

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

ПРИРОДОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, которая может быть решена только совместными усилиями специалистов различных отраслей науки и техники. Наиболее эффективной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия промышленных предприятий является переход к малоотходным и безотходным технологиям, а в условиях сельского хозяйства к биологическим методам борьбы с сорняками и вредителями. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач. Экологизация промышленного производства должна развиваться по следующим направлениям:

- совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов вредных примесей и отходов в окружающую среду;
- широкое внедрение экологической экспертизы всех видов производств и промышленной продукции;
- замена токсичных не утилизируемых отходов на нетоксичные и утилизируемые;
- широкое внедрение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В качестве дополнительных средств защиты применяется различное очистное оборудование, к которому относятся аппараты и системы очистки газовых выбросов, сточных вод, глушители шума при сбросе газов в окружающую среду. Перечисленные мероприятия позволят снизить выброс вредных веществ в окружающую среду и тем самым более полно использовать природные ресурсы.

1. **Инженерно-экологические мероприятия** предполагают создание такой природно-промышленной системы, которая позволила бы обеспечить эффективное использование и охрану природных ресурсов в процессе работы того или иного производства. **В инженерно-экологические мероприятия входят три группы мероприятий: инженерные, экологические и организационные.**

Инженерные мероприятия направлены на совершенствование существующих и разработку новых технологических процессов, машин, механизмов и материалов, используемых в производстве с целью исключения или смягчения негативных воздействий предприятия на природную среду. Мероприятия, входящие в **инженерную группу**, подразделяются на **организационно-технические и технологические**.

Организационно-технические мероприятия включают ряд конкретных действий, направленных на соблюдение технологического регламента производства, процессов

очистки отходящих газов и сточных вод, контроля за исправностью оборудования и своевременные проведения капитальных ремонтов. Наиболее рациональны непрерывные и укрупненные производства, так как они работают более стабильно, позволяют выдерживать заданные режимы процессов, дозированный расход материалов, исключают «залповые» выбросы вредных веществ. Укрупненные производства более легко и оперативно управляемы, чем разрозненные и расчлененные на больших территориях. На таких производствах имеется больше возможностей совершенствовать технологию в направлении снижения выбросов, применять очистное оборудование.

Технологические мероприятия позволяют изменить показатели и характеристики источников воздействия, определяющие их интенсивность. Для реализации инженерных мероприятий необходимо предусматривать дополнительные затраты на модернизацию производства, на улавливание, очистку, предотвращение выбросов вредных веществ или доведения их до такого количества, чтобы обеспечивалось самовосстановление компонентов биосферы и не наносился ущерб окружающей среде.

Экологические мероприятия обеспечивают самоочищение (при загрязнении) природной среды или самовосстановление (при нарушениях). Экологические мероприятия делятся на две подгруппы: *абиотическую и биотическую*. Первая основана на использовании естественных, физических и химических процессов, протекающих во всех составляющих биосферы, которые позволяют снизить опасность вредного антропогенного воздействия, уменьшить или исключить его последствия. Вторая подгруппа мероприятий основана на использовании живых организмов, обеспечивающих функционирование экологических систем в зоне влияния производства. К ним относятся биологическая рекультивация и биологическая очистка сточных вод, ликвидация загрязнений почв с помощью специальных растений или микроорганизмов, способных извлекать и перерабатывать загрязняющие вещества. Биотехническим мероприятием является также самозарастание нарушенных земель.

Группа *организационных мероприятий* связана с управлением, структурой и функционированием создаваемых или действующих природно-промышленных систем и подразделяется на *плановые и оперативные*. *Плановые мероприятия* рассчитаны на длительную перспективу с учетом развития производства и непромышленной инфраструктуры крупных природно-промышленных систем. Основу их составляют мероприятия, обеспечивающие рациональное взаимное расположение структурных единиц природно-промышленного комплекса. К ним относятся:

- выбор местоположения новых производств с учетом розы ветров и взаимного расположения других источников загрязнения атмосферы;

- передислокация из городов и поселков предприятий с высокой интенсивностью вредного воздействия, выбор места расположения отвалов и свалок;
- перемещение рекреационных территорий, объектов культурного назначения из зон воздействия и влияния предприятий в чистые зоны;
- изменение путей и режимов движения транспорта;
- устройство санитарно-защитных зон;
- межотраслевое использование отходов.

К подгруппе *оперативных* относятся *мероприятия*, применяемые в экстремальных ситуациях, возникающих на производстве или в природной среде. Экстремальные ситуации на производстве обычно сопровождаются авариями: взрывы, пожары, разрывы трубопроводов и приводят к залповым выбросам и сбросам, загрязняющим окружающую среду. Неблагоприятные ситуации в природной среде возникают при воздействии на нее различных антропогенных процессов и снижают способность природных компонентов биогеносов противостоять этим воздействиям. Для предотвращения такого негативного воздействия требуются оперативные природоохранные мероприятия.

СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Основной физической характеристикой примесей атмосферы является *концентрация* – масса (мг) вещества в единице объема (м³) воздуха при нормальных условиях. Концентрация примесей мг/м³ определяет физическое, химическое и др. воздействия веществ на окружающую среду и человека и служит основным параметром при нормировании содержания примесей в атмосфере.

Основные характеристики процесса пылеулавливания

Процесс очистки газов от твердых и капельных примесей в различных аппаратах характеризуется несколькими параметрами, в частности общей эффективностью очистки:

$$h = (C_{\text{вх.}} - C_{\text{вых.}}) / C_{\text{вх.}}$$

где $C_{\text{вх.}}$ и $C_{\text{вых.}}$ – массовые концентрации примесей в газе соответственно до и после пылеуловителя;

h – эффективность очистки.

Если очистка ведется в системе последовательно соединенных аппаратов, то общая эффективность очистки:

$$h = 1 - (1 - h_1)(1 - h_2) \dots (1 - h_n).$$

где h_1, h_2, h_n – эффективность очистки 1, 2 и n -аппаратов.

В ряде случаев используют понятие фракционной эффективности очистки:

$$h_i = (C_{вхi} - C_{выхi}) / C_{вхi}$$

где $C_{вхi}$ и $C_{выхi}$ – массовые концентрации i -фракции загрязнителя до и после пылеуловителя.

Для оценки эффективности процесса очистки также используют коэффициент проскока K частиц через пылеуловитель:

$$K = C_{вых} / C_{вх}$$

Из вышесказанного следует, что коэффициент проскока и эффективность очистки связаны соотношением:

$$K = 1 - h$$

При сравнительной оценке задерживающей способности пылеуловителей различных типов, кроме общей и фракционной эффективности очистки, используют понятие «медианной d_{50} тонкости очистки». Она определяется размерами частиц, для которых эффективность осаждения в пылеуловителе составляет 0,50.

Пылеулавливающее оборудование

Классификация пылеулавливающего оборудования основана на принципиальных особенностях механизма отделения твердых частиц от газовой фазы, оно весьма разнообразно и может быть разделено на **четыре типа**:

1. Наиболее простыми и широкораспространенными являются *аппараты сухой очистки воздуха и газа от крупной неслипающейся пыли*. Это циклоны, пылеосадительные камеры, жалюзные пылеуловители, ротационные пылеуловители, дымососы и золоуловители. Принцип их действия основан на использовании центробежной силы, действующей на частицы пыли во вращающемся потоке воздуха.

Циклоны используют для предварительной очистки газов и устанавливают перед фильтрами или электрофильтрами, их эффективность пылеулавливания невысока.

Жалюзные пылеуловители отличаются простотой конструкции, хорошо компануются в газоходах и обеспечивают эффективность очистки 80% для частиц размером 20 мкм. Они применяются для очистки дымовых газов от крупнодисперсионной пыли при температуре до 450-600 °C.

Ротационные пылеуловители предназначены для очистки воздуха от частиц размером более 5 мкм и относятся к аппаратам центробежного действия, которые одновременно с перемешиванием воздуха очищают его от пыли. Аппараты ротационного типа отлича-

ются компактностью и обеспечивают достаточно высокую эффективность очистки воздуха или газа, содержащих сравнительно крупные частицы пыли.

2. *Аппараты мокрой очистки*: полые скрубберы, скрубберы Вентури, насадочные скрубберы, барботажные и пенные скрубберы, ударно-инерционные аппараты, центробежные скрубберы, скоростные скрубберы. Эти аппараты имеют широкое распространение, т.к. характеризуются высокой эффективностью очистки мелкодисперсной пыли с размерами более 0,3-1,0 мкм, а также возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Принцип их действия основан на осаждении частиц пыли на поверхности капель или пленке жидкости, в которой используются либо вода (при очистке от пыли), либо химический раствор (при улавливании одновременно с пылью вредных газообразных компонентов). Такая комплексная очистка газов является важным достоинством аппаратов мокрой очистки – полых форсуночных скрубберов. Аппараты этого типа работают по принципу противотока.

Эффективность очистки составляет 60-70% для частиц с размером более 10 мкм, одновременно с очисткой газ, проходящий через полый форсуночный скруббер, охлаждается и увлажняется до состояния насыщения.

Наряду с полыми широко используются *насадочные скрубберы*. За счет насадки скруббер обладает хорошо развитой поверхностью контакта между газом и орошаемой жидкостью, пленка которая образуется на элементах насадки и постоянно разрушается, перетекая с одного элемента насадки на другой. Элементы, которые используются в качестве насадки, обладают большой удельной поверхностью, приходящейся на единицу объема насадки. Насадочные скрубберы используются в основном для предварительного охлаждения газа, улавливания тумана, присутствующего в дымовых газах содорегенерационных котлоагрегатов.

Для мокрой очистки нетоксичных или невзрывоопасных газов от пыли применяют *центробежные скрубберы*, в которых частицы пыли отбрасываются на пленку жидкости центробежными силами, возникающими при вращении газового потока в аппарате за счет тангенциального расположения входного патрубка в корпусе. Эффективность очистки газа от пыли в аппаратах такого типа зависит главным образом от диаметра корпуса аппарата, скорости газа во входном патрубке и дисперсности пыли.

Наиболее распространенными аппаратами мокрой очистки газов являются *скрубберы Вентури*, которые состоят из орошающей форсунки, трубы Вентури и каплеуловителя. Труба Вентури состоит из сужающегося участка (конфузора), в который подается очищаемый газ, из расширяющегося участка (диффузора). Орошающая жидкость подается при помощи форсунок, распыляющих ее на капли, движущиеся со скоростью 30-40 м/с.

Этот поток капель увлекает очищаемые газы. В трубе Вентури происходит осаждение частиц пыли на каплях жидкости, которое зависит от поверхности капель и относительно скорости частиц жидкости и пыли в диффузной части. Степень очистки в значительной мере зависит от равномерности распыления капель жидкости по сечению конфузорной части трубы Вентури. В диффузной части поток тормозится до скорости 15-20 м/с и подается в каплеуловитель. Каплеуловитель обычно представляет собой прямоточный циклон. Скрубберы Вентури обеспечивают высокую эффективность очистки аэрозолей до 99%, со средним размером частиц 1-2 мкм при начальной концентрации примесей до 100 г/м³.

К мокрым пылеуловителям относятся *барботажно-пенные пылеуловители* с провальной и переливной решетками. В таких аппаратах очищаемый газ подается под решетку и проходит через слой жидкости, очищаясь от пыли. При малых скоростях очищаемого воздуха или газа, не превышающих 1 м/с, последний пробулькивает через слой орошающей жидкости в виде отдельных пузырьков. Такой режим работы аппарата называют *барботажным*. Дальнейший рост скорости очищаемого газа в корпусе аппарата до 2,0-2,5 м/с приводит к возникновению пенного слоя над слоем жидкости, что повышает эффективность его очистки за счет более интенсивного перемешивания газовой и жидкой фаз. Современные барботажно-пенные пылеуловители обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли до величин 0,95-0,96.

К недостаткам работы мокрых пылеуловителей следует отнести:

- образование большого количества шламосодержащих стоков, для обработки которых

необходимо специальное оборудование;

- наличие в очищаемых газах капель жидкости с частицами пыли, забивающих газоходы,

дымососы и вентиляторы.

3. Аппараты фильтрационной очистки: волокнистые фильтры, мокрые фильтры-туманоуловители, воздушные фильтры, тканевые фильтры, зернистые фильтры. Эти аппараты предназначены для тонкой очистки газов за счет осаждения частиц пыли на поверхности пористых фильтрующих перегородок. Осаждение частиц в порах фильтрующих элементов происходит в результате совокупного действия эффекта касания, а также диффузионного, инерционного и гравитационного процессов. Классификация фильтров основана на типе фильтровальной перегородки, конструкции фильтра и его назначении, тонкости очистки и т.д.

По типу перегородки фильтры делятся:

- с зернистым слоем (неподвижные свободно насыпанные зернистые материалы,

псевдооживленные слои);

- с полужесткими пористыми перегородками (вязаные и тканые сетки, пресованные

спирали и стружка);

- с жесткими пористыми перегородками (пористая керамика, пористые материалы и др.).

Выбор фильтрующих материалов определяется требованиями к очистке и условиями их работы: степенью очистки, температурой, влажностью, агрессивностью газов, количеством и размером пыли. Все используемые материалы должны обладать высокой пылеемкостью (количеством пыли, оседающей на единице поверхности фильтрующего материала), стабильностью свойств в условиях действия температуры и влаги, механической и химической стойкостью, способностью легко освобождаться от уловленной пыли в процессе регенерации, невысокой стоимостью.

Большинство промышленных фильтрующих установок работают в двух режимах: фильтрации и регенерации, т.е. очистки от уловленной пыли. Регенерация повышает степень использования фильтрующих материалов и удешевляет процесс очистки. Она проводится путем встряхивания, периодической продувкой и промывкой. В результате поры материалов освобождаются от уловленной пыли и материал может использоваться повторно.

