный на смеси ацетата и глюкозы.

Таблица F

Диаметр частиц ила (мм)	Восстановление сульфатов (г/г VSS*·день)	Образование метана (г/г VSS*·день)
>2	<0,1	0,5
1-2	<0,1	0,6
0,5-1	0,12	0,55
0,25-0,5	0,2	0,45
0,125-0,25	0,3	0,3

*VSS - суспендированные летучие вещества, доля суспендированного вещества, не остающегося в золе при сжигании.

В табл. G сведены результаты по ингибирующему действию ряда хлорированных углеводородов, вызывающих 50%-ное или 80%-ное, соответственно, ингибирование активности MPB, i-SRB и c-SRB. Приведенные цифровые величины представляют собой значения концентрации соответствующего ингибитора в мг/л.

Таблица G

Ингибитор	MPB		i-SRB		c-SRB	
	50%	80%	50%	80%	50%	80%
п-хлорбензилмеркаптан	210	375	29	232	46	84
п-хлорбензилхлорид	14	27	7	16	2	14
хлороформ	0,90	1,48	8,0	>100	0,7	1,4
хлорбензол	350,6	470,7	85	620	52	176
1,2-дихлорбензол	179,4	260,2	34	118	39	116
1,2,3-трихлорбензол	94,4	119,8	58	172	37	88
2-хлорфенол	410,2	515,7	105	345	78	197
2,4-дихлорфенол	79,9	104,3	22	51	10	54
3-хлор-5-метоксифенол	65,0	125,3	32	108	21	78

Таблица Н показывает влияние концентрации сульфид-ионов в поступающей на обработку воде на образование сульфидов. Поддержание концентрации сульфид-ионов в поступающей воде, равной 400 мг/л, для анаэробного процесса, проводимого при 30°C, pH 7,5, концентрации сульфат-ионов на входе 1500 мг/л, концентрации метанола на входе 1250 мг/л и времени нахождения в реакторе 5 часов, в течение 60 дней, приводило к 40%-ному увеличению поглощения метанола SRB.

Таблица Н

Концентрация сульфид-ионов в поступающей воде	Образование сульфидов	кг образуемых сульфидов на 1 кг поглощаемого метанола
0	110 мг/л	0,09
400 мг/л	140 мг/л	0,18

Таблица J показывает функциональную зависимость активности анаэробных бактерий по образованию сульфидов при периодическом проведении процесса при 30°C, pH 7,5, концентрации сульфата в поступающей воде 1500 мг/л и концентрации этанола в поступающей воде 1250 мг/л, от исходной концентрации сульфид-ионов.

Таблица J

Исходная концентрация сульфидов (мг/л)	Максимальная активность (мг S ²⁻ /л/день)
0	127
128	160
324	243
753	252
2013	0

Таблица К показывает влияние концентрации сульфит-ионов в отходящей воде на поглощение метанола. Концентрация сульфит-ионов выше примерно 100 мг/л уже приводит к повышению отношения сульфид/метанол, а при концентрации выше примерно 300 мг/л достигается наибольшая эффективность процесса.

Таблица К

Концентрация сульфит ионов (мг/л)	кг образуемых сульфидов на 1 кг поглощаемого метанола
0	0,05
80	0,09
180	0,16
400	0,20
800	0,20

При проведении очистки дымовых газов способ по настоящему изобретению может быть осуществлен в установке, такой, как изображена схематично на фиг. 3. В соответствии с этой фигурой, дымовой газ, загрязненный двуокисью серы, поступает по трубопроводу 1 в скруббер 2. В этом скруббере дымовой газ обрабатывается в противотоке промывочной водой, поступающей по трубопроводу 3. Обработанный дымовой газ по трубопроводу 4 сбрасывается или подается на дальнейшую обработку. Сульфит-содержащая промывочная вода по трубопроводу 5 поступает в реактор для анаэробной обработки 6. Электронодонорное соединение, такое как этанол, также подается в реактор для анаэробной обработки 6 по трубопроводу 7. Образующийся в реакторе газ, состоящий по существу из двуокиси углерода и, в меньшей степени, из сероводорода, отводится по трубопроводу 8 в установку газоочистки (не изображена). Выходные воды анаэробной обработки, концентрация сульфит-иона в которых поддерживается на уровне от 300 мг до 2 г в литре, поступает по трубопроводу 9 в реактор для аэробной или частично аэробной обработки 10, в который по трубопроводу 11 также подается воздух. Избыток воздуха сбрасывается через 12. Серусодержащие выходные воды по трубопроводу 13 подаются в отстойник 14, в котором сера отделяется и выводится через 15. Выходные воды отстойника серы удаляются через трубопровод 16 и могут быть направлены для повторного использования в качестве промывочной воды. Часть воды может сбрасываться через трубопровод 17, и, в случае необходимости, подпитка водой, которая может также содержать буфер и питательные вещества, производится через трубопровод 18.