**Методы технологии и концепции утилизации углеродосодержащих промышленных и твердых бытовых отходов**

В.М. Бельков

Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ)

Разработана концепция, рассмотрены методы и технологии утилизации углеродсодержащих отходов, приведены технико-экономические показатели технологий утилизации отходов и выбраны наиболее перспективные из них

На начало 1999 года на предприятиях различных отраслей промышленности накопилось около 1500 млн. тонн токсичных отходов производства и потребления [1]. Ежегодно на предприятиях Российской Федерации образуется около 90 млн. тонн токсичных промышленных отходов (ПО), из которых 87 млн. тонн относятся к III и IV классам опасности. Количество отходов потребления, или твердых бытовых отходов (ТБО), ежегодно возрастает в России на 30 млн. тонн [2].

В 1999 году предприятиями использовано в собственном производстве около 40 млн. тонн (40%) и полностью обезврежено 9 млн. тонн (10%) от общего количества образовавшихся за год отходов. Остальные отходы переданы на полигоны для захоронения.

Последние годы нефтешламы - отходы II класса опасности - не принимаются на захоронение из-за переполнения полигонов промышленных отходов. Нефтеперерабатывающие заводы, нефтебазы, локомотивные и вагонные депо железнодорожной отрасли вынуждены накапливать нефтешламы в специальных бетонированных хранилищах. Строительство новых хранилищ и накопление нефтешлама в старых носило стихийный характер, поэтому оценить накопленное количество таких отходов не представляется возможным, их может быть и десятки, и сотни миллионов тонн.

В европейских государствах 40% отходов превращают биологической обработкой в органические удобрения, 10% сжигают на мусоросжигательных заводах, 40% отходов захоранивают в третьих странах, а оставшиеся 10%, в основном, активный ил, сбрасывают в моря [3].

Большинство ПО и ТБО содержат органические соединения, которые можно извлекать для повторного использования, сжигать с получением дешевой тепловой и электрической энергией или обезвреживать с помощью штаммов микроорганизмов. Например, с помощью промышленных процессов регенерации отработанных смазок и масел можно очищать только некоторые из них, использующиеся при невысоких температурах. При рабочих температурах более 100°С в смазках и маслах образуются относительно летучие смолистые вещества - канцерогены, очистка от которых сложна и крайне дорога. Поэтому во всех странах мира отработанные смазки и масла в основном сжигают как топливо.

Для эффективного обезвреживания отходов необходимы технологии, наносящие минимальный экологический ущерб окружающей природной среде, имеющие низкие капитальные затраты и позволяющие получать прибыль. Разнообразие отходов по химическому составу не позволяет создать универсальную технологию утилизации твердых и жидких ПО и ТБО.

В настоящей статье приведены основные источники углеродсодержащих отходов, их калорийность и методы утилизации, физико-химические параметры и технико-экономические показатели основных известных к настоящему времени технологий обезвреживания, выработаны критерии оценки и выбора метода и технологии обезвреживания углеродсодержащих отходов, предложены наиболее перспективные из них.

**1 Источники углеродсодержащих отходов.**

Основные источники углеродсодержащих отходов в России, их примерная норма образования в год, состав и калорийность приведены в Таблице 1.

Объем загрязненного нефтепродуктами грунта, образующегося за год, составляет 510 млн. тонн. Норма образования ТБО - 130 млн. тонн. Объем осадков биологических очистных сооружений составляет 0,8 млн. тонн/год. Нормы образования нефтешламов - 3 млн. тонн. Хранение и утилизация вышеперечисленных отходов является наиболее острой проблемой для России. Объемы остальных отходов незначительны.

Для выработки концепции обезвреживания углеродсодержащих отходов оценим тепловой эффект сжигания отходов при температуре 1100°С с учетом влажности и фазовых переходов. При обезвреживании углеродсодержащих отходов сжиганием важной физико-химической характеристикой является теплотворная способность сырья. Рассчитаем наименьшую концентрацию нефтепродуктов в отходах, при которой тепловой эффект реакции - нулевой (неотрицательный) для различных содержаний механических примесей и влажности. Минимальные концентрации или содержания углеводородов в отходах сведены в Таблицу 2.

В среднем, как следует из Таблицы 2, для получения положительного теплового эффекта реакции горения отходов содержание углеводородов должно быть выше 10%. КПД печей сжигания не превышает 70-75%, поэтому, содержание углеводородов в отходах не должно быть меньше 14%. Таким образом, если отходы содержат более 14% нефтепродуктов, то их рациональнее сжигать, получая при этом тепловую или электрическую энергию, если менее 14% - то для обезвреживания таких отходов лучше использовать микробиологический метод.

Таблица 1 Источники углеродсодержащих отходов

| № п/п | Наименование источника отхода | Состав отхода | Количество отхода млн. тонн/год | Калорийность, ккал/кг |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Твердые бытовые отходы | Органические вещества 60-70% (углерода - 35%), зольность 30-40%, влажность обшей массы 40-50% | В России - 130,0 [1]  В Москве и Московской области ~ 6,0 [4] | 2500 |
| 2 | Осадки биологических очистных сооружений городов поселков и предприятий | Сухое вещество активного ила 44-76% С, 5-8% Н, 1-3% S, 3-10% М 12-40% 0 | Железнодорожные предприятия . 0,1, Москва . 0,05, Россия в целом - 0,5 [3] | 1000-2000 при влажности 50-60% |
| 3 | Нефтешламы из отстойников нефтеперерабатывающих вводов железнодорожных предприятий нефтебаз и ремонтных заводов | Нефтепродукты 20-30%, вода 20-30%, механические примеси 40-50% | В России в целом 3.0, нефтеперерабатывающие заводы - 1.4 нефтебазы 0.3 федеральные железные дороги- 1.3 [1] | 2500-3500 |
| 4 | Загрязненный нефтепродуктами грунт территорий железнодорожных предприятий, нефтебаз нефтеперерабатывающих заводов | Нефтепродукты 0.1-5 г/кг, Влажность 40-50% от обшей массы | Железные дороги 330, нефтебазы 80, нефтеперерабатывающие заводы - 100 | 0.4-20.0 |
| 5 | Угольный шлам | Углерод 10-30% Зольность 70-90% | 5.0[1] | 500-1500 |
| 6 | Отработанные масла и смазки, бумажные фильтры машин и механизмов | Нефтепродукты 90%, влага 8%, металлические и минеральные включения - 2% | Железные дороги 0.06 по России в целом - 0 4 | 5500-6500 |
| 7 | Старые деревянные шпалы | Древесина 75%, креозот 5%, влага - 20% | Железные дороги . 0.1, трамвайные пути . 0.015 | 4500-5500 |

Таблица 2 Эксплуатационные параметры многокамерных печей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фирма- производитель, марка печи | Производительность, кг/ч | Потребление электроэнергии, кВт/ч | Масса в тоннах | Стоимость, тыс. долл | Срок окупаемости, лет |
| Норвегия | | | | | |
| С01АКОС200 | 100 ТБО | 15.0 | 2.9 | 350.0 | То же |
| УE5TА МАХ 255 | 100 ТБО | 15.0 | 3.0 | 320.0 | То же |
| Италия | | | | | |
| КС/M1МЕР | 100 ТБО | 200 | 6.85 | 270.0 | То же |
| Россия | | | | | |
| ИН-50.1 | 50 ТБО | 1.2 | 2.2 | 26.825 | 0,5 |
| ИН-50.2 | 100 ТБО | 3.0 | 3.0 | 31.250 | 0,5 |
| ИН-50.2К | 100 | 3.0 | 4.0 | 49.230 | 0,5 |
| ИН-50.3 | 80 | 8 | 8 | 31.500 |  |
| ИН-50.4 | 150 | 10 | 7.5 | 31.750 |  |
| ИН-50.4К | 150 | 10 | 7.5 | 51.780 |  |
| ИН-50.6 | 500-800 | 45 | 6.0 | 143.750 |  |

Таблица 3. Минимальное содержание углеводородов в отходах при нулевой энтальпии реакции их горения

| № п/п | Содержание механических примесей, % масс | Влажность, % масс | Содержание углеводородов, % масс |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 20 | 71,2 | 8,8 |
| 2 | 30 | 60,8 | 9,2 |
| 3 | 40 | 50,5 | 9,5 |
| 4 | 50 | 40,1 | 9,9 |
| 5 | 60 | 29,7 | 10,3 |
| 6 | 70 | 19,3 | 10,7 |
| 7 | 80 | 8,9 | 111 |
| 8 | 88 | 0 | 11,3 |
| 9 | 90 | 30,0 | 20,0 (3500 ккал/кг) |

В пункте 9 Таблицы 2 приведен также тепловой эффект реакции горения и состав нефтешламов, образующихся на железнодорожных предприятиях, нефтеперерабатывающих заводах и нефтебазах.

**2. Методы утилизации углеродсодержащих отходов**

В мировой практике для утилизации и обезвреживания ПО и ТБО используют термические, химические, биологические и физико-химические методы

К термическим методам обезвреживания отходов относятся сжигание, газификация и пиролиз.

Сжигание - наиболее отработанный и используемый способ. Этот метод осуществляется в печах различных конструкций при температурах не менее 1200°С. В результате сгорания органической части отходов образуются диоксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, аэрозоль, оксид углерода, бензопирен и диоксины. Зола, имеющая в своем составе неподвижную форму тяжелых металлов, накапливается в нижней части печи и периодически вывозится на полигоны для захоронения или используется в производстве цемента.

Газификация - широко используемый в металлургии способ переработки некоксующихся углей - осуществляется в вихревых реакторах или печах с кипящим слоем при температурах 600-1100°С в атмосфере газифицирующего агента (воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода или их смесь). В результате реакции образуются синтез-газ (H2, СО), туман из жидких смолистых веществ, бензопирена и диоксинов. Реакция газификации протекает в среде с восстановительными свойствами, поэтому оксиды азота и серы практически не образуются. Масса тумана при 600°С может доходить до 30% от массы синтез-газа. При увеличении температуры газификации доля тумана в массе синтез-газа падает и при температуре более 1100°С близка к нулю.

Горючая смесь водорода и оксида углерода сжигается на горелках при 1400-1600°С или используется в каталитическом процессе синтеза метилового спирта. Зола, остающаяся после газификации, может содержать остаточный углерод и соли тяжелых металлов, растворимые в воде. После проверки золы на отсутствие бензопирена, диоксинов и тяжелых металлов в подвижной форме она может быть отправлена на захоронение.

Пиролиз - наиболее изученный процесс широко используется для производства активированного угля из древесины. Пиролиз нефтесодержащих отходов проводят при температуре 600-800°С с вакуумированием реактора. При этом протекают реакции коксо- и смолообразования, разложения высокомолекулярных соединений на низкомолекулярные, жидкую и газообразную фракции, а если углеводородные отходы содержат серу, то образуются также сероводород и меркаптаны. Оксиды азота и серы практически не образуются.

Химические методы обезвреживания жидких и твердых нефтесодержащих отходов заключаются в добавлении к нейтрализуемой массе химических реагентов. В зависимости от типа химической реакции реагента с загрязнением происходит осаждение, окисление-восстановление, замещение, комплексообразование.

Методы осаждения основаны на ионных реакциях с образованием мало растворимых в воде веществ и особенно эффективны при нейтрализации тяжелых металлов и радионуклидов. Метод осаждения органических загрязнений основан на двух типах реакций: комплексообразование и кристаллизация. Осаждение используют для очистки грунта от полихлорированных бифенилов, пентахлорфенолов, хлорированных и нитрированных углеводородов. Реагенты могут быть как в жидкой, так и в газообразной фазах. Однако при этом происходит увеличение объема обезвреженной массы.

Методы управления окислительно-восстановительной реакцией среды позволяют переводить соединения тяжелых металлов и радионуклидов в трудно растворимые в воде гидрооксиды, а также разрушать цианиды, нитраты, тетра-хлориды и другие хлорорганические соединения.

Для химической иммобилизации или компексообразования используют неорганические вяжущие типа цемента, золы, силикатов калия и натрия, извести и гелеобразующих веществ (бентонит или целлюлоза). Иммобилизацию используют для связывания тяжелых металлов, радиоактивных отходов, полициклических и ароматических углеводородов, трихлорэтилена и нефтепродуктов.

Недостатком комплексообразования является неустойчивость вяжущих веществ к атмосферной и грунтовой влаге, быстрым изменениям температуры, что приводит в результате к разрушению композиционного материала. Объем отходов после комплексообразования уменьшается только в 2 раза.

Биологические методы обезвреживания ПО и ТБО находят все более широкое применение в нашей стране и особенно за рубежом. Они основаны на способности различных штаммов микроорганизмов в процессе жизнедеятельности разлагать или усваивать в своей биомассе многие органические загрязнители. В процессе биообезвреживания происходит вторичное загрязнение атмосферного воздуха продуктами гниения клеток микроорганизмов - сероводородом и аммиаком.

Биологическая очистка чаще всего используется для нейтрализации органических токсикантов и тяжелых металлов, а также азотных и фосфорных соединений в почвах и грунтах. Биологические методы можно условно подразделить на микробиодеградацию загрязнителей, биопоглощение и перераспределение токсикантов.

Микробиодеградация - это деструкция органических веществ определенными культурами микрофлоры, внесенными в грунт. Процесс биоразложения протекает с заметной скоростью при оптимальной температуре и влажности. Микробиодеградация может быть использована во всех случаях, где естественный микробиоценоз сохранил жизнеспособность и видовое разнообразие. Хотя процесс идет крайне медленно, его эффективность высока.

Биопоглощение - это способность некоторых растений и простейших организмов ускорять биодеградацию органических веществ или аккумулировать загрязнения в клетках.

Физико-химические методы образуют наиболее представительную группу методов обезвреживания ПО и ТБО. При создании физических полей в пористых средах начинают протекать одновременно множество физико-химических процессов.

При наложении поля механических напряжений загрязненный грунт интенсивно перемешивается и происходит очистка частиц грунта от поверхностных загрязнений.

Гидродинамическое воздействие на грунт или почву сопровождается суффозией, выщелачиванием, адсорбцией, диффузией и выносом загрязнений из порового пространства грунтов.

Перспективен метод сверхкритической экстракции углекислым газом органических загрязнений.

Постоянное электрическое поле, приложенное к водонасыщенному грунту или почве, вызывает протекание электрохимических и электрокинетических процессов. К электрохимическим процессам относятся: электролиз, электрофлотация, электрокоагуляция, электродеструкция, электрохимическое обеззараживание, ионный обмен, электрохимическое окисление и выщелачивание, электродиализ, а к электрокинетическим - электроосмос, электрофорез и электромиграция.

Электролиз порового раствора загрязненных грунтов и почв - это окислительно-восстановительный процесс, в результате протекания которого происходит разложение химических соединений. Он используется для очистки грунтов от микроорганизмов и называется электрохимическим обеззараживанием. Эффективность метода доходит до 99%.

При электрофлотации удаление нефтепродуктов происходит пузырьками газа, образующимися при электролизе и поднимающимися к поверхности.

Электрокоагуляция - это процесс агрегации микрочастиц минерального происхождения и органических молекул. В методе электрокоагуляции используют железные и алюминиевые электроды, при растворении которых образуются гидрооксиды, адсорбирующие загрязнения и выпадающие затем в осадок.

Электрохимическое окисление применяется для очистки грунтов от хлорированных углеводородов и фенола. Эффективность окисления фенола 70-92%.

Электрохимическое выщелачивание - это метод очистки грунтов, основанный на высолаживании загрязнений или переводе тяжелых металлов в подвижную форму. Однако метод требует внесения дополнительных химических реагентов.

Электродеструкция осуществляется при электрохимическом разложении токсичных органических соединений на электродах с образованием нетоксичных веществ. Преимущество метода в низкой стоимости и высокой эффективности.

При электродиализе порового раствора грунтов и почв происходит очистка от загрязнений в коллоидной форме, обессоливание в средней части межэлектродного пространства.