В системах промышленной газоочистки широкое распространение нашли *рукавные фильтры* непрерывного действия с импульсной продувкой, с цилиндрическими рукавами из шерстяной или синтетической ткани. Скорость прохождения газа через поры ткани невысока и составляет от 0,02 до 0,2 м/с.

Очистка (регенерация) фильтрационной ткани, из которой изготовлен рукав, производится периодической импульсной продувкой сжатым воздухом каждого рукава по очереди. Такие фильтры могут состоять из одной или нескольких секций, в каждой из которых от 4-6 до нескольких сотен рукавов. При очистке больших объемных расходов газов при небольших скоростях фильтрации поверхность фильтрующих рукавов достаточно велика, что приводит к большим габаритам таких фильтров.

4.Аппараты электрофильтрационной очистки: сухие электрофильтры, мокрые электрофильтры, однозонные, двухзонные, горизонтальные, вертикальные, пластинчатые, трубчатые, однополюсные, многополюсные. Предназначены для очистки больших объемов расходов газа от пыли и тумана (масляного). Конструкции таких агрегатов отличаются большим разнообразием, но принцип действия одинаков и основан на осаждении частиц пыли в электрическом поле.

Очищаемые газы проходят через систему коронирующих и осадительных электродов. К коронирующим электродам подведен ток высокого напряжения (до 60000В) напряжения, благодаря коронному разряду происходит ионизация частиц пыли, которые приобретают электрический заряд. Заряженные частицы двигаются в электрическом поле в сторону осадительных электродов и оседают на них. Осевшая пыль удаляется из электрофильтров встряхиванием электродов в сухих или промывкой в мокрых электрофильтрах. В *однозонных* электрофильтрах ионизация и осаждение частиц осуществляется в одной зоне. Для тонкой очистки газов наиболее эффективными являются *двухзонные* электрофильтры, в которых ионизация частиц происходит в специальном ионизаторе. Электрофильтры могут состоять из одной или нескольких секций, в каждой из которых создается свое электрическое поле. Аппараты с последовательным расположением таких секций называются *многопольными*, а с параллельным – *многосекционными или многокамерными*.

Условием эффективной работы электрофильтров является герметичность камер, исключающая подсос воздуха, приводящий к вторичному уносу загрязнений. Достоинством электрофильтров является высокая эффективность работы при соблюдении оптимальных режимов работы, сравнительно низкие энергозатраты, а недостатком – большая металлоемкость и крупные габариты.

Очистка газовых выбросов от газо- и парообразных загрязнителей

В настоящее время существует два типа газо- и пароулавливающих установок.

Первый тип установок обеспечивает санитарную очистку выбросов без последующей утилизации уловленных примесей, количество которых невелико, но которые даже малых концентрациях опасны для здоровья человека. Второй тип предназначен для промышленной очистки выбросов от больших количеств вредных примесей с последующей их концентрацией и дальнейшим использованием в качестве исходного сырья в различных технологических процессах. Установки второго типа являются составляющими элементами разрабатываемых перспективных малоотходных и безотходных технологий.

Методы очистки промышленных выбросов от газообразных и парообразных загрязнителей по характеру протекания физико-химических процессов делят ***на пять основных групп:***

- промывка выбросов растворителями примесей (***абсорбция***);
- промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (***хемосорбция***);
- поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (***адсорбция***);

- **термическая нейтрализация** отходящих газов;
- поглощение примесей с помощью **каталитического превращения**.

Метод абсорбции обеспечивает очистку газовых выбросов путем разделения газовой воздушной смеси на составные части за счет поглощения одной или нескольких вредных примесей (абсорбатов), содержащихся в этой смеси, жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора.

Для удаления из технологических выбросов таких газов, как аммиак, хлористый или фтористый водород в качестве жидкого поглотителя применяют воду, но растворимость этих веществ в воде составляет сотни граммов на 1 кг воды. Растворимость в воде сернистого ангидрида или хлора не превышает сотых долей грамма на 1 кг воды, поэтому при обработке газовых примесей требуется большое количество воды. В качестве абсорбентов используют и другие жидкости: раствор сернистой кислоты для улавливания водяных паров; вязкие масла для улавливания ароматических углеводородов из коксового газа.

Контакт очищаемого газа с абсорбентом осуществляется путем пропускания газа через насадочную колонну, либо распылением поглощающей жидкости, либо барботажом через ее слой. В зависимости от способа контакта «газ-жидкость» различают следующие аппараты: *насадочные башни, форсуночные и центробежные скрубберы, скрубберы Вентури, барботажно-пенные, тарельчатые и др.*

Конструкция широко используемых для абсорбционной очистки противоточных насадочных башен аналогична конструкции скруббера, который может иметь несколько слоев насадки, увеличивающей площадь контакта газа с абсорбентом. Очищенный газ отводится в атмосферу, а жидкость, содержащую вредные растворимые примеси, подвергают регенерации с целью отделения вредных веществ, после чего возвращают в аппарат или отводят в качестве отхода.

Метод хемосорбции заключается в поглощении вредных газовых и паровых примесей, содержащихся в газовых выбросах, твердыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих или малорастворимых химических соединений. Применение этого метода наиболее выгодно при небольших концентрациях вредных примесей в отходящих газах. Методом хемосорбции осуществляется очистка газовой смеси от сероводорода с использованием мышьяково-щелочного, этаноаминового и др. растворов. Сероводород при этом связывается в соответствующей хемосорбенту соли, находящиеся в водном растворе, регенерация которого осуществляется кислородом, содержащимся в очищенном воздухе, с образованием серы, которая может быть использована как сырье.

Очистка газов с помощью хемосорбции осуществляется в насадочных башнях, пенных и барботажных скрубберах, распылительных аппаратах типа труб Вентури и в ап-

паратах с различными механическими распылителями. Широко распространены скрубберы с подвижной насадкой. Насадка в виде сплошных, полых и перфорированных шаров, колец, полуколец, кубиков и элементов другой формы совершают пульсационные движения, что интенсифицируют процесс взаимодействия очищаемых газов с орошающей жидкостью, а также удаляет образующиеся в результате химической реакции осадок со стенок корпуса аппарата или опорной решетки. Такие аппараты отличаются высокой эффективностью очистки газовых выбросов, большой производительностью и низким гидравлическим сопротивлением.

Хемосорбция широко применяется для очистки отходящих газов от оксидов азота, образующихся при сжигании топлива, выделяющихся из ванн для травления и в других технологических процессах. Очистка осуществляется в скрубберах с использованием в качестве хемосорбента известкового раствора. Эффективность очистки от окислов азота составляет 1,17-0,86 и от паров кислот – 0,95.

Достоинство методов абсорбции и хемосорбции заключается в непрерывности ведения технологического процесса и экономичности очистки больших количеств газовых выбросов. Недостаток – громоздкость оборудования и необходимость создания систем жидкостного орошения. В процессе очистки газы подвергаются охлаждению, что снижает эффективность их рассеяния в атмосфере при отводе в атмосферу. В процессе работы абсорбционных аппаратов образуется большое количество отходов, состоящих из смеси пыли, поглощающей жидкости и вредных примесей, которые подлежат транспортировке и утилизации, что усложняет и удорожает процесс очистки.

Адсорбционный метод очистки газов основан на поглощении содержащихся в них вредных примесей поверхностью твердых пористых тел с ультрамикроскопической структурой, называемых адсорбентами. Эффективность процесса адсорбции зависит от пористости адсорбента, скорости и температуры очистки очищаемых газов.

Поглощающая способность адсорбента определяется наличием в его объеме большого количества пор различного размера: микропоры, переходные и макропоры. Размеры микропор соизмеримы с молекулами адсорбируемых вредных примесей. Чем больше пористость адсорбента и выше концентрация примеси, тем интенсивнее протекает процесс адсорбции. В качестве адсорбентов широко применяют активированные угли. Их применяют для очистки газов от органических паров, поглощения неприятных запахов и газообразных примесей, содержащихся в небольших количествах в промышленных выбросах. Кроме активированного угля используется активированный глинозем, силикагель, активированный оксид алюминия, синтетические цеолиты или молекулярные сита, которые наряду с активированным углем обладают высокой адсорбционной способностью и изби-

рательностью поглощения определенных газов, механической прочностью и способностью к регенерации. Последнее свойство очень важно, т.к. позволяет при снижении давления или повышении температуры удалять из адсорбента поглощенные газы без изменения их химического состава и тем самым повторно использовать адсорбент и адсорбируемый газ.

Аппараты адсорбционной очистки работают периодически или непрерывно и выполняются в виде вертикальных, горизонтальных или кольцевых емкостей, заполненных пористым адсорбентом, через который проходит поток очищаемого газа. Выбор конструкции определяется расходом очищаемого газа, размером частиц адсорбента, требуемой степенью очистки и другими факторами. Вертикальные адсорберы отличаются не большой производительностью. Производительность горизонтальных и кольцевых адсорберов достигает десятков и сотен тысяч м³/час. Наиболее распространены адсорберы периодического действия, в которых период очистки газов чередуется с периодом регенерации твердого адсорбента.

Адсорберы непрерывного действия представляют вертикальную многосекционную колонну, с движущимся сверху вниз адсорбентом, который проходит зоны охлаждения, поглощения, ректификации, нагрева и десорбции, и вновь возвращается в исходное положение. Газ поступает в зону поглощения и движется навстречу адсорбенту.

Установки периодического действия отличаются конструктивной простотой, но имеют низкие скорости газа и большие энергетические затраты на его прокачку.

В установках непрерывного действия с подвижным слоем адсорбента полнее используется адсорбционная способность адсорбента, обеспечивается процесс десорбции, однако имеются значительные его потери за счет ударов частиц адсорбента друг о друга и истирания о стенки аппарата.

Термическая нейтрализация обеспечивает окисление токсичных примесей в газовых выбросах до менее токсичных при наличии свободного кислорода и высокой температуры газов. Этот метод применяется при больших объемах газовых выбросов и концентрациях загрязняющих примесей.

Различают *три* схемы термической нейтрализации газовых выбросов: *прямое сжигание в пламени, термическое окисление при температурах 600-800 С и каталитическое сжигание – при 250-450С*. Выбор схемы нейтрализации определяется химическим составом загрязняющих веществ, их концентрацией, начальной температурой газовых выбросов, объемным расходом и предельно-допустимыми выбросами вредных веществ.

Прямое сжигание может осуществляться как непосредственно в открытом факеле, так и в замкнутой камере. Системы прямого сжигания обеспечивают эффективность

очистки 0,90-0,99, если время пребывания вредных примесей, органических отходов, окислов азота, токсичных газов, например, цианистого водорода в высокотемпературной зоне – 0,5с, а температура газов, содержащих углеводороды, не менее 500-650 С, а содержащих оксид углерода – 660-750 С.

Термическое окисление применяют, когда отходящие газы имеют высокую температуру, но в них нет достаточного количества кислорода, либо, когда концентрация горючих примесей настолько низка, что они не обеспечивают подвод теплоты, необходимой для поддержания пламени.

Если отходящие газы имеют высокую температуру, то процесс дожигания происходит в камере с подмешиванием свежего воздуха. Так осуществляется дожигание оксида углерода и углеводородов, образующихся при работе автомобильного двигателя. Если отходящие газы имеют недостаточную для процесса окисления температуру, то они предварительно подогреваются в теплообменнике, а затем поступают в рабочую зону, в которой сжигают природный или другой высококалорийный газ. При этом горючие компоненты отходящих газов доводят до температуры, превышающей точки их самовоспламенения, и они сгорают в среде кислорода, присутствующего в отходящих газах.

Основное преимущество термического окисления – относительно низкая температура процесса, что позволяет сократить расходы на изготовление камеры сжигания и исключить образование оксидов азота.

Каталитический метод предназначен для превращения вредных примесей, содержащихся в отходящих газах промышленных выбросов, в вещества безвредные или менее опасные для окружающей среды с использованием специальных веществ – катализаторов. Катализаторы изменяют скорость и направление химической реакции, например, реакции окисления. В качестве катализаторов используются: платина, палладий и другие благородные металлы или их соединения: окислы меди, марганца и т.п. Катализаторная масса располагается в специальных реакторах в виде насадки из колец, шаров, пластин или проволоки, свитой в спираль из нихрома, никеля, окиси алюминия с нанесенным на поверхность этих элементов слоем благородных металлов микронной толщины. Каталитические методы очистки широко используются для вредных примесей, содержащихся в газовоздушных выбросах цехов окраски, а также для нейтрализации выхлопных газов автомобилей.

СТРАТЕГИЯ И ТАКТИКА ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ

Исторически сложившиеся размещение производственных комплексов в районах жилой застройки населенных мест не является оптимальным. Система водоснабжения и водоотведения в таких агломерациях также являются совместными для жилой и промышленной зоны. На крупных предприятиях имеется собственная система водного хозяйства с полным технологическим циклом от забора воды до ее очистки, обезвреживания и утилизации твердой фазы.

Системы водоснабжения промышленных предприятий в зависимости от водных и технологических процессов могут быть *прямоточного, повторного и оборотного водоснабжения*. В зависимости от технологического назначения вода в системе оборотного водоснабжения может быть подвергнута различной обработке. В системе оборотного водоснабжения безвозвратные потери воды (производство, испарение, выветривание, разбрызгивание, шлам, продувочный расход) компенсируются дополнительным, т.е. подпиточным количеством свежей воды из источника.

Балансовые схемы расходования воды, сырья, загрязнений служат одним из исходных материалов при составлении экологических паспортов предприятий по ГОСТ 17.0.04 в разделе характеристики водопотребления, водоотведения и очистки вод, а также паспорта водного хозяйства населенных пунктов.

Совместные схемы водообеспечения и водоотведения промышленных предприятий и населенных мест разрабатываются при проектировании на основе технико-экономического сравнения вариантов с целью комплексного решения водохозяйственных проблем района, города или региона.

Система водного хозяйства, включающая насосные станции, трубопроводы, очистные сооружения, исполненная и эксплуатируемая даже в самом образцовом виде, по сути своей являясь природоохранной, создает определенную антропогенную нагрузку на окружающую среду и потребляет при этом ресурсы.

