

Расширение ресурсной базы. Методика технико-экономического обоснования использования плазменной газификации для жилых комплексов

Н. В. Романюк¹, О. В. Новикова²

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия

¹nickolai.romaniuk@yandex.ru, ²novikova-olga1970@yandex.ru

Аннотация. В современных условиях международных экономико-экологических аспектов энергетики возникает необходимость введения инноваций в России и в других странах с точки зрения синхронизации энергетической политики с международным сообществом. Исследование ресурсной базы твёрдых коммунальных отходов может послужить основой для оценки перспектив развития технологий плазменной газификации. В статье рассматривается возможность развития концепции устойчивого развития за счет расширения технологий энергетической переработки ТКО. С учетом новых интеграционных процессов России и Белоруссии авторами была рассмотрена эта проблема с точки зрения обоих государств

В исследовании представлены результаты расчёта экономической эффективности реализации проекта с точки зрения окупаемости. Также произведена оценка влияния факторов на итоговый результат и возможность использования технологии для жилых массивов.

Результаты исследования предлагается использовать при разработке стратегических планов устойчивого развития разных стран и регионов.

На основе предлагаемого алгоритма выбора энергетической установки для переработки ТКО предлагается анализировать перспективы развития децентрализованной энергетики отдельных жилых комплексов.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы (ТКО); плазменная газификация; экономическая эффективность; генерация электроэнергии; степень утилизации; предельно допустимая концентрация (ПДК); продукты переработки; рациональное природопользование; ресурсосбережение; общедомовые нужды (ОДН)

I. ВВЕДЕНИЕ

Уровень загрязненности окружающей среды из-за больших объемов отходов и неэффективных способов их утилизации увеличивается катастрофически быстрыми темпами. Именно поэтому необходимо внедрять технологии по их переработке на основе принципа возврата в ресурсный цикл с минимальными логистическими затратами. Это требует рассмотрения проектов циркулярной экономики с максимальным использованием отходов одного процесса в виде ресурсов другого процесса на месте их образования.

С учетом новых интеграционных процессов России и Белоруссии авторами была рассмотрена эта проблема с точки зрения обоих государств. Динамика производства коммунальных отходов в России, Европе и Белоруссии изображены на рис. 1, согласно данным Росстата, Евростата и Белстата. Также с учетом динамики изменения количества населения на рисунке

представлены удельные значения производства отходов на душу населения.

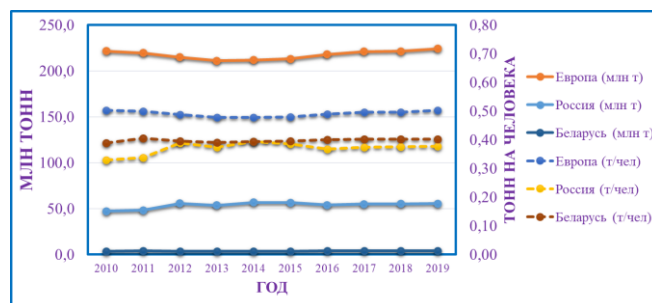


Рис. 1. Динамика производства коммунальных отходов и производства на душу населения в России, Белоруссии и Европе

На данный момент Россия отстает от европейских и североамериканских стран по степени утилизации, но данная проблема начала освещаться на федеральном уровне, приняты проекты для изменения ситуации. Наиболее крупный – Национальный проект «Экология», который включает в себя 9 федеральных проектов. Работа ведётся по пяти направлениям – отходы, вода, воздух, биоразнообразие и технологии. Срок реализации – до 2024 года.

Согласно иерархии обращения с ТКО в Республике Беларусь, представленной в Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года, энергетическое использование ТКО на данный момент полностью отсутствует. В Стратегии не рассматривается технология плазменной газификации, повсеместное использование которой может обеспечить более эффективное выполнение поставленных целей.