Электрокинетические методы начали широко применяться с 60-х годов. Электрокинетическая обработка применяется для очистки глинистых и суглинистых грунтов. Электрокинетические явления, наблюдающиеся в пористых средах при протекании постоянного электрического тока, подразделяются на электроосмос и электрофорез.

При электроосмосе ионы, содержащиеся в жидкости, перемещаются относительно неподвижной заряженной поверхности минеральных частиц грунта, увлекая при этом загрязнения в растворенном или жидком состоянии. Электроосмотическая скорость потока пропорциональна произведению силы потока на величину дзетта-потенциала и на удельную поверхность пористой среды.

При протекании электрофореза в поровом пространстве грунта, заполненном полностью или частично водой, перемещаются минеральные частицы. Это явление имеет крайне незначительную роль в электрокинетическом переносе загрязнений в диссоциированной форме, но определяющую в переносе коллоидных и заряженных минеральных частиц Электрофоретическое перемещение коллоидных и микрочастиц наблюдается в макропористых грунтах (песчаник, супесь).

Под действием напряжения, приложенного к электродам, которые погружены в скважины, вода и экотоксиканты в коллоидном состоянии перемещаются к электродным резервуарам, из которых затем вода с загрязнениями извлекается на поверхность и очищается одним из физико-химических методов. Эффективность очистки может доходить до 99%.

Отдельную группу составляют электромагнитные методы, основанные на термическом эффекте при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом

В сверхвысокочастотных полях происходит быстрый и равномерный прогрев грунта, и при этом протекают дегидратация, диссоциация карбонатов, окисление и даже плавление. Десорбирующиеся органические соединения обезвреживаются, например, каталитическим методом.

Обезвреживание ПО и ТБО с помощью ультрафиолетового и лазерного излучения относится также к электромагнитным методам. Активация ароматических молекул УФ и лазерным излучениями приводит к диссоциации молекул с образованием радикалов и активных комплексов, быстрому окислению и полимеризации.

Эффективен для очистки грунта от нефтепродуктов ультразвук. Начиная с критического значения звукового давления акустических волн, в жидкости возникает кавитация. При схлопывании кавитационных полостей образующиеся микроструи с линейными скоростями 300-800 м/с срывают с поверхности твердых частиц нефтяные загрязнения. Эффективность очистки может достигать 99,5-99,8%. При кавитационных разрывах жидкости происходит ионизация и активация молекул, стимулирующие окисление и полимеризацию углеводородных молекул.

Рассмотренные выше методы являются базой для уже созданных технологий обезвреживания ПО и ТБО или технологий, разрабатываемых в настоящее время. Каждый метод обезвреживания отходов и технология на его основе имеют определенную нишу, то есть совокупность физико-химических параметров отходов и возможностей метода, оптимальное сочетание которых позволяет достичь наибольшей прибыли или минимальных затрат на обезвреживание определенного вида отходов при наименьшем экологическом ущербе природе.

**3. Технологии утилизации углеродсодержаших отходов**

Западные страны начали активно заниматься переработкой ПО и ТБО еще в 60-е годы. В течение 10 лет в США, Японии, Германии, Франции и Швейцарии была создана разветвленная инфраструктура по сбору, сортировке и первичной переработке отходов и построены высокопроизводительные мусоросжигательные заводы.

В России мусоросжигательные заводы появились только десять-пятнадцать лет назад в Москве, Санкт-Петербурге и некоторых других городах. Мусоросжигательные заводы, построенные по западным лицензиям и требующие первичной сортировки ТБО, не приспособлены к российским условиям. В результате отсутствия первичной сортировки отходов заводы по сжиганию мусора работают эпизодически, объем сжигания не превышает 2% от объема ТБО.

Для правильного выбора технологии утилизации определенного вида отходов, необходимо знание основных физико-химических характеристик и экономических показателей существующих технологий обезвреживания отходов.

Технологии термического обезвреживания ПО и ТБО

Фирмы многих стран мира, занимающиеся сжиганием опасных отходов, сталкиваются с проблемой превышения содержания оксидов азота, серы и углерода, а также диоксинов и бензопирена в газовых выбросах мусоросжигательных заводов над предельно допустимыми выбросами. Вредные выбросы появляются, в основном, при загрузке новой порции отходов и резком понижении концентрации кислорода в реакторе или из-за плохого перемешивания горючей массы и, следовательно, низкой теплопередачи. Для борьбы с эффектом резкого понижения концентрации кислорода в реакторе печи оборудуют системами остановки подачи отходов до момента восстановления концентрации кислорода до оптимальной или быстрой инжекции кислорода в зону горения (инсинераторы фирмы Рrех Qir, Ash Groove Cement, USA). Камеры сгорания для отходов имеют либо устройство жидкого впрыскивания, либо предназначены для сжигания только твердых отходов.

В печи утилизации с жидким впрыском отходы, смешанные с воздухом, подаются через струйные форсунки в камеры сгорания. Размер капель, вылетающих из форсунок, не превышает 40 мкм. Уменьшение размера капель увеличивает скорость испарения с их поверхности и перемешивание с воздухом, что повышает эффективность горения. Для обеспечения оптимального распыления жидких отходов их сдвиговая вязкость не должна превышать 0.7 Па-с [6]. Отходы с большей сдвиговой вязкостью подогревают, или смешивают с жидкими отходами, обладающими низкой сдвиговой вязкостью. Разработаны специальные типы струйных и вращающихся форсунок [5]. Простые струйные форсунки используются редко, так как часто засоряются.

Конструкции камеры сгорания современных инсинераторов предусматривают горизонтальную или вертикальную организацию горения с турбулентным закрученным потоком [6,7]. Камеры с закрученными потоками могут утилизировать тепловыделение на уровне 1 Гкал/ч с одного кубического метра камеры сгорания, что в 4 раза больше, чем при горении без закручивания потока. Конструкция камеры сгорания такова, что исключает прямое воздействие пламени на термостойкую облицовку печи. Рабочий температурный диапазон инсинераторов 850-1650°С.

Примером крупной установки (штат Нью-Джерси, США) по сжиганию жидких отходов является инсинератор производительностью 4 м3 отходов в час, сжигание осуществляется при 1000-1200°С, время пребывания в зоне горения - не менее 2,5 секунд. Установка оборудована скрубберным блоком типа Вентури, охладительным скруббером и уловителем аэрозоля [8]. Стоимость утилизации жидких отходов в вышеописанной установке доходит до 65 долл США за одну тонну жидких отходов [3].

В России для сжигания жидких отходов используют турбобарботажные установки "Вихрь" производительностью до 1 т/ч. Температура сжигания 800-1100°С. Установка снабжена системой утилизации тепла и очистки дымовых газов от аэрозоля и тумана из жидких нефтепродуктов и смол. Стоимость сжигания - 30-50 долларов США за одну тонну.

Для обезвреживания твердых промышленных и бытовых отходов используют вращающиеся печи, позволяющие организовать перемешивание отходов. Вращающаяся печь представляет собой цилиндрическую конструкцию, стенки которой облицованы термостойким материалом. Они монтируются горизонтально с небольшим уклоном. Обычно отношение длины к диаметру составляет от 2:1 до 10:1, а скорость вращения 1-5 об./мин, температура горения 850-1650°С, время пребывания молекул загрязнений - от нескольких секунд до нескольких часов в зависимости от вида химических отходов. Негорючие отходы (зола, металлом) перемещаются вдоль наклонной печи и после охлаждения водой выводятся в специальные контейнеры. Фирмой «Waste Utilization Technologies» (г. Ливерпуль, штат Огайо, США) и «THREE М» (г. Сант-Пол, штат Миннесота, США) построены вращающиеся печи с длиной реактора 11 метров. Сжигаемый материал подается в бочках емкостью 150 м3.

Вращающаяся печь имеет дополнительную камеру сгорания, в которой поддерживается температура 820-890°С и дожигается несгоревшая часть углеводородов. Воздушный поток, проходящий через обе камеры сгорания, создается вентилятором, который устанавливается за влажной скрубберной установкой очистки продуктов сгорания.

Система очистки продуктов сгорания состоит из пяти основных устройств: камеры предварительного охлаждения газов методом впрыска воды, скруббера типа Вентури, системы отделения мелких капель воды, вытяжного вентилятора и трубы рассеивания высотой 60 м. Внутренние поверхности вышеперечисленных устройств покрываются коррозионно-стойкими материалами, так как в отходящих газах содержится хлорид водорода [9]. Примером установки, уровень выбросов которой удовлетворяет современным европейским стандартам, является мусоросжигатель фирмы «DURON» (Франция) производительностью 20 тыс. тонн/год. Низкий уровень вредных газовых выбросов достигнут дополнительным введением каталитического блока дожига бензопиренов и диоксинов. Однако и при этом концентрация диоксинов превышает норматив, установленный в Европе несколько лет назад.

Сжигание в псевдоожиженном слое - это относительно новая технология обезвреживания активного ила и подобных ему отходов [3,6,10]. Основными операциями переработки отходов являются: удаление крупных частиц из отходов, обезвоживание до 50% влажности, измельчение отходов, сушка, сжигание, очистка отходящих газов.

Камера сгорания представляет собой колонну с футеровкой, заполненную горячим песком или глиноземом с температурой 760-810°С (пирофлюидная технология). Ил вводится в печь потоком воздуха и при высыхании сгорает, передавая большую часть тепла песчаной насадке.

Для обезвреживания осадков биологических очистных сооружений немецкая фирма "DORR-OLIVER GmbH" (г. Висбаден) производит и продает установки по сжиганию в псевдоожиженном слое. Установки этой фирмы позволяют обезвреживать также отработанные масла и органические растворители. В Санкт-Петербурге для обезвреживания активного ила очистных сооружений Водоканала Санкт-Петербурга в 1997 г по лицензии фирмы "DORR-OLIVER GmbH" построена и пущена в эксплуатацию установка с псевдоожиженным слоем. Концентрация не сожженных органических веществ в золе не превышает 2%, производительность установки - 10-50 т/сутки. Стоимость сжигания одной тонны ила - 50 долл. США [11].

Установки с псевдоожиженным слоем требуют в 2-3 раза более высоких капитальных вложений, чем вращающиеся печи. Поэтому в Европе они постепенно вытесняются газификационными печами.

Газификационная технология обезвреживания отходов была заимствована из металлургической промышленности, в которой для получения горючих газов из бурого высокозольного угля широко использовали газификацию в камерных, циклонных или надслоевых реакторах. Отличительная особенность газификации от сжигания состоит в том, что в реакторе газовая фаза имеет восстановительные свойства. Поэтому образование оксидов азота и серы термодинамически невыгодно, и вредных газовых выбросов у газификаторов значительно меньше, чем у печей сжигания.

В Берлине в 1997 г. пущен завод по обезвреживанию осадков производительностью 400 тыс. тонн активного ила в год. После газификатора синтез-газ направляется в каталитический блок синтеза метанола. Производительность каталитического блока 120 тыс. тонн метанола в год [12].

Фирма «MOLTEN METAL TECHNOLOGIES» разработала процесс каталитической газификации отходов, использующий каталитические свойства расплавленного металла для разрыва химических связей в сложных органических молекулах. Получаемый синтез-газ используется для синтеза уксусной кислоты, температура процесса - 1650°С. Производительность установки - 22 тыс. тонн отходов в год. Каталитический реактор представляет собой герметичную емкость с огнеупорной футеровкой, вмещающую до трех тонн жидкого металла, оборудован индукционным нагревом и бункером для отходов. Установка имеет газоочистку и адсорбционный фильтр. Капитальные затраты не превышают 15-25 млн. долл США, что на 20-50% меньше, чем для установок сжигания [13].

Интересен способ обезвреживания отходов с использованием доменной технологии [14]. В доменном процессе активно образуется оксид углерода, за счет которого атмосфера домны имеет восстановительные свойства, препятствующие образованию оксидов азота и серы. Слой шлака позволяет обезвреживать любые химические отходы, вплоть до боевых отравляющих веществ, в любом агрегатном состоянии, строительный мусор, негодные железобетонные конструкции и ТБО.

Доменная мини-печь оборудуется газоочисткой, системами выпуска жидкого металла и шлака, участком изготовления из шлака гравия и облицовочной плитки. Горючий газ, образующийся в доменном процессе, может возвращаться в технологический процесс или использоваться для получения электроэнергии. Капитальные затраты на строительство установки производительностью 60 тыс. тонн в год составляют 20 млн. долл. США.

Процесс плавки железных руд в слое шлакового расплава РОМЕЛТ, разработанный учеными МГИСиС, был использован для обезвреживания отходов черной и цветной металлургии [15,16]. Процессы, протекающие в шлаковом расплаве печи РОМЕЛТ, те же, что и в доменном производстве [14]. Отличие состоит в том, что газовая фаза печи РОМЕЛТ имеет окислительные свойства, а домны - восстановительные. Поэтому доменный процесс экологически более безопасный.

Процесс РОМЕЛТ был применен для обезвреживания ТБО. При финансировании фирмой «SAMSUNG HEA INDUSTRIES» (Южная Корея) была построена установка производительностью 1 т ТБО/ч. На этой установке была опробована переработка отходов стеклянного боя, золы от сжигания угля, "горелой" (литейной) земли. В качестве топлива использовались измельченные изношенные шины. Общие капитальные вложения на строительство комплекса РОМЕЛТ для утилизации ТБО составляют 300 долл. на тонну годовой мощности [16].

В 1994 г. на заводе "Электростальтяжмаш" (г. Электросталь Московской области) была пущена в эксплуатацию установка экологически безопасного обезвреживания остатков закалочных масел. Технология и конструкция установки была разработана в Институте химической физики (г. Черноголовка Московской области). Реактор шахтного типа с наружным диаметром 2 м внутри выложен тремя рядами шамотного кирпича, внутренний диаметр ~ 1,5 м, его высота - 13 метров. Свободный объем реактора заполняется некондиционным (битым) шамотным кирпичом инертным материалом для создания режима адиабатического горения. В процессе газификации, протекающей в узкой зоне в средней по высоте части реактора, инертный материал в смеси с отходами перемещается в нижнюю часть реактора, где после отсева золы и шлака вновь возвращается в верхнюю часть реактора, и через специальный люк загружается вместе с отходами.

В 1998 году такая же установка, но для утилизации ТБО, введена в эксплуатацию в Финляндии в городе Лаппсенранта. Синтез-газ, получаемый от установки, подается в один из котлов ТЭЦ. Зола после газификации ТБО вывозится на захоронение. Рабочая температура в зоне газификации - 1000-1100°С, температура на наружной стенке реактора не более 50°С, КПД использования тепла - 70% Управление температурой в зоне газификации осуществляется подачей пара, а на случай перерыва в подаче пара установка оборудована аварийной автоматической системой продувки азотом для предотвращения расплавления инертного материала. Установка не имеет вредных газовых выбросов, и поэтому газоочистное оборудование не требуется. Производительность установки - 2-4 тонны ТБО в час. Капитальные затраты без газоочистного оборудования - 2,5 млн. долл. США [17].

Процесс пиролиза нефтеотходов и иловых осадков активно исследовался, начиная с 1985 г., в России во Всероссийском научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), а в Германии - в Тюрингенском университете и научном секторе фирмы ALFA LAVAL (Франция)

По технологии OFS, разработанной в Тюбингенском университете, осадки вначале высушиваются при температуре 100-120°С, а затем подвергаются пиролизу при температуре 450°С. В результате образуется масляная фракция, близкая по составу к дизельному топливу Процесс экологически безопасный и рентабельный. Отходящие газы установок содержат в сотни раз меньше оксидов азота и серы, аэрозоля и легких углеводородов по сравнению с отходящими газами печей сжигания.

В Германии, Австралии и Канаде уже несколько лет успешно работают установки пиролиза (процесс OFS), перерабатывающие до 1 тонны сухого илового осадка в сутки в низкосортное топливо. Срок окупаемости установки - 4-7 лет. Если построить установку на производительность 6 тонн сухого илового осадка в сутки, то срок окупаемости уменьшается до 1-2 лет, по мнению авторов, в технологии OFS

Установка пиролизного обезвреживания нефтеотходов ВНИИЖТ оборудована гидросепаратором для сортировки нефтеотходов (мусор, загрязненный нефтепродуктами, ветошь, нефтешлам моечных машин, отработанные масла и смазки и так далее). Производительность пиролизной установки 50 кг/ч по исходному сырью. Температура в первой секции реактора при приготовлении углеродного адсорбента 900°С. Выход нефтяного конденсата от исходного количества нефтешлама - 20%, выход пиролизного газа - 10%, выход адсорбента - 50%. Стоимость основного оборудования установки 50 тыс. долл. США. Срок окупаемости - 1,5-2 года [18].

В 1998 году фирма ALFA LAVAL начала продавать пиролизную печь для регенерации загрязненных нефтью грунтов, аналогичную по технологии и близкую по конструкции установке ВНИИЖТ. Производительность по исходному сырью - 2,5 т/ч. Стоимость установки - 2,65 млн. долл. США, стоимость обезвреживания одной тонны загрязненного грунта ~ 50-70 долл. [19].

На основе пиролиза фирма "MAN GUTENJHFNUNGAHUTТЕ AG" (г Оберхаухаузен, Германия) разработала ряд установок для обезвреживания загрязненных нефтепродуктами грунтов. Загрязненный грунт после сушки и измельчения с помощью загрузочного шнека подается в реактор, где при температуре 600-750°С образуется нефтяной газ и происходит коксование грунта. Остаток после пиролиза в зависимости от содержания кокса либо отправляется на захоронение, либо возвращается на прежнее место.

Многокамерные печи наиболее часто используются для сжигания отходов благодаря их простоте, надежности и легкости изменения режимов горения [5,6,8]. Печь представляет собой стальную конструкцию, защищенную внутри термостойким материалом. Твердые отходы или частично обезвоженный ил подаются сверху, зола разгружается снизу. Рабочая температура в первой камере многокамерных печей составляет обычно 800-900°С, последовательно возрастая до 1100°С в третьей камере. При достижении температуры 1050-1100°С в первой камере печь автоматически переключается на режим охлаждения. Многокамерные печи оборудуются зональными горелками с автоматическим поддержанием рабочей температуры и форсунками с автоматической регулировкой подачи жидких ПО. Таким образом, многокамерные печи позволяют обезвреживать ТБО, твердые и жидкие ПО. Влажность не должна превышать 60%. В Таблице 3 приведены эксплуатационные параметры многокамерных печей различных фирм.

Рассмотренные выше технологии позволяют не только обезвреживать отходы, но и утилизировать образующееся тепло.

**Технологии, основанные на химических методах обезвреживания**

Технология химического осаждения тяжелых металлов (Сr, Pb, Нg, Сa) и радионуклидов в грунтах осуществляется введением реакционно-способной смеси (100 ррm сероводорода в азоте) в реактор, заполненный загрязненным грунтом [20-23]. Технология химического осаждения применима для грунтов с разным химико-минеральным составом и проницаемостью. После химической обработки фиксируется в породе более 90% тяжелых металлов.

Технология обработки загрязненных грунтов реагентами (известь, сульфат натрия, оксиды железа, органический углерод) [24-26]. Эффективность очистки зависит от реакционной способности реагента и экотоксиканта. Водный реагентный раствор смешивают с грунтом и перемешивают, в результате получается гидрофобный порошок Преимущество технологии - в разрушении хлорированной органики и нефтепродуктов и фиксации тяжелых металлов.

Фирмой "MEISSNER GRUNDBAU" разработана технология химической обработки нефтесодержащих отходов [27]. По технологии этой фирмы одновременно с обезвреживанием нефтепродуктов проводится рекультивация. Получаемый при обработке гидрофобный продукт используется в качестве строительного материала для создания дорожных покрытий. По данным фирмы, стоимость обработки одной тонны нефтеотходов составляет 30 долл. США [27].

Компания "VEST ALPINE" разработала установку для химического отверждения нефтесодержащих отходов, лаков, красок, смол и так далее. В результате смешения отходов с реагентом на основе извести получается порошковый гидрофобный материал. Установка состоит из бункера для отходов, реактора-смесителя, емкости для реагента, дозатора и шнекового конвейера. Компания производит установки "Леко" в мобильном и стационарном исполнении. Стоимость обезвреживания одной тонны отходов - 30-40 долл. США [3].

Общий недостаток реагентных технологий - это зависимость степени обезвреживания от эффективности перемешивания и чистоты реагента. Образующийся порошок не обладает абсолютными гидрофобными свойствами, и при попадании в поровое пространство воды аборигенная микрофлора постепенно разлагает органические вещества, входящие в состав порошка, что приводит к вторичному загрязнению окружающей природной среды.

В технологиях химического окисления экотоксикантов в почве используются следующие окислители: кислород, воздух, озон [25], перекись водорода [28] и перманганат калия [29,30]. Эта технология наиболее часто применяется для очистки грунтов от хлорированных углеводородов (трихлорэтилен, трихлорамин, полихлорэтилен) в диапазоне концентраций от 0.2 мкг/кг до 12 г/кг. Эффективность очистки почвы с исходным содержанием трихлорэтилена 250 мг/ кг достигает 74-79% при обработке 3.6 и 7.3%-ными растворами перекиси водорода и выше 98% -при применении 1.5, 3.0 и 6.0%-ных растворов перманганата калия.

Вышеописанные технологии химической иммобилизации (связывания) используют, кроме того, для связывания тяжелых металлов, полициклических и ароматических углеводородов, хлорорганики. Недостатком метода является неустойчивость образующихся композитов к грунтовой и атмосферной воде. При иммобилизации происходит утрачивание нефтепродуктов как источника энергии.

**Технологии биологического обезвреживания**

Технологии биологического обезвреживания органических экотоксикантов основаны на активации аборигенной микрофлоры или внесении в грунт определенных культур микроорганизмов, создании оптимальной среды для развития микроорганизмов.

Простейшими способами активации микрофлоры являются механические рыхление, вспашка, дискование [31]. Необходимым условием размножения микроорганизмов является создание оптимального температурного диапазона. Для ускорения миграции микрорганизмов в последние годы используют электрокинетическую активацию биодеградации [32]. Ультразвук также способствует ускорению биодеградации экотоксикантов [31].

Другим широко распространенным способом биоактивации является аэрация или продувка грунта воздухом. Эффективность биоразложения летучих углеводородов, дизельного топлива и других подобных загрязнителей составляет от 45 до 94% [33, 34]. Стоимость обработки почвы не превышает 13-20 долл. США за 1 м³.

Необходимым условием биодеградации нефтяных загрязнений является внесение минеральных удобрений [31]. Идеальной для биоразложения является среда с нейтральной кислотностью. Для нейтрализации щелочных грунтов вносят гипс, для нейтрализации кислых грунтов - известь [31].

Одним из методов, обеспечивающих диспергирование нефтяных загрязнений и улучшающих контакт с микроорганизмами, является внесение ПАВ [31,33]. Моющие вещества вымывают из грунтов нефтепродукты вместе с водой. Сочетание применения ПАВ с внесением минеральных удобрений ускоряет биодеструкцию [31].

Внесение культур микроорганизмов используется только при аварийных загрязнениях или при отсутствии развитого естественного биоценоза. Однако иногда происходит вырождение микроорганизмов до достижения требуемого уровня очистки, а также их применение может нарушать естественные биоценозы [31] Обычно для очистки используют сообщества бактерии Bakterium, Actinomyces, Artrobactes, Thiobacterium, desullfotomasilium Pseudomons, Hydiomonas, Bacillus и другие, а также низшие формы грибов [31]

Различные виды дрожжей Candida разлагают ароматические соединения с концентрацией до 1% в грунтах за 120-200 суток, Candida sp. поглощает керосин [35], Candida liprolytica - сырую нефть [36] Нефть на поверхности почвы уничтожают Actmomycor elegans и Geotrichum marium [31]

Использование Actmebacter sp. дает 80%-ный эффект очистки от ароматических соединений по истечении пяти недель [37] Деградацию ароматических углеводородов осуществляют Tycobactenum [31] и Pseudomonus alcahgenes, которые разлагают также галогенуглеводороды [38] Для биоочистки почв и грунтов от хлорфенолов используют штаммы Rhodococcus erutropolis [39], s Rochei [40] Концентрация хлорфе-нолов не должна превышать 200 мг/кг

Фенолы в почве разлагаются Pseudotnonas auieofacms, P Fluorescens, Pseudomonas sp при эффективности около 70% [41], а также различными штаммами Bacillus, Flavobactenum, Artiobactenum [42] Оптимальная температура -30-40°С Для разложения в почве мазута, дизельного топлива, керосина, бензина, фенолов и формальдегидов широко используют препараты "Naggies", "Hydrobac", снижающие концентрацию экогоксиканта на 60% за пять дней Биопены фирмы "Biodetox" позволяют очистить слой почвы или грунта на 30-40 см вглубь, разлагая нефтепродукты, готовые биогены очень долго хранятся

В России для очистки почв от нефтепродуктов используют бактериальные препараты "Деворойл" (РАН), "Биоприн (Олеоворин)" (ВНИИСинтезбелок), "Путидойл" (ЗапСибНИГ-НИ), "Руден" (НИИ Генетики), "Сойлекс" (фирма "Полиинформ", С -Петербург) Препараш эффективно окисляют нефтепродукты, ароматические углеводороды в температурном диапазоне 15-45°С при значительных начальных концентрациях загрязнений в грунтах Проведенные исследования препарата "Олеоворин" на промплощадках Северной железной дороги показали, что через 3 месяца грунт был очищен на 78% Препарат "Путидойл" эффективно очищает грунты от фенолсодержащих осадков шпалопропиточных заводов на 90% Бактериальный препарат "Сойлекс" обладает более широким спектром применения рН==4 5-8 5, температура 10-42°С Через 20 дней грунт, содержащий до 1% нефти, очищается на 90%

Технологии биопоглощения используют способности бобовых и трав поглощать и способствовать биодеградации нефти С этой целью выращивают сорго, кормовой горох, люцерну, донник, ячмень и овес [31] Показана достоверность снижения загрязнения почвы

благодаря жизнедеятельности дождевых червей [3 1] Биотехнологии имеют ряд недостатков Биодеструкция -достаточно медленный процесс,

кроме того, при гниении биомассы возникает вторичное загрязнение окружающей среды из-за выделения аммиака, сероводорода, выделяется значительное количество углекислого газа, вызывающего парниковый эффект, безвозвратно рассеивается тепловая энергия.

**Технологии основанные на электрохимических методах**

Технологии, основанные на электрохимических методах используются для обезвреживания хлорированных углеводородов, фенолов и нефтепродуктов и обеззараживания грунта и почвы При пропускании электрического тока через грунты одновременно протекают электролиз воды в поровом пространстве, электрофчотация зчектрокоагуляция и электрохимическое окислениею Эффективность окисления фенола - 70-92% Однако, при этом образуется до 40% продуктов неполного окисления фенола, правда, менее токсичных, чем фенол Эффективность обеззараживания - 95-99%

Фирмы "MONTANA", "DUPON" И "General Electric" совместно с Департаментами энергии и защиты окружающей среды провели крупномасштабные испытания технологии IASAGNA. Ряды электродов размещались в почве параллельно очищаемой зоне Расход электроэнергии и стоимость обезвреживания зависят от начальной концентрации экотоксиканта, электропроводности грунта, водонасыщенности, количества и размеров электродов и конечной концентрации и обычно составляет соответственно 32-160 кВт·ч/т и 86-260 долл/м почвы. Японская фирма "ОБАЯСИ" разработала электрохимическую технологию очистки грунта территории демонтированных химических предприятий для введения в земли в оборот. Технология обеспечивает высокую степень очистки от токсичных органических веществ до 25 наименований Для очистки участка площадью 15 м² требуется обработка постоянным током напряжением 50 В с общим расходом электроэнергии 5 кВт Для удаления 90% кадмия, цианидов, свинца, хрома, ртути и мышьяка требуется три месяца.

Технологии электрокинетическои обработки применяются для очистки глинистых и суглинистых грунтов при полной или неполной водонасыщенности В переносе загрязнений в почвах и грунтах под действием постоянного электрического поля основную роль играют процессы электроосмоса и электрофореза Электрокинетические технологии применяют для очистки почв и грунтов от тяжелых металлов, цианидов, хлорорганики, нефти и нефтепродуктов [43-48]. Преимуществом электрокинетической технологии является высокая степень контроля и управления процессом очистки благодаря тому, что загрязнения перемещаются вдоль силовыхлиний электрического поля, распределение которых определяется расположением электродов, со скоростью, зависящей от напряженности поля [49]. Исходные концентрации экотоксикантов могут быть снижены с 10-50 мг/кг до 1-10 мг/кг [50]

Параметры электрокинетического процесса: напряжение на электродах 4-200 В, напряженность поля 20-200 В/м, плотность тока 0.5-5.0 А/м², расстояние между электродами 2-10 м, глубина их заложения - 2-50 м [45]. Максимальный объем грунта, реально очищенный электрокинетической технологией на одном месте, - 5505 м². Эффективность очистки - 80-99%. Добиться высокой очистки без применения химреагентов или растворов ПАВ невозможно. Стоимость очистки грунтов составляет от 120 до 170 долл. США за 1 м³.

Для очистки почв и грунтов от хлорорганики разработан метод сверхвысокочастотного нагрева [51]. СВЧ-оборудование позволяет быстро разогревать грунт, и при этом происходит быстрое окисление органических молекул вплоть до оплавления пород [51].

Импульсная ультрафиолетовая очистка эффективна для очистки грунтов, загрязненных трихлорэтиленом, тетрахлоридом, хлороформом и другими низкомолекулярными хлорированными углеводородами. При обработке загрязненного грунта неоновыми лампами происходит фотоокисление хлорорганики до НСl, С02, Н20, и при этом возможно образование формилхлорида НСОСl. Поэтому эффективность метода удовлетворительна для невысоких содержаний хлорированных углеводородов в почве [52].

Энергия лазеров используется для расплавления грунта, содержащего экотоксиканты, и капсюлирования загрязнения [53,54].

Вышеперечисленные технологии используются редко, с их помощью обезвреживают небольшие количества загрязненного грунта, и реализация электромагнитных методов крайне дорога.

Многообещающий метод сверхкритической экстракции углекислым газом позволяет извлекать из грунта и почвы любые органические соединения. Процесс экстракции проводят при давлении 350-400 кг/см и температуре 35.5°С. Эффективность извлечения метода может достигать 100% при тщательном перемешивании загрязненного грунта в реакторе. Сверхкритическая экстракция - это универсальный, экологически безопасный процесс обезвреживания экотоксикантов из всех существующих [55-57]. Однако технология очистки на основе сверхкритической экстракции имеет низкую производительность (не более 100-200 кг/ч) и высокие капитальные затраты (500-700 долл. США на 1 кг отходов в час).

В настоящее время распространено простое механическое удаление загрязненных грунтов с помощью различных машин и вывоз их для захоронения или обезвреживания [58]. Механическое перемешивание с вибросепарацией используется в путевых машинных станциях Российских железных дорог для очистки щебеночного балласта - верхней части железнодорожного пути от мелкой фракции и пыли, содержащей соли тяжелых металлов. Щебень при грохочении не очищается от пленочных нефтепродуктов. Степень очистки балласта от мелкой фракции и пыли не превышает 50%.

Для очистки грунта и щебня от тяжелых металлов и нефтепродуктов механическое перемешивание совмещают с промывкой водой [59]. Фирма "RAIL-PRO" (HILVERSUM, Голландия) производит очистку промывкой водой щебеночного балласта железнодорожных путей от нефтепродуктов и тяжелых металлов после глубокого капитального ремонта железнодорожного полотна. На заводе очищают до 95% балласта Голландии и до 60% балласта Дании, 12% очищенного балласта с размером фракций 64-32 мм возвращается в технологический процесс восстановления балластной призмы, 70% с размером фракций 32-4 и 4-0.5 мм продают строительным организациям. Фракция размером менее 0.5 мм, аккумулирующая практически все загрязнения (нефтепродукты и соли тяжелых металлов), отправляется на полигон для захоронения. Стоимость очищенного балласта 7-10 долл. за 1 тонну.

Технология механической промывки грунтов водой разработана фирмой "LURGI AG" (г. Франкфурт-на-Майне, Германия) Вначале грунт измельчают в дробильной установке до размеров кусков менее 100 мм и вместе с тонкой фракцией подают в промывной барабан. В промывном барабане за счет трения и ударов частиц друг о друга нефтепродукты и соли тяжелых металлов переходят в жидкость. После рассева промытого материала грубодисперсную фракцию повторно промывают в барабане. Тонкую фракцию (10-30%) грунта обезвоживают в гидроциклоне. Промывные воды очищают во флотаторе и используют вновь. Производительность установки - 1 т грунта в час. Стоимость очистки одной тонны грунта 30-50 долл. США [60].

Подобные промывные технологии внедрены и в России. Нефтеперерабатывающее предприятие "Шэрыкз" (г. Салават, Башкортостан) разработало технологию промывки загрязненных грунтов. Песчаные загрязненные нефтью почвы промывают растворами ПАВ, в качестве которых применяют ОП-10 или оксиэтилированные жирные кислоты (ОЖК). Соотношение грунт: раствор 0,02% ОП°10 равно 1:16, степень очистки -99.2%. При очистке дерново-карбонатных почв от нефтепродуктов раствором ОП-10 концентрацией 0.02% при соотношении грунт: раствор 1:30 степень извлечения составляет 93.5%. После очистки грунт или почва возвращаются для рекультивации.

Для очистки несвязанных грунтов (песок, щебень) от нефтепродуктов и фенолов Научно-исследовательский центр "ЭКОЛОГИЯ" МПС России (г. Новосибирск) разработал технологию и изготовил и разместил на двух железнодорожных платформах мобильную установку, основанную на ротационном принципе перемешивания загрязненного грунта и раствора ПАВ в воде. Стоимость очистки одной тонны грунта 10-30 долл. США [61].

Одна из крупнейших в мире и в Европе компания "WATCO" (г. Grirabergem, Дания) специализируется на очистке грунтов и почв от нефтепродуктов, органических веществ и тяжелых металлов. Благодаря огромному опыту и значительным мощностям компания перерабатывает более 300 млн. тонн загрязненных грунтов не только Бельгии, но и Голландии. WATCO осуществляет очистку грунтов промывной водой, биообезвреживание грунтов, загрязненных ароматическими веществами, проводит термообработку грунтов при 800°С и очистку водоносных пластов от тяжелых металлов в адсорбционных колоннах. В зависимости от типа грунта и вида экотокси канта в научно исследовательском центре компании выбирают метод обезвреживания и технологическую линию нейтрализации загрязнений [62] c помощью биологических, электрохимических или электрокинетических технологий, приведенных в Таблице 4

Таблица 4 Эколого-экономические показатели установок и технологии утилизации углеродсодержаших отходов

| Наименование установки/технологии обезвреживания отходов | Производительность, т/час | Стоимость обезвреживания, долл | Капитальные затраты, долл/т утилизирумых отходов в год | Срок окупаемости, лет | | Степень очистки | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| без оплаты обезвреживания | с оплатой обезвреживания | От углеводородов | от солей тяжелых металлов |
| Печь сжигания (Нью Джерси США) | 40 | 60-100 | 1300 | 00 | 3-4 | Менее ПДК | Не обезвреживается |
| Печь сжигания "Вихрь" (Россия) | 1.0 | 25-40 | 450 | 00 | 2 | Более ПДК | Не обезврежииает |
| Вращающаяся печь (Waste Utilization Teth-Nol, США) | 1.0 | 100-200 | 1600 | 00 | 2-3 | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Вращающаяся печь (Dupon, Франция) | 0.5 | 100-200 | 1600 | 00 | 2-3 | Менее ПДК | Не обезвреживается |
| Печь с псевдоожиженным слоем (Dorr Oliver GmbH, Германия) | 50.0 | 100-200 | 4000 | 00 | 4-6 | Менее ПДК | Не oбeзвреживается |
| Печь газификационная с каталитическим блоком (Берлин Германия) | 5.0 | 0 | 1600 | 2-3 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Печь газификационная (Molten Metal Technol, США) | 3.0 | 0 | 1100 | 2 | - | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Доменная мини-печь (Россия) | 10.0 | 0 | 330 | 1 | - | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Печь РОМЕЛТ (Россия) | 1.0 | 0 | 300 | 1 | - | Более ПДК | Менее ПДК |
| Печь газификаиионпая (сверхадиабатного горения), Poссия | 4.0 | 0 | 190\* | 1 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Печь пиролизная (Alfa Laval, Австрия) | 2.5 | 50-70 | 147 | 00 | 1.5-2 | Менее ПДК | Не обезврекивает |
| Печь пиролизная OTS (Германия) | 1.0 | 0 | 200 | 4-7 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Печь пиролизная (Man Guten, Германия) | 0.5-2.5 | 0 | 150 | 3-4 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Печь пиролизная (ВНИИЖТ Россия) | 0.05 | 0 | 125 | 2-3 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Инсенираторы AS 51 402, ASWI 402, ASWI 402 AS фирмы ATLAS (Дания) | 0.1 | 500 | 1500 | 00 | 4 | Более ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор GOLAROG 200 (Норвегия) | 0.1 | 500 | 3500 | 00 | 7-8 | Более ПДК | Не обезвреживается |
| Инсинератор VESTA MAX 255 (Норвегия) | 0.1 | 500 | 3200 | 00 | 6-7 | Более ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор RС/М IМЕF (Италия) | 0.1 | 500 | 3000 | 00 | 6-7 | Более ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор ИН-50.1 (Россия) | 0.05 | 0 | 90 | 0.5 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор ИН-50.2 (Россия) | 0.1 | 0 | 50 | 0.7 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор ИН-50.3 (Россия) | 0.1 | 0 | 52 | 0.8 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Инсинератор ИН-50.4 (Россия) | 0.15 | 0 | 21 | 0.4 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Инсиператор ИН-50.6 (Россия) | 0.3-0.5 | 0 | 48 | 0.3 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Технология химической обработки грунта фирмы Meissner Grundbau | - | 30 | - | 00 | - | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Технология химического отверждения грунта фирмы West Alpine | - | 30-40 | - | 00 | - | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Технология биообезвреживания фирмы Heijmans (Бельгия) | - | 15-20 | 150-200 | 00 | 2-3 | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Технология биообезвреживания грунта железнодорожных предприятий | - | 5-10 | 50-100 | 00 | 2-3 | Более ПДК | Не обезвреживает |
| Технология обезвреживания ТБО фирмы Vostok West | - | 10-15 | 150-200 | 00 | 2-3 | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Технология электрохимического обезвреживания | - | 70-150 | - | 00 | 1 | Более ПДК | Менее ПЛК |
| Технология злектрокиметической очистки | - | 120-170 | - | 00 | - | Более ПДК | Менее ПЛК |
| Технология сверхкритической экстракции | 0.15 | 0 | 100 | 20 | - | Менее ПДК | Не обезвреживает |
| Технология промывки грунта pacтвором ПАВ | 1.0 | 30-50 | 120 | 00 | 2-3 | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Технология кавитационной промывки грунта раствором ПАД | 1.0 | 30-50 | 80 | 00 | 1.5-2.5 | Менее ПДК | Менее ПДК |
| Технология безреагентной промывки загрязненного балласта фирмы Rail Pro (Голландия) | 3.0 | 25 | 120 | 00 | 2-3 | Более ПДК | Более ПЛК |

\* Такие низкие капитальные затраты связаны с тем что из печи синтез-газ направтяется в ТЭЦ-1 без очистки

**Список литературы**

О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году Государственный доклад М, 1999

Санитарная очистка и уборка населенных мест //Справочник М Стройиздат 1990 -413с

Гамов В. И. Двинских С.В. Керин А.С. Обработка осадка поверхностного стока II М Стройиздат 1991 427с

Состояние окружающей среды Московской области в 1997 году II Государственный доклад - М 1998

Lund H F Industrial pollition control handbook,// New-York McGraw-Hill, 1971 570 p

Lewis С R, Edwards R E, Santora M A Incineration of industrial wastes // Chemical Engineering, 1976 v 83 №2 p 115-121

Grosse F L Ir Incineration of hazardous wastes //Toxic Material News, 1981 v 8, N21,p323

GiosseF L Jr Incineration of ha/ardous wastes //The handbook of hazardous waste magament, ed A A Metry -Wcstpoit Techn Publishing, 1980 p 310-322

Kanury A M Intioduction to combustion phenomena//Ncw-Yoik Gordon & Breach, 1977, 257 p

Reed 1 С , Moore ВL Ultimate hazardous waste diposal by incineration // Toxic and hazardous waste disposal, 1980 v4, p 163-174 Ann Arbor Science Publishers

Гумен С Г Трухин Ю А Гоухберг М С Научно-технический прогресс в " Водоканале Санкт-Петербурга" //Тезисы докладов Третьего международного конгресса "Вода экология и технология" ЭКВАТЭК-98,с 391

Лушвиц Х Удаление ила сточных вод II Гезисы докладов Ipeibcro международно! о кошресса "Вода экология и технология" ЭКВА1ЭК-98, с 426

Рекламный листок фирмы "Molten Metal Technologies" 1998

Способ переработки твердых бытовых и промышленных отходов IIА В Воловик Патент Российской Федерации № 2086850 10авг>с1а 1997i

АС 1315738 СССР Способ переработки отходов в оарботируемом шлаковом расплаве If А Б Усачев, В А Роменецидр 1986 i

Усачев А Б Роменец В А Баласанов А В и др //Экою1ия и промышленность России, 1998 ноябрь с 27-30

Рекламный проспект фирмы ALFA LAVAL 1998

Thornot E С Selection of a field demonstration site for in Situ chemical treatment of soil testing activites // Westmghouse Hanford Company, Richland, Washington, 1994

Thornton E С Baechler M A Gas treatment of chromate-contammated soils from a chromate " . ,contaminated waste site II Draft Report, Westing-house Hanford company Richland Washington 1994

Thornton E С , Baechler M A , Beck MA et al Laboratory evaluation of the hydrogen sulfide gas treatment approach for remediation of chromate, uranium (VI), and nitrate-contaminated soils II Draft Report, Westmghouse Hanford Company, Richland - Washington, 1993

Thornton E С Delegard СH , Baechler MA et al Gas treatment and column leach testing of chromate, uranium (VI) and nitrate-contaminated soil, test plan /i Westmghouse Hanford Company Richland - Washington, 1993

Ho Sa V Brodsky P H Remediation of contaminated heterogeneous soils //US US 5476992 A, 1995 19 Dec , 17 p

Kawachi Т Kudo H Uruchibara КEtal // Soil Environ. 1995, №5 p1263

Thoemmg J Calmano W // Soil Environ , 1995, № 5, p 895

Проспект фирмы"Meissner Grundbau", 1997

Seibel F , Stiber M , Wemer P , et al // Proceedings of SPIE tntSoc Opt Eng 2504 1995, p 86-97

Gates D D , Siegnst R L Laboratory evaluation of chemical oxidation using hydrogen peroxide II Report from The X-231 Вproject for in Situ treatment of phys-icochemical process coupled with soil mixing - Tennessee, 1993

Gates D D Siegust R L Clme S R Laboratory evaluation of the in Situ chemical oxidation of volatile and semi-volati/e organic compounds us/ng hydrogen peroxide and potassium permanganate II Tennessee, 1994

Киреева Н А Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах //Уфа, БашГУ. 1994,-172с

Lawrence A W , Miller J A et al // Par Int In Situ on -site Bioreclam Symp 3°rd Ohio Batteclle Press 1995, p 581-592

Brown R A Leonard W С Leahy M С// Pap Int In Situ on - site Bioreclam Symp , 3-rd - Ohio Battelle Press 1995 p 185-190

Burke G К , Rhodes D К// Par Int In Situ on -site Bioreclam Symp 3-rd-Ohio Battelle Press 1995, p 527-534

Strong-Gunderson J M , Palumbo A V // Pap Int In situ on-site Bioreclam Symp , 3-rd - Ohio Battelle Press 1995 p 33-40

Куличевская И С , Гузев В С , Паников НС// Микробиология 1995, т 64, N» 5, с 668-673

SchneiderJ Grosser R , Jayasimhulu К et al //Appi Environ Microbiol, 1996, v 62(1), p 13-19

Imamura Т Yano ТBactenum KB 2, process for degrading at least one of aromatic compounds and haloorganic compounds using microorganism, and processor environment remediation I/ Eur Pat Appi EP 714858 A 2, 1996, 5 June -p 23

Головлева Л А. // Биотехнология защиты окружающей среды Конф 18, 19 октября 1994 г - Пущино, 1993, с 3

Заборина О Е Головлева Л А // Здесь же с 27-28

Головлева Л А Финкельштейн 3 И Баскунов Б П и др //Микробиология 1995 т 64 №2 с 197-200

Ягафаров Г Г Хметкин Р Н // Башкирский химический журнал 1994, вып 1(3) с 46 47

Королев В А Некрасова М А // Тр Научи Конф Новые идеи в инженерной геологии" - М Издательство МГУ 1996 с 114

Королев В А Некрасова М А //1-я научно-практическая конференция по проблемам охраны геологической среды -Минск БГУ 1995, с 123

Осаг Y ВAlshawabken AN// Environ Sci Technol, 1993 №27 p 2638-2647

US US 5476992 a 1995 19 Dec In-situ remediation of contaminated heterogeneous soil II Ho Sa V Bro-dakyPH p 17

Peters R W . Enzien M Y Bouillard J К et al // Han-ford Symp Health Environ 33-rd, Ohio In-situ remid Sci Basis Curr Future Technol 1994 v2 p 737-762

Takujama I R Huang С P // Hazard Ind Wastes 27-th 1995 p 835-846

Oyler J A // A ecoiogicol remediation of a Superfund Site 1995 p 37

Lagerman R //Environ Sci Technol 1993 №27 p 2648 2650

Гончаров Л В Баранова В И Егоров Ю М и др // Труды Международной конференции Эволюция инженерных условий Земли" Под ред В Г Трофимова В А Королева М МГУ 1997. с126

SchneiderJ //ANUESD/TM 73 1994

Circeo L J Camacho S L Jacobs G К et al // Han ford Symp Health Environ 33-rd - Ohio In situ re-mid Sci Basis Curr Sci Technol, p 707-719

Watson t A Yon A Oon S W et al // Review of La ser Engineering 1996 v 24 p 165 173

Paulaitis M E Penninger G M Gray R D Davidson P // Jr Chemical Engineering at Supercritical Fluid Conditions - Ami Arbor Sci 1983

Model M Paulaitis ME// Environ Sci Technol. 1982,v 16 p 548

Shaw R W Brill Т ВClifford A A et al // Chemand Erg 1991 v 23 p 26

Skaarup J Linds С Oemig F et al // Soil Environ , 1995 №5, p 1005-1012

Саакян С В Содовые солонцы солончаки - процессы расслоения рассо"лонцеванияи способы их ускорения //Ереван АрмСХИ 1993 194с

Рекламный проспект фирмы " Lurgt AG" (Германия) 1998

Информационное письмо " Установка по очистке нефтемаслосодержащих грунтов НЭ402 00" II ГП Новосибирский научно-инженерный центр "Экогеология" НРБ МПС России 1997

Рекламный проспект фирмы " WATCO" (Дания) 1998

Рекламный проспект фирмы " Vostok West LTD" (Англия) 1999