Оценивая экологическую значимость всей системы водного хозяйства, отметим, что система канализации является приемником огромного количества загрязнений, сопровождающих жизнедеятельность человека в быту и на производстве. Какой бы совершенной не была система очистки сточных вод, все равно остаются осадки, выделяются газы в атмосферу, потребляется энергия на очистку воды, выводятся из сельскохозяйственного оборота земли на накопители, иловые площадки, биопруды и т.д. Особенно тяжело переносит природа сброс в канализацию вредных микропримесей – солей тяжелых металлов, нефтепродуктов, поверхностно-активных средств, ксенобиотиков.

Техногенный цикл антропогенного круговорота вещества и энергии, в т.ч. и для систем водного хозяйства, может быть сведен к минимуму при рациональном, экологически обоснованном природопользовании.

Рациональное использование и охрана вод зависит от эффективности государственного управления. Управление построено по бассейновому принципу, затрагивающему интересы краев, областей, городов, районов. Учет и планирование использования вод представляет собой систему, главными звеньями которой являются государственный водный кадастр, водобалансовые схемы комплексного использования и охраны вод.

В основе рационального использования водных ресурсов лежит технико-экономическое обоснование развития территориально-производственного комплекса, которое составляется с целью:

- создания здоровой комфортной среды обитания людей;
- создания эффективной структуры производства основных видов продукции;
- охраны природной среды;
- комплексного использования водных ресурсов.

В современных условиях экономики, когда стоимость становится реальной и весомой, предприятию экономически выгоднее будет вести водное хозяйство по минимуму потребления свежей воды, сброса сточных вод с максимальным повторным (оборотным) водоснабжением и утилизацией вторичных ресурсов, т.е. по пути экологизации водного хозяйства.

Экологизация – это процесс неуклонного постепенного и последовательного внедрения систем технологических, управленческих, организационных и других решений, позволяющих повышать эффективность использования естественных ресурсов и условий с улучшением или хотя бы с сохранением качества природной среды.

Применительно к технике, экологизация технологий означает проведение мероприятий по предотвращению и снижению воздействия производственных процессов на природную среду. Одним из основных в комплексе таких мероприятий является разработка безотходных или малоотходных технологий и технологических цепей, имеющих на выходе минимум вредных выбросов.

Следует отметить, что процесс экологизации будет связан с возрастанием стоимости мероприятий по охране гидросферы. Однако данные затраты не затрагивают национального дохода. Они компенсируются предотвращением или ликвидируемым ущербом, которые наносятся сбросами стоков. Следствием чего будут увеличенные расходы на водоподготовку для питьевого водоснабжения, промышленного и сельскохозяйственного водоснабжения, снижение продуктивности рыбного и лесного хозяйства, животноводства,

урожаев, возрастание расходов на восстановление природного состояния водоемов, на медицинское обслуживание населения и т.д.

На основании длительного изучения влияния различных химических соединений на флору и фауну установлены предельно-допустимые концентрации для водоемов различных категорий водопользования. При этом вещество нормируется по санитарно-токсикологическому, общесанитарному лимитирующему или органолептическому показателю вредности.

Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) рекомендована шкала Кортес-Дубинина для оценки токсичности загрязняющих веществ. На первое место по степени отрицательного воздействия на организм поставлены тяжелые металлы (135 баллов), на второе- пестициды (130 баллов), далее – нитраты (65 баллов).

Экологизации процессов очистки сточных вод способствуют следующие технические решения и мероприятия:

Механическая очистка – совершенствование гидродинамических режимов существующих отстойных сооружений; применение вместо отстойников сетчатых установок; предварительная обработка сточных вод перед осветлением коагулянтами; расширение применения технологических процессов очистки вод, использующих центробежные силы для разделения суспензий и эмульсий взамен гравитационных; совершенствование существующих и разработка новых фильтровальных установок.

Химическая очистка – применение более активных коагулянтов; совершенствование гидродинамических и массообменных характеристик, обеспечивающих полноту гидролиза, смещения, реакций; повторное использование шлаков и осадков химической очистки вод; выделение и утилизация в основном или вторичном производстве продуктов реакции; организация рациональной системы водоотведения производственных сточных вод, обеспечивающих их взаимоочистку после объединения на локальных очистных сооружениях.

Физико-химическая очистка – расширение и совершенствование процессов гипер-, ультрафильтрации, экстракции, адсорбции, ионообмена, позволяющих выделить и возвращать в основное производство продукты, а очищенные воды, после корректировки состава до нормативных величин, использовать в оборотном водоснабжении; разработка и создание новых селективных типов сорбентов из сточных вод с целью вторичного использования, широкое использование жидких и твердых промышленных отходов в технологических процессах; развитие энергетически малоемких эффективных процессов, к числу которых можно отнести использование в очистке вод электроэнергии, получаемой из биогаза, а также гальванокоагуляцию; развитие передвижной сервисной сети обслуживания

абонентов по регенерации сорбентов, электрохимическому выделению тяжелых металлов на катодах специальных установок, что позволяет вернуть в технологию продукты, произвести с получением вторичного сырья регенерацию сорбентов и их же вернуть в цикл очистки вод; разработка методов предварительного физического и химического воздействия на очищаемые воды; физическая обработка (омагничивание, ультразвуковая, высокочастотная), приводящая к изменению физико-химических характеристик и соответственно к более глубокой степени выделения загрязнений из вод.

Биологическая очистка – применение метода предварительной анаэробной подготовки сточных вод; использование искусственных носителей биомассы; широкое применение биосорбционных методов; регулирование соотношения групп микроорганизмов; применение высшей водной растительности (эйхорная водная или водный гиацинт, пистия, аир и пр.) в качестве самостоятельного фиторектатора для очистки сточных вод сельскохозяйственных комплексов с получением биомассы и с использованием ее на корм скоту или в производстве биогаза; использование симбиотического альгобактериального сообщества (водоросли+ бактерии) в очистке и доочистке сточных вод с искусственным освещением в темный период суток интенсивностью 120лк/м. Продуцируемый бактериями при окислении органических веществ диоксид углерода усваивается водораслями, а выделяемый в результате фотосинтеза кислород используется микроорганизмами как акцептор электронов в метаболизме. При этом достигается глубокая очистка сточных вод и не требуется воздухоподогревателей, компрессоров для биоокислителей.

В настоящее время наибольшую технологическую и экологическую сложность представляет не очистка сточных вод, а проблема обработки и утилизации их твердой фазы.

Количество образующейся твердой фазы на очистных сооружениях зависит от генезиса исходного состава и расхода сточных вод, метода их очистки и составляет в среднем 0,01-3,00% от объема. Влажность твердой фазы колеблется от 85(предприятия стройиндустрии) до 99,8% (активный ил).

Основные задачи обработки шлам и осадков сточных вод: обезвоживание, обеззараживание и утилизация.

В зависимости от зольности они могут быть трех видов:

- преимущественно минеральные (зольность более 70%);
- преимущественно органические (зольность менее 30%);
- смешанные (зольность 30-70%).

В настоящее время имеется промышленный опыт возврата в основное производство шламов очистки сточных вод стекольных, оптико-механических, металлургических предприятий, заводов по выпуску строительных изделий, некоторых химических производств, а также в качестве добавок во вспомогательные производства – мясокормбинаты; молокозаводы (технические жиры, ланолин, жирозаменители; гидролизные заводы (белки-витаминные концентраты); целлюлозно-картонно-бумажный комбинаты (производство древесно-волоконистых плит, картона, целлюлозы).

Утилизация шламов представляет сложную многовариантную проблему, основным вопросом которой является предотвращение вторичного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Наиболее распространенным способом утилизации шламов очистки сточных вод является складирование их на полигонах промышленных отходов (шламы подвергаются отверждению цементом, битумом, остеловыванием, обработке полимерными связующими). Имеется опыт утилизации шламов тяжелых металлов в производстве строительной керамики, кирпича, черепицы. Современные экологические подходы к формированию системы водоотведения гальванических производств учитывают цели утилизации.

При очистке сточных вод, в т.ч. и гальванических, надо увеличить единовременные затраты на полное разделение потоков, что в конечном итоге повысит экологичность технологии.

Учитывая существующий опыт ряда стран, в перспективе следует ожидать появление очистных сооружений с улавливанием и обезвреживанием аэрозолей от аэрационных биоокислителей, а также размещение всех очистных сооружений в подземных выработках.

СОВРЕМЕННЫЕ БИОТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Современная биотехнология – это направление, призванное изыскивать пути промышленного применения биологических агентов и процессов. Это комплексная многопрофильная область, включающая микробиологический синтез, генетическую, белковую и клеточную инженерию, инженерную энзимологию.

Биотехнология в основном опирается на использование микроорганизмов. Поэтому знания, накопленные микробиологией о многообразии мира, о строении, генетике, физиологии, изменчивости, экологии микробов создают научную основу для развития многих биотехнологических производств. Традиционное сырьё для различных отраслей химической и перерабатывающей промышленности (нефть и газ) истощается, а это приведёт к тому, что всё более широко будут использоваться ресурсы биомассы.

Бродильное производство и технология на основе ферментов будут основными источниками моторного топлива XXI века.

Помимо новых способов получения химических веществ из биомассы, биотехнология даёт нам также более эффективные и производственные катализаторы для осуществления химических взаимопревращений.

Многообещающей областью дальнейшего развития представляется производство ценных веществ из растений, например, терпенов и алкалоидов, используемых при производстве лекарств; в настоящее время 25% всех лекарств производится из растений.

В области сельского хозяйства решаются вопросы создания полноценных кормов для животных на основе белка одноклеточных. Для переработки отходов сельскохозяйственного производства используются биотехнологические процессы с помощью анаэробных и аэробных, термофильных бактерий. Созданы новые бактериальные удобрения. Прежде всего, биотехнология перспективна с экологической точки зрения. С момента возникновения цивилизации на Земле остро стоит экологическая проблема охраны окружающей среды.

Благодаря антропогенной деятельности человека (промышленной, сельскохозяйственной, бытовой и т.д.) постоянно происходит изменение физических, химических и биологических свойств окружающей среды, причём многие из этих изменений весьма неблагоприятны. Прогнозируется, что биотехнология будет оказывать многообразное и всё возрастающее влияние на способы контроля за окружающей средой и на её состояние

Прекрасным примером такого влияния служит внедрение новых, более совершенных методов биотехнологической переработки отходов, применение биотехнологии в борьбе против распространения ксенобиотиков и нефтяных загрязнений.

Сегодня быстро развиваются разнообразные отрасли промышленности, в которых процессы жизнедеятельности микроорганизмов используются для создания замкнутых систем, для контроля за загрязнением сточных вод, биотестирования, для использования альтернативных энергоресурсов и химического сырья, как в промышленности, так и в сельском хозяйстве.

Основные задачи, которые решает биотехнология в деле охраны окружающей среды, следующие:

1. Деградация органических и неорганических токсичных отходов.
2. Возобновление ресурсов для возврата в круговорот веществ углерода, азота, фосфора и серы.
3. Получение ценных видов органического топлива.

Одно из наиболее важных направлений биотехнологии – обработка сточных вод, твёрдых выбросов, контроль за загрязнением окружающей среды и создание безотходных технологий.

В последнее время резко увеличилось количество и усложнился качественный состав веществ, загрязняющих среду. Бурное развитие химии и её внедрение в народное хозяйство наряду с огромным экономическим эффектом и многими блестящими достижениями несёт определённую опасность в смысле нарушения сложившихся в течение сотен тысяч лет биомов симбиотирующих и взаимодополняющих обитателей биосферы. Наиболее опасно загрязнение окружающей среды вредными для здоровья человека ядовитыми, канцерогенными и мутагенными веществами.

Остро стоит проблема очистки сточных вод, а вместе с ней и - дефицит чистой воды. По подсчётам некоторых учёных человечество может остаться без пресной воды в 21 веке. Особенно большие надежды в решении этих проблем учёные возлагают на развитие биотехнологии

Биотехнология – это новый путь человечества к спасению природы.

Биотехнологии, как направления науки и практики, являются пограничной областью между биологией и техникой отраслей человеческой деятельности. Они представляют собой совокупность методов и приемов получения полезных для человека продуктов, явлений и эффектов с помощью организмов. Применительно к охране окружающей среды биотехнологию можно рассматривать как разработку и создание технологических процессов, основанных на продуктах жизнедеятельности биологических объектов, микробных культур, сообществ, их метаболитов и препаратов, путем включения их в естественные круговороты веществ, элементов, энергии и информации. Методами и приемами биотехнологии являются фундаментальные и прикладные наработки микробиологии, биохимии, биофизики, клеточной и генной инженерии, их сочетание.

История биотехнологии насчитывает тысячелетия (производство хлебопечения, виноделия, сыроделия и т.д.). Однако ежегодно появляются новые прикладные биотехнологии, общим подходом для которых являются искусственное создание условий эволюционных, биогеохимических процессов на Земле в виде характерных биореакторов, реализующихся с большими скоростями, оставаясь совместными по своим продуктам с окружающей средой.

На протяжении столетий человечество добывало металлы из богатых и относительно простых по химическому составу руд. По мере истощения запасов таких руд стали использовать полиметаллические и более бедные руды. При этом традиционные способы добычи металлов сопровождалась загрязнением природной среды в виде отходов, шлаков

(полезно используется не более 2% сырья). При этом извлекается только один элемент, а сопутствующие – накапливались в отвалах.

Более совершенным и менее антропогенным является гидрометаллургический метод, основанный на использовании водных растворов, одним из разновидностей которого является бактериально-химическое выщелачивание металлов. Основу этого процесса составляет окисление содержащихся в рудах сульфидных минералов тионовых бактерий. К таким минералам относятся сульфиды железа, меди, никеля, цинка, кобальта, свинца, молибдена, серебра, мышьяка. При этом металлы переходят из нерастворимой сульфидной формы в растворимую сульфатную. Полученные концентрированные (до 50г/л) железосодержащие растворы отправляются на экстракцию и электрохимическую обработку (аналогичные операции обработки и др. металлов).