Объем генерации ТКО в Белоруссии в 2019 году составил 3,8 млн тонн, из которого можно получить 3,8 млрд м³ синтез-газа технологией плазменной газификации [1]. В результате реализации отходов полученная электроэнергия может составить 1,9 млрд кВт*ч в год, что является 4,8 % от годовой выработки электроэнергии. При этом общая выработка электроэнергии в Белоруссии в 2019 году составила 39,8 млрд кВт*ч. В России генерация ТКО в 2019 году составила 55,4 млн тонн, что может являться дополнительным источником 27,7 млрд кВт*ч в год, что является 2,6% от годовой выработки электроэнергии. При этом общая выработка электроэнергии в Единой энергетической системе России в 2019 году составила 1 080,6 млрд кВт*ч.

Как можно заметить, реализация технологий плазменной газификации могут оказывать большее положительное воздействие на генерацию электроэнергии в Белоруссии, чем в России, что значительно повысит экспортные возможности и раскроит потенциал энергосбережения за счет использования внутренних резервов. Второй важный показатель для оценки состояния отрасли - коэффициент переработки коммунальных отходов. Согласно национальному проекту «Экология», в России доля ТКО, не направленных на захоронение, в общем объеме образованных твердых коммунальных отходов в 2019 году составила всего 3,8 %. При этом коэффициент переработки ТКО в Европейском союзе неуклонно растет и составляет уже 48 %, а в Белоруссии 22,5 %. Повышение доли переработки ТКО происходит с использованием различных технологий и экологических решений. Например, в странах Евросоюза особое значение имеют технологии рециклинга, компостирования и сжигания. Для ряда стран может стать актуальным энергетическое использование ТКО. Строительство данных установок на территории жилых комплексов может уменьшить количество перевозимого по автодорогам мусора и улучшить показатели энергоэффективности объектов. В таком случае уменьшится возможность создания несанкционированных свалок, улучшится экологическая обстановка. В настоящее время отсутствует масштабное использование установок по утилизации ТКО в местах их генерации.

Объектом исследования в данной работе являются процесс возврата в ресурсный цикл части отходов, формирующихся при эксплуатации жилых массивов, а также получение электроэнергии из оставшейся массы с последующей реализацией продуктов переработки. Предмет исследования – использование технологии плазменной газификации для электроснабжения жилых комплексов с использованием ТКО.

Целью данной работы является оценка экономической целесообразности использования установки плазменной газификации для утилизации отходов жилого комплекса. Системный анализ используем в качестве метода исследования.

Для достижения поставленной цели предусмотрено на примере конкретного проекта выявить факторы и оценить экономические и экологические показатели технологии энергетической переработки ТКО, а также обосновать возможность использования установки с определением условий эксплуатации для жилых массивов.

II. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

По результатам анализа статей [2, 3, 4, 5] можно сделать вывод, что в наше время переработка мусора – самая острая, глобальная и наиболее актуальная экологическая проблема. Тематикой экономической выгоды утилизации ТКО занимаются учёные многих стран, создаются и воплощаются в жизнь проекты и оцениваются фактические результаты. Некоторые компании предлагают готовые модульные решения.

Группа статей [6, 7, 8, 9] описывает методы переработки отходов. В развитых странах удалось добиться высокой степени утилизации при удовлетворительной рентабельности заводов по утилизации, что является важным моментом для

развития данной отрасли без дотаций государства. Наиболее распространенным и апробированным является традиционное сжигание ТБО на колосниковых решетках [10], при этом наиболее экологически эффективные технологии – установки высокотемпературного пиролиза и плазменной газификации, обладающие степенью утилизации до 94%. Статьям, посвящённым плазменной газификации, не хватает исследований экономической эффективности на основе эксплуатации в определённых условиях.

Ранее в статье авторов [11] была представлена классификация технологий и определены ограничения и критерии выбора, что позволяет признать использование технологий высокотемпературного пиролиза и плазменной газификации наиболее целесообразными для данных объектов. По результатам анализа группы статей [6, 7, 8, 9, 10, 11], было принято решение в основу исследования взять технологию плазменной газификации в силу хороших показателей, удобства эксплуатации и доступности технологии на российском рынке оборудования. В исследованных статьях в полной мере не раскрыта тематика реализации продуктов сортировки и переработки в результате работы установки плазменной газификации, а также оценка влияния факторов на итоговое значение окупаемости проекта. В данной статье на основе данных для территории Санкт-Петербурга представлено решение поставленных выше задач.

