УПРАВЛЕНИЕ БЫТОВЫМИ И ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ

DOI 10.15593/2409-5125/2015.01.01
УДК 628.475.7

Я.И. Вайсман

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Представлены результаты ретроспективного анализа и оценены перспективы развития методов и технологий термического обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов (ТБО), начиная от примитивного сжигания отходов на открытом воздухе до современных экологически безопасных и экономически доступных технологий. Разработаны методические подходы по выбору технологий термического обезвреживания и утилизации отходов на основе комплексных эколого-экономических, социальных и технологических критериев.

Ключевые слова: ТБО, термические методы обезвреживания и утилизации, выбор методов и технологий, комплексные критерии.

К настоящему времени в большинстве развитых стран после их перехода к постиндустриальному развитию создана избыточно мощная инфраструктура по захоронению, компостированию, термическому обезвреживанию, утилизации и переработке ТБО, что привело к конкуренции в сфере обращения с отходами, особенно с теми из них, которые обладают высоким энергетическим и ценным материальным ресурсным потенциалом. В этих условиях важным является обоснованный выбор методов и технологий обращения с отходами с позиций эколо-

гически устойчивого развития как элементов интегрированной системы управления отходами, обеспечивающих, по сравнению с другими, увеличение возврата задолженных в отходах материальных и энергетических ресурсов в природные циклы и снижение за счет этого экологической нагрузки на окружающую среду и население.

Наметившийся в последние два десятилетия рост в ряде развитых стран объемов термического обезвреживания и утилизации ТБО на современных экологически безопасных мусоросжигательных заводах (МСЗ), отвечающих требованиям наилучших доступных технологий (НДТ), привел к тому, что появился интерес к термическим методам обезвреживания и утилизации ТБО как перспективного направления, позволяющего реализовать ожидания общества к переходу к устойчивому развитию в сфере обращения с отходами.

Зависимость ряда стран от импорта углеводородных энергоносителей, высокая затратность их применения для получения тепловой и электрической энергии определили осознание широкими слоями общества целесообразности использования ТБО в качестве постоянно возобновляющегося и экономически доступного источника энергии.

Одним из важных аргументов в пользу использования термических методов обращения с ТБО является их экономическая эффективность, о чем свидетельствует возрастающее их применение в большинстве развитых стран, а также экологическая безопасность современных МСЗ последних поколений, обеспечивающих достижение приемлемого уровня экологических нагрузок при их размещении в пределах селитебных территорий.

Проведенный анализ экономической эффективности современных МСЗ показал, что большинство из более чем 2500 эксплуатирующихся в мире в настоящее время МСЗ рентабельны, а формируемая ими экологическая нагрузка ниже допустимой регламентируемой нормативными требованиями [1].

Наметившиеся в последнее десятилетие тенденции по увеличению применения термических методов в обращении с ТБО определяют актуальность проведения исследований по оценке

перспектив их развития как структурного элемента систем обращения с отходами интегрированных в общую стратегию устойчивого развития территорий.

Ретроспективный анализ применения термических методов обезвреживания и утилизации отходов свидетельствует о том, что сжигание отходов на открытом огне является одним из древнейших традиционных способов их ликвидации (уничтожения) путем окисления кислородом воздуха и применяется с глубокой древности до настоящего времени в усовершенствованном виде в различных модификациях.

В результате сжигания ТБО происходит уменьшение их объема на 70–80 % в зависимости от содержания в них горючих и несгорающих балластных веществ. При эффективном ведении процесса сжигания происходит обеззараживание и снижение токсичности отходов. Получаемый инертизированный минерализованный остаток (зола и шлаки) после определенных переделов с целью достижения приемлемого класса опасности и заданного качества может использоваться взамен первичных инертных материалов. При достаточно большом содержании горючих фракций в сжигаемых отходах возможно использование их энергетического потенциала в виде тепловой и электрической энергии.

На принципах сжигания на открытом огне основаны многие ритуальные процедуры по сжиганию (кремации) тел умерших людей, а также огнепалимых жертвоприношений, имеющих многотысячелетнюю историю.

Первые достоверные сведения об огневых методах уничтожения ТБО, трупов животных, а также тел преступников, неудостоенных погребения в могилах или памятных склепах, достаточно часто встречаются в Талмуде, Библии, Коране и других подобных источниках. Так, достаточно полно описана в Новом Завете «Геенна огненная» – вторая Кедронская долина (долина Енома), расположенная на юго-западе вблизи старого города Иерусалима. Эта долина была местом свалки, куда выбрасывались и где сжигались отходы, кости и трупы животных. Давид Кимхи так описывает Геенну: «...место сие находится в земле, прилегающей к Иерусалиму, и место сие отвратительно; туда

бросают нечистоты и трупы. Также там не переставая горит огонь, в котором сжигают нечистоты и кости трупов...» [2]. Сжигание отходов происходило в ямах или на кострах с использованием дров при постоянном поддержании огня.

При недостаточно высоких температурах, достигаемых при таком способе сжигания в толстом слое отходов, особенно крупнокусковых, трудно было обеспечить их равномерное горение и полное сгорание. Это приводило к образованию большого количества недожога и сопровождалось значительными пылегазовыми выбросами, черным дымом и зловонием.