Биотехнология выщелачивания металлов может применяться как для непосредственной обработки в пласте, так и в заброшенных карьерах и отвалах, что в целом улучшает охрану природной среды (более 5% металлов в мире добываются в настоящее время таким способом и в перспективе его применение несомненно возрастет).

Тионовые бактерии находят также применение для предварительного понижения содержания серы в рудном сырье. Содержание серы в рудном сырье. Содержание серы в углях может достигать 10-12%, а сжигание их приводит к образованию сернистого ангидрида и в дальнейшем к выпадению кислотных дождей. Принципиально биотехнология сжигания серы в углях аналогична выщелачиванию металлов. Попутно при этом будут выделяться содержащиеся в углях германий, вольфрам, никель, беррилий, ванадий, золото, медь, кадмий, свинец, цинк.

При добыче каменного угля зачастую выделяется метан, являющийся причиной взрывов и смертельных случаев на шахтах. Наряду с имеющимися способами борьбы с метаном в шахтах применяется и биотехнологический, в основу которого положен процесс поглощения метана метаноокисляющими бактериями в угольных пластах и выработанных пространствах.

Для метаноокисляющих бактерий метан служит одновременно источником углерода и энергии (1/3 расходуется на увеличение биомассы, а 2/3 – на образование внеклеточных органических соединений и углекислого газа). Метаноокисляющие бактерии выращиваются в ферментерах, концентрируются и непосредственно в шахте приготавливается рабочая суспензия с добавками азота и фосфора, которая закачивается в пласт из расчета 30-40 л на 1т угля. Необходимый для развития бактерий кислород подается в пласт компрессорами. Содержание метана в этом случае снижается более чем в 2 раза и в 1,5 раза повышается отдача угольного пласта.

Заметное место среди средств повышения вторичной добычи нефти принадлежит также биотехнологии. При нефтедобыче извлекается не более 50% ее запасов в пласте, что обусловлено прочной связи нефти с породой. Повышение нефтедобычи пласта на 10-15% равносильно открытию нового месторождения. После закачивания воды для активизации биохимической активности микробов применяется аэрация в зоне нагнетательной скважины. Это вызовет микробное разрушение нефти с образованием углекислого газа, водорода, низкомолекулярных органических кислот, которые поступают в анаэробную зону пласта и разрушаются анаэробными метангенерирующими бактериями с образованием метана. Разрушение нефти и образование газов приводит к разжижению ее, увеличению текучести и повышению газового давления в пласте, что сопровождается увеличением нефтедобычи (в отдельных случаях до 30%) и снижению антропогенного воздействия на природную среду.

Экологическая биотехнология

Биотехнология активно применяется в целях очистки всех компонентов биосферы (воды, почвы, воздуха и др.) от загрязняющих веществ. Кроме того, существенным является не только сам процесс очистки, но и возможность использования выделенных отходов в качестве вторичного сырья.

Биологическая очистка стоков. Существуют микроорганизмы, для которых загрязнения, содержащиеся в сточных водах, являются питательными веществами. В начале 20 века произошла революция в очистке сточных вод с помощью активного ила – сложной смеси микроорганизмов. Хотя при этом требуется перемешивать жидкость и непрерывно аэрировать её воздухом, такой способ позволяет перерабатывать большие объёмы стоков с самыми разнообразными загрязнениями – от хозяйственно-бытовых до промышленных.

Биологическая очистка газовых выбросов. Многие выбросы в атмосферу содержат вредные или дурно пахнущие примеси. Для их очистки применяют биофильтры, заполненные насадкой, на которой закреплены специальные микроорганизмы. Вредные примеси сорбируются на насадке и затем потребляются и обезвреживаются микроорганизмами.

Биокомпостирование твёрдых отходов. Аналогом аэробной очистки стоков является аэробное биокомпостирование твёрдых отходов. Твёрдые отходы смешиваются с микроорганизмами, разлагающими вредные загрязнения, и балластным материалом типа торфа, который обеспечивает доступ кислорода к микроорганизмам. Это позволяет превратить отходы в удобрение или просто использовать их в качестве подсыпки для дорог, в строительстве и в других случаях.

Метановое сбраживание твёрдых отходов. Ещё в 1776 году Вольта обнаружил, что в болотном газе содержится метан. С 1901 года успешно применяют анаэробное сбражи-

вание осадка избыточного активного ила, образующегося при работе установок биологической очистки сточных вод. Сброженный осадок, если только он не содержит повышенных концентраций тяжёлых металлов, успешно используют как удобрение. Он лучше исходного осадка по составу, и в нём почти полностью отсутствуют болезнетворные микроорганизмы.

Также существуют и многие другие способы биотехнологического воздействия на окружающую среду: биodeградация химических пестицидов и инсектицидов, борьба с накоплением метана в шахтах, обессеривание нефти и каменного угля, обогащение воздуха кислородом и другие.

Развитие всех современных направлений биотехнологии, включая экологическую биотехнологию, происходит в настоящее время настолько быстро, что точные прогнозные оценки в этой области весьма затруднительны. Биологические технологии целиком базируются на научных достижениях. При этом то, что лишь недавно было предметом лабораторных исследований, сегодня активно внедряется в производство. Вероятно, в будущем не будет ни одного направления человеческой деятельности, которое не было бы в тех или иных пределах связано с биотехнологией.

Расширение сферы внедрения биотехнологии изменяет соотношение в системе «человек – производство – природа», повышает производительность труда, принципиально изменяет его качество. Биологизация производства в целом – одно из важнейших направлений в создании гибких саморегулирующихся производственных процессов будущего, которые гармонично вписываются в природу, не причиняя ей вреда. В настоящее время последствия антропогенной деятельности достигли такой грани, когда дальнейшая некоординируемая деятельность может привести к необратимым изменениям в биосфере в целом. Это может привести к тому, что биосфера станет непригодной для обитания человека. Разрешение этого противоречия, то есть создание такого равновесия в природе, которое в состоянии привести к гармоничному сосуществованию возрастающего населения планеты и биосферы, возможно только на основе дальнейшего развития науки и техники. Для этого необходимо разумное развитие человеческого общества в целом, направленное не на разрушение биосферы, а на ее дальнейшее развитие. Последнее, в свою очередь, должно оказывать позитивное влияние на дальнейший прогресс человечества, то есть создание ноосферы. Один из основных путей решения данной проблемы – дальнейшее развитие биологии и расширение сферы применения биотехнологии. Внедрение биотехнологии ведет к созданию экологически чистых технологий в различных сферах человеческой деятельности, включая более рациональное использование природных ресурсов и создание замкнутых производственных циклов.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Типы бытовых отходов

Интенсивный рост промышленности и городов привели к увеличению загрязнения окружающей среды. Результатом деятельности промышленных предприятий является образование отходов. Виды отходов самые разнообразные, и, соответственно, методы их обработки и переработки многочисленны. Органические отходы в соответствии с источником подразделяются на бытовые, промышленные и сельскохозяйственные, а по физическому состоянию – на жидкие, полужидкие текучие и твёрдые. Типы органических отходов и методы их биологической обработки представлены в таблице №1.

Типы органических отходов и методы их биологической обработки.

Таблица №1.

Физическое состояние	Типы отходов	ХПК, мг/л	Вид обработки	Преимущество
Жидкое (сточные воды)	Городские	200-500	Аэробная	Глубокая очистка
	Промышленные	300 –	То же	То же
	Навозные стоки при гидросмывной уборке	50000	Анаэробная	Отсутствие избыточного ила
		1000 – 3000	Аэробная Выдерживание в отстойниках Анаэробная	Очистка воды Дешевизна, удобрение Удобрение
Полужидкое (текучее)	Осадки сточных вод	4000 –	Анаэробная	Метан, отсутствие запаха
	Навоз при самотечной уборке	6000 2000 – 7000	То же	Метан, удобрение, отсутствие запаха
Твёрдое	Твёрдые бытовые (ТБО)		Анаэробная	Метан
	Органическая часть ТБО		То же	Метан, удобрение
	Подстилочный навоз		Компостирование	Удобрение
			Анаэробная Компостирование	Метан, удобрение Дешёвое, качественное удобрение

Проблема утилизации твёрдых бытовых отходов

В области переработки и ликвидации твердых отходов биотехнологические методы наиболее широко применяются для утилизации коммунальных отходов и ила из систем биоочистки стоков.

Традиционно твердые отходы складировались на городских свалках. Все возрастающие объемы отходов на душу населения приводят к возникновению огромного количества свалок, увеличению их площадей, а также к неуправляемому попаданию отходов в окружающую среду из-за рассыпания их при транспортировке. После того, как стало ясно, что при анаэробной переработке отходов в больших количествах образуется ценный энергетический носитель – биогаз, основные усилия стали направляться на соответствующую организацию свалок и получение на месте их переработки метана.

На городских свалках в последние годы четко просматривается тенденция увеличения объема бумаги и пластмасс на фоне снижения доли органических и растительных материалов, что удлиняет время стабилизации отходов.

Поведение отходов на свалке носит чрезвычайно сложный характер, так как постоянно происходит наслаивание нового материала через различные временные промежутки. В результате этого процесс подвержен действию градиентов температуры, pH, потоков жидкости, ферментативной активности и пр. В общей массе материала свалок присутствует сложная ассоциация микроорганизмов, которые развиваются на поверхности твердых частиц, являющихся для них источником биогенных элементов. Внутри ассоциации складываются разнообразные взаимосвязи и взаимодействия. В целом состояние и биокаталитический потенциал микробного сообщества зависит от спектра химических веществ материала свалок, степени доступности этих веществ, наличия градиентов концентраций различных субстратов, в особенности градиентов концентраций доноров и акцепторов электронов и водорода.

На начальной стадии биodeградации твердых отходов доминируют аэробные процессы, в ходе которых под воздействием микроорганизмов (грибов, бактерий, актиномицетов) и также беспозвоночных (клещей, нематод и др.) окисляются наиболее деградируемые компоненты. Затем деструкции подвергаются трудно и медленно окисляемые субстраты – лигнин, лигноцеллюлозы, меланины, танины. Существуют различные методы оценки степени биodeградации твердых отходов. Наиболее информативным принято считать метод оценки, основанный на различиях в скоростях разложения целлюлозы и лигнина. В переработанных отходах отношение содержания целлюлозы к лигнину составляет около 4,0; в активно перерабатываемых – 0,9–1,2 и в полностью стабилизированных отходах – 0,2. В течение аэробной стадии температура среды может повышаться до 80°C, что вызывает инактивацию и гибель патогенной микрофлоры, вирусов, личинок насекомых. Температура может служить показателем состояния свалки. Увеличение температуры повышает скорость протекания процессов деструкции органических веществ, но при этом снижается растворимость кислорода, что является лимитирующим фактором. Истощение

молекулярного кислорода приводит к снижению тепловыделения и накоплению углекислоты. Это, в свою очередь, стимулирует развитие в микробной ассоциации сначала факультативных, а затем облигатных анаэробов. При анаэробной минерализации в отличие от аэробного процесса участвуют разнообразные, взаимодействующие между собой микроорганизмы. При этом виды, способные использовать более окисленные акцепторы электронов, получают термодинамические и кинетические преимущества. Происходит последовательно процесс гидролиза полимеров типа полисахаридов, липидов, белков; образованные при этом мономеры далее расщепляются с образованием водорода, диоксида углерода, а также спиртов и органических кислот. Далее при участии метаногенов происходит процесс образования метана (рис.1).

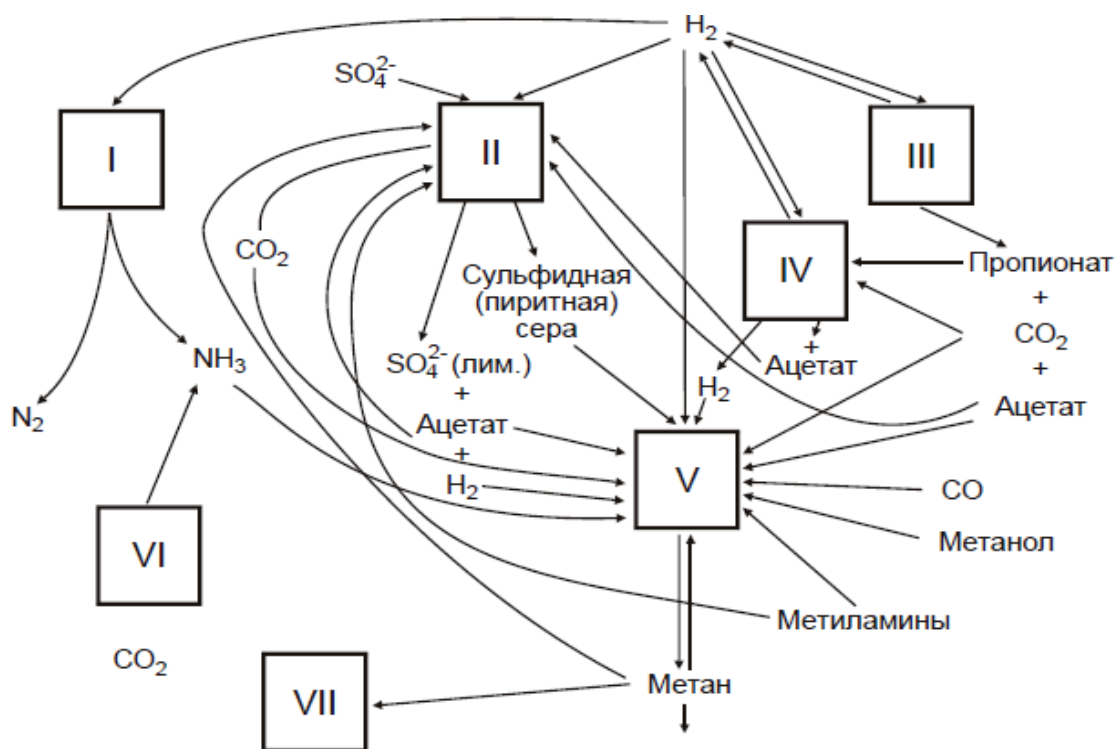


Рис. 1. Взаимодействие микроорганизмов в анаэробных условиях заключительной стадии катаболизма (по К. Форстеру и Е. Сениору, 1990).