В данном исследовании предлагается рассмотреть установки малой мощности с точки зрения не только экологической, но и экономической эффективности. Установки располагаются вблизи жилого комплекса и частично обеспечивают электроэнергией его ОДН. Преимуществом данной концепции на фоне крупных заводов – нет необходимости в строительстве высоковольтного электросетевого хозяйства, а также длительной перевозки ТКО к местам их утилизации. Поэтому экономические расчёты для установок распределённой утилизации отходов не менее важны, чем для крупных заводов. В настоящее время не хватает практических оценок экономической эффективности на основе актуальных данных, а так как в настоящее время Россия и Белоруссия интегрируют энергетику, то общие подходы и обоснования введения данных технологий могут быть полезны обеим сторонам.

III. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для примера рассмотрим проектируемый жилой комплекс в Санкт-Петербурге. Далее предложим методику и проведем расчет экономической эффективности возврата в ресурсный цикл необрабатываемой части отходов объекта с получением энергии для частичной компенсации общедомовых расходов за счет применения технологии плазменной газификации. Экономическая эффективность оценивается исходя из суммы поступающих и сэкономленных средств при реализации проекта. Цена ввоза 1 м^3 мусора в городе Санкт-Петербурге равна 550 р ($P_{\text{вввоз}}$). Согласно исходным данным, генерация мусора составляет $16\,425\text{ м}^3/\text{год}$ ($Q_{\text{ген}}$). Цена вывоза данного количества мусора в год, согласно тарифам, составит 9 млн. р. ($S_{\text{вм}}$) или 1115 р на человека в год (93 рубля в месяц). При использовании установки плазменной газификации данные расходы (9 млн. р.) отсутствуют. Расчет производится согласно (1).

$$S_{\text{вм}} = Q_{\text{ген}} \cdot p_{\text{вывоз}} = 9 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (1)$$

Согласно Территориальной схеме обращения с отходами производства и потребления города Санкт-Петербурга, стекло занимает 8,9 % от общей массы ($\omega_{\text{ст}}$), это не перерабатываемая часть, таким образом можно значительно повысить степень переработки путём сбора стеклотары. Сейчас банки стоят от рубля до десяти, в зависимости от объема. За бутылку в пункте приёма стеклотары цена колеблется от 15 до 90 копеек. За редким исключением – 1 рубль. Возьмем среднее значение – 80 копеек (p_6) за стеклянное изделие массой 400 гр. (m_6). Вес ТКО в год – 3092 т ($Q_{\text{ген}}$), расчетное значение массы стекла – 275 т или 688 000 бутылок. В случае продажи – 0,55 млн р ($S_{\text{пс}}$). Расчет производится согласно формуле 2.

$$S_{\text{пс}} = \frac{(\omega_{\text{ст}} \cdot Q_{\text{ген}})}{m_6} \cdot p_6 = 0,55 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (2)$$

Комплекс генерирует 3 092 т в год, при этом, согласно Территориальной схеме, в составе ТКО – $\omega_{\text{цм}} = 3,8$ % цветных металлов ($m_{\text{цв}} = 117,5$ тонн) и $\omega_{\text{чм}} = 0,8$ % чёрных металлов ($m_{\text{чм}} = 24,7$ тонн). Цена за чёрный металл – $p_{\text{чм}} = 31,4$ рубля за кг (0,78 млн р.), а за цветной – в среднем $p_{\text{цм}} = 140$ рублей за кг (16,5 млн. р.). С учётом плотности металлолома $\rho_{\text{м}} = 3\text{т/м}^3$, объем собираемого металла за год составляет примерно 47,4 м³ ($V_{\text{м}}$). При вывозе раз в месяц хватает пространства объемом 5 м³ (для генерации $V_{\text{мм}} = 3,95$ м³/мес.). Расчет производится согласно формулам 3, 4, 5, 6.