Так как образование черного дыма и неприятных запахов было неприемлемым при принесении огнепалимых жертв, эмпирическим путем была усовершенствована технология открытого огневого слоевого сжигания. Так, в Пятикнижии [3] достаточно подробно описано устройство жертвенника, где сжигались огнепалимые жертвы. Жертвенник сооружался из крупных камней таким образом, чтобы между ними были зазоры, через которые легко проникал воздух. Поверх камней устанавливалась металлическая решетка. При этом указывалось, чтобы решетка была «сетчатой работы из меди» (прообраз современных колосниковых решеток) с тем, чтобы через отверстия в ней проваливалась зола (которая собиралась в специальные сосуды) и проходило подсасывание воздуха в зону горения. Несмотря на то, что получавшаяся при сжигании тел жертв зола (в терминологии тех времен – «пепел») считалась чистой, тем не менее предписывалось удалять ее за пределы поселений (лагерей, станов) в специально отведенные места, где происходило сжигание отходов.

Для обеспечения более полного сгорания и сокращения недожога регулировалась толщина слоя тел сжигаемых жертв: тела крупных животных расчленялись, отдельно сжигались такие их части, как шкуры, внутренности, курдючный жир и т.д. Детально была прописана технология сжигания. Тела мелких животных и птиц целиком, а тела крупных животных в расчлененном виде укладывались поверх решетки с зазором на слой горящих сухих дров с тем, чтобы была обеспечена достаточно высокая температура уже на начальном этапе сжигания (сушке, разогреве и воспламенении) и полнота выгорания с сокра-

щением образования недожога в виде нежелательных пылегазовых выбросов в виде черного дыма и неприятно пахнущих газов. Элементы этих технологических приемов используются и в настоящее время при слоевом сжигании отходов в усовершенствованном виде на мусоросжигательных заводах, где регулируется толщина слоя сжигаемых отходов и обеспечивается попадание вновь поступающих отходов в уже разогретый участок установок по сжиганию отходов с начальной высокой температурой в зону сушки, а затем далее по направлению движения отходов последовательно в зоны разогрева – пиролиза – газификации – воспламенения – выгорания и дожигания.

Не менее подробно в Пятикнижии [3] даны предписания по огневому обезвреживанию опасных в заразном отношении (в современной терминологии – эпидемиологически опасных) отходов. Так, предписано сжигать бывшие в контакте с больными проказой и загрязненные их выделениями предметы быта, а также загрязненные элементы (части) жилых зданий, которые невозможно очистить путем вымывания водой: «...и пусть сожгут одежду, основу или уток из шерсти или льна, равно и всякую кожаную вещь, на которой будет эта язва; ибо это проказа заразительная, на огне это должно быть сожжено...» (Левит, XIII-XIV, 12-52). В жилых домах, где была обнаружена опасная плесень и где установлено несмываемое водой загрязнение выделениями больных предписывалось «...пусть разломают дом, камни его и дерево его, и всю обмазку дома, и вывезут за город, в место нечистое...» (Левит, XIV, 40-45) [3].

Многовековой практический опыт и накопление знаний о природе термического обезвреживания отходов, использование достижений в развитии термических технологий в смежных областях науки и техники (кузнечном ремесле, получении металлов в доменных процессах, развитии пиролизных, газификационных и плазменных технологий, электросталеплавления, пылеугольного сжигания, цементном производстве и многих других) применительно к задачам термического обезвреживания отходов позволили достичь значительных успехов в деле повышения технической и экономической эффективности и экологической безопасности термического обезвреживания и утилизации ТБО.

Так, использование в установках слоевого сжигания отходов колосниковых решеток и дутьевого воздуха позволило обеспечить более полное сгорание отходов и снижение недожога, а применение современных устройств для пыле-, газоочистки исключает сверхнормативные выбросы в атмосферный воздух.

Кроме того, использование современных технически и экономически доступных и экологически безопасных термических технологий в переработке и утилизации ТБО позволило значительно расширить область их применения, уменьшить объемы размещения не утилизируемых отходов в объектах окружающей среды и во все возрастающих масштабах использовать их энергетический потенциал.

Термическая переработка (обезвреживание) и утилизация ТБО путем использования методов огневого сжигания, газификации, пиролиза и плазменных технологий в настоящее время занимает второе место после захоронения в сфере обращения с ТБО [1, 4–7].

Определенным стимулом к расширению применения методов термической переработки и утилизации ТБО в последнее десятилетие послужили принятые в ряде развитых стран решения о запрещении размещения на полигонах захоронения ТБО отходов, для которых имеются доступные технологии их переработки и утилизации. Так, согласно Директиве 2006/12 ЕС «Об отходах» запрещено размещать на полигонах захоронения такого рода отходы.

В настоящее время достигнутые успехи в деле развития технологий термического обезвреживания и утилизации ТБО с использованием их энергетического потенциала, высокоэффективных методов очистки пылегазовых выбросов и утилизации образующихся при этом остатков (золы, шлака и шламов) позволяют относить эти технологии к экологически безопасным и соответствующим принципам устойчивого развития.