Бактерии, потребляющие: I – нитраты, II – сульфаты; бактерии, образующие: III – пропионат, IV – ацетат, V – метан; бактерии, катаболирующие: VI – аминокислоты, VII – метилированные металлоорганические комплексы.

В результате комплекса процессов, происходящих при биodeградации содержимого свалок, образуются два типа продуктов – фильтрующиеся в почву воды и газы.

Фильтрующиеся воды, помимо микроорганизмов, содержат комплекс разнообразных веществ, включая аммонийный азот, летучие жирные кислоты, алифатические, ароматические и ациклические соединения, терпены, минеральные макро- и микроэлементы,

металлы. Поэтому важным моментом при выборе и организации мест свалок является защита поверхности земли и грунтовых вод от загрязнений. Для борьбы с фильтрацией вод применяют малопроницаемые засыпки или создают непроницаемые оболочки вокруг свалки или специальные заграждения. Возможно, что наиболее эффективным способом может стать организация сбора фильтрующихся вод свалок и управляемая анаэробная переработка с применением капельных биофильтров, аэротенков или аэрационных прудов. В системе аэрационных прудов в течение нескольких месяцев можно удалить из вод до 70% БПК; в капельных биофильтрах или системах с активным илом – до 92% БПК с одновременным извлечением в результате биосорбции свыше 90% металлов (железа, марганца, цинка). Анаэробная биоочистка позволяет удалить 80–90% ХПК в течение 40–50 дней при 25°C (при 10°C величина удаления ХПК снижается до 50%).

Биогаз, образуемый при биодegradации материала свалок, является ценным энергоносителем, но также может вызывать негативные явления в окружающей среде (дурной запах, закисление грунтовых вод, снижение урожайности сельскохозяйственных культур), поэтому следует ограничивать утечки газа. Это возможно при помощи специальных приспособлений (преграды, траншеи, наполненные гравием, системы экстракции газа), позволяющих управлять перемещением газа, а также созданием над массивом свалок оболочек, препятствующих его утечке.

Теоретический выход метана может составлять 0,266 м³/кг сухих твердых отходов. Реальные экспериментальные выходы биогаза, полученные на различных лабораторных, пилотных установках и контролируемых свалках, дают существенный разброс данных, от десятков до сотен л/кг в год. Огромное влияние на процесс метаногенеза оказывают многие факторы, – температура и рН среды, влажность, уровень аэрации, химический состав отходов, наличие в них токсических компонентов и др. Газ, образуемый на свалке, извлекается с помощью вертикальных или горизонтальных перфорированных труб из полиэтилена. Применение воздуходувок и насосов может повысить степень извлечения газа. Газ используют для обогрева теплиц, получения пара, а после дополнительной очистки его можно перекачивать по трубам к местам потребления.

Таким образом, помимо экологической, проблема носит экономический характер, так как использование образующегося на свалках биогаза, снижает материальные затраты на борьбу с загрязнениями, опасными и дурно пахнущими отходами.

Биологическая переработка промышленных отходов

Неотъемлемой чертой любого цивилизованного общества является образование как жидких, так и твердых отходов. Поиск безопасных для здоровья населения и не загрязняющих окружающую среду способов их ликвидации представляет собой одну из первосте-

пенных задач. В области переработки и ликвидации твёрдых отходов биотехнологическими методами наиболее значительное место, как по стоимостным, так и по объёмным показателям, занимает утилизация ила сточных вод и твёрдых коммунальных отходов.

Промышленные отходы можно в первом приближении разделить на две категории:

- 1) отходы производств, основанных на использовании биологических процессов (производство пищевых продуктов, напитков, ферментация);
- 2) отходы химической промышленности.

В первом случае отходы имеют различный состав и обычно перерабатываются путем биологического окисления, как это делалось традиционно в случае бытового мусора. Однако такой способ экономически невыгоден, и в настоящее время широко обсуждается вопрос о возможности уменьшения объема разбавленных сточных вод либо их непосредственного использования - трансформации (для получения биомассы или других ценных продуктов), или же путем извлечения из них ценных соединений.

В многочисленных и разнообразных отраслях химической промышленности образуется большое количество отходов, причем многие из них с трудом поддаются разрушению и длительное время присутствуют в среде. Поэтому часто перед обычной биологической переработкой отходов бывает необходимо провести их предварительную химическую или физическую обработку. Использование специфических микроорганизмов для расщепления ксенобиотиков при переработке отходов еще не нашло широкого применения в промышленности, и тем не менее подобный подход представляется весьма перспективным. Это может быть:

- 1) деградация отдельных видов отходов с помощью специализированных культур микроорганизмов или их сообществ;
- 2) введение специально подобранных культур в обычные системы переработки отходов;
- 3) ликвидация и обезвреживание разливов нефти;
- 4) извлечение металлов;
- 5) биологическая очистка газов от пахучих и вредных соединений (меркаптанов, сероводорода, цианида, хлорзамещенных углеводородов и т.д.);
- 6) получение биомассы из отходов;
- 7) превращение отходов в метан.

В результате широкого применения человеком продукции химической промышленности в окружающую среду попадают различные типы ксенобиотиков: пластмассы (пластификаторы), взрывоопасные вещества, добавки, полимеры, красители, поверхностно-активные вещества пестициды и органические соединения - производные нефти. Что

касается бытового мусора, то для его переработки созданы широко применяемые системы, использующие активный ил и оросительные фильтры. Сточные же воды химической промышленности, как правило, не соответствуют возможностям подобных систем. Интенсивность переноса кислорода в ходе процессов, обычно протекающих в таких системах, бывает недостаточна для поддержания максимальной скорости окисления при участии микрофлоры. Эти процессы чувствительны также к колебаниям в загрузке реактора, особенно если токсичные вещества и ингибиторы поступают в систему в высоких и непостоянных концентрациях.

Проблему недостатка кислорода, возникающую при переработке отходов химической промышленности в обычно используемых системах на основе активного ила, пытались решить несколькими способами. В двух случаях (распределитель с пробулькиванием и система "Анокс") для увеличения скорости переноса газа использовали чистый кислород. В одной из новых систем переработки отходов - колонном эрлифтном ферментере, разработанном фирмой ICI - пошли по пути увеличения количества растворенного кислорода. В центральной части колонны имеется не доходящая до дна вертикальная секция, в которую сверху поступают отходы и повторно используемый активный ил; туда же вводится воздух. Когда смесь выходит из ферментера вверх по наружной секции колонны, давление в системе падает, что вызывает пробулькивание пузырьков воздуха. Благодаря высокому содержанию растворенного кислорода и турбулентности биомасса поддерживается в высокоактивном состоянии и становится более устойчивой по отношению к перегрузкам, а также к уменьшению аэрации и времени нахождения отходов в ферментере, особенно в случаях высококонцентрированных отходов.

Такие процессы с повышенной аэрацией устойчивы к резким перегрузкам отходами, не оказывающими токсического или ингибирующего действия. В случае же токсичных отходов более пригодными оказываются системы, в которых используются микроорганизмы, растущие в пленках. Такие популяции микробов не вымываются из системы, даже если на их рост и метаболизм оказывают неблагоприятное воздействие поступающие сточные воды. Кроме того, внутри пленки из-за ограничения диффузии создаются градиенты концентрации. Это приводит к понижению концентраций токсичных продуктов внутри пленки, а следовательно, к повышению скорости их усвоения и окисления. Пленка создает также экологическую нишу для организмов, рост которых в присутствии высоких концентраций отходов при перегрузках существенно замедляется; Самая простая форма пленочной системы - это перколяционный фильтр, однако подобного рода пленки разрушаются, если они становятся очень тонкими, при уменьшении концентрации субстрата на поверхности подложки. В таком случае клетки погибают, и пленка отпадает, засоряя

фильтры внутри системы переработки отходов. При слишком высоких концентрациях субстрата происходит быстрый рост микроорганизмов, что приводит к образованию толстой пленки и к ее периодическому отслоению. Интенсивность подобных процессов можно снизить, разбавив поступающий раствор с питательными веществами, осветленными сточными водами. Разработка новых методов сохранения толщины пленки представляет безусловный интерес. Так, при помощи медленного вращения диска из полистирола внутри протекающих сточных вод толщина пленки поддерживается постоянной за счет гидродинамических сил и аэрации при выходе пленки из воды. Такая эффективная и простая система была предложена для очистки стоков с низкой величиной БГЖ. Еще один эффективный метод переработки токсичных отходов может быть основан на использовании реакторов с оживленной подложкой, где микроорганизмы растут на поверхности небольших инертных частиц (песок, стекло, антрацит), через слой которых пропускают с контролируемой скоростью сточные воды и воздух.

Отходы, не содержащие азота или фосфора, не способны поддерживать рост микроорганизмов. В подобных случаях для окисления токсичных соединений до двуокиси углерода можно использовать покоящиеся клетки при условии, что активность их гидролитических и окислительных ферментов не подавляется. Поскольку среда при переработке отходов в колонных реакторах периодически меняется, микроорганизмы оказываются в условиях голодания и в это время их рост прекращается. При поступлении источника углерода на короткое время включается несопряженный метаболизм, когда организмы дышат, но не растут. Это дает то преимущество, что уменьшается общий выход биомассы (ила).

Отходы молочной промышленности; сыворотка

Сыворотка является побочным продуктом сыроварения. Ее состав зависит от типа используемого молока и вырабатываемого сыра. В высушенном или концентрированном виде сыворотка применялась в качестве корма для животных; однако ее недостатком является то, что она несбалансирована с точки зрения содержания питательных веществ: в ней слишком высока концентрация минеральных веществ и лактозы. Разработаны способы извлечения из сыворотки белков путем ультрафильтрации, осаждения или выделения с помощью ионного обмена. Из таких белков можно получать белковые гидролизаты, используя для этого ферментеры. После извлечения белков получают большие объемы фильтратов с высокими концентрациями лактозы (35 - 50 г/л), минеральных веществ, витаминов и молочной кислоты, и встает проблема дальнейшего их использования. Если превратить лактозу в молочную кислоту при участии молочнокислых бактерий, то мы получим источник углерода, который может сбрасываться дрожжами (например, смешан-

ными культурами *Lactobacillus bulgarius* к *Candida krusei*). Возможно и прямое сбраживание лактозы дрожжами *Kluyveromyces fragilis* или *Candida intermedia*. После подобного сбраживания не обязательно отделять микроорганизмы от среды, объем которой можно уменьшить и получить обогащенную белком сыворотку.

Из сыворотки получают не только белковые продукты, но и (путем ферментации) сырье для химической промышленности (например, этанол). Путем химического гидролиза лактозы с последующим удалением глюкозы из раствора с помощью ферментации можно получать галактозу. Альтернативный биологический путь - использование мутантных дрожжей, лишенных β -галактозидазы. Такие мутанты сохраняют способность к гидролизу лактозы и используют образующуюся глюкозу в качестве источника углерода. В результате гидролиза лактозы фильтрат становится более сладким; на опытных установках такой гидролиз осуществляют с помощью иммобилизованной β -галактозидазы. Гидролизированный фильтрат не только находит применение в пищевой промышленности, но может оказаться полезным и при решении проблем, связанных с недостатком ферментов у некоторых животных-отъемышей и с непереносимостью лактозы у человека. Из сыворотки получают и другие химические соединения: лактозу, лактулозу, лактитол и лактобионовую кислоту.

Отходы целлюлозно-бумажной промышленности

Волокнистый материал, применяющийся при производстве бумаги и других продуктов, получают как из древесных, так и из травянистых растений после химического расщепления лигнина. Однако этот процесс сопровождается потерей большого количества древесины и образованием огромного количества отходов. Все это должно стимулировать разработку альтернативной химической технологии.

В настоящее время применяют два процесса получения древесной пульпы. Основной из них - это щелочная варка (сульфатный процесс), в результате которой образуется темная сульфатная варочная жидкость. Эти отходы содержат трудно перерабатываемые ароматические продукты расщепления лигнина и низкомолекулярные органические кислоты (глюкоизосахариновую, молочную, уксусную и муравьиную). При получении пульпы из смолистой древесины сосны образуются талловое масло и терпены, широко используемые в промышленности. Сульфатную варочную жидкость не удастся перерабатывать биологическими способами, которые могли бы применяться в промышленном масштабе; гораздо экономичнее упаривать эту жидкость и сжигать ее, получая таким образом энергию из отходов.

Сульфатная варка целлюлозы применяется реже; она дает отходы следующего состава: лигносульфонаты с ароматическими элементами (60%), сахара (манноза, галактоза,

глюкоза, ксилоза, арабиноза (36%), уксусная кислота, метанол и фур-фураль). Эти жидкие отходы - хорошее сырье для ферментации благодаря высокому содержанию в них углеводов. Их ферментация в широких масштабах начата в 1909 г. В настоящее время традиционным методом удаления пентоз, гексоз и уксусной кислоты из таких отходов служит их ферментация при участии дрожжей. Помимо этих традиционных методов, вскоре будут использоваться и новые процессы превращения отходов в грибной белок с помощью *Raecilomyces variotii*, *Sporotrichum pulverulentum* и *Chaetomicum cellulolyticum*. Неподдающиеся переработке соединения можно концентрировать и сжигать. Лигносультфонаты применяют в качестве связывающих веществ и вспомогательных средств при бурении; щелочным окислением при повышенном давлении их можно превращать в ванилин. Вообще говоря, главное в переработке отходов целлюлозно-бумажной промышленности - это понижение энергозатрат, а какой химический принцип при этом используется, менее существенна.