$$S_{\text{цм}} = \omega_{\text{цм}} \cdot Q_{\text{ген}} \cdot p_{\text{цм}} = 16,5 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (3)$$

$$S_{\text{чм}} = \omega_{\text{чм}} \cdot Q_{\text{ген}} \cdot p_{\text{чм}} = 0,78 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (4)$$

$$V_{\text{м}} = \frac{(\omega_{\text{цм}} + \omega_{\text{чм}}) \cdot Q_{\text{ген}}}{\rho_{\text{м}}} = 47,4 \frac{\text{м}^3}{200\text{д}}. \quad (5)$$

$$V_{\text{мм}} = \frac{V_{\text{м}}}{12} = 3,95 \frac{\text{м}^3}{\text{мес}}. \quad (6)$$

Технология плазменной газификации имеет степень переработки более 93 %, при этом шлак, образующийся в количествах, не превышающих $\omega_{\text{шл}} = 7$ % изначальной массы (за вычетом отсортированного стекла и металлов), представлен оксидами и карбонатами металлов и кремния. Расплавленный шлак собирают для использования как композитный материал в строительстве. При цене $p_{\text{шл}} = 1,1$ руб. за кг получаем цену реализации годового объема производства на уровне 0,2 млн руб. ($S_{\text{шл}}$). Шлак плотностью $\rho_{\text{шл}} = 2$ т/м³ представит собой объем 93,6 м³ ($V_{\text{шл}}$). При вывозе раз в месяц достаточно пространства объемом 8–9 м³ (для генерации $V_{\text{шлм}} = 7,8$ м³/мес). Расчет производится согласно формулам.

$$S_{\text{шл}} = \omega_{\text{шл}} \cdot Q_{\text{ген}} \cdot p_{\text{шл}} = 0,2 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (7)$$

$$V_{\text{шл}} = \frac{\omega_{\text{шл}} \cdot Q_{\text{ген}}}{\rho_{\text{шл}}} = 93,6 \frac{\text{м}^3}{200\text{д}}. \quad (8)$$

$$V_{\text{шлм}} = \frac{V_{\text{шл}}}{12} = 7,8 \frac{\text{м}^3}{\text{мес}}. \quad (9)$$

При технологии плазменной газификации остаточная электрическая энергия для продажи и стороннего использования от 1 кВт до 3,8 кВт на 1 кг отходов в час согласно данным на основе различных перерабатываемых веществ при использовании установки PLAZARIUM MGS. Исходя из малой мощности установки и работе на ТКО после сортировки, примем значение – 0,5 кВт*ч на 1 кг ($k_{\text{эл}}$), так как массовая доля веществ, поддающихся горению, составляет около половины общей массы [12]. Тогда получаем суточную выработку равную 4 235 кВт*ч (или 1 545 775 кВт*ч в год). Тарифная цена за кВт*ч в Санкт-Петербурге составляет 4,98 руб. за кВт*ч по одноставочному тарифу на электроэнергию ($p_{\text{эл}}$). Получаем экономию в размере 7,7 млн рублей в год ($S_{\text{эл}}$). Расчет производится согласно формуле.

$$S_{\text{эл}} = k_{\text{эл}} \cdot Q_{\text{ген}} \cdot p_{\text{эл}} = 7,7 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (10)$$

Используем удельные показатели технологий плазменной газификации на примере WPC – для установки мощности 45 м³/день получаем объем инвестиций – 128,5 млн руб. ($I_{\text{узм}}$).

Для мобильных установок плазменной газификации и уничтожения отходов PLAZARIUM MGS усредненный показатель затрат на техническое обслуживание составляет от 3 до 5 % от стоимости установки в год ($k_{\text{мо}}$). Усредненный показатель затрат на эксплуатацию установки – от 3 до 5 % от стоимости установки в год ($k_{\text{экс}}$), что соответствует значениям от 3,9 до 6,4 млн рублей. Примем среднее значение суммы затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию – 10,3 млн рублей в год ($C_{\text{экс+мо}}$). Расчет производится согласно формуле.

$$C_{\text{экс+мо}} = k_{\text{экс}} \cdot I_{\text{узм}} + k_{\text{мо}} \cdot I_{\text{узм}} = 10,3 \text{млн.р}. \quad (11)$$

Для расчёта линейной амортизации примем срок полезного использования – 20 лет ($T_{\text{исп}}$). При вложениях, составляющих 128,5 млн руб. амортизация составит – 6,4 млн р. в год (A). Расчет производится согласно формуле.

$$A = \frac{I_{\text{м}}}{T_{\text{исп}}} = 6,4 \frac{\text{млн.р}}{200\text{д}}. \quad (12)$$

Дополнительные пространства планируется опустошать раз в месяц и направлять на продажу. Выше был произведён расчёт необходимых габаритов.

Полученные данные по доходу, экономии и расходам за год представлены в табл. 1

Источник затрат, экономии или дохода	Значение, млн. руб.
Вывоз мусора (в год)	9
Сдача стеклотары (в год)	0,6
Сдача цветных металлов (в год)	16,5
Сдача чёрных металлов (в год)	0,8
Расплавленный шлак (в год)	0,2
Генерация электроэнергии (в год)	7,7
Объем инвестиций	128,5
Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (в год)	10,3
Амортизация (в год)	6,4

Получаем примерный срок окупаемости (базовый) проекта плазменной газификации для города Санкт-Петербург – 7 лет ($T_{окб}$). Данному значению соответствует рентабельность при реализации проекта – 10,3%. В данном расчёте принято, что удорожание каждого элемента будет соответствовать инфляции, таким образом, при принятии единой ставки дисконтирования можно производить расчёт окупаемости без использования метода дисконтированных денежных потоков. Таким образом, расчет производится согласно формуле, используя среднегодовую прибыль.

$$T_{окб} = \frac{I_{уст}}{(S_{вм} + S_{лс} + S_{цм} + S_{чм} + S_{шл} + S_{эл} - A - C_{экс+то})} = 7,1. \quad (13)$$

В данном расчёте не учитывается строительство электросетевого хозяйства, благоустройство территории и затраты на строительство дополнительных сооружений, так как это в наибольшей степени зависит от конкретных условий, желаний заказчика и удалённости от потребителей электрической энергии. Также возможно получение дополнительной прибыли в случае дотаций или выполнения дополнительных функций.

Примем весь объем неучтённых затрат и доходов за величину X . Запишем её в нижней части дроби, получим следующее уравнение:

$$T_{ок} = \frac{128,5}{(18,1 - X)}. \quad (14)$$

Характеристика зависимости срока окупаемости от значения неучтённых затрат и доходов представлена на рис. 2

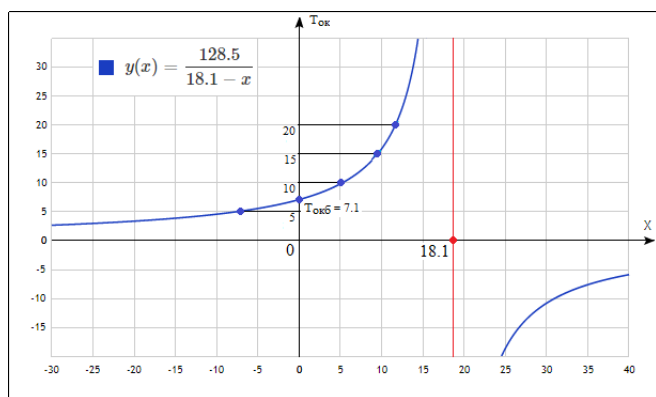


Рис. 2. Характеристика зависимости срока окупаемости от значения неучтённых затрат и доходов

Как можно увидеть из рисунка при приближении дополнительных затрат к уровню 18,1 млн рублей –

проект будет показывать убыточность. Исходя из полученных закономерностей можно производить оценку допустимых дополнительных затрат в условиях конкретного проекта. В нашем случае при согласовании срока окупаемости до 15 лет появляется возможность осуществления дополнительных трат и обеспечения ускоренной амортизации, что приведёт к более качественному обслуживанию и ускоренному обновлению оборудования.

Для технологии обязательным условием является минимизация негативного экологического воздействия и недопущения превышения ПДК. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений представлены в ГН 2.1.6.3492–17.

Список загрязняющих веществ, которые попадают под контроль правительства представлены в распоряжении Правительства РФ от 08.07.2015 № 1316-р (ред. От 10.05.2019).

Для установки PLAZARIUM MGS полная экологичность процесса уничтожения отходов с полной деструкцией (99,99 %). Отсутствие смол, диоксинов и фуранов. Предельно допустимые выбросы (ПДВ) соответствуют ГОСТ СанПиН 2.2.112.1.1.567–96 и нормативам директивы ЕС.

Таким образом, отсутствие негативного воздействия установки MGS на окружающую среду является её сильным конкурентным преимуществом в сравнении с другими технологиями утилизации.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксплуатация установки плазменной газификации PLAZARIUM MGS для утилизации ТКО многоэтажных домов имеет коммерческий и экологический эффект. Обеспечивается полная утилизация генерируемых ТКО, тем самым отсутствует необходимость вывоза, при этом отсортировка металлов и генерация электроэнергии увеличивают экономические показатели работы установки. Особенность данного исследования – возможность адаптации расчётов под конкретный регион, а также возможность ввода дополнительных факторов и условий. В данном случае необходимо произвести выбор и добавление актуальных значений и, используя описанную выше методику произвести вычисления.

Для более глубокого исследования можно добавить оценку строительства электросетевого хозяйства, благоустройства территории, реализации дополнительных работ, а также произвести расчёт окупаемости на основе ожиданий по удорожанию используемых элементов исходя из прогнозов в рассматриваемом регионе. В силу высокой индивидуальности и волатильности данные факторы не рассматривались в данной статье, так как основная задача – разработка методики расчёта.

В результате исследования доказана теоретическая рентабельность технологии плазменной газификации и окупаемость за 7,1 год при использовании для утилизации отходов жилых массивов, также обоснована возможность использования данной технологии при выполнении определённых условий по экологической безопасности и способу расположения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Багрянцев Г.И., Вашенко С.П., Лукашов В.П., Тимошевский А.Н. Плазмотермическая переработка твердых отходов // Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: Проблемы и перспективы. Новосибирск: Наука, 2004. С. 328–341.
- [2] Бравский Б.В., Гончаренко В.Л. Законодательство РФ об отходах: состояние и перспективы // Твердые бытовые отходы. 2008. № 7. С. 18–21.
- [3] Ларионов Г.В. Утилизация ТБО – одна из приоритетных экономических задач современности // Инновационная экономика южного региона России. 2009. С. 207–208.
- [4] Барцев И.А., Трофимов О.В., Доценко И.С. Анализ стратегий утилизации и переработки ТБО в Российской Федерации // Управление экономическими системами. 2013. С. 31.
- [5] Назаретова И.А., Верников Д.А. Направления утилизации ТБО // Инновации в отраслях народного хозяйства, как фактор решения социально-экономических проблем современности. 2011. С. 153–158.
- [6] Багрянцев Г.И., Вашенко С.П., Лукашов В.П., Пак Х.С. Плазмотермическая переработка твердых отходов // Экология и промышленность России. 2005. С. 4–9.
- [7] Шарина И.А., Перепечко Л.Н., Аньшаков А.С. Перспективы использования плазменной технологии для переработки/уничтожения техногенных отходов // ЭКО. 2016. С. 28–35.
- [8] Загорская Е.А., Фирер А.М. Установка для пиролиза ТБО // Проблемы и пути повышения энергоэффективности. 2008. С. 36–41.
- [9] Бабухина Е.Е., Адамов А.П. Экологически безопасная технология ликвидации закрытого полигона ТБО методом плазменного пиролиза // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4. С. 867–869.
- [10] Штык О.А. Применение парогазовой технологии на МСЗ Японии и Европы // Малые и средние ТЭЦ. Современные решения. 2002.
- [11] Романюк Н.В., Новикова О.В. Реализация инновационных технологий энергетической утилизации отходов при эксплуатации новых жилых массивов // Современные технологии и экономика энергетики: Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 107–109.
- [12] Тугов А.Н., Москвичев В.Ф. О целесообразности использования плазменных технологий для термической утилизации ТБО // Твердые бытовые отходы. 2014. С. 40–45.