



Оборудование для конверсии углеродсодержащих материалов

Г.С.Маринский*, С.В.Петров**, В.Н.Коржик*,
А.В.Чернец*, В.А.Жовтянский**

* Институт электросварки им.Е.О.Патона НАН Украины

** Институт газа НАН Украины



- Углеродсодержащие органические материалы, играющие чрезвычайно важную роль в энергетике, составляют также основу многих видов отходов, включая вредные и опасные.
- Это - пластиковая посуда и изделия, медицинские отходы, автомобильные шины и пр.
- Объемы этих отходов огромны, многие из них не разлагаются в обычных условиях и опасны для человека и окружающей среды.
- Эффективная переработка их позволит решать не только проблемы экологии, но приведет к получению альтернативных видов энергоносителей, например, синтез-газа или дизельного топлива (с выходом целевого продукта в количестве до 700кг из 1 тонны отходов).



В соответствии с Базельской Конвенцией "О контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением", одной из наиболее опасных категорий отходов, возглавляющей список наиболее опасных отходов, являются отходы учреждений здравоохранения.

Медицинские отходы – это использованные шприцы, перчатки, хирургические материалы, биологические отходы и пр.





- По имеющимся данным, в США образуется ок. 3 млн. тонн медицинских отходов в год, в России и Китае – до 1 млн. тонн, во Франции – до 600 тыс. тонн.
- Ориентировочное количество медотходов, образующихся в Украине, составляет около 350 тыс. тонн в год.
- Проблема их уничтожения/утилизации на сегодня не решена и приобретает все большую остроту.



Наиболее известные и широко использовавшиеся на протяжении многих лет технологии сжигания не могут решить проблемы переработки медицинских и других подобных отходов. Они все больше вступают в конфликт с современными требованиями экологической безопасности и отвергаются в большинстве стран мира при строительстве новых мусороперерабатывающих предприятий.

Анализ показывает, что одно из наиболее перспективных направлений, выходящих на ведущие позиции в мире при переработке опасных отходов - применение плазменных технологий. По литературным данным, работы по плазменной утилизации отходов активно ведутся в США, России, Индии и ряде других стран.



Процесс плазменного пиролиза обеспечивает экологически чистую переработку отходов.

Основными продуктами переработки являются высококалорийный горючий синтез-газ (смесь $H_2 + CO$) и нейтральный твердый остаток в виде остеклованного шлака.

Газ может использоваться как эффективный источник получения электроэнергии, или в качестве сырья для получения синтетического моторного топлива и др.



Созданию оборудования и технологии для плазменной переработки медицинских и других подобных отходов и посвящена работа, которая выполняется Институтом электросварки им.Е.О.Патона и Институтом газа НАН Украины в тесной кооперации с НТЦ «Плазер» и компанией «Укрспецтехнология».



В данном случае, в качестве базового нами используется технологический процесс, основанный на плазменном пиролизе указанных отходов с участием водяного пара с высокими термодинамическими параметрами.

При этом речь идет об использовании, так называемой, "паровой" плазмы (т.е. плазмы, в которой в качестве плазмообразующего газа используется водяной пар).



При высокотемпературном паровом пиролизе, за счет высоких транспортных свойств пара, устанавливается одинаковый температурный и концентрационный режим по всему реакционному объему.

Данный процесс обеспечивает высокоэффективную переработку опасных отходов без эмиссии в окружающую среду диоксинов, смол, фенолов, аэрозолей и пр.,

В процессе переработки удаляются такие опасные элементы как хлор, фтор и др., входящие в состав многих пластических материалов.

Процесс пароплазменной газификации не чувствителен к влажности обрабатываемых отходов и их составу.



Схема процесса пароплазменной переработки отходов





Предварительные расчеты и эксперименты на моделях показали высокую эффективность данного метода и послужили основой для создания натурального оборудования.

Лабораторная установка для пароплазменной переработки (конверсии) углеродсодержащих материалов, оснащенная паровым плазмотроном мощностью 2 кВт





Оценочные расчеты для переработки отходов на основе пластмасс

(полиэтилен C_5H_{10} и полихлорвинил: C_2H_3Cl)

Исходный состав:



Предполагаемый состав продуктов реакции:

H_2	CO	HCl	N_2	
0,1086	0,7923	0,0969	0,0022	кг/кг смеси
53,87	28,29	2,655	0,079	моль/кг смеси
0,2212	1,6134	0,1973	0,0044	кг/кг отхода,
63,46	33,32	3,13	0,09	% об.



Оценочные расчеты для переработки отходов на основе латекса, резины (C₅₀H₈₀S) целлюлозы (C₆H₁₀O₅)

Исходный состав:



Предполагаемый состав продуктов реакции:

CO	H ₂	H ₂ S	N ₂	
1,1404	0,0953	0,0058	0,0054	кг /кг отхода
0,9146	0,0764	0,0047	0,0043	кг /кг смеси
32,65	37,90	0,138	0,154	моль/кг смеси
46,09	53,50	0,19	0,22	% об