Основная экологическая проблема, порождаемая целлюлозно-бумажной промышленностью, это очистка сточных вод, а также обработка конденсатов, образующихся в испарителях и реакторах. Сточные воды осветляют путем нейтрализации и отстаивания, окисления в одно- и двухстадийных установках с активным илом, в аэрируемых отстойниках или путем сочетания биологических и химических способов окисления. Эти методы пригодны для эффективного удаления соединений, подверженных биodeградации, а также токсичных производных фенола, однако они оказываются дорогими и неэффективными в случае производных лигнина, с трудом поддающихся переработке. Отбеливатели, содержащие хлорпроизводные бифенилов, можно обесцвечивать с помощью грибов - возбудителей белой гнили.

Среди побочных продуктов сульфитного процесса получения целлюлозы преобладают химически модифицированные лигнины, образующиеся во многих реакциях между активным сульфитом и каким-либо сложным природным полимером. Структура лигно-сульфонатов в деталях неизвестна. Они представляют собой гетерогенную смесь соединений с широким спектром молекулярных масс (300-100000); состав смесей определяется природой перерабатываемой древесины. Образование сульфонов приводит к частичной солюбилизации лигниновых фрагментов. Сложность структуры лигносульфонатов затрудняет изучение их биodeградации. Для упрощения задачи обычно используют модельные соединения, например дегидрополимеры кониферилового спирта или другие низкомолекулярные продукты. Низкомолекулярные лигносульфонаты чувствительнее к биodeградации, чем высокомолекулярные; с другой стороны, производные лигнина, видимо,

устойчивее к разрушению, чем сам лигнин. Следовательно, образование сульфопроизводных затрудняет переработку.

В таких сопряженных окислительно-деградативных процессах почвенные грибы и бактерии более эффективны, чем гниlostные грибы; для осуществления этих процессов требуется также дополнительный источник углерода. Распад лигносульфонатов нередко сопровождается полимеризацией, в результате чего наблюдается сдвиг в распределении полимеров по молекулярным массам. Эти изменения могут коррелировать с присутствием внеклеточных фенолоксидаз (например, лакказы), физиологическая роль которых остается неизвестной. Фенолы превращаются в соответствующие хиноны и феноксид-радикалы, которые спонтанно полимеризуются. Таким образом, полимеризация и деградация происходят одновременно. Однако в случае некоторых грибов реакции полимеризации не протекают в присутствии целлюлозы. Целлюлоза распадается до целлобиозы, являющейся субстратом для целлобиозы: хинон оксидоредуктазы, которая одновременно окисляет целлобиозу и восстанавливает хиноны и феноксид-радикалы. Может существовать и другая оксидоредуктазная система, в которой легкодоступные источники углерода используются для восстановления хинонов. Возможная роль подобной биологической полимеризации состоит в облегчении осаждения лигно-сульфонатов. Лигносульфонаты применяются как связывающие вещества при производстве отдельных видов картона, где в качестве катализатора полимеризации используют содержащие лакказу культуральные фильтраты. Фенолоксидазы могут играть важную роль в определении судьбы многих ксенобиотиков в окружающей среде, участвуя в полимеризации фенолов и в образовании органических полимеров почвы.

Чувствительность лигносульфонатов к биodeградации увеличивается после их химической или физической модификации. Под действием УФ-облучения и озонирования происходит фрагментация этих молекул, а удаление остатков сульфоновой кислоты хотя и снижает растворимость лигносульфонатов, одновременно уменьшает их устойчивость к биodeградации. Предпринимались попытки использовать для микробного десульфирования анаэробные сульфатредуцирующие бактерии и некоторые виды *Pseudomonas*. Большими потенциальными возможностями в этом смысле обладают смешанные культуры. Использование таких культур для разрушения лигносульфонатов может оказаться более эффективным, чем применение отдельных штаммов, поскольку при этом могут быть созданы сообщества с широким спектром активностей, например, способные к десульфированию, расщеплению прочных связей, метилированию и деполимеризации. В результате может быть получена высокоэффективная биоокислительная система. В одной из опытных установок для получения БОО из углеводов, содержащихся в отходах целлюлозно-

бумажной промышленности, используют *Candida utilis*, а для разрушения остаточных лигносульфонатов - смешанную культуру. Биомасса, образующаяся на второй стадии этого процесса, не находит сбыта, поэтому ее повторно используют после термообработки для ускорения роста *Candida*.

Переработка отходов после очистки воды

Традиционные физико-химические методы переработки сточных или канализационных вод приводит к образованию значительного количества твёрдых отходов. Некоторая их часть накапливается уже на первичной стадии осаждения, а остальные обусловлены приростом биомассы за счёт биологического окисления углеродсодержащих компонентов в сточных водах. Твёрдые отходы изначально существуют в виде различных суспензий с содержанием твёрдых компонентов от 1 до 10%. По этой причине процессам выделения, переработки и ликвидации ила стоков следует уделять особое внимание при проектировании и эксплуатации любого предприятия по переработке сточных вод.

В общих чертах, технические методы обработки ила сводятся к достижению определённой степени обезвоженности. Выбор процесса или последовательности процессов в любой технологической цепочке утилизации ила определяется способом его ликвидации, наиболее подходящим для конкретного вида ила и места его переработки. Каждый тип ила обладает различными свойствами в таких процессах, как, например, перекачка, химическая обработка или фильтрование. Поэтому выбор способа переработки определяется главным образом экономическими показателями процесса, зависящими от типа ила.

Переработка ила

Концентрирование. Различные типы сырых осадков сточных вод первоначально не отличаются высокой концентрацией твёрдых компонентов. Поэтому, согласно современным теориям утилизации ила, в большинстве случаев необходимо обеспечивать определённую степень обезвоживания ещё до начала основных процессов переработки. Одним из наиболее простых способов достижения этой цели является длительное осаждение под действием силы тяжести – отстаивание. Различают первичное и вторичное отстаивание. Первичное применяется непосредственно после сброса сточных вод. Вторичное отстаивание применяется для ила, прошедшего стадию анаэробного сбраживания. Сложности при этом обычно связаны с наличием микропузырьков биогаза, образующихся во время процесса сбраживания. Поэтому перед вторичным отстаиванием обычно предусматривают операции удаления газа.

Концентрировать ил также можно и с помощью центрифугирования и флотации.

Фильтрование. Ил может быть обезвожен до более высокой степени фильтрованием. В Великобритании подобные процессы чаще всего проводят на фильтр-прессах. Уста-

новка состоит из набора плит, подвешенных на боковых брусках или верхней балке. На плитах сделаны углубления таким образом, чтобы между ними образовывались камеры, на каждую плиту натягивается фильтровальная ткань, и вся конструкция фиксируется либо болтами, либо с помощью гидравлического давления. Далее насосами фильтр заполняется илом и обеспечивается давление для создания движущей силы фильтрования. В конце цикла, после прекращения стока воды, давление снимается, плиты разделяют, а твердый осадок удаляют.

Модификация ила. Обезвоживание большинства типов ила, полученных в ходе различных операций по переработке стоков, - сложный процесс. Необходимой стадией является предварительная обработка ила с целью улучшения фильтруемости. Это и есть модификация его свойств. Как правило, этот процесс заключается в добавлении химикатов, действующих как коагулянты или флокулянты. В качестве таких реагентов могут быть использованы неорганические соли (известь, хлорид железа, сульфат железа, хлорид гидрат алюминия) или специально подобранные органические полимеры с различной молекулярной массой и ионным сродством.

Какие бы типы реагентов ни употреблялись (неорганические или органические), на практике важно не превышать некоторой оптимальной дозировки. Избыточное количество не только ведёт к расточительству и увеличению расходов, но иногда вызывает и ухудшение фильтруемости.

Аэробная переработка отходов. Аэробная переработка стоков - это самая обширная область контролируемого использования микроорганизмов в биотехнологии. Она включает следующие стадии:

- 1) адсорбция субстрата на клеточной поверхности;
- 2) расщепление адсорбированного субстрата внеклеточными ферментами;
- 3) поглощение растворенных веществ клетками;
- 4) рост и эндогенное дыхание;
- 5) высвобождение экскретируемых продуктов;
- 6) "выедание" первичной популяции организмов вторичными потребителями.

В идеале это должно приводить к полной минерализации отходов до простых солей, газов и воды. Эффективность переработки пропорциональна количеству биомассы и времени контактирования ее с отходами. Системы аэробной переработки можно разделить на системы с перколяционными фильтрами и системы с использованием активного ила

Активный ил.

Переработка отходов с помощью активного ила, осуществляемая сложной смесью микроорганизмов, была предложена в 1914 г. Этот процесс более эффективен, чем филь-

трация, и позволяет перерабатывать сточные воды в количестве, в десять раз превышающем объем реактора. Однако он обладает рядом недостатков: более высокими эксплуатационными расходами из-за необходимости перемешивания и аэрации; большими трудностями в осуществлении и поддержании процесса; образованием большого избытка биомассы. Несмотря на все это, процесс, использующий активный ил, остается наиболее распространенным методом переработки сточных вод в густонаселенных районах, поскольку требует меньших площадей, чем эквивалентная фильтрационная система.

Как и в фильтрационные системы, в систему с активным илом были внесены некоторые изменения. Следующие из них связаны с аэрацией.

1. Градиентная аэрация, приводящая интенсивность аэрации в соответствие с потребностью в кислороде, которая на входе больше, чем на выходе.

2. Ступенчатая аэрация, при которой по всей длине тэнка сточные воды поступают с интервалами.

3. Контактная стабилизация, при которой повторно используемый ил аэрируется, что способствует более полной утилизации микроорганизмами любых доступных питательных компонентов. Это приводит к более полной ассимиляции отходов при возврате в основные рабочие танки. В результате объем ила на стадии аэробного разложения уменьшается, что в принципе аналогично увеличению аэрации.

4. Использование чистого кислорода в закрытых тэнках, которые поэтому могут работать при более высоких концентрациях биомассы; таким образом уменьшается время пребывания сточных вод в тэнке и, кроме того, решается проблема "разбухания" (избыточного роста нитчатых бактерий и грибов), препятствующего оседанию ила.

Активный ил - это истинно водная среда. Как и в перколяционных фильтрах, основная группа бактерий, участвующих в процессе переработки, - это *Zoogloea*. Считается, что активно растет только небольшая часть флокуляционного ила. По сравнению с перколяционными фильтрами в активном иле наблюдается меньшее экологическое разнообразие. Рост водорослей ограничивается недостатком света, а виды и разнообразие присутствующих в иле простейших определяются степенью переработки отходов.

Для успешной переработки бытовых и промышленных отходов необходимо точно знать состав и концентрацию стоков. Это служит "руководством к действию": зная качественные и количественные характеристики среды, можно сразу установить, какой микробный посевной материал необходим для инициации работы системы. Часто бывает трудно показать, что именно те микроорганизмы, которых выделяют из систем биологической переработки отходов, осуществляют окисление присутствующих соединений. Микробиологическое изучение любой системы, использующей активный ил, включает:

- 1) идентификацию микроорганизмов и определение их численности;
- 2) оценку микробиологической активности как популяции в целом, так и отдельных видов;
- 3) оценку соотношения между (1) и (2), с одной стороны, и количеством вводимых питательных веществ и продуктов переработки - с другой.

Микробиологическую активность активных илов можно оценивать по приросту биомассы или по интенсивности общего метаболизма; последний включает изменения, происходящие в среде. Измерения могут проводиться и для какой-то отдельной популяции микроорганизмов. Можно показать, что активность ила связана с определенными бактериями, точно подсчитать их число и определить метаболическую активность. Далее можно выяснить, в какой мере та или иная специфическая активность ила определяется конкретными видами бактерий с известными свойствами, и установить, какое влияние оказывают на них неблагоприятные условия, в которых они оказываются из-за поступления в среду тех или иных питательных веществ или продуктов метаболизма других микроорганизмов. Для сточных вод, поступающих в емкость с активным илом, характерны высокие концентрации органических соединений и, следовательно, наличие больших количеств хемоорганотрофных видов, например *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* и *Moraxella*, а также многих других бактерий. При высоких концентрациях неорганических соединений в стоках обнаруживаются бактерии *Thiobacillus*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* и *Ferrobacillus* spp., окисляющие соответственно серу, аммиак и железо. Эти организмы были выделены из систем для переработки отходов и идентифицированы с помощью методов селективных культур. В ходе этих работ важно установить, играют ли какие-либо виды главенствующую роль в тех процессах, которые протекают в активном иле. Этот аспект часто недооценивается, особенно небиологами. Нередко бывает трудно однозначно установить роль того или иного микроорганизма. Например, если из системы по переработке отходов выделены *Thiobacillus*, окисляющие соединения серы, то это еще не означает, что вся активность такого рода определяется именно этими микроорганизмами: частичное окисление ряда соединений серы осуществляют и виды *Pseudomonas*.

Взаимосвязи между организмами, участвующими в катаболизме органических и неорганических субстратов, имеют важное значение для регуляции процессов, происходящих в активном иле. Промежуточные продукты метаболизма у одного вида бактерий способны оказывать влияние на процессы деградации у другого. Например, фенол подавляет активность организмов, окисляющих аммиак: он может ингибировать этот окислительный процесс даже при столь малых концентрациях, как 3 – 4 мкг/л.

Промежуточные продукты расщепления бензойной кислоты до катехола, сукцината и ацетата ингибируют образование ферментов, участвующих в начальных этапах расщепления. Катехол и сукцинат подавляют синтез ферментов, разрушающих бензоилформат и бензальдегид, по механизму обратной связи, а ацетат действует как катаболитный репрессор: наличие простого органического соединения подавляет расщепление более сложных молекул до тех пор, пока это более простое соединение не будет использовано. Когда ингибирование снимается, синтезируются новые ферменты, ответственные за расщепление более сложных ароматических структур. На практике при наличии в отходах гомологичных рядов каких-либо соединений необходимо образование ферментов, способных справиться с расщеплением самой сложной молекулы данного ряда. Полное расщепление таких соединений должно происходить в течение определенного минимального времени удержания (нахождения, отходов в реакторе) в процессе переработки. Следовательно, можно предсказать, какая обработка потребуется для окисления фенольных соединений; например, чем сложнее боковая цепь молекулы, тем больше времени необходимо для ферментативного разрушения этого вещества.

Эффективность данного процесса можно повысить, изучив механизмы регуляции метаболизма в микрофлоре систем с активным илом. Регуляция биodeградации - это сложная задача. Однако, зная биохимию соответствующих процессов, мы, по-видимому, сможем вмешиваться и в их регуляцию. Например, добавление к илу промежуточных продуктов цикла трикарбоновых кислот в низких концентрациях (2-5 мг/л), глюкозы, аминокислот и витаминов (в частности, аланина и никотиновой кислоты) приводит к ускорению окисления ряда соединений. Введение этих промежуточных продуктов в состав биомассы увеличивает энергетические потребности системы, стимулирует синтез АТФ за счет усиленного окисления неорганических веществ типа серы или аммиака. Понимание биохимии подобных процессов, видимо, даст возможность вмешиваться в процессы регуляции метаболизма.

Задача микробиолога-биотехнолога при разработке методов очистки сточных вод состоит в более полном изучении и учете взаимосвязи между активностью микроорганизмов, образованием хлопьев ила и производительностью установки по переработке отходов. В этом смысле превращения в системе активного ила следует рассматривать в основном как окислительные процессы во влажной среде, сопровождающиеся увеличением объема ила, которое можно расценивать как вредное или полезное (последнее - когда ил используется повторно). Совершенно очевидно, что биологический способ переработки пригоден для множества различных органических и неорганических соединений и устраняет их вредное воздействие на окружающую среду.

Акт о защите среды от загрязнений от 1994 г. по мере претворения его в жизнь будет оказывать все возрастающее влияние на технологию очистки сточных вод. Термин "биodeградация" используется сейчас очень широко, но имеет множество толкований. Иногда под биodeградацией понимают полную минерализацию какого-либо соединения микроорганизмами с образованием углекислого газа, сульфата, нитрата и воды - это одна крайность. Другая крайность состоит в том, что данный термин используют применительно к незначительным изменениям соединений, приводящим к утрате ими некоторых характерных свойств. Стандартные методы оценки деградации позволяют определить термин "биodeградация" следующим образом:

- 1) первичная деградация, при которой характерные свойства исходного соединения утрачиваются и перестают выявляться специфическими химическими тестами;
- 2) допустимая для окружающей среды биodeградация, при которой происходит минимальное изменение исходного соединения, необходимое для утраты его свойств (оба этих определения основаны на произвольных критериях, и поэтому неточны);
- 3) окончательная биodeградация, включающая полное превращение исходного соединения в неорганические конечные продукты и связанная с нормальными процессами метаболизма микробов.

Анаэробное разложение. Все возрастающая стоимость переработки отходов с помощью аэробного разложения и энергетический кризис, с одной стороны, и новые достижения микробиологии и технологии - с другой, возродили интерес к анаэробной переработке. Самая распространенная технология анаэробной переработки - разложение ила сточных вод. Эта хорошо разработанная технология с успехом используется с 1901 г. Однако здесь существует ряд проблем, обусловленных малой скоростью роста облигатных анаэробных метанобразующих бактерий, которые используются в данной системе. К ним относятся также чувствительность к различным воздействиям и неприспособленность к изменениям нагрузки. Конверсия субстрата также происходит довольно медленно, и поэтому обходится дорого. Некоторые проблемы связаны с неудачными инженерными решениями. Тем не менее, этот подход представляется перспективным с точки зрения биотехнологии; например, можно добавить к отходам ферменты для повышения эффективности процесса или попытаться усилить контроль за переработкой путем изменения тех или иных биологических параметров.

Анаэробная ферментация отходов или растительных культур, специально выращиваемых для получения энергии, очень перспективна для экономичного получения газообразного топлива при умеренных температурах (30 - 35°C). Эта новая отрасль биотехноло-

гии была развита микробиологами в сотрудничестве с инженерами-химиками и механиками, работниками сельского хозяйства и экономистами.

При выращивании сообщества различных бактерий на смеси органических соединений происходят сложные биохимические реакции. Метанобразующие бактерии способны к синтезу энергоносителя непосредственно из водорода и углекислого газа. Микроорганизмы, расщепляющие целлюлозу, синтезируют жирные кислоты, которые могут подвергаться восстановительному расщеплению до метана и углекислого газа; некоторые бактерии способны даже образовывать молекулярный водород. Описано сложное, взаимозависимое микробное сообщество, в котором можно выделить три группы бактерий: бактерии, осуществляющие гидролиз и брожение; бактерии, образующие водород и уксусную кислоту; а также водородотрофные, метанобразующие бактерии. Метанобразующие бактерии растут медленно и очень чувствительны к резким изменениям загрузки реактора и накоплению водорода. Можно надеяться, что усовершенствование конструкции реактора и контроль за процессом помогут уменьшить колебания загрузки реактора и позволят контролировать ее, определяя содержание водорода и промежуточных продуктов типа пропионовой и масляной кислот. Проблемы перегрузки, особенно существенные в случае промышленных стоков, можно обойти, увеличивая скорости оборота и применяя в качестве буферных систем сточные воды химических предприятий и бытовые сточные воды. Для увеличения метаногенной активности бактерий можно использовать обычные методы отбора или методы генной инженерии. Оценить возможность использования данного процесса при переработке смешанных отходов, а также охарактеризовать потребности в питательных веществах и усовершенствовать начальный этап процесса за счет уменьшения количества необходимого микробного посевного материала поможет дальнейшее изучение физиологии и экологии участвующих в процессе микроорганизмов.

Для получения энергии и полезных побочных продуктов можно использовать самые разнообразные отходы и сырье.

Ликвидация ила

1. Захоронение в почве. В странах ЕЭС ежегодно производится около 6 Мт ила, причём до 30% применяется в качестве удобрения в сельском хозяйстве. Такое использование ила весьма выгодно как с точки зрения роста урожайности, так и в плане улучшения почвы. Сброженный ил, обычно в виде пульпы, содержит азота 5,1; фосфора 1,6 и калия 0,4%. Доступность этого азота для сельскохозяйственных культур составляет 50-85%, а фосфора 20-100%. Таким образом, жидкий сброженный ил по содержанию этих элементов не уступает навозу.

Этот способ ликвидации осложняется двумя обстоятельствами: присутствием в иле патогенных организмов и токсичных элементов. Распространение патогенных организмов может быть пресечено рядом мер по дезинфекции ила перед его внесением в почву.

Принято считать, что основной повод для беспокойства дают два патогенных организма: *Salmonella* spp. и бычий цепень. Однако в иле могут присутствовать и другие патогенные виды, в частности паразитические, например *Brucella abortus* и *Ascaris suum*. Борьба с болезнями основывается на стабилизации ила.

Основными стабилизирующими ил процессами являются сбраживание, складывание в кучи или обработка известью. В качестве альтернативы возможно захоронение ила ниже уровня почвы.

2. Захоронение в море.

3. Сжигание.

Биодеградация твёрдых отходов

Перед транспортировкой твёрдых отходов на свалку они могут быть подвергнуты обработке, т.е. измельчению, перемалыванию и дроблению. Эта предварительная обработка может сильно влиять на катаболические процессы в твёрдых отходах. На типичной свалке, где отходы размещаются по отсекам, вся система в целом работает как группа реакторов периодического действия, в которых отходы находятся на разных стадиях биодеградации и подвергаются случайным воздействиям, например, попаданию воды, содержащей растворённый кислород или различные ксенобиотики. В этом случае можно применить простую модель периодических культивирований, действующих в той последовательности, в какой происходит загрузка. Для более традиционного типа свалки можно использовать модель периодического культивирования с повторным внесением посевного материала микроорганизмов и беспозвоночных.

В начальной стадии катаболизма твёрдых отходов, сопровождаемого физическими и химическими процессами, преобладают аэробные процессы, в ходе которых наиболее лабильные молекулы быстро разрушаются рядом беспозвоночных и микроорганизмами. Утилизация миксотрофных субстратов затем сменяется последующим катаболизмом макромолекул, таких как лигноцеллюлозы, лигнин, танины и меланины, которые способны только к медленной биодеградации, что приводит к тому, что кислород перестаёт быть лимитирующим субстратом.

Биодеградация ксенобиотиков в окружающей среде

Биодеградация органических соединений, загрязняющих окружающую среду, оправдана только в том случае, если в результате происходит их полная минерализация, разрушение и детоксикация; если же биохимическая модификация этих соединений при-

водит к повышению их токсичности или увеличивает время нахождения в среде, она становится не только нецелесообразной, но даже вредной. Детоксикация загрязняющих среду веществ может быть достигнута путем всего одной модификации структуры. Судьба ксенобиотика зависит от ряда сложным образом взаимосвязанных факторов как внутреннего характера (устойчивость ксенобиотика к различным воздействиям, растворимость его в воде, размер и заряд молекулы, летучесть), так и внешнего (рН, фотоокисление, выветривание). Все эти факторы будут определять скорость и глубину его превращения. Скорость биodeградации ксенобиотика данным сообществом микроорганизмов зависит от его способности проникать в клетки, а также от структурного сходства этого синтетического продукта и природного соединения, которое подвергается естественной биodeградации. В удалении ксенобиотиков из окружающей среды важную роль играют различные механизмы метаболизма.

В большинстве случаев при исследовании биodeградации использовался традиционный подход, основанный на выделении и анализе свойств чистых изолятов из окружающей среды. С другой стороны, из-за гетерогенности среды в ней формируются местообитания для множества разных микроорганизмов с самыми разнообразными метаболическими свойствами. Эти местообитания не могут не быть взаимосвязанными друг с другом. Ксенобиотики подвергаются действию смешанных популяций микроорганизмов, т.е. сообществ, для которых характерны отношения кооперации, комменсализма и взаимопомощи.

Биodeградация нефтяных загрязнений

Рассмотрим процессы биodeградации сложных смесей углеводов и их производных в средах, загрязненных нефтью. Речь пойдет как о сточных водах нефтяной промышленности, так и о загрязнении нефтью окружающей среды. Источники таких загрязнений могут быть самые разнообразные: промывка корабельных бункеров для горючего, аварии на танкерах в открытом море (основная причина нефтяных загрязнений окружающей среды), утечки в нефтехранилищах и сброс отработанных нефтепродуктов.

Сточные воды нефтяной промышленности обычно очищают биологическим способом после удаления большей части нефти физическими способами или с помощью коагулянтов. Токсическое воздействие компонентов таких сточных вод на системы активного ила можно свести к минимуму путем постепенной «акклиматизации» очистной системы к повышенной скорости поступления стоков и последующего поддержания скорости потока и его состава на одном уровне. Однако загрузка этих систем может значительно варьировать и, видимо, лучше использовать более совершенные технологии, например системы с илом, аэрированным чистым кислородом, или же колонные биореакторы.

Самые большие утечки нефти в окружающую среду происходят в море, где она затем подвергается различным физическим превращениям, известным как выветривание. В ходе этих абиотических процессов, включающих растворение, испарение и фотоокисление, разлагается (в зависимости от качества нефти и от метеорологических условий) 25 - 40% нефти. На этой стадии разрушаются многие низкомолекулярные алканы. Степень микробиологической деградации выветрившихся нефтяных разливов определяется рядом факторов. Весьма важен состав нефти: относительное содержание насыщенных, ароматических, содержащих азот, серу и кислород соединений, а также асфальтенов в различных типах нефти различно. Определенную устойчивость нефти придают разветвленные алканы, серосодержащие ароматические соединения и асфальтены. Кроме того, скорость роста бактерий, а, следовательно, и скорость биodeградации определяются доступностью питательных веществ, в частности азота и фосфора. Оказалось, что добавление таких веществ увеличивает скорость биodeградации. Количество разных организмов, способных расти на компонентах нефти, зависит от степени загрязненности углеводородами. Например, больше всего их находят поблизости от крупных портов или нефтяных платформ, где среда постоянно загрязнена нефтью. Полная деградация нефти зачастую не происходит даже при участии богатых по видовому составу микробных сообществ. Наиболее биологически инертные компоненты, например асфальтены, содержатся в осадочных породах и нефтяных залежах. Основные физические факторы, влияющие на скорость разложения нефти, - это температура, концентрация кислорода, гидростатическое давление и степень дисперсности нефти. Наиболее эффективная биodeградация осуществляется тогда, когда нефть эмульгирована в воде.

Особую проблему представляют выбросы или случайные разливы нефти на поверхности почвы, поскольку они могут привести к загрязнению почвенных вод и источников питьевой воды. В почве содержится очень много микроорганизмов, способных разрушать углеводороды. Однако даже их активность не всегда достаточна, если образуются растворимые производные или поверхностно-активные соединения, увеличивающие распространение остаточной нефти.

Пестициды

Слив отходов производства пестицидов сегодня строго контролируется; технология очистки сточных вод или их детоксикации хорошо разработана, хотя остается сложной и многообразной. Она включает сначала экстракцию пестицидов растворителями, а затем обычную биологическую обработку. Для ликвидации непредусмотренных выбросов, происходящих при утечках или при промывке и замене контейнеров с пестицидами, подходящая технология пока отсутствует. Пестициды попадают в окружающую среду и в

результате использования их для обработки сельскохозяйственных культур. Большинство пестицидов расщепляются бактериями и грибами. Превращение исходного пестицида в менее сложные соединения нередко осуществляется при участии сообществ микроорганизмов. Были описаны различные стадии и промежуточные продукты процессов деградации ДДТ, идущей, например, в ходе сопряженного метаболизма и приводящей к полной минерализации этого стойкого пестицида. Часто из среды, содержащей ксенобиотики, можно выделить сообщества такого рода, в которых он служит не основным источником углерода, а источником фосфора, серы или азота. Чрезвычайно высокая токсичность пестицидов зачастую утрачивается на первой же стадии их модификации. Это позволяет разработать относительно несложные микробиологические способы их детоксикации.

Например, в результате гидролиза может значительно уменьшиться токсичность пестицидов или увеличиться вероятность биodeградации. Для этого хорошо было бы использовать внеклеточные ферменты, способные функционировать в отсутствие кофакторов или специфических факторов и осуществлять детоксикацию разнообразных пестицидов. Это могут быть такие гидролазы, как эстеразы, ациламиназы и фосфоэстеразы. Чтобы выбранный фермент можно было применять *in situ*, он должен обладать подходящей кинетикой в широком диапазоне температур и pH, быть нечувствительным к небольшим количествам растворителей и тяжелых металлов, не ингибироваться субстратом при концентрациях, характерных для содержимого очистных систем, а также хорошо храниться. В ряде случаев в качестве биологического агента детоксикации была испробована паратионгидролаза, выделенная из *Pseudomonas* spp. С её помощью удалось удалить 94 - 98% остаточного паратиона (около 75г) из контейнера с пестицидом за 16 ч при концентрации субстрата 1% (по весу). Забуференные растворы (паратионгидролазы) использовали также для детоксикации паратиона в разливах на почве, где его концентрация, по-видимому, была весьма высока. Скорость разложения паратиона в этом случае зависела от типа почвы, влажности, буферной емкости раствора и концентрации фермента. При этом значительные количества пестицида были обезврежены всего за 8 ч. Как показали лабораторные эксперименты, еще одна возможная сфера применения иммобилизованных ферментов — это очистка сточных вод. Были описаны гидролазы для детоксикации других пестицидов. Многие из них обладают широкой субстратной специфичностью, что открывает большие возможности для создания других простых систем детоксикации пестицидов. В будущем подобные системы смогут применять при промывке промышленных химических установок и реакторов, ферменты в виде аэрозолей - для удаления пестицидов с поверхностей, а ферменты в сочетании с пестицидами - для быстрого разрушения пестицидов после их использования.

Ликвидация токсичных и опасных отходов

Ликвидация токсичных и опасных отходов на свалке, отдельно или вместе с твёрдыми отходами, требует тщательного выбора места свалки и материала для ограждения. Часто токсичные и опасные жидкие отходы и илы подвергаются стабилизации или отверждению перед их ликвидацией на свалке.

Ликвидация токсичных и опасных твёрдых отходов вместе с обычными требует учёта следующих факторов: типа отходов (твёрдые, ил, жидкие), совместимости видов микроорганизмов, нагрузки, испарения, скорости вымывания, характеристик твёрдых отходов, температуры и водного баланса в данном месте.

Механизм ослабления вредных воздействий может быть как микробиологическим, так и физико-химическим. Так, при ликвидации отходов, содержащих соли бария, было показано, что основную роль играют физико-химические механизмы, в основном адсорбция. Микроорганизмы косвенно участвуют в этом процессе, так как происходит осаждение бария в виде карбоната за счёт выделяемого микроорганизмами диоксида углерода, а присутствие жирных кислот существенно влияет на подвижность бария за счёт образования комплексов.

Радиоактивные отходы также могут быть подвергнуты микробной трансформации. Если такие изотопы, как ^3H , ^{58}Co , ^{85}Sr и ^{134}Cs , нуждаются только в косвенном проявлении микробной активности, то ликвидация соединений мышьяка требует прямого участия микроорганизмов в процессах восстановления и метилирования до ди- и триметиларсина.

Компостирование органических отходов

Компостирование – это экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биodeградации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности. В процессе биodeградации органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта. Этот продукт представляет ценность для сельского хозяйства и как органическое удобрение, и как средство, улучшающее структуру почвы.

Отходы, поддающиеся компостированию, варьируют от городского мусора, представляющего собой смесь органических и неорганических компонентов, до более однородных субстратов, таких как навоз, отходы растениеводства, сырой активный ил и нечистоты. В процессе компостирования удовлетворяется в основном потребность в кислороде, органические вещества переходят в более стабильную форму, выделяются диоксид углерода и вода и возрастает температура. В естественных условиях процесс биodeградации протекает медленно, на поверхности земли, при температуре окружающей среды и в ос-

новном в анаэробных условиях. Важными параметрами являются соотношение углерода и азота и мультидисперсность субстрата, необходимая для нормальной аэрации. Навоз, сырой активный ил и многие растительные отходы имеют низкое отношение углерода к азоту, высокую влажность и плохо поддаются аэрации. Их необходимо смешивать с твердым материалом, собирающим влагу, который обеспечит дополнительный углерод и нужную для аэрации структуру смеси.

В процессе компостирования принимает участие множество видов бактерий – более 2000 и не менее 50 видов грибов. Эти виды можно подразделить на группы по температурным интервалам, в которых каждая из них активна. Для психрофилов предпочтительна температура ниже 20°C, для мезофилов – от 20 до 40°C и термофилов – выше 40°C. Микроорганизмы, которые преобладают на последней стадии компостирования, являются, как правило, мезофилами.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ХРАНИЛИЩА ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В поверхностных хранилищах складировются **крупнотоннажные** твердые, жидкие и пастообразные **отходы**. Данные отходы обычно не относятся к **токсичным**, однако в случае неправильного размещения или конструктивных недостатков хранилища возможно значительное **загрязнение** почвы и водоемов.

Для предотвращения загрязнения почвы и водоемов устраивают **противофильтрационные экраны** из естественных или искусственных **материалов**:

- **из суглинка** с послойной укладкой и уплотнением. **Недостатком** является большая трудоемкость работ при экранировании больших площадей. Кроме того, экраны из суглинка не исключают полностью фильтрации и с течением времени разуплотняются;

- **из глины** толщиной не менее 0,3 м. Экран создается послойной укладкой и уплотнением материала. **Недостатком** является сезонность работ;

- **из шламистых материалов**. Экраны применяются на **хвостохранилищах**. **Пульпа** (дисперсная система, суспензия твердых частиц в воде) подается таким образом, чтобы илистые частицы осаждались на заданных участках отстойного пруда. Метод требует значительных **затрат** на формирование экрана;

- **из асфальтобитумных материалов**. Экран обладает хорошими эксплуатационными свойствами. Вначале укладывают слой крупнозернистого **асфальтобетона** толщиной 5 мм, затем 3 слоя по 2 мм битумно-латексной **эмульсии**, затем укладывают рулон-

ную **сетку** из проволоки диаметром 3 мм с ячейками 100х100 мм, сверху – слой мелкозернистого **асфальта** толщиной 3 мм;

- из **полиэтиленовой пленки**. Метод получил широкое **распространение**, однако не лишен **недостатков**:

- легкость механического повреждения;
- трудность обеспечения герметичности при большой площади;
- необходимость тщательной планировки поверхности, удаления растительных остатков и крупных включений;
- нестойкость к воздействию химических компонентов стоков;
- недоступность для ремонта;
- **комбинированные** (грунтово-пленочные с дренажем). Экраны имеют высокую **стоимость** изготовления.

Конструкция поверхностных хранилищ зависит от **рельефа местности**. В настоящее время в основном применяются сооружения **трех типов**:

- **равнинного типа**, располагаемые на слабопересеченной местности, ограждаемые со всех сторон дамбами. Отходы сбрасываются внутрь искусственного бассейна;
- **косогорного типа**, сооружаемые на склонах возвышенности, ограждаемые дамбами с трех сторон;
- **овражного типа**, располагаемые в оврагах.

По агрегатно-фазовому составу принимаемых отходов поверхностные хранилища делятся на:

- накопители жидких однофазных стоков;
- накопители многофазных стоков;
- накопители твердых отходов.

К первой группе (накопителей **жидких однофазных стоков**) относятся пруды-накопители и

пруды-испарители. Они **принимают**:

- промышленные сточные воды с большим количеством солей;
- отработанные кислоты (серную, соляную, азотную) различных концентраций, но не слишком концентрированные;
- сточные воды с растворенными органическими веществами, извлечение которых экономически нецелесообразно. **Схема** пруда-накопителя-испарителя приведена на рис. 17.1.

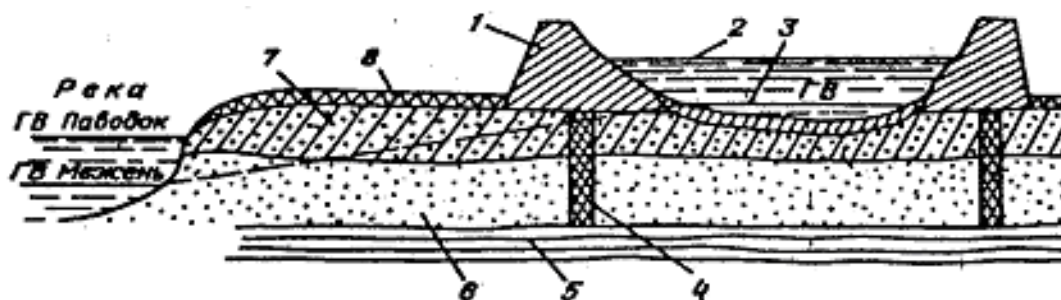


Рис. 17.1. Схема пруда-накопителя-испарителя

1 – дамба обвалования; 2 – максимальный расчетный уровень стоков; 3 – горизонт воды в озере- солончаке до устройства пруда; 4 – противодиффузионная завеса из бентонитовых глин; 5 – глина; 6 – пески;

7 - суглинки; 8 - почва.

Вторая группа хранилищ (накопители **многофазных** стоков) принимают **водные суспензии** минеральных и органических веществ различного состава с концентрацией твердого 20 – 100 г/л. Обычно это отходы технологических процессов, процессов очистки сточных вод. К ним **относятся** хвосто- и шламохранилища.

Хвостохранилища – это сооружения для размещения хвостов обогащения полезных ископаемых (**хвосты** – это отходы, полученные в результате удаления пустой породы, содержащие незначительное количество ценных компонентов). Хвостохранилища **предназначены** для сбора пульповых от- ходов, главным образом обогатительных фабрик черной и цветной металлургии. При обогащении полезных ископаемых **пульпу** получают **смешиванием** тонкоизмельченного материала (крупностью 0,5 – 1 мм) с водой. Отходы перемещаются в хранилище методом **гидротранспортирования**.

В накопителе в процессе отстаивания **взвесь** переходит в осадок, а вода **осветляется**. **Жидкую фазу** после осветления и обработки на очистных сооружениях используют в **оборотном водоснабжении** фабрик. **Капитальные вложения** в сооружения хвостового хозяйства составляют 10 – 35% стоимости горно-обогатительных комбинатов, **эксплуатационные расходы** достигают 30% затрат на пере- работку полезных ископаемых.

По степени ответственности сооружений хвостохранилища делят **на 5 классов**. К **1 классу** от- носят особо ответственные сооружения с вместимостью не менее 100 млн. м³. Их **авария** сопряжена с катастрофическими последствиями для населения и предприятий, а также с загрязнением водоемов питьевого назначения. К **5 классу** относят временные сооружения вместимостью не более 10 млн. м³. Их **авария** вызывает затопление земель и загрязнение водоемов, не пригодных к использованию. **Пара- метры** крупных хвостохранилищ 1 и 2 классов внушительны: **вместимость** 250 ... 570 млн. м³, **пло- щадь** достигает 3700 га; проектная **высота** ограждающих сооружений до 320 м.

Шламохранилища создают в системах водоснабжения и канализации нефтехимических, угле- обогатительных, машиностроительных и других предприятий. Они **представляют собой** крупные земляные наземные **сооружения** со следующими **параметрами**: **площадь** - 10 ... 20 га, **объем** – несколько десятков млн. м³, **глубина** до 50 м, **срок службы** не менее 10 лет. Их возводят на **равнинных** плоских участках местности, **обваловывают** со всех сторон дамбами и **перегораживают** плотинами, которые

возводят из суглинистых материалов. **Противофильтрационные экраны** устраивают из глинистых, битумных или полимерных материалов. Для отведения стоков из хранилища с целью их обезвреживания или повторного использования устраивается **дренажная система**.

Накопители твердых отходов предназначены для складирования шлаков, золы, обезвоженных хвостов обогащения и шламов очистных сооружений. Конструктивно они **подобны** хвосто- и шламо- хранилищам, имеют **площадь** около 5 га и **высоту** около 10 м. Для предотвращения попадания в накопители ливневых и талых вод в местах их вероятного стока устраивают **ограждение** в виде **насыпи** шириной 4 м по гребню и водоотводную **канаву**. Складируемый материал **сбрасывают** в накопитель с гребня ограждающей насыпи и специально устроенных эстакад. Во избежание загрязнения грунтовых вод создают **два противофильтрационных экрана**:

- по ложу хранилища, из двух слоев **полимерной пленки** толщиной 0,2 мм;
- после заполнения накопителя, по выровненной внешней поверхности. Экран представляет собой **полимерный слой** толщиной 0,6 мм, устраивается путем **разбрызгивания** по подготовленному слою грунта нагретого до 80оС раствора синтетических жирных кислот.

После заполнения накопителя и создания верхнего экрана сверху засыпают **слой песчаного грунта** толщиной 0,6 мм, а по нему – слой **почвенно-растительного грунта** толщиной 0,5 м. После выполнения указанных работ площадка накопителя должна быть возвращена в сельскохозяйственный оборот.

Размер **санитарно-защитной зоны** для накопителей сухих хвостов обогащения **составляет**:

- до населенных пунктов – 500 м;
- до линий электропередач – 300 м;
- до административных зданий – 50 м;
- до вспомогательных сооружений – 20 м.

Вокруг накопителей твердых отходов с целью снижения **пыления** высаживают **лесополосу** из деревьев и кустарников. Дополнительно ставят **ограждение** из колючей про-

волоки на железобетонных столбиках (для защиты участка от проникновения на участок домашних животных).87% изношенных шин