

Таблица 2 - Результаты сгущения шламов ЦОФ «Березовская»

№ опыта	Флокулянт	Расход, г/т	Скорость осаждения, см/с	Содержание твердого в сливе, г/л
1	Магнафлок 345	100	0,3	2,0
2	Магнафлок 345 + Магнафлок 1597	80 40	0,6	0,5
3	Магнафлок 919	80	0,6	1,0
4	Магнафлок 919 + Магнафлок 1597	80 40	0,8	0,2
5	Магнафлок 6260	80	0,5	1,3
6	Магнафлок 6260 + Магнафлок 1597	80 40	0,7	0,3

Литература

1. Шевченко Т.В., Ульрих Е.В. Влияние шитых катионных флокулянтов на процессы седиментации и уплотнения осадков гидрофильных суспензий. // Химическая промышленность. – 2004. – Т.81. - № 11. – С. 563 – 565.
2. Шевченко Т.В., Ульрих Е.В., Яковченко М.А. Применение сверхвысокомолекулярных флокулянтов в процессах обогащения угля. // Химическая промышленность сегодня. – 2004. - № 11. – С. 38 – 41

УДК 67.08

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОГО МЕТОДА МИКРОВОЛНОВОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Голубев В.П., Благовещенская Т.С., *Карпович В.А.

Белорусский национальный технический университет

**Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» БГУ.*

В статье излагаются основные характеристики процесса пиролитического обезвреживания медицинских отходов с использованием СВЧ энергии; основные характеристики отходящих газов от процесса пиролиза жидкой фракции; приводятся результаты сравнения выбросов с норматива; основные требования и методы анализа образующейся при пиролитическом обезвреживании медицинских отходов золы с целью определения ее степени опасности и класса опасности.

В настоящее время широко используется обезвреживание фармацевтических отходов и цитостатических фармацевтических препаратов термическими методами, однако в процессе сжигания образуются диоксины. Кроме того, высокой токсичностью обладает зола из инсинераторов. Поэтому большое внимание уделяется разработке и внедрению альтерна-

тивных технологий обезвреживания, которые должны обеспечивать экологическую безопасность метода; эффективность обезвреживания отходов; экономические преимущества по сравнению с другими методами, включая этапы создания, монтажа и эксплуатации.

Предлагаемый инновационный метод обезвреживания медицинских отходов с использованием комплекса оборудования на основе современных микроволновых технологий высокотемпературного нагрева и стерилизации разрабатывался для обезвреживания фармацевтических отходов (подгруппа Б3) и цитостатических фармацевтических препаратов (подгруппа Б6). Экспериментальный комплекс оборудования включает в себя блок микроволнового нагрева и стерилизации (нагрев и стерилизация отходов при заданной температуре до 600 °С), блок высокотемпературного микроволнового нагрева (обезвреживание отходов при температуре не менее 1200 °С), блок измерительно-аналитический (автоматическое измерение и контроль параметров обезвреживания), блок управления режимами работы оборудования. Обезвреживание осуществляется в две стадии: на первой стадии осуществляется термический пиролиз медицинских отходов, содержащих цитостатические фармацевтические препараты, при температурах порядка 600 °С с образованием пиролитических газов, которые обезвреживаются на второй стадии при температуре не менее 1200 °С.

В настоящей работе представлены результаты разработки экологически безопасной технологии пиролитического обезвреживания медицинских отходов (1 стадия) – основной стадии в процессе обезвреживания отходов методом микроволнового пиролиза, при котором протекают химические реакции расщепления молекул опасных для окружающей среды и человека веществ. Отработка безопасной технологии обезвреживания отходов на этой стадии является основой обеспечения экологической безопасности комплекса оборудования в целом. Учитывая многообразие факторов экологической безопасности, работа выполнялась в несколько этапов. На первом этапе исследовали безопасность эксплуатации экспериментального образца комплекса оборудования для обслуживающего персонала. Результаты измерения интенсивности СВЧ-излучения в окружающей среде во время работы экспериментального образца комплекса оборудования представлены в табл. 1.

В соответствии с требованиями СанПИН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)» предельно допустимые уровни плотности потока электроэнергии при продолжительности воздействия в течение 8,0 часов составляют 25 мкВт/см². Учитывая, что процесс микроволнового пиролиза продолжается около 4 часов, подобные уровни СВЧ-излучения не представляют опасности для обслуживающего персонала.

Таблица 1. Интенсивность СВЧ-излучения в окружающей среде во время работы экспериментального образца комплекса оборудования

Стадия эксперимента	Место измерения интенсивности СВЧ-излучения в окружающей среде, мкВт/см ²			
	Верхняя крышка	Боковой периметр корпуса	Нижняя крышка	Стык нижней крышки с боковым периметром корпуса
До включения комплекса оборудования	0	0	0	0
В момент включения комплекса оборудования	9	12	16	24
0,5 часа после начала эксперимента	8	14	19	26
1 час после начала эксперимента	9	16	18	26
2 часа после начала эксперимента	8	15	19	25
3 часа после начала эксперимента	8	15	17	26
4 часа после начала эксперимента	9	16	17	27
После выключения комплекса оборудования	0	0	0	0

С целью повышения безопасности работ экспериментальный образец комплекса оборудования изначально разрабатывался с выносным пультом управления. Интенсивность электромагнитного излучения в месте установки пульта управления не превышала 1-8 мкВт/см², что меньше интенсивности электромагнитного излучения ряда моделей мобильных телефонов. В период работы экспериментального образца комплекса оборудования обслуживающий персонал находится только у пульта управления.

На следующем этапе проводили исследование качественного и количественного состава газообразных выбросов в атмосферный воздух. В экспериментальный образец комплекса оборудования загружали от 10 до 13 килограмм отходов. Обезвреживание проводили при температурах около 600 °С. Время обработки варьировалось от 2 до 5 часов. Анализ выбросов в атмосферный воздух и воздух рабочей зоны проводили по Методике выполнения измерений содержания оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы с помощью электронных газоанализаторов типа «Testo»

(МВИ. МН 1936-3003). Результаты измерений выбросов газообразных продуктов в атмосферный воздух представлены в табл. 2.

Таблица 2. Анализ газообразных выбросов в атмосферный воздух при проведении микроволнового пиролиза отходов

Время измерения	Наименование определяемого вредного вещества	Концентрация максимальная, мг/м ³	Максимальный фактический выброс, г/с
0,5 часа после начала эксперимента	Азота диоксид	2,4	0,0017
	Сера диоксид	3,3	0,0023
	Углерода оксид	11,8	0,0082
1,5 часа после начала эксперимента	Азота диоксид	0	0
	Сера диоксид	6,7	0,0047
	Углерода оксид	22,0	0,016
2 часа после начала эксперимента	Азота диоксид	2,4	0,0017
	Сера диоксид	6,7	0,0048
	Углерода оксид	17,6	0,013

Анализ газообразных выбросов показывает, что количество выбрасываемых веществ не превышает нескольких миллиграмм в секунду, что в десятки раз меньше выбросов в атмосферу при использовании традиционных способов сжигания отходов. Полученные данные убедительно доказывают перспективность разработки технологии обезвреживания медицинских отходов с использованием микроволнового пиролиз, позволяющей обеспечить уровень экологической безопасности, не достижимый для метода обезвреживания путем сжигания.

Для подтверждения экологической безопасности использования экспериментального комплекса оборудования и микроволновой технологии обезвреживания медицинских отходов было проведено сравнение фактических концентраций загрязняющих веществ с нормативно допустимыми концентрациями. Результаты анализа представлены в табл. 3.

Как следует из результатов, представленных в табл. 3, при эксплуатации экспериментального образца комплекса оборудования для микроволнового обезвреживания медицинских отходов обеспечивается соблюдение норм выбросов загрязняющих веществ согласно приложению к Инструкции о правилах и методах обезвреживания отходов лекарственных средств, изделий медицинского назначения и медицинской техники.

Таблица 3 - Сравнение норм выбросов загрязняющих веществ при обезвреживании медицинских отходов с концентрациями, полученными в ходе инструментальных измерений

Наименование загрязняющего вещества	Нормативная концентрация, мг/м ³	Фактическая концентрация, мг/м ³
Азота диоксид	Не более 200	2,4
Сера диоксид	Не более 300	6,7
Углерода оксид	Не более 100	22,0

Снижение газообразных выбросов в процессе микроволнового пиролиза приводит к увеличению объема жидкой пиролизной фракции, анализ которой проводили на следующем этапе работ.

Обычно жидкую фракцию пиролиза используют в качестве печного топлива. С целью определения пригодности жидкой фракции микроволнового пиролиза медицинских отходов для использования в качестве печного топлива проводили соответствующий анализ. Результаты этого анализа представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты анализа жидкой фракции продуктов микроволнового пиролиза медицинских отходов

Наименование показателя	Единица измерения	Результат испытаний
Теплота сгорания	кДж/кг	40780
	ккал/кг	9740
Вода	%	отсутствует
Плотность	г/см ³	0,8390
Сера	%	0,02

Из представленных в таблице 4 результатов следует, что в результате микроволнового пиролиза медицинских отходов, проведенного на экспериментальном образце комплекса оборудования, получено ценное жидкое топливо, по своим свойствам соответствующее печному топливу. По теплоте сгорания данное топливо не уступает широко используемым видам мазута марок 40 и 100. Однако, полученное в результате микроволнового пиролиза, топливо имеет меньшую плотность (для мазута – 0,96 г/см³), что упрощает его хозяйственное использование.

Отсутствие воды в полученном топливе положительно скажется на увеличении срока службы котельного оборудования. Очень низкое содержание серы (в мазуте допускается 0,5 %) существенно повышает экологическую безопасность его использования.

Таким образом, разрабатываемые комплекс оборудования и микроволновая технология обезвреживания медицинских отходов позволяют значительно повысить экологическую безопасность за счет значительного снижения выбросов в атмосферный воздух.

На следующем этапе проводился анализ экологической токсичности образующейся при микроволновом пиролизе золы.

В качестве опытных образцов использовали золу, образующуюся в результате термического микроволнового пиролиза медицинских отходов при температуре около 600 °С. В качестве медицинских отходов использовали образцы отходов, полученные из онкологических больниц. Отходы включали стеклянные и пластмассовые флаконы, использованные системы переливания, шприцы, перевязочный материал и т. д.

Исследования проводили в соответствии со следующими техническими нормативными правовыми актами:

- Инструкция № 2.1.7.11-12-42-2004 «Определение токсичности отходов, содержащих органические вещества», утв. МЗ РБ 31.12.2004 г.

- Инструкция 2.1.7.11-12-3-2004 «Определение токсичности металлосодержащих отходов». Утверждена МЗ РБ 25.02.2004 г.

- Инструкция № 20-0102 «Инструкция по гигиенической оценке химических веществ, многокомпонентных смесей и полимерных материалов на *Tetrahymena pyriformis*». Утверждена МЗ РБ 11.07.2002 г.

Результаты исследования экологической токсичности на инфузориях *Tetrahymena pyriformis*W представлены в табл. 5.

На основании полученных результатов, представленных в табл. 5, можно сделать вывод, что в стационарной культуре инфузорий по результатам изучения в остром эксперименте (по величине ЛД₅₀) и подостром эксперименте (по величине Ккум_{ac}) изученные пробы пиролизной золы относятся к 4 классу токсичности (малотоксичное вещество); а по результатам изучения в хроническом эксперименте (развитие одного поколения популяции тест-объекта) максимальная недействующая доза (МНД) пиролизной золы для тест-объекта составила 10⁻¹ мг/мл. Следовательно, учитывая принцип комплексной оценки отходов на тест-объекте *Tetrahymena pyriformis*W изученные образцы пиролитической золы относятся к 3 классу токсичности (умеренно токсичное вещество).

Для изучения фитотоксичности образцов пиролитической золы в качестве тест-объектов использовали семена и проростки огурцов сорта Янус, редиса сорта Сакса, овса. Количество проросших семян в каждой чашке Петри (тест на прорастание семян), среднее количество проросших семян на 1 чашку в опыте определяли на 3-и и 7-е сутки эксперимента. Фитотоксическое действие отмечается, если семена не прорастают или их всхожесть составляет менее 80 % от контроля.

Таблица 5. Исследование экологической токсичности на тест-объекте *Tetrahymena pyriformis*W пиролизной золы, полученной при обезвреживании медицинских отходов

Показатель токсичности	Величина токсичности	Класс токсичности
Острый эксперимент		
ЛД ₁₆ , мг/мл	40,9	-
ЛД ₅₀ , мг/мл	64,9±0,08	4 класс
ЛД ₈₄ , мг/мл	89,0	-
Подострый эксперимент		
ЛД ₁₆ , мг/мл	15,0	-
ЛД ₅₀ , мг/мл	39,3±0,08	-
ЛД ₈₄ , мг/мл	63,6	-
Ккум ас	0,61	4 класс
Хронический эксперимент		
ЕД50, мг/мл, лог. фаза	18,9±0,14	-
ЕД50, мг/мл, стац. фаза	17,4±1,00	-
Ккумchronica	0,92	4 класс
МНД, мг/мл	10 ⁻¹	3 класс
ЛД50/МНД	6,49x10 ²	4 класс

При изучении мутагенной активности в микроядерном тесте за время проведения эксперимента гибели животных в опытных сериях не отмечено; уровень клеток с микроядрами в опытной серии не превышал контрольные значения.

На основании полученных результатов, изученные образцы пиролизной золы, полученной при обезвреживании медицинских отходов, по результатам цитогенетического теста на объекте *L. Stagnalis* не вызвал игенотоксического эффекта в клетках в мантийной жидкости моллюсков и гибели клеток гемолимфы. Следовательно, опытные образцы не оказывали генотоксического эффекта на клетки мантийной жидкости моллюсков, образцы не токсичны для гидробионтов.

Таким образом, пиролизная зола, полученная при микроволновом пиролизном обезвреживании медицинских отходов, учитывая принцип интегральной оценки, относится к 3 классу опасности, что позволяет проводить ее захоронение на полигоне промышленных отходов.

Учитывая, что по показателям острой и подострой токсичности на тест-объекте *Tetrahyme napyriformis*W и по результатам цитогенетического теста на объекте *L. Stagnalis* изученные образцы отходов относятся к 4 классу опасности, можно сделать предположение, что при совершенствовании технологии микроволнового обезвреживания медицинских отходов, имеется возможность снизить токсичность отходов до 4 класса опасности.

Литература:

1. СанПИН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».
2. "Охрана природы. Атмосфера. Газоанализаторы автоматические для контроля загрязнения атмосферы. Общие технические требования" ГОСТ 17.2.6.02-86 18.12.1985 г., изменение 01.04.1987 ИУС №8-1986.
3. Какарека С. В. Источники и уровни выбросов твердых взвешенных частиц на территории Беларуси // Природные ресурсы. 2007. № 2. С. 20–32.
4. СТБ ИСО 12141-2005 Наименование Стационарные источники выбросов. Определение массовой концентрации взвешенных частиц (пыли) при низких концентрациях. Гравиметрический метод
5. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 42 от 23 июня 2009 г. «Об утверждении Инструкции о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух»
6. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 60 от 14.05.2007 «Об утверждении правил эксплуатации газоочистных установок».
7. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь №81 от 22.11.2002 «Об утверждении Инструкции о правилах и методах обезвреживания отходов лекарственных средств, изделий медицинского назначения и медицинской техники».
8. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь №51/125/67 от 20 декабря 2011 г. «Об утверждении Инструкции о порядке установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства».
9. СанПиН 2.1.7.14-20-2005 «Правила обращения с медицинскими отходами». Утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 20 октября 2005 г. № 147 с изменениями 2008 г.

УДК 621.313

**ПРИРОДООХРАННЫЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ**

Зеленухо Е.В., Басалай И.А., Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

В работе проведен анализ эффективности использования детандер-генераторных установок для улучшения экологических показателей при производстве энергии.

Цель работы – оценка эффективности использования детандер-генераторных установок для улучшения экологических показателей при производстве энергии. Для достижения поставленной цели проведен анализ технологического процесса производства энергии на Гомельской ТЭЦ-2.