Анализ применения термических методов обезвреживания и утилизации ТБО в мировой практике позволяет сделать вывод о том, что имеется выраженная зависимость их использования от уровня развития экономики, плотности населения, наличия свободных земельных ресурсов, уровня потребления первичных

энергоносителей для энерго- и теплоснабжения, сложившихся предпочтений у референтных групп населения к выбору методов переработки ТБО (негативное/позитивное отношение к термическим методам), нормативно-правовой базы, экологической грамотности населения и правящих элит.

Первые заводы по сжиганию ТБО были созданы во второй половине XIX в. сначала в Великобритании, а затем в США и Германии. Применявшаяся на них технология была весьма несовершенна в техническом отношении и характеризовалась большими выбросами в атмосферный воздух продуктов неполного сгорания отходов (недожога), NO_x , CO , SO_2 , пыли. Выбросы были настолько велики, что это вызывало обоснованные протесты населения. В последующие периоды была проведена большая работа по совершенствованию технологий термического обезвреживания и утилизации ТБО. К концу первой половины XX в. были созданы МСЗ, которые позволяли достаточно эффективно использовать тепло, получаемое при сжигании отходов для когенерации тепловой и электрической энергии, а уровень очистки пылегазовых выбросов стал соответствовать действующему в то время законодательству. Вместе с тем в 1970–1980-е гг. дальнейшее развитие МСЗ было существенно замедлено из-за появившихся данных о возможном наличии в выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами загрязняющих веществ – супертоксикантов типа диоксинов, для которых в тот период отсутствовали достаточно эффективные технологии предотвращения их образования, очистки и обезвреживания, гарантирующие экологическую безопасность МСЗ. Ужесточение нормативно-правовых требований к очистке пылегазовых выбросов МСЗ привели к разработке новых методов и технологий их очистки, которые в настоящее время в разы превышают чистоту выбросов промышленных предприятий и соответствуют современным требованиям [1].

Произошедший в 1990-е гг. переход к МСЗ нового поколения, использующих высокоэффективные технологии сжигания ТБО и оснащенных современными технологиями предотвращения образования окислов азота и многоступенчатыми системами очистки пылегазовых выбросов, устройствами для утилизации

образующихся твердых отходов и шламов пылегазоочистки, зольных остатков и шлаков, системами когенерации тепловой и электрической энергии, получаемой при использовании тепла, образующегося при сжигании ТБО, позволил сделать их конкурентоспособными по сравнению с другими методами обращения с отходами – захоронением, компостированием, переработкой с целью получения вторичных материальных ресурсов (ВМР).

Как свидетельствует практика, во многих крупных городах Европы современные МСЗ используются как основные источники тепло- и энергоснабжения, покрывающие более половины потребности в отоплении, горячем водоснабжении и электроснабжении жилья и других объектов ЖКХ. Так, в гг. Вене и Париже более 60 % потребляемой энергии производится МСЗ. В г. Гетеборге (Швеция) МСЗ производительностью 400 тыс. т/год ТБО ежегодно вырабатывает 1184 тыс. МВт тепловой и 288 тыс. МВт электроэнергии, что равноценно сбережению 120 тыс. т мазута [1].

Проведенный нами анализ капитальных и эксплуатационных затрат типового МСЗ в зависимости от комплектации отечественным или импортным оборудованием производительностью порядка 400 тыс. т/год составляет примерно 1,0–1,2 млрд руб. капитальных и около 400–500 млн руб./год эксплуатационных затрат (в ценах 2013 г.). При получении доходов от реализации горячей воды, пара, выработки отпускаемой на сторону электроэнергии и оказания услуг по переработке ТБО прибыль от эксплуатации такого МСЗ может составлять порядка 180–250 млн руб./год при условии наличия круглогодичных внешних потребителей горячей воды, пара и электроэнергии, а также потребителей образующихся вторичных твердых отходов. Наши результаты оценки затрат на сооружение и эксплуатацию МСЗ близки к данным, полученным Д.И. Кофманом и М.М. Востриковым на примере отечественных МСЗ [1].

В развитых странах, несмотря на относительно высокие начальные капиталовложения на сооружение МСЗ по сравнению с полигонами захоронения ТБО и последующие значительные эксплуатационные затраты на очистку пылегазовых выбросов, сточных вод и обращения с образующимися твердыми от-

ходами при сжигании ТБО, МСЗ используются достаточно широко и они достаточно успешно конкурируют с другими технологиями. В известной степени этому способствуют такие важные факторы:

- наличие больших потоков ТБО, содержащих достаточно большую долю фракций с высокой теплотворной способностью, что позволяет их идентифицировать, по крайней мере, как топливный материал на уровне торфа;
- законодательная и иная нормативно-правовая база, позволяющая при высоких требованиях к качеству очищенных дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу, размещать МСЗ в пределах жилой застройки и вблизи объектов социально-культурного назначения (лечебно-профилактических, образовательных и др.) без организации санитарно-защитных зон, что определяет возможность их использования в качестве ТЭЦ без значