

ГАРМОНИЗАЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ С РАЗВИТИЕМ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

С.А. Некрасов

*старший научный сотрудник Центрального
экономико-математического института РАН к.э.н., к.т.н*

Применяемые сегодня технологии переработки твердых бытовых отходов (ТБО) обеспечивают только частичное решение проблем, возникающих жилищно-коммунальном хозяйстве [1]. Предварительная сортировка, позволяя вернуть в хозяйственный оборот некоторые ценные составляющие, предполагает накопление остатков на полигонах. Результатом термической переработки ТБО на мусоросжигательных заводах (МСЗ) на основе сегодняшних технологий является зольные остатки, включая легкорастворимую составляющую, и недожог органической части [2]. Их масса составляет 20-40% от первоначальной сухой массы ТБО. Захоронение полученных продуктов на полигонах приводит к постепенному растворению ряда компонент зольной части с последующим просачиванием в грунтовые воды. Нерешенным вопросом является прекращение проникновения в водный бассейн растворимых компонент минеральной части ТБО. Действующие технологии термической переработки ТБО (табл. 1, строки 1–4) не позволяют получить нерастворимую в воде фазу зольную часть, которая изменяется в зависимости от состава каждой новой порции ТБО. С целью решения этого вопроса рассмотрим технологии промышленного сжигания твердых видов топлива, применимые для термической переработки ТБО в Российской Федерации (таблица).

Основные технологии промышленного сжигания твердого топлива

Технология – время промышленного освоения	Применение при термической переработке мусора
Слоевое сжигание на колосниковых решетках – с конца 18 века; в том числе на наклонных, вращающихся колосниках – совершенствование в 19-20 веках.	1-ый (французское оборудование), 2-ой (немецкое оборудование) московские МСЗ, большинство МСЗ РФ, планируемые МСЗ в Подмосковье по японской технологии (наклонные колосниковые решетки с нижней подачей воздушного дутья)
Во вращающейся топке – с 19 века.	

Технология – время промышленного освоения	Применение при термической проработке мусора
В кипящем слое (интенсивная подача воздуха снизу под измельченное горючее) – с середины 20 века; по мере более высокой степени размельчения топлива – трансформация в пылеугольное сжигание.	Немецкое оборудование для кипящего слоя на 4-ом московском МСЗ
Вихревое сжигание – с середины 20 века; подача воздуха по касательной (с тангенциальной составляющей) на измельченное горючее формирует вихревое движение частиц топлива.	
В расплаве – с 1970-х гг.; новая порция горючего без предварительного измельчения помещается на нагретую до 1400°С поверхность расплава, вспененную путем подачи дутья снизу.	Применение ПЖВ на металлургических комбинатах в Ревде, Норильске, получение строительных материалов на предприятиях Минстройматериалов СССР. Испытание утилизации ТБО методом ПЖВ в Рязани.
ПЖВ в комбинации с плазмотроном – с 1990-х.	Утилизация медицинских отходов, боевых отравляющих веществ, галогенсодержащих продуктов органического синтеза

По мере совершенствования технологий снижался процент недожога. В крупных кусках при сжигании на колосниковых решетках он достигает 50%, практически никогда в среднем не опускаясь ниже 12–15%, во вращающихся печах снижен до 7–12%, при сжигании в кипящем слое и вихре – до 5–10%, при пылеугольном сжигании – до 3–7%. В случае помещения топлива в вспененный расплав (плавка в жидкой ванне (ПЖВ)), горючая часть полностью окисляется, а минеральная плавится и переходит в жидкую фазу [3]. При этом негорючие продукты разложения с температурой перехода в газообразное состояние ниже температуры расплава возгоняются над его поверхностью. Нелетучие элементы переходят в минеральную часть расплава [4]. В результате происходит связывание в расплаве серы, селена, теллура и других элементов. Отличительными особенностями технологии являются:

– регулируемая подача снизу подогретого уходящими газами воздушного дутья, которая приводит к барботажу жидкой массы расплава. С его поверхности происходит унос брызг расплава. Брызги являются очагами конденсации не переходящих в жидкую фазу и имеющих температуру возгонки ниже температуры расплава цинка, ртути, галлия, германия, осмия и других редких элементов. По мере отдачи

тепла уходящими газами новой порции воздушного дутья происходит снижение температуры брызг расплава. Охлаждение потока ниже температуры возгонки ряда летучих вызывает постепенную конденсацию на них этих элементов. Последующие сепарация на циклонах-разделителях макроскопических охлажденных брызг (кусочков шлака), на которых сконцентрированы химические элементы с низкой температурой возгонки и поэтому не связывающиеся в расплаве, и осаждение пылей на электрофильтрах менее капиталоемки и проще реализуемы в сравнении с системами очистки уходящих газов альтернативных технологий;

– погружение и последующие нахождение до полного термического разложения и/или расплавления всех составляющих новых порций ТБО в насыщенную подаваемым снизу воздухом пену расплава (и поэтому имеющей низкую плотность), что не требует их предварительного размельчения. Высокая теплопроводность и массивность расплава выравнивает температуру жидких и газообразных продуктов реакций. Отсутствие локальных перегревов выше температуры образования оксидов азота является отличительной особенностью технологии от других способов сжигания. Термостатирование при температуре 1300°C обеспечивает разложение органики и образующихся ее соединений с галогенами [5]. В результате в уходящих газах отсутствуют диоксины и фураны, синтезирующиеся при 550–900°C и полностью разлагающиеся при 1250°C за время не менее 2 секунд [6], что недостижимо при иных технологиях особенно при сжигании на колосниковых решетках, где постоянно образуются низкотемпературные зоны недожога [7; 8].

Поэтому при термической переработке ТБО методом плавки в жидкой ванне содержание диоксинов, фуранов, соединений возгонки металлов, соединений серы, оксидов азота в уходящих газах ниже значений ПДК (для диоксинов и фуранов ниже на несколько порядков), что подтверждено испытаниями, проведенными в 1991 г. на Рязанском опытно-экспериментальном металлургическом заводе Института ГИНЦВЕТМЕТ [9].

Тепловыделение, происходящее при окислении горючей части, обеспечивает энергией расплавление минеральной части ТБО. По мере наработки расплава его удаляют с последующим разделением на тяжелую металлическую фракцию и более легкую – шлак. Металлическая фракция идет на дальнейшую переработку с выделением черных, цветных, редких и драгоценных металлов. Из шлака в зависимости от его состава и температурных режимов кристаллизации получают востребованные в строительной и дорожной отраслях материалы:

цементный клинкер, плотный или поризованный гравий, минеральную вату, шлакоситаловые изделия (тротуарную плитку, трубы, сваи, шпалы, бордюрный камень и т.п.) [10].

Для достижения заранее заданных свойств шлака к ТБО добавляются инертные материалы – глину, песок, известняк (флюсование шлаков), что недостижимо при альтернативных технологиях термической переработки в том числе с жидким шлакоуделением, когда в зольной части неизбежно наличие легкорастворимых компонент, перевод которых в нерастворимую форму обеспечивается связыванием с флюсами, содержащими соединения кремния.

Для флюсования расплава зольной фазы ТБО перспективным является использование накопленных промышленных отходов, содержащих требуемые инертные материалы (соединения кремния, кальция и т.д.) [11].

Их количество превышает текущий объем ТБО на несколько порядков. Если текущий объем ТБО в РФ – 30 млн тонн в год, то текущий объем промотходов оценивается в 5 млрд тонн, а накопленный превышает 30 млрд тонн [18]. Фактически промотходы образуют подготовленные для использования техногенные месторождения, являясь минерально-сырьевой базой для развития народного хозяйства без освоения новых природных месторождений [12]. Серьезной проблемой является и так называемое захламление почв. Речь идет не только об экологическом ущербе, связанном с прошлой хозяйственной деятельностью, но и о неуклонном увеличении количества отходов, которые идут не на вторичный хозяйственный оборот, а на полигоны, а проще сказать – на свалки, которые, к сожалению, очень часто находятся в ненадлежащем состоянии и наносят вред природе и людям. В целом, согласно оценкам экспертов, около 15% территории Российской Федерации по экологическим показателям находится в критическом состоянии. И бездействие может привести к необратимым последствиям для окружающей среды [13]. Около 15 000 санкционированных объектов размещения отходов занимают 4 млн гектаров (или более 11 соток на одну семью из 4 человек), и эта территория ежегодно увеличивается на 300-400 тыс. гектаров [18]. Использование части накопленных промышленных отходов совместно с ТБО сможет снизить остроту данной проблемы особенно в наиболее густонаселенных территориях, где и происходит образование бытовых отходов.

Еще в советское время к ряду техногенных месторождений проявляли интерес иностранные компании. Это связано с тем, что коэффициент извлечения полезных компонентов на многих предприятиях,

перерабатывающих природное сырье, был очень низким. Так, например, в ЮАР при объемах добычи руды, сопоставимых с объемами «Норильского никеля» степень извлечения платиноидов и золота была более чем вдвое выше, чем на Норильском комбинате. При меньшем содержании осмия в сумме платиноидов в ЮАР производили 1,5–2,5 т. осмия в год, а годовой план по осмию для Норильского комбината устанавливался в 40–50 кг. Подобная ситуация характерна для многих горнодобывающих предприятий как России, так и Беларуси. За 100% базового норматива извлечения полезных компонентов бралось их содержание в концентрате обогащения, и в силу этого значительная часть ценных продуктов уходила в хвосты и отвалы. Например, в шлакоотвалах металлургических заводов европейской части России среднее содержание золота может превышать 1,5–2,5 грамма на тонну, содержание цинка доходить до 12%, ванадия до 5 %.

Отдельные руководители отраслей в СССР понимали необходимость и целесообразность создания специализированной индустрии утилизации и глубокой переработки отходов. Так Министром цветной металлургии СССР П.Ф. Ломако в Рязани было создано предприятие, специализированное только на переработке шлаков и шламов различных отраслей промышленности. Его успешное функционирование в рыночных условиях является доказательством того, что в ряде случаев стоимость полученных продуктов в результате комплексной переработки промышленных отходов полностью окупает затраты на их переплавку.

При термической переработке методом ПЖВ металлы, содержащиеся в свободной и/или химически связанной форме в промотходах и ТБО, включая редкие и драгоценные, переходят в металлическую фазу расплава или конденсируются на брызгах. При дальнейшей переработке металлической фазы и брызгоуноса выделяют ценные составляющие, в том числе на аффинажных заводах. Флюсование инертными материалами промотходов зольной части расплава ТБО с целью получения заданных параметров по содержанию кальция, кремния и т.д. позволяет использовать её для получения материалов с необходимыми свойствами.

В итоге предлагаемого подхода переработка ТБО становится побочным процессом извлечения для коммерческого использования ценных компонент из промышленных отходов. В этом процессе роль ТБО сводится к топливообеспечению плавки промотходов.

В этой связи остановимся на энергетической составляющей переработки ТБО методом плавки в жидкой ванне. В результате опережающего роста потребления строительства новых электростанций в РФ

удельная выработка на киловатт установленной мощности в энергосистеме снизилась по сравнению с 1990 г. [14]. В электроэнергетике проблемой является не недостаток мощностей, работающих в базовом режиме, а покрытие пиковых нагрузок [15], что не может быть реализовано на основе термической переработки ТБО в силу невозможности регулирования графика выдачи мощности МСЗ. Поэтому генерация электроэнергии за счет термической переработки ТБО предусматривает содержание пиковых источников электроэнергии.

На протяжении десятилетий для утилизации ТБО приобреталось оборудование стран, где в силу климатических причин квартальное централизованное теплоснабжение получило ограниченное развитие. Такая же практика сохранится на ближайшее десятилетие несмотря на декларации об импортозамещении. В частности, для Подмосковья выбрано оборудование Японии – страны, северная граница которой расположена на широте Владивосток – Сочи. В связи с не востребованностью централизованного теплоснабжения и отсутствия локализованных точек тепловой нагрузки в десятки, а тем более сотни мегаватт, единственной возможностью энергетического использования теплотворной способности ТБО является производство электроэнергии. Поэтому МСЗ в мире ориентированы на генерацию электроэнергии. Однако несмотря на это суммарная доля отходов в производстве электроэнергии в Европе составляет 1,4% [19].

Практика показывает, что это тупиковое направление. Например, тепловая мощность Второго московского МСЗ составляет 46 МВт (40 Гкал/ч), а электрическая – 2 МВт. Столь низкий коэффициент преобразования полученного тепла в электроэнергию (менее 5% – значимо меньше 9% КПД ушедших в прошлое паровозов) едва ли является прорывным решением 21 века. Данный факт – объективное следствие эффекта масштаба, сопровождающего на протяжении более столетия развитие тепловой энергетики. Его суть: рост эффективности паросилового преобразования тепловой энергии в электрическую по мере увеличения единичной мощности энергоблока. Поэтому только в весьма редких специфических случаях экономически целесообразно устанавливать паровые турбины мощностью менее 20–25 МВт. Это подтверждает многолетняя мировая практика тепловой энергетики: получили распространение паросиловые энергоблоки единичной мощности не менее 100 МВт. Наибольший объем генерации на теплоэлектростанциях как в Республике Беларусь, так и в мире обеспечивается паровыми турбинами мощностью 240–300 МВт с электрическим КПД более 30%. Оценки показывают, что при

термической переработке всего текущего объема ТБО с энергетической эффективностью Второго московского МСЗ можно выработать не более 27 МВт электроэнергии в базовом режиме, что не является значимой величиной для повышения надежности работы белорусской энергосистемы.

Существенно более эффективным с точки зрения преобразования теплотворной способности ТБО в электроэнергию является их добавка к основному виду топлива – углю на крупных угольных электростанциях [16], но это направление едва ли будет реализовано в РБ в силу развития преимущественно газовых электростанций в тепловой энергетике. При этом все вышеперечисленные негативные вопросы, а именно захоронение частично растворимой зольной части ТБО, неравномерность температурного поля при сжигании, приводящего к образованию и необходимости последующей очистки от фуранов и диоксинов всего объема уходящих газов от совместного сжигания угля и ТБО, остаются открытыми. А так как во всех развитых странах уже более десятилетия сохраняется устойчивый тренд вытеснения угольной генерации другими источниками, то этот путь является бесперспективным. Экологический ущерб, возникающий при сжигании угля в некоторых случаях в несколько раз превышает стоимость топлива [17].

В силу климатических особенностей в РБ на теплоснабжение расходуется более чем в два раза больше первичного топлива, чем на генерацию электроэнергии. В связи с этим далее остановимся на утилизации попутного тепла термической переработки ТБО методом ПЖВ на цели теплоснабжения. Производительность печи с площадью зеркала ванны 6м² на подогретом воздушном дутье составляет 25-30 тыс. тонн ТБО в год, что соответствует потребностям в утилизации мусора микрорайона с населением 80-90 тыс. человек. Предлагается выбрать данный размер в качестве унифицированного тиражируемого оборудования по следующим причинам.

При переработке ТБО в указанных объемах в среднем на протяжении года обеспечивается среднегодовая генерация тепловой энергии 8-9 Гкал/час. Полученное тепло целесообразно использовать для покрытия круглогодичной тепловой нагрузки в виде горячего водоснабжения. Так как отличительной особенностью работы МСЗ является не подающаяся регуляции постоянная генерация, согласование с суточными колебаниями потребления ГВС следует обеспечивать путем установки аккумуляторов тепловой энергии (баков накопители горячей воды). Удельные затраты на аккумуляцию тепловой энергии более чем на порядок меньше по сравнению с системами аккумуля-

лирования электроэнергии, необходимыми для согласования графика потребления электроэнергии и непрерывной генерации МСЗ. Целесообразным является привязка установок по термической переработки ТБО к сформировавшемуся тепловому потреблению путем их интеграции с учетом санитарно-экологических требований в промышленные и городские котельные. Для климатических условий РБ разбор ГВС в объеме 8-9 Гкал/час соответствует пиковой потребности в периоды максимального спроса на тепло у потребителей городской застройки порядка 50-70 Гкал/час. При отсутствии децентрализованных источников тепла котельные такой мощности обеспечивают теплоснабжение микрорайона с населением 30-60 тыс. человек. Покрытие круглогодичной тепловой нагрузки ГВС за счет термической переработки ТБО позволит заместить 20-25% потребления топлива на этих котельных или порядка 10% всего потребления топлива на нужды муниципального теплоснабжения.

Котельные с фактическим теплоснабжением столь большой мощности является весьма нечастым явлением, особенно после 25-летнего тренда снижения потребления тепла и децентрализации теплоснабжения: установки крышных, пристроенных и иных локальных источников тепла. Тем более редким является сохранение фактической кратно большей тепловой нагрузки в 100-140 Гкал/час, 150-210 Гкал/час, необходимых для полезной утилизации тепла двух и более унифицированных установок по термической переработки ТБО методом ПЖВ в одной точке. Локализованное тепловое потребление еще большего объема, как правило, формировалось для ТЭЦ – комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Поэтому увеличение производительности по объему переработки ТБО установок путем роста площади зеркала ванны или перехода к кислородному дутью нецелесообразно и существенно сузит количество возможных точек для полезного использования тепла в сформировавшихся за десятилетия системах теплоснабжения российских городов. По аналогичной причине резервирование по переработке ТБО на случай регламентных работ либо аварийных ситуаций следует обеспечивать путем параллельной работы независимых установок в разных точках системы теплоснабжения городской агломерации, а не созданием нескольких установок в одной точке. В результате диверсификации топливно-энергетического баланса повысится надежность энергоснабжения за счет появления нового независимого и постоянно возобновляемого источника первичного топлива.

Если в среднем в течении года роль ТБО как топлива высока, то при более детальном рассмотрении выясняется, что его теплотворная

способность может меняться на десятки процентов. В осенние месяцы она зачастую имеет отрицательные значения в силу высокого влагосодержания пищевых отходов. Проблема эпизодического снижения теплотворной способности ТБО решается подстветкой первичными энергоносителями котельной (углем, газом). Для многих отраслей ПЖВ является механизмом решения отраслевых экологических проблем: утилизации замазученных грунтов, ветоши; отвалов легнина и т.д. Перспективным является использование в качестве топлива старых деревянных шпал, складываемых в штабелях в покгаузах, на привокзальных площадках, прилегающих к путям территориях и промзонах. На свалки и технические полигоны их не принимают, так как сжигать деревянные шпалы, пропитанные токсичным ядовитым креозотом нельзя. Находясь в штабелях на открытых площадках шпалы выделяют в атмосферу, а под воздействием дождя в почву ядовитый креозот и его компоненты, а также хлористый цинк. Таким образом, в результате термической переработки старых шпал в ПЖВ может быть решена важная отраслевая экологическая проблема.

Универсальным решением поддержания теплотворной способности ТБО в периоды ее снижения является термическая переработка ТБО и промходов совместно с накопленными иловыми осадками. Их влажность после нескольких сезонов хранения под открытым небом снижается до 30%. Сжигание иловых осадков с последующей выработкой электроэнергии, как это происходит на станциях аэрации Люберецких очистных сооружений Москвы, на Центральной станции аэрации Санкт-Петербурга не является значимым для энергоснабжения этих мегаполисов, составляя менее 0,1% от их потребностей. При этом вопросы утилизации золы, получаемой при сжигании илов, остаются нерешенными, как и при применяемых сегодня технологиях термической переработки ТБО.

Таким образом технология переработки ТБО путем плавки в жидкой ванне (Рисунок) является не только необходимой для обеспечения устойчивого регионального развития, но и единственно возможной, так как только она обеспечивает полную утилизацию ТБО, включая перевод их зольной части в нерастворимую форму, а также отсутствие диоксинов, фуранов, возгонов металлов и редких элементов в уходящих газах. В то же время она является достаточной для обеспечения экологической безопасности. Дополнительные надстройки в виде плазмотронов не дадут появления качественно новых результатов, но при этом приведут к значимому увеличению капитальных затрат и эксплуатационных издержек.

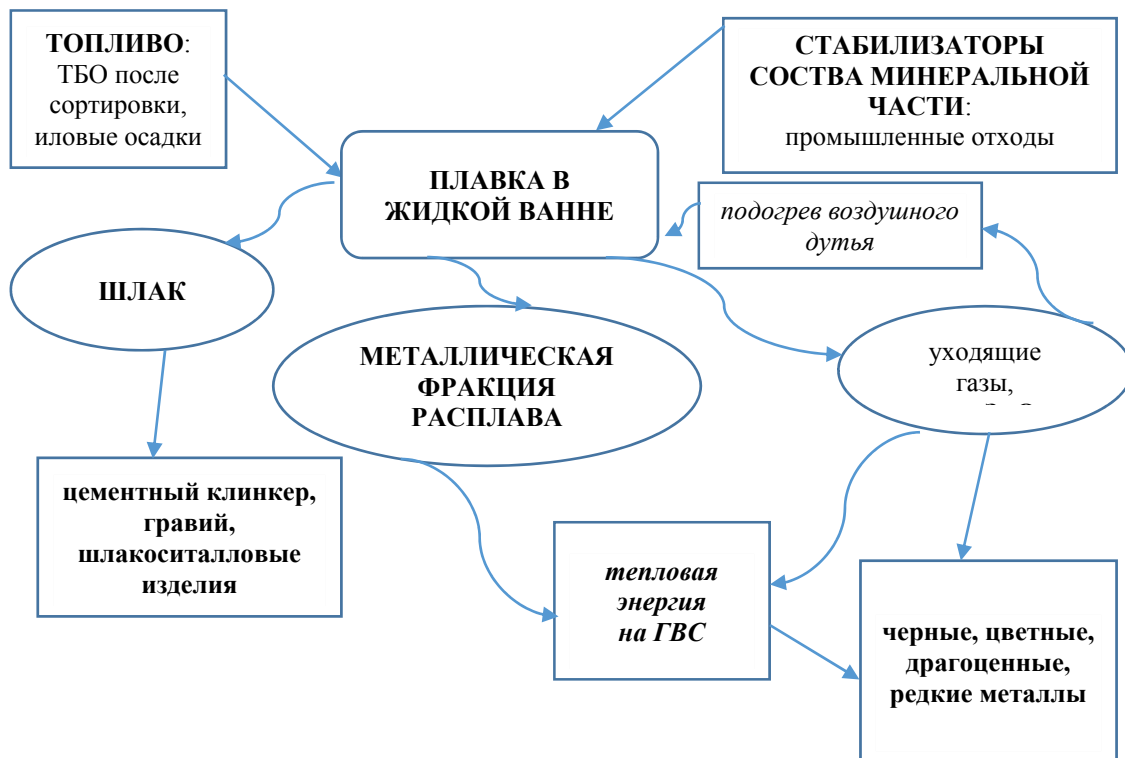


Рис. Блок-схема комплексной термической переработки ТБО промышленных отходов и иловых осадков

Выводы. В отличие от других альтернативных способов термической переработки ТБО, плавка в жидкой ванне (ПЖВ) не приводит к загрязнению воздушного бассейна диоксинами, фуранами, возгонами редких элементов.

Технология ПЖВ является единственной, обеспечивающей перевод зольной части изменчивых по составу ТБО в нерастворимую форму. Для этого необходимо обеспечить химическое взаимодействие ее составляющих с индивидуально подбираемыми инертными материалами, которое достигается только в жидком расплаве. Эти необходимые для флюсования соединения присутствуют как в песке, глине, известняке, так и в промтоходах, накопленный объем которых на порядки превышает текущий объем ТБО. Флюсованием расплав зольной части доводится до заранее заданных параметров и становится пригодным для получения материалов в строительной и дорожной отраслях.

Плавка промтоходов совместно с ТБО позволяет извлечь представляющие коммерческий интерес редкие элементы, черные, цветные и драгметаллы. В этом процессе роль ТБО сводится к топливообеспечению плавки. В связи с сезонной изменчивостью теплотворной способности ТБО осуществляется совместное сжигание накопленных иловых осадков и/или промтоходов угольной промышленности. В ряде случаев

целесообразно обеспечить решение отраслевых задач: утилизацию отработанных деревянных шпал, замазученных грунтов, ветоши и т. п.

В связи с низкой эффективностью преобразования в электроэнергию тепла, получаемого при термической переработки ТБО, целесообразно использовать тепло для покрытия круглогодичной нагрузки горячего водоснабжения, интегрировав установки ПЖВ в городские котельные, что обеспечит замещение на них первичного топлива в объеме 20-25% среднегодового потребления.

Является целесообразным унифицировать установку ПЖВ на подогревом воздушном дутье для переработки ТБО производительностью 25-30 тонн в год для микрорайона с населением 80-90 тыс. человек. При составлении схем теплоснабжения городов следует предусмотреть их установку на котельных с пиковой тепловой нагрузкой 50-70 Гкал/час. Резервирование процесса переработки ТБО обеспечить за счет параллельной работы нескольких унифицированных установок в городских конгломерациях.

В результате использования ТБО и накопленных иловых осадков в качестве топлива для производства стройматериалов из промтоходов без увеличения тарифов на утилизацию ТБО возможна их термическая переработка при соблюдении экологических требований. Дополнительными источниками прибыли становятся нереализуемые в рамках действующей концепции обращения с ТБО возможности, а именно извлечение цветных, редких и драгметаллов из ТБО и совместно с ними перерабатываемых промтоходов; получение материалов для строительной и дорожных отраслей; использование попутного тепла на теплоснабжение.

Литература

1. Островский Н.В. Мусоросжигание – как объект оценки воздействия на окружающую среду и экологической экспертизы // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 8, с. 44–49.
2. Сравнение свойств золы от сжигания углей и нетрадиционных видов топлива. Дик Э.П. и др. // Теплоэнергетика. 2007, № 3, с.60–64.
3. Гречко А.В. Современные методы термической переработки твердых бытовых отходов // Промышленная энергетика. 2006. № 9, с.48–49.
4. Мечев В.В., Власов О.А., Переработка ТБО в печах со шлаковым расплавом // Твердые бытовые отходы 2014, № 2, с. 20–25.
5. Адамович Б.А., Дербичев А.Г. Мусоросжигание без диоксинов. // Экология и жизнь. 2012, № 3, с.32–35.
6. Бернадинаер М.Н. Диоксины при термическом обезвреживании органических отходов // Экология и промышленность России. 2000. № 2. С. 13–16.

7. Федоров Л.А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы. – М.: Наука, 1993. – 266с.
8. Майстренко В.Н., Хамитов Р.З., Будников Г.К. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. – М. : Химия , 1996. – 319 с.
9. Мечев В.В. Экологически чистые технологии переработки бытовых отходов в печи Ванюкова // Цветные металлы. 1992. № 12. С. 9–14.
10. Термическая переработка углей, бытовых и промышленных отходов с получением электроэнергии и товарных продуктов. /под ред. Мечева В.В. М. – Буки Веди. 2012. 344 с.
11. Гречко А.В., Деннисов В.Ф., Федоров Л.А. Региональный характер проблемы твердых бытовых и промышленных отходов и ее решение пирометаллургическим методом // Экология и промышленность России. – 1997. – № 10. – С. 13–16.
12. Путин В.В. Стратегическое планирование воспроизводства минерально-сырьевой базы региона в условиях формирования рыночных отношений (Санкт-Петербург и Ленинградская область) / Санкт Петербург. – СПбГУ. – Автореф. дисс. к.э.н. 1997.
13. Материалы совещания Правительства Российской Федерации «О комплексе мер по улучшению экологической обстановки в России» 30.03.11 [Электронный ресурс] // <http://archive.government.ru/docs/14655/> (Дата обращения 16.10.18).
14. Гуртовцев А., Забелло Е. Электрическая нагрузка энергосистемы. Выравнивание графика // Новости электротехники. 2008, № 5, № 6.
15. Некрасов С.А., Матюнина Ю.В., Цырук С.А. Оптимизация электроснабжения с целью выравнивания графика нагрузки и снижения энергозатрат // Промышленная энергетика. 2015, № 5, с. 2–8.
16. Опыт освоения сжигания твердых бытовых отходов на отечественных ТЭС. Тугов А.Н. // Теплоэнергетика. 2006, № 7, с. 55–60.
17. Сияк Ю.В. Концепция глобального экономического развития и энергетика / Открытый семинар ИНП РАН «Экономические проблемы энергетического комплекса» / М.: ИНП РАН. 2008.
18. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. Утверждена РП Российской Федерации от 25.01.18. № 84-р. [Электронный ресурс] // http://eipc.center/wp-content/themes/fgau/presents/resursandeng/raspor_ot_25012018_84.pdf (Дата обращения 16.10.18)
19. EUROSTAT Gross electricity production by fuel, EU-28. [Электронный ресурс] // https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Gross_electricity_production_by_fuel,_GWh,_EU-28,_2000-2016.png (Дата обращения 16.10.18).