

Научная статья

УДК 504.064.47:628.475.3-7:533.9.15

**МОБИЛЬНЫЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ УСТАНОВКИ
ПЛАЗМЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ
ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ
КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**А. В. Переславцев¹, С. А. Вошинин², А. В. Артемов³,
П. И. Петренко⁴, Н. С. Чемоданов⁵, М. В. Дюбанов⁶**

^{1,2,3,5} Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
Москва, Россия

⁴ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия

⁶ Межведомственный центр аналитических исследований в области
физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук,
Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Павел Игоревич Петренко,
priu4@mail.ru

Аннотация. Описана разработанная мобильная малогабаритная установка плазменной переработки отходов производительностью 6250 т/год, состоящая из трех модулей. Приведен состав и оборудование каждого из модулей. Для установки спроектирована плазменная печь. Выполнен технологический расчет установки для различного морфологического состава отходов и определены состав и количество компонентов пирогаза, количество дополнительного дутья кислорода в плавильную камеру, количество получаемого базальтоподобного шлака. Высказано предположение о целесообразности совместной работы установки с ПАЭС.

Ключевые слова: плазменная переработка отходов, плазменный конвертер, базальтоподобный шлак, пирогаз

Scientific article

**MOBILE SMALL-SIZED PLASMA WASTE TREATMENT PLANTS
FOR OPERATION IN THE EXTREME CONDITIONS
OF THE FAR NORTH**

© Переславцев А. В., Вошинин С. А., Артемов А. В., Петренко П. И., Чемоданов Н. С.,
Дюбанов М. В., 2023

**A. V. Pereslavitsev¹, S. A. Voshchinin², A. V. Artemov³,
P. I. Petrenko⁴, N. S. Chemodanov⁵, M. V. Dyubanov⁶**

^{1,2,3,5} National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia

⁴ National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia

⁶ Interdepartmental Center for Analytical Research in Physics, Chemistry and Biology under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: Pavel I. Petrenko, ppiu4@mail.ru

Abstract. A mobile small-sized plasma waste processing plant with a capacity of 6250 tons/year has been developed. The installation consists of three modules. The composition and equipment of each of the modules is given. A plasma furnace is developed for the installation. The technological calculation of the process of treatment of wastes for various morphological composition of wastes was determined: the composition and quantity of pyrogas components, the amount of additional oxygen feed into the melting chamber, the amount of basalt-like slag obtained. An assumption is made about the expediency of the joint operation of the installation with the floating nuclear power plant.

Keywords: plasma waste recycling, plasma converter, basalt-like slag, pyrogas

В настоящее время в мире действует около 80 установок плазменной переработки отходов различного типа. В России внедрение термических технологий утилизации отходов пошло по пути заимствования далеко не самых лучших западных технологий сжигания отходов на колосниковых решетках (проект Hitachi Zosen Inova), планируется построить более 10 заводов этого проекта. Каждый завод будет перерабатывать около 700 тысяч тонн отходов в год.

Помимо целого ряда экологических вопросов к этому проекту (высокая эмиссия диоксинов, фуранов и водорастворимой золы с высоким содержанием тяжелых металлов и др.) существует также проблема с логистикой подвоза мусора к заводу: $700000/365/24 = 80$ тонн в час. При грузоподъемности мусоровоза 8–10 тонн поток мусоровозов составит 8–10 грузовиков в час, или 192–240 грузовиков в сутки. Это практически непрерывный поток мусоровозов на подъездных и местных дорогах. Такого рода предприятие создает чрезмерную нагрузку на окружающую среду в зоне своей локализации. Учитывая огромные пространства нашей страны, в малонаселенных районах, в том числе и в районах Крайнего Севера, проблема логистики для заводов большой производительности (порядка сотен тысяч тонн в год) оказывается вообще неразрешимой.

Настоящая работа посвящена решению и экологической, и логистической проблемы за счет проектирования и последующего сооружения мобильных малогабаритных установок плазменной переработки отходов (ММУППО) производительностью 5000 – 7000 тонн в год. Поскольку плазменные технологии позволяют перерабатывать отходы любых типов (в том числе и особо опасные и низко- и среднерadioактивные), разработка ММУППО открывает перспективу их использования в комплексе с плавучей АЭС (ПАЭС), размещенной в Чукотском Певеке [1–3].

Создание малых АЭС является в настоящее время общемировой тенденцией и относится к ядерным технологиям четвертого поколения. Так, например, Великобритания планирует создать к 2050 году 16 малых модульных ядерных реакторов (ММЯР) стоимостью каждого около 3 млрд. долл. [4]. Планируемый срок эксплуатации таких мини-АЭС составит около 60 лет.

Использование ММУППО непосредственно в регионе базирования ПАЭС в полной мере соответствует Стратегии научно-технического развития России в части «необходимости эффективного освоения и использования пространства Арктики» [5].

Технология плазменной переработки низко- и среднерadioактивных отходов (РАО), разработанная в НИЦ «Курчатовский институт», была успешно реализована для переработки РАО в МосНПО «Радон» и на Ново-Воронежской АЭС. ММУППО собирается из модулей заводского изготовления и может использоваться как в качестве автономных и/или передвижных установок, расположенных в удаленных районах, включая районы Крайнего Севера, так и в составе технологических комплексов утилизации отходов с генерацией энергии. Число модулей заводского изготовления, из которых состоит ММУППО, – три. На рис. 1 приведена принципиальная схема ММУППО. Каждый из трех модулей располагается в стандартном 40-футовом контейнере. На рис. 2 показана компоновка каждого модуля – А, Б и В. Комплектация и сборка оборудования модулей осуществляются в заводских условиях.

В модуле А расположены верхняя часть шахты плазменного конвертера (плазменной печи) (1); устройство загрузки отходов в шахту плазменного конвертера (2); пять источников электропитания и управления плазмотронами (3): четыре плазмотрона в плавильной камере плазменного конвертера, один плазмотрон в дожигателе; система охлаждения (4); верхняя часть вентиляционной трубы газоудаления (5).

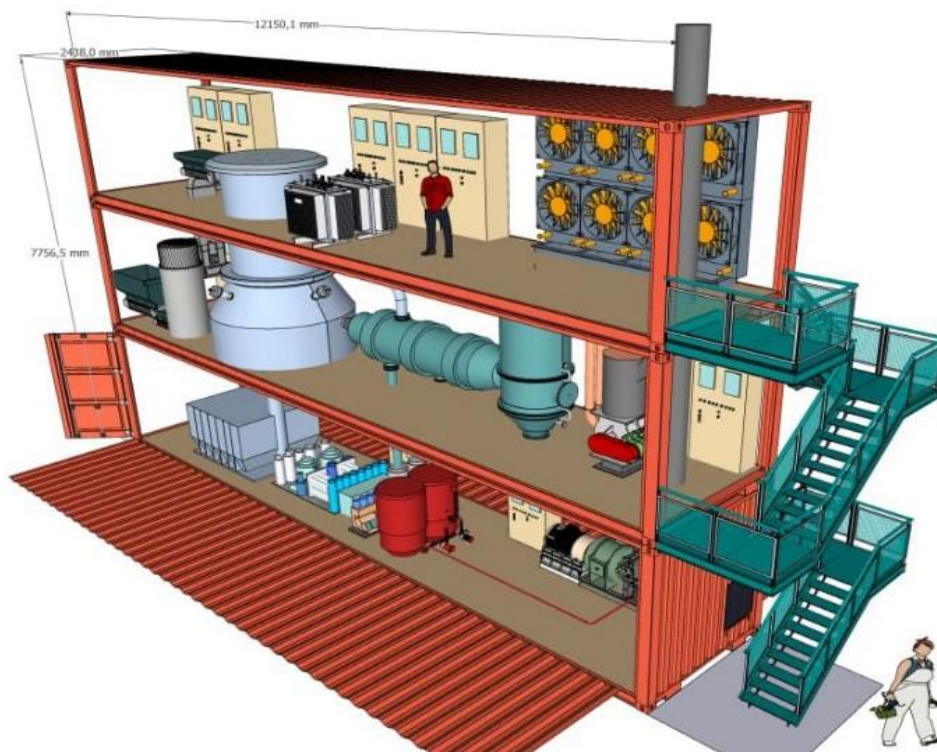


Рис. 1. Принципиальная схема ММУПО

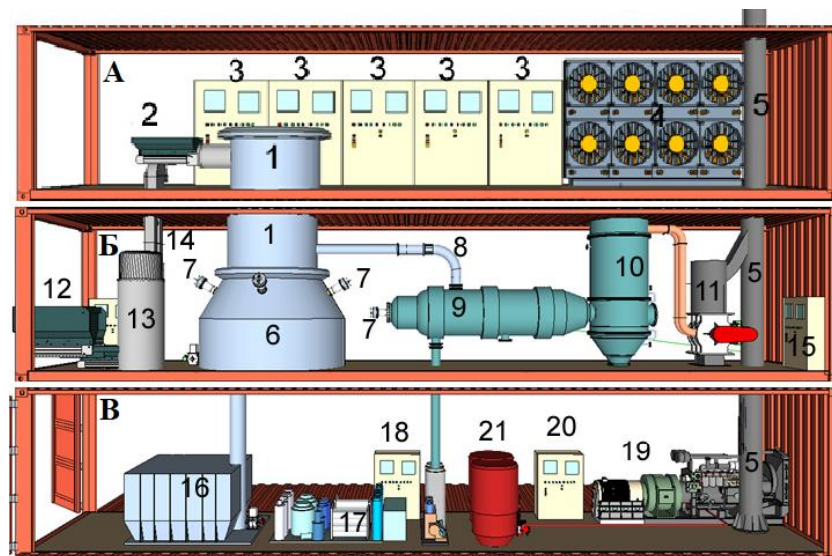


Рис. 2. Компоновка модулей А, Б и В

В модуле Б (см. рис. 2) смонтированы плазменный конвертер в составе: плавильная камера (6), нижняя часть шахты (1), газоход (8), дожигатель (9), котел-охладитель (10); система газоудаления в составе: вытяжной вентилятор-дымосос (11), нижняя часть вентилиационной трубы газоудаления (5), шкаф управления системой газоудаления (15); система загрузки отходов в составе: бункер (12), шредер (13) и вертикальный транспортер подачи отходов (14).

В модуле В (см. рис. 2) смонтированы система шлакоудаления (16); система подачи рабочего газа (17) в составе: компрессор с ресивером, мембранная система обогащения воздуха кислородом, трубопроводы и шкаф управления (18); дизель-генератор (19) со шкафом управления (20) и системой топливоподачи (21).

Модульное размещение ММУППО в трех стандартных 40-футовых контейнерах не создает проблем для перемещения установки автомобильным и/или железнодорожным транспортом. В случае использования установки в составе ПАЭС она может быть размещена на палубе ПАЭС, на судах сопровождения или на суше в регионе работы ПАЭС.

Нагрев отходов в плазменном конвертере, состоящем из плавильной камеры и шахты, осуществляется с помощью 4 плазмотронов и подового нагревателя. В плазменной печи осуществляется плазменная переработка отходов, в результате которой из загруженных отходов образуются стекловидный базальтоподобный шлак и пирогаз.

В дожигатель, снабженный плазмотроном, по газоходу поступает пирогаз из плазменного конвертера. Дополнительно в дожигатель подается воздух, обогащенный кислородом. В дожигателе осуществляется полное окисление пирогаза. Газ из дожигателя поступает в котел-охладитель, где он охлаждается с 1300 °С до 300 °С за время около 3 секунд, что необходимо для минимизации образования ароматических углеводородов и других опасных веществ, прежде всего фуранов и диоксинов.

Исходными данными для расчета ММУППО являлись:

- производительность по отходам, т/год (кг/час)6250 (839)
- время эксплуатации, час/год8760
- годовая загрузка по времени реальной эксплуатации, % 85
- реальное время эксплуатации в течение года, час.....7446
- время технического обслуживания в течение года, час.....1314
- электрическая мощность плазмотрона ЭДП-600, кВт350
- число плазмотронов ЭДП-600, шт.4
- плазмообразующий газ, 100 % воздух

Для ММУППО спроектирован плазменный конвертер производительностью 830 кг/час по отходам. Проект выполнен таким образом, чтобы наружный диаметр печи не превышал внутреннюю ширину стандартного 40-футового контейнера (2,44 м) – рис. 3. В конвертере используются 4 плазмотрона ЭДП-600 (разработаны в НИЦ «Курчатовский институт») на рабочей мощности 350 кВт каждый. Для

поддержания стационарного рабочего режима используют подовые нагреватели суммарной мощностью не менее 500 кВт.

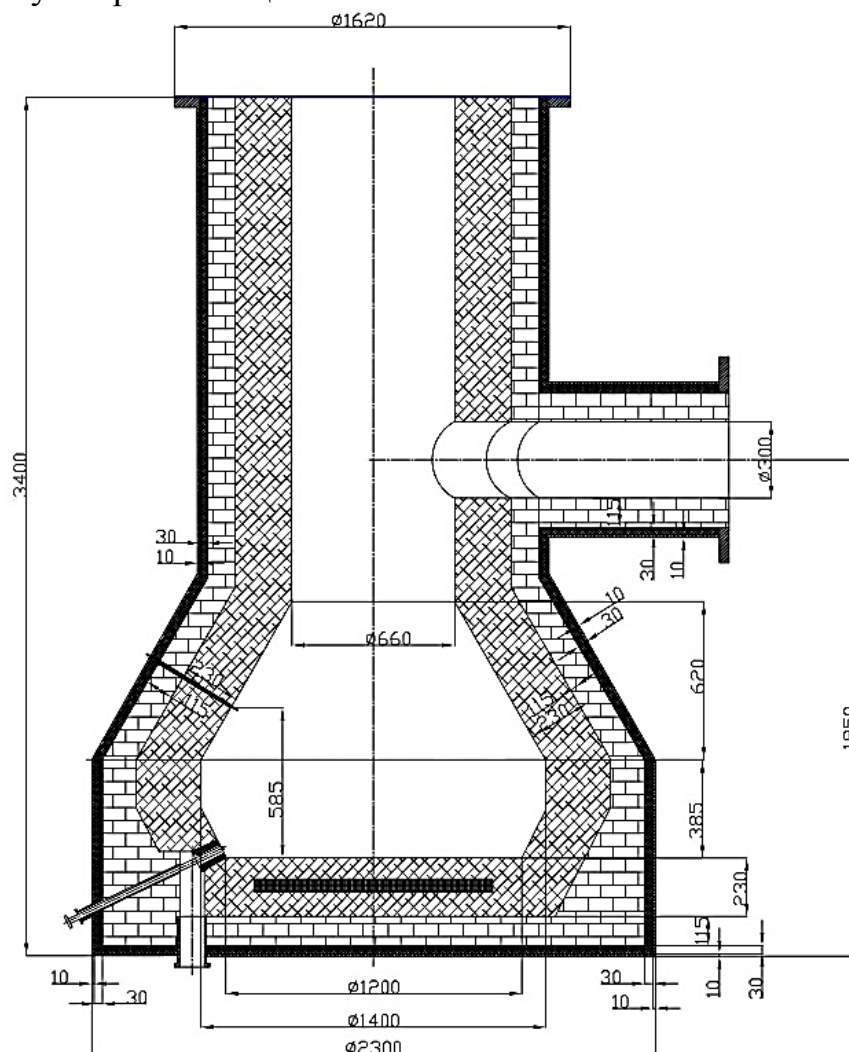


Рис. 3. Плазменный конвертер

При выполнении вариантов расчета варьировали морфологический состав отходов: твердые коммунальные отходы (ТКО), тяжелые нефтяные остатки (ТНО), отходы полимерных материалов (ОПМ), автомобильные покрышки (АП), отходы деревообработки (ОД), биологические отходы (БО), медицинские отходы (МО).

Результатами расчетов технологических параметров переработки отходов в ММУШПО явились:

- количество необходимого плазмообразующего газа (воздуха);
- состав и количество компонентов пирогаза;
- количество дополнительного дутья кислорода в плавильную камеру;
- количество вырабатываемого базальтоподобного шлака.

Расчеты проводили по алгоритмам и программам, разработанным в НИЦ «Курчатовский институт», результаты расчета приведены в таблице.

Результаты расчета ММУППО
производительностью 6250 т/год по отходам

Параметр расчета	Вариант расчета					
	1	2	3	4	5	6
Морфологический состав отходов, мас. %:						
твердые коммунальные отходы (ТКО)	50	60	70	60	50	50
тяжелые нефтяные остатки (ТНО)	5	5	5	10	5	10
отходы полимерных материалов (ОПМ)	5	5	5	10	5	10
автомобильные покрышки (АП)	7	7	7	7	13	3
отходы деревообработки (ОД)	6	6	6	6	10	10
биологические отходы (БО)	2	2	2	2	2	2
медицинские отходы (МО)	25	15	5	5	5	5
плазмообразующий газ – воздух, кг/час	332	333	334	347	369	353
дополнительное дутье кислорода, кг/час	4	5	6	19	41	25
выработка базальтоподобного шлака, т/год	728	665	603	583	596	565
поток пирогаза, кг/час:						
CO	360	346	331	377	423	399
H ₂	29	29	30	31	32	31
CH ₄	73	68	64	81	101	89
H ₂ O	189	209	228	194	164	178
CO ₂	173	181	190	174	156	167
O ₂	0	0	0	0	0	0
N ₂	240	240	240	240	240	240
Итого	1063	1073	1083	1098	1116	1104

Как видно из данных этих расчетов, основное влияние на технологические параметры оказывает морфологический состав отходов:

1) увеличение доли ТКО и снижение доли МО (варианты 1–3) приводят к снижению выработки базальтоподобного шлака с 728 до 603 т/год, при этом количество используемого плазмообразующего газа (воздуха) и количество дополнительного дутья кислорода в плавильную камеру остаются практически постоянными (332–334 кг/час и 4–6 кг/час соответственно); увеличивается поток пирогаза с 1063 кг/час до 1083 кг/час, в составе пирогаза возрастает содержание CO с 360 до 331 кг/час, возрастает содержание H₂O и CO₂ со 189 кг/час до 228 кг/час и со 173 кг/час до 190 кг/час соответственно. Снижается содержание CH₄ с 73 кг/час до 64 кг/час. Содержание N₂ и H₂ остается на постоянном уровне (240 кг/час и 29–30 кг/час соответственно);

2) минимальное содержание ТКО и МО в составе отходов (50–60 % и 5 % соответственно; варианты 4–6) и увеличение содержания других компонентов отходов приводят к возрастанию количества используемого плазмообразующего газа (воздуха), возрастанию дополнительного дутья кислорода в плавильную камеру и снижению выработки базальтоподобного шлака. Возрастает поток пирогаза с увеличением содержания в нем CO и CH₄. Содержание остальных компонентов пирогаза остается либо на прежнем уровне, либо снижается.

Предпочтительное использование ММУППО в регионе действия ПАЭС обусловлено необходимостью использования для электроснабжения установки внешнего источника. Использование ММУППО вместе с ПАЭС позволит обеспечить постоянную выходную мощность ПАЭС за счет компенсации падения выходной мощности внешними потребителями электроэнергии.

Таким образом, проведенная работа дала следующие результаты:

1) определены основные конструктивные параметры ММУППО производительностью 6250 т/год, состав и назначение оборудования каждого из трех модулей;

2) спроектирована плазменная печь для ММУППО;

3) выполнен технологический расчет ММУППО для различного морфологического состава отходов: количество плазмообразующего газа (воздух), состав и количество компонентов пирогаза, количество дополнительного дутья кислорода в плавильную камеру, количество производимого базальтоподобного шлака;

4) высказано предположение о целесообразности объединения ПАЭС с ММУППО для обеспечения стабильной работы ПАЭС.

Список источников

1. Переславцев А. В., Вошинин С. А., Артемов А. В. Плазменная переработка отходов производства и потребления (технологические процессы и оборудование, физико-химические аспекты переработки, включая опасные и радиоактивные отходы). LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2020. 361 с.

2. Артемов А. В., Переславцев А. В., Вошинин С. А. [и др.]. Плазменная переработка медицинских отходов // Военно-медицинский журнал, 2021. Т. 342. № 4. С. 59–65.

3. Бобраков А. Н., Кудринский А. А., Кулыгин В. М. [и др.]. Российский опыт переработки твердых радиоактивных отходов: достижения и перспективы // Российский химический журнал, 2012. Т. 56. № 5–6. С. 76–86.

4. Ядерная энергетика переходит на мини-АЭС // Инженерная газета, 2020. № 9–10. С. 3

5. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О стратегии научно-технического развития Российской Федерации». п. 15.

Информация об авторах

Александр Васильевич Переславцев;
Сергей Александрович Вошинин;
Арсений Валерьевич Артемов, arsenyart@icloud.com;
Павел Игоревич Петренко, ppiu4@mail.ru;
Никита Сергеевич Чемоданов;
Михаил Викторович Дюбанов.