Орієнтовний склад утвореного газу після парового пролізу, %

N ₂	1 – 2
H ₂	35 – 55
CO	30 – 50
H ₂ O	5 – 30
CH ₄	0,5 – 1
HCl	1 – 2
H ₂ S	0,5 – 1

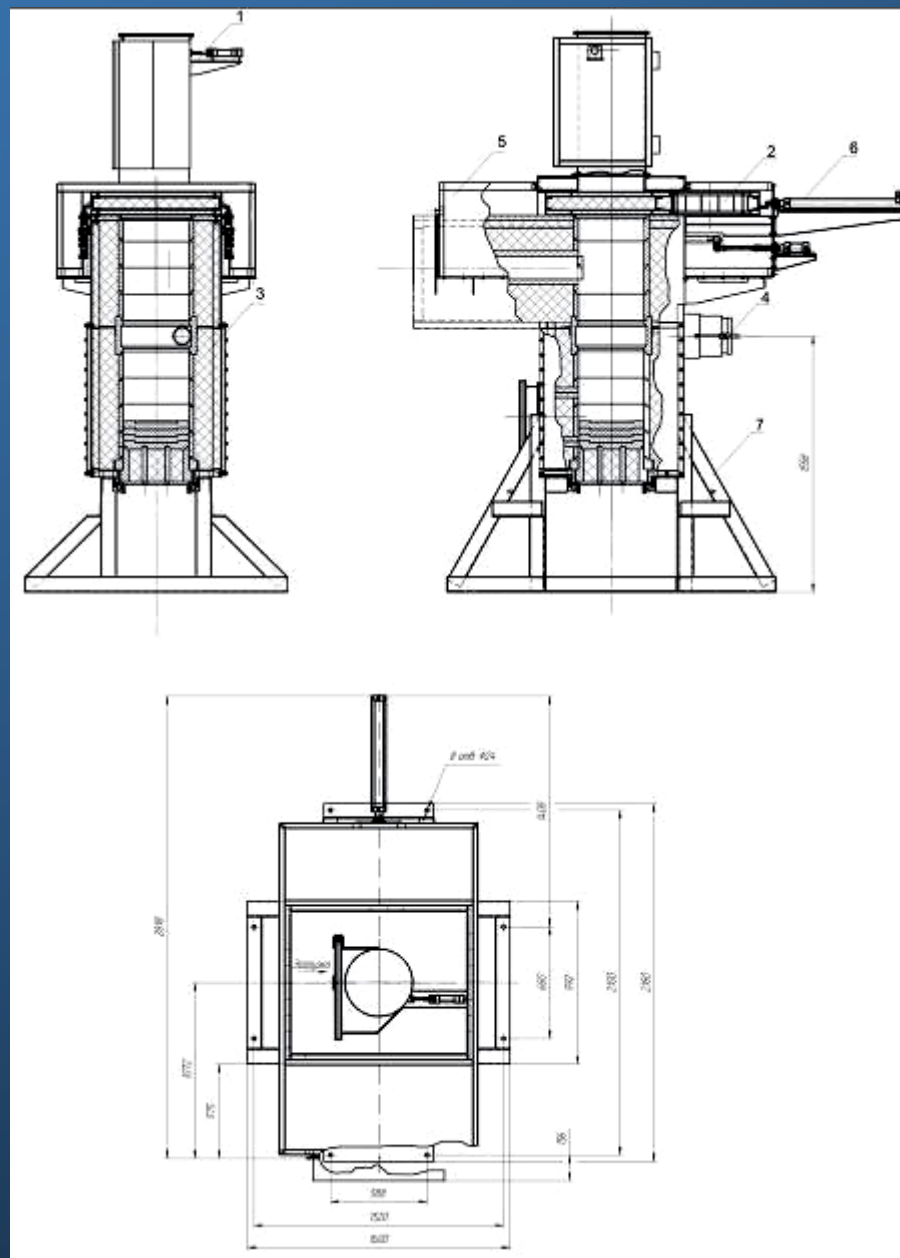
Орієнтовний склад шлаку, що утворюється

SiO₂ 35 – 40 %
CaO + MgO 10 – 15 %
Fe₂O₃ 20 – 30 %
NiO, Cr₂O₃



**Лабораторная установка для
паро-плазменной переработки
углеродсодержащих
органических материалов
(рабочая камера и загрузочное
устройство)**

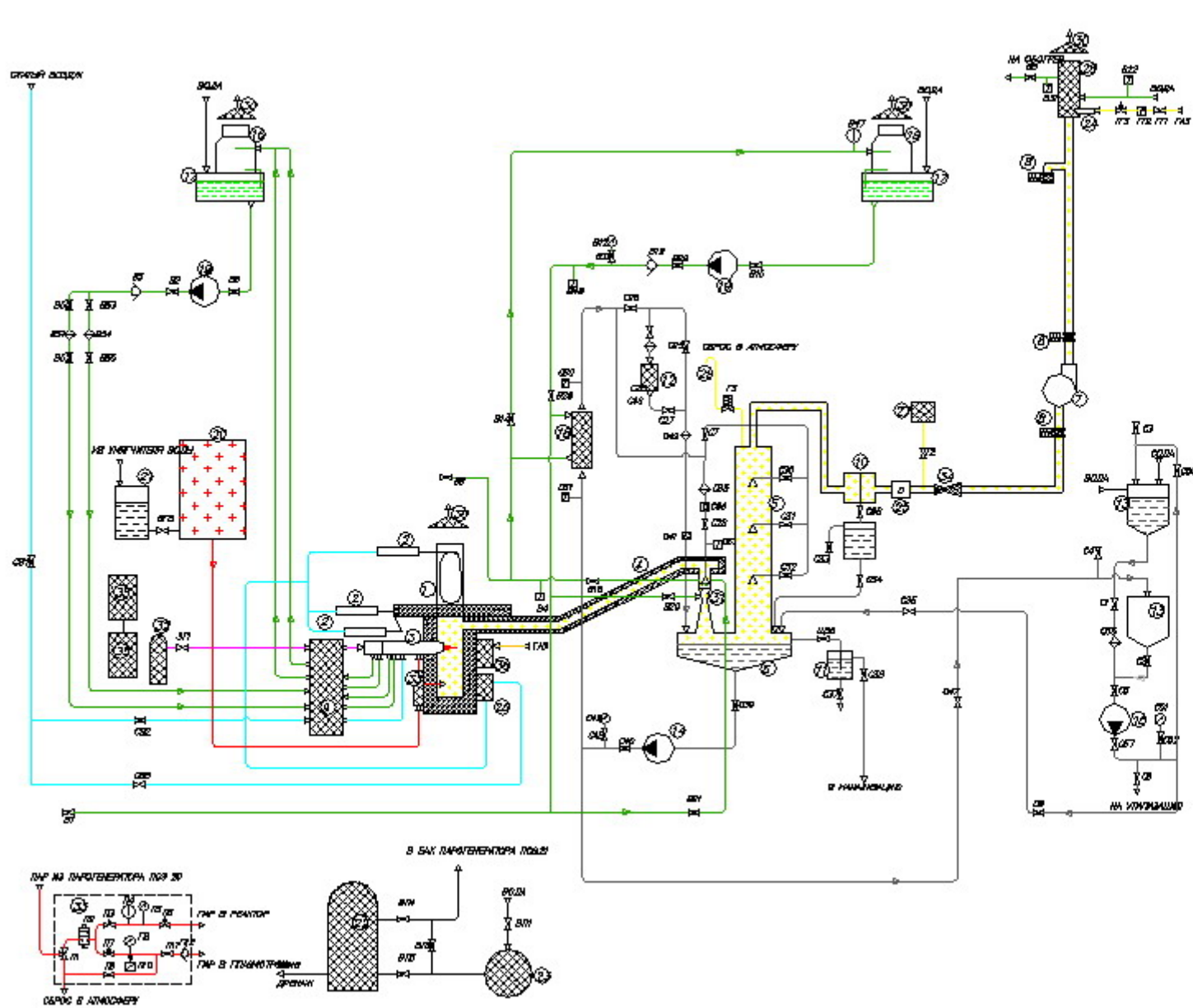
- 1 – загрузочное устройство;
- 2 – шибер;
- 3 – рабочая камера;
- 4 – плазмотрон;
- 5 – металлический каркас;
- 6 – пневмацилиндры;
- 7 - подставка.





**Лабораторная установка
для пароплазменной
переработки
углеродсодержащих
органических материалов**





ЭКСПЛИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

1. ПЕЧЬ ПАРОПЛАЗМЕННАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ
2. ПНЕВМОЦИЛИНДР
3. ПЛАЗМОТРОН
4. ГОРЯЧИЙ ГАЗОПРОВОД
5. СКИРБЕР
6. ПОДСКРУЖЕВАЯ ЕМКОСТЬ
7. ДИФФУЗОР
8. КЛАПАН ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДУО
9. ШКАФ УПРАВЛЕНИЯ
10. НАГРЕВАТЕЛЬ
11. ГИДРОЗАТОР
12. ФИЛЬТР СОДОВОГО РАСТВОРА
13. БАК СОДОВОГО РАСТВОРА
14. НАСОС ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ
15. НАСОС ЗАКАЧКИ И СГОНА РАСТВОРА
16. ГРАДИРНИ
17. БАК ГРАДИРНИ
18. ТЕПЛООБМЕННИК
19. НАСОС ВОДЯНОЙ
20. ПАРОГЕНЕРАТОР
21. БАК ПАРОГЕНЕРАТОРА
22. ИНИЖИТЕЛЬ ВОДЫ
23. ФИЛЬТР ВОДЯНОЙ
24. ГОРЕЛКА ГАЗОВАЯ
25. СЧЕТЧИК ГАЗА
26. БЛОК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ
27. ГАЗОНАБИРАТОР
28. УСТРОЙСТВО УТИЛИЗАЦИЯ
29. ОБЕЧА
30. ЗОНТ ВЫТЯЖНОЙ
31. ВСТАВКА ВОДОУСКОЖАБАЯ
32. БАЛЛОН С ЗАЩИТ. ГАЗОМ А
33. УСТРОЙСТВО ПОДАЧИ ПАРА
34. ТРУБА ВЕНТУРИ
35. ИСТОЧНИК АПР-404
36. ГОРЕЛКА ПОДЖИГА
37. ГОРЕЛКА ПОДЖИГА
38. ГОРЕЛКА ОСНОВНАЯ
39. ВЕНТИЛЯТОР

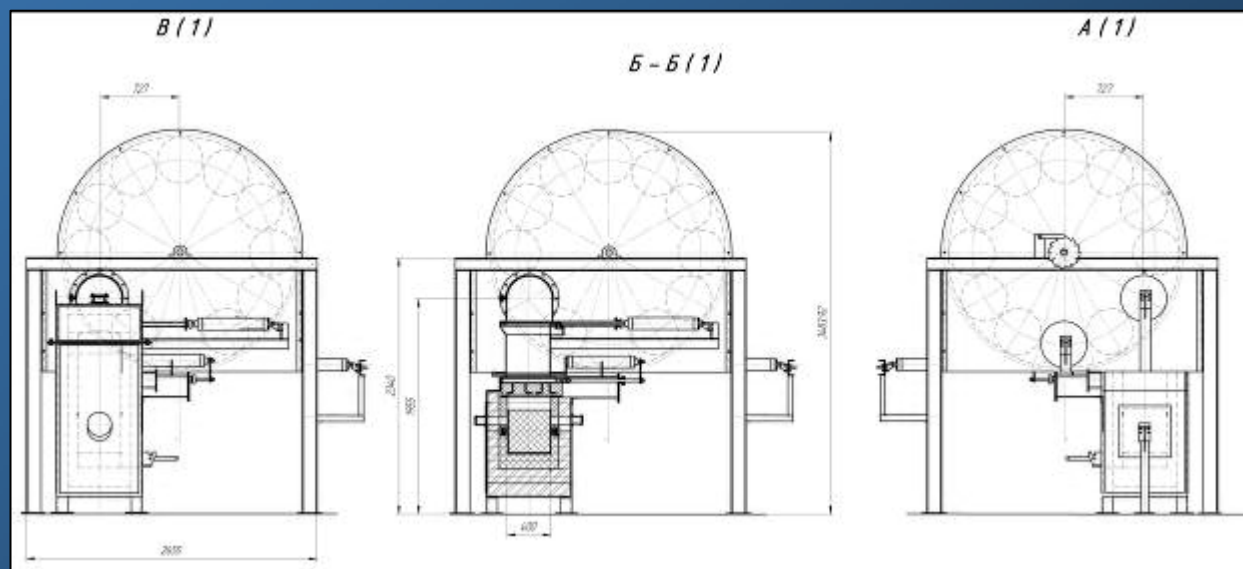
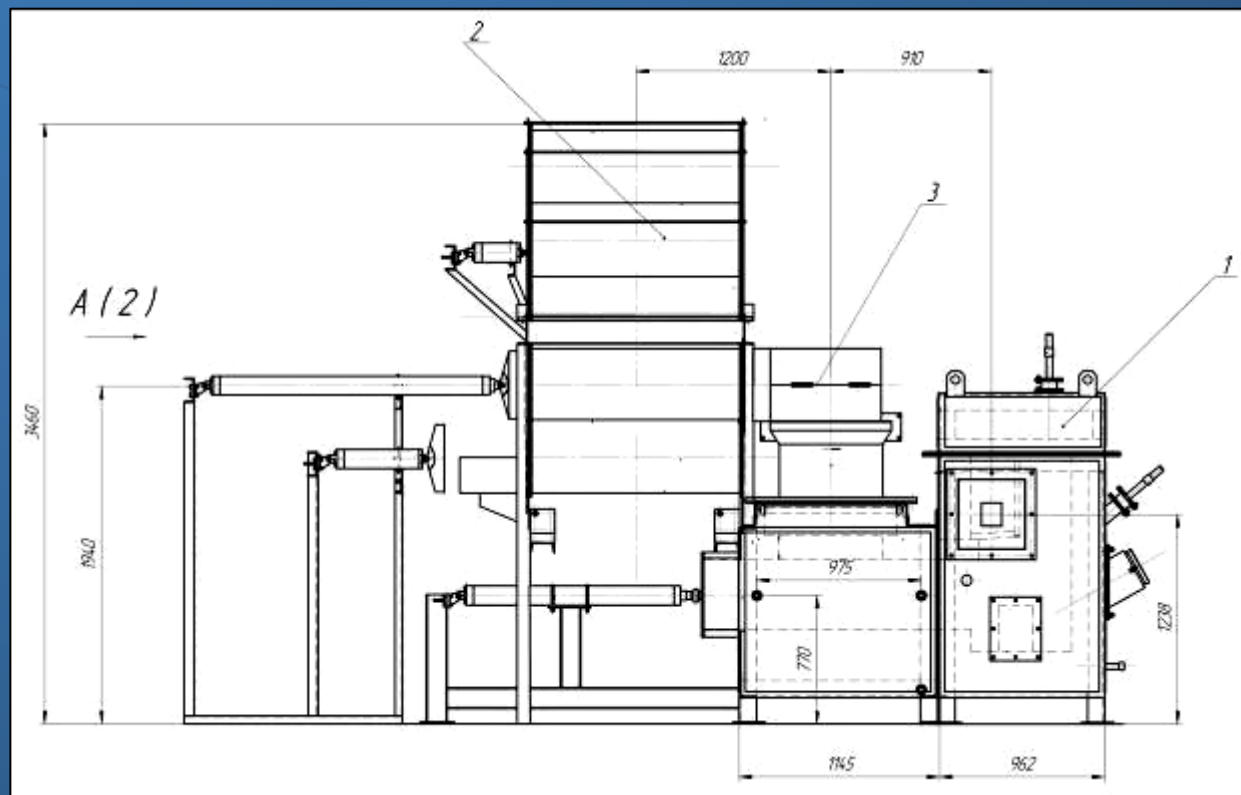
СИМВОЛЬНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- CB АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- Г АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- В АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- С АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- Л АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- ВЛ АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- ЗТ АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- С АРКОНОВ НА ДЛИННО ВОЛНОВОМ СВЕТЕ
- ВЕНТИЛЬ ШАКОВЫЙ
- КЛАПАН ВЕНТИЛЬ
- КЛАПАН РЕГУЛИРУЮЩИЙ
- КЛАПАН ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ
- МИКРОМЕТР
- ФИЛЬТР
- РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ
- НАСОСНЫЙ АГРЕГАТ
- КЛАПАН ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЙ
- ТЕРМОМЕТР
- ГРЕЙДЕРИТЕЛЬНОЕ ДИФФУЗИОННОЕ
- ВЫХОД ТЕРМОМЕТРА

Лабораторная установка пароплазменной переработки углеродсодержащих органических материалов (блок-схема)



1 – пароплазменная пиролизная печь; 2 – агрегат подачи материалов; 3 – шибер



Опытно-промышленная установка пароплазменной переработки углерод-содержащих отходов. Рабочая камера и блок загрузки



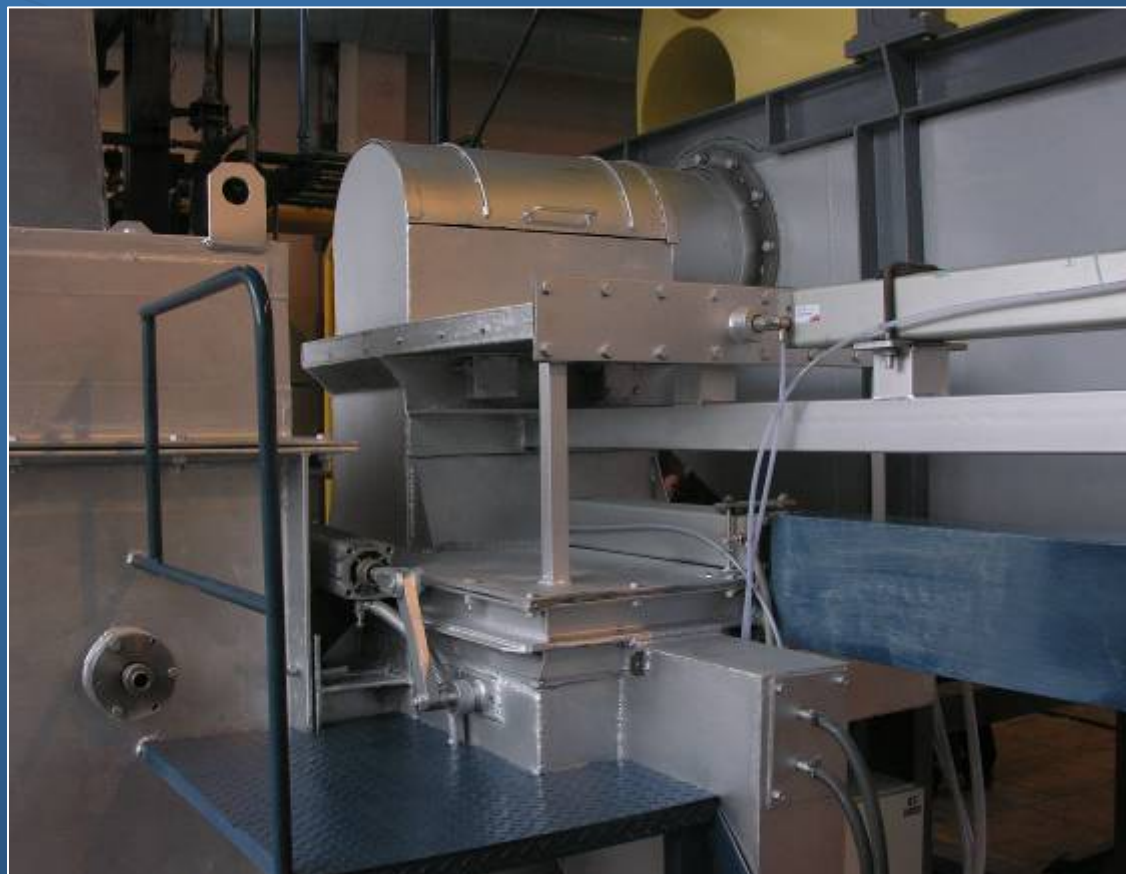
Опытно-промышленная установка пароплазменной переработки углеродсодержащих органических материалов включая опасные отходы





**Рабочая камера опытно-
промышленной установки
для пароплазменной
переработки углерод-
содержащих органических
материалов**





Загрузочное устройство опытно-промышленной установки для пароплазменной переработки углеродсодержащих органических материалов











Устройство для ввода пара опытно-промышленной установки для пароплазменной переработки углеродсодержащих органических материалов



Устройство для «закалки» газа опытно-промышленной установки для пароплазменной переработки углеродсодержащих органических материалов



**Вытяжные вентиляторы установок для пароплазменной переработки
углеродсодержащих органических материалов**





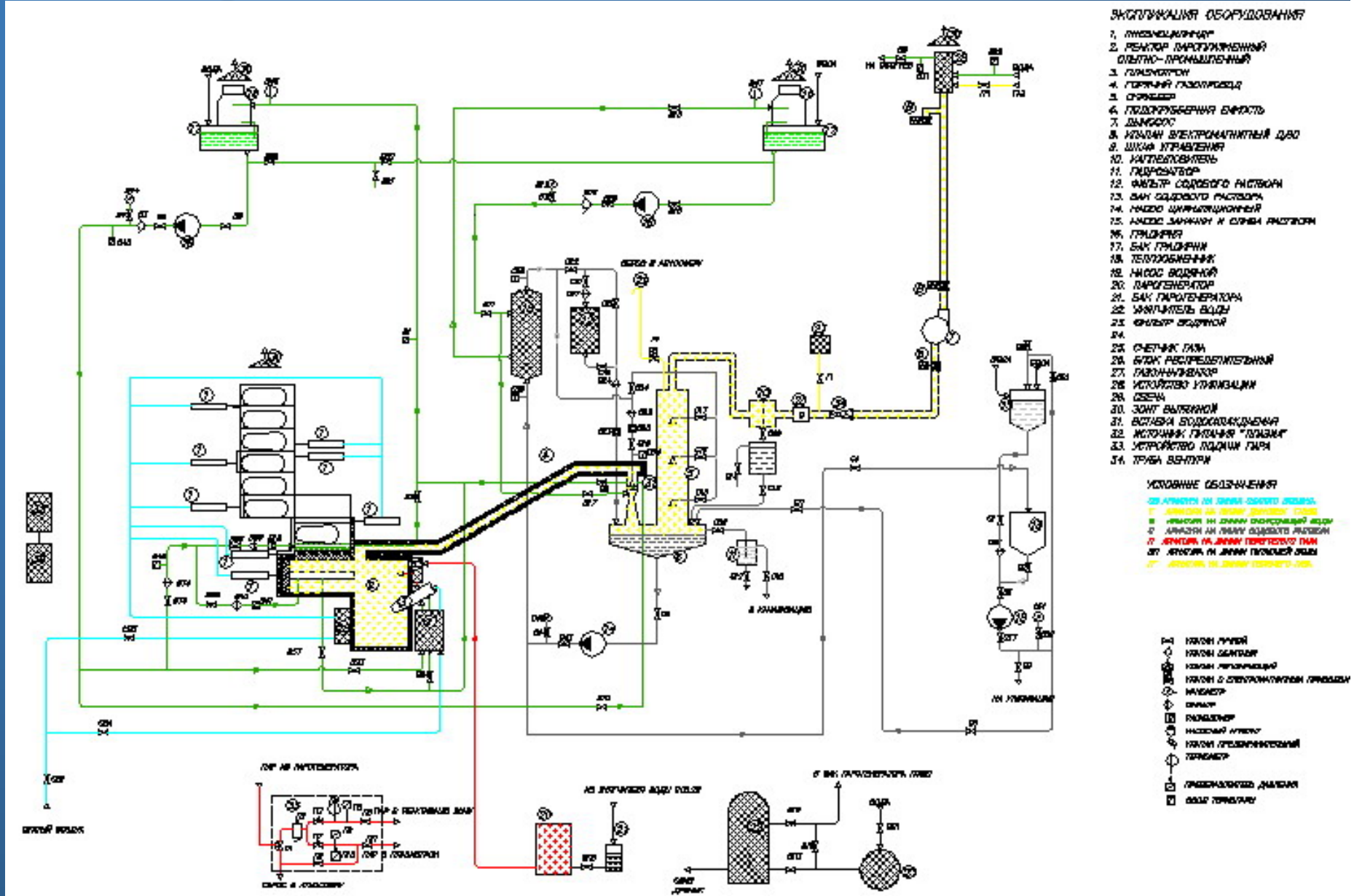


Устройство для газового подогрева камеры лабораторной установки

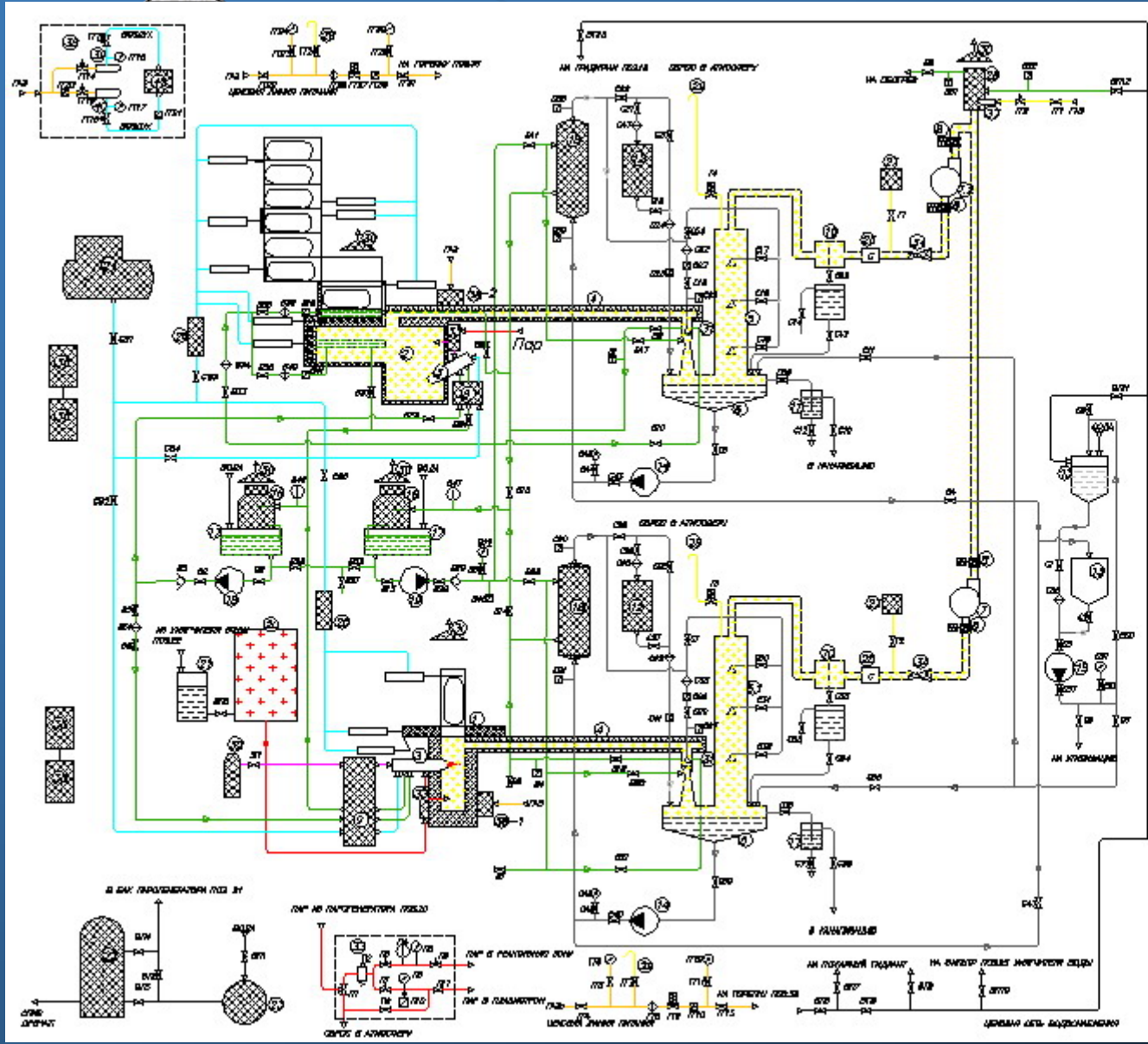


Устройство для газового
подогрева камеры опытно-
промышленной установки





Опытно-промышленная установка пароплазменной переработки углерод-содержащих органических материалов (блок-схема)



ЭКСПЛИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

1. ЛАЗЕР ПАРОВЫЙ ИОННО-ПРОЦЕДУРНЫЙ
2. ЛАЗЕР ПАРОВЫЙ ИОННО-ПРОЦЕДУРНЫЙ
3. ПЛАЗМОТРОН
4. ГОРЯЧИЙ ГАЗОПРОВОД
5. ДИФФУЗЕР
6. ПОДГОРЕВЕРНАЯ ЕМКОСТЬ
7. ДИФФУЗОР
8. КЛАПАН ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ДВО
9. КЛАПАН ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
10. КАТЕЛИЗАТОР
11. ПАРОВАТОР
12. ФИЛЬТР ВОДОВОГО РАСТВОРА
13. БАК ВОДОВОГО РАСТВОРА
14. НАСОС ВОДОВОГО РАСТВОРА
15. НАСОС ЗАКАЧКИ И СЛИВА РАСТВОРА
16. ТРАФИКИ
17. БАК ТРАФИКИ
18. ТЕПЛООбМЕННИК
19. НАСОС ВОДНОЙ
20. ПАРОВЕНАТОР
21. БАК ПАРОВЕНАТОРА
22. ИСПУСКАТЕЛЬ ВОДЫ
23. ФИЛЬТР ВОДНОЙ
24. КОНТРОЛЕР
25. СЧЕТЧИК ГАЗА
26. СТОЛ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ
27. ПЛАЗМАТОМЕТР
28. КОМПЛЕКТ УПРАВЛЕНИЯ
29. ДСЕМА
30. ВОЛН ВЕЩАЮЩАЯ
31. ВСТАВКА ВОДОСТАБИЛИЗАЦИИ
32. БАТРЕИ С ЗАЩИТНЫМ ГАЗОМ А
33. КОМПЛЕКТ ПОДЪЯМНИКА ГАЗА
34. ТРЕПА ВЕНТИЛИ
35. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ АТЭ-ИИ
36. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ "ГОРЯЧАЯ"
37. ГОРЕЛКА ГАЗОВАЯ
38. ГОРЕЛКА ПОДГОРЕВА
39. ГОРЕЛКА ПОДЪЯМНИКА
40. ГОРЕЛКА ОСНОВНАЯ
41. ВЕНТИЛЯТОР

КОЛЕРНЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ

— АРГОНЫ ИЛИ ДРУГИЕ ИОННЫЕ ГАЗЫ
— АРГОНЫ ИЛИ ДРУГИЕ ИОННЫЕ ГАЗЫ
— ВОДА ИЛИ ДРУГИЕ ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ
— АРГОНЫ ИЛИ ДРУГИЕ ИОННЫЕ ГАЗЫ
— АРГОНЫ ИЛИ ДРУГИЕ ИОННЫЕ ГАЗЫ
— АРГОНЫ ИЛИ ДРУГИЕ ИОННЫЕ ГАЗЫ

- ⊕ ИОННЫЙ ПУШКА
- ⊖ ИОННЫЙ СЕНТРИ
- ⊕ ИОННЫЙ РЕГУЛИРОВАНИЕ
- ⊖ ИОННЫЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИБОРОМ
- ⊕ ИОННЫЙ ЗАПОРНО-С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ
- ⊖ ИОННЫЙ
- ⊕ ФАЙП
- ⊖ ИОННЫЙ
- ⊕ ИОННЫЙ АТЭИ
- ⊖ ИОННЫЙ ОБЪЕДИНЕНИЕ
- ⊕ ТЕРМОМЕТР
- ⊖ СТОЛ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ



Характеристика отработанного раствора при переработке отходов полимерных материалов

Наименование	Количество, кг/ч	Содержание компонентов, г/дм ³	
		Na ₂ CO ₃	NaCl
Отработанный раствор газоочистной установки	74,57	4,418	116,761



Характеристика отработанного раствора при переработке
отходов смеси полимерных и перевязочных материалов

Наименование	Количество, кг/ч	Содержание компонентов, г/дм ³			
		Na ₂ CO ₃	NaCl	NaHCO ₃	NaHS
Отработанный раствор газоочистной установки	21,570	5,130	92,073	17,150	11,451



Характеристика очищенных газов

Наименование	Кол-во, нм ³ /ч	Содержание основных примесей, г/м ³				Место отбора проб
		HCl	H ₂ S	SO ₂	Пыль угл.	
1. Очищенные газы при переработке отходов полимерных материалов	162,6	0,301	Отс.	Отс.	0,092	Газоход после газоочистной установки
2. Очищенные газы при переработке отходов смеси полимерных и перевязочных материалов	132,2	0.083	0,499	Отс.	0,120	Газоход после газоочистной установки







Плазматрон мощностью до 200 кВт во время испытаний





С помощью предлагаемого процесса могут перерабатываться как медицинские и другие опасные отходы, так и различные органические отходы, в том числе:

- ❖ Использованные пластиковая посуда и емкости;**
 - ❖ Автомобильные шины;**
 - ❖ Древесные стружки;**
- ❖ Другие органические отходы.**



Оборудование может быть выполнено как в стационарном, так и в мобильном варианте (на автомобильной платформе).

Это позволяет утилизировать отходы как на специализированных предприятиях, так и в местах их образования и накопления



Оборудование для пароплазменной переработки отходов может быть реализовано как на украинском, так и на внешнем рынке.

Потребность украинского рынка в средних по производительности (1000 тонн в год) промышленных установках паро-плазменной утилизации медицинских и других опасных (высокотоксичных) органических отходов составляет примерно 300-350 единиц.

Потребности европейского и мирового рынков (с учетом известных данных по количеству накопленных отходов) практически неограниченны.



**Производительность агрегатов по переработке
медицинских отходов в зависимости от их
МОЩНОСТИ, КГ**

<i>Период</i>	<i>Время работы, час</i>	<i>Мощность плазматрона, кВт</i>			
		<i>50</i>	<i>100</i>	<i>205</i>	<i>500</i>
Час	1	35	70	175	350
Смена (8 часов)	8	280	560	1400	2800
Сутки (2 смены)	16	560	1120	2800	5600
Неделя (6 дней, 2 смены)	96	3360	6720	16800	33600
Год (52 недели)	4992	174720	349440	873600	1747200



Продуктивність дільниці по переробці небезпечних відходів, що укомплектована двома комплектами обладнання

Період	Час роботи, год.	Кількість перероблених відходів, кг.
Години	1	200
Зміна (8 годин)	8	1600
Доба (2 зміни)	16	3200
Тиждень (6 днів, 2 зміни)	96	19,200
Місяць (4,3 тижня)		83,194
Рік (52 тижні)	4992	998,400

Загальна продуктивність дільниці – близько 1000 тон/рік.



Сравнительная оценка стоимости различных способов переработки отходов

Сжигание	40...120 USD/т
Захоронение	20...60 USD/т
Киевский крематорий	600 USD/т
Пиролиз «ЭЛГА», Украина	до 3000 USD/т
Плазменная переработка (данные Интернет):	
Установки STARTECH, США	3000...12000 USD/т
Установки RETECH, США	4500...1500 USD/т
Установки в Индии	от 750 USD/т
Пароплазменные установки	350...1000 USD/т



Ориентировочная стоимость пароплазменных установок различной производительности

<i>Производительность установки, тонн/год</i>	175	500	875	1750
<i>Стоимость оборудования и участка, тыс. грн (тыс. дол. США)</i>	3200 (500)	7500 (1250)	9000 (1500)	15000 (2500)



Стоимость переработки отходов в пароплазменных агрегатах различной производительности (оценка)

<i>Производительность установки, тонн/год</i>	175	500	875	1750
<i>Удельные расходы на переработку, грн (USD)/тонну</i>	6000 (1000)	4000 (670)	3000 (500)	2000 (350)



Розрахунок орієнтовної вартості паро-плазмової переробки медичних відходів на органічній основі (полімерні та перев'язочні матеріали)

Для дільниці обладнаної 2 агрегатами паро-плазмової переробки відходів на органічній основі загальною потужністю переробки 1000 тонн відходів на рік.

Склад обладнання (2 комплекти):

- Агрегат для паро-плазмового переробки відходів з плазмотронами активною потужністю 100 кВт,
- Агрегат підготовки та завантаження відходів,
- Джерела живлення,
- Системи видалення, транспортування та очищення газу з його закалюванням із гарячого стану
- Автономна система водяного охолодження,
- Система утилізації синтетичного газу, що утворюється,
- Системи аналізу та контролю складу газу в агрегаті для переробки та робочому приміщенні,
- Комплексна система управління обладнанням.

Вартість одного комплексу обладнання (орієнтовна)..... 7,5 млн.грн

Термін амортизації обладнання 10 років

Кількість обслуговуючого персоналу на дільниці

В зміну 4 персони

Для забезпечення 2-х змінної роботи8 персон

Середня заробітна платня 2500 грн. на місяць

Вартість електроенергії 43 коп/кВт-год.

Склад відходів: полімерні матеріали (поліетилен, поліпропілен, поліхлорвініл у вигляді шприців, капельниць тощо) та перев'язувальні матеріали (вата, бинти, гумові рукавички тощо).



Питомі складові вартості переробки відходів на дільниці, що укомплектована 2 комплектами обладнання (оцінка)

Стаття витрат	грн/тону відходів
1. Утримання устаткування (10% від вартості)	1500
2. Енерговитрати (2000 кВт·год/тону, 43 коп/кВт·год)	860
3. Заробітна платня	330
4. Амортизація устаткування	500
5. Інші витрати (10% від суми 1...4)	220
Питомі витрати на переробку	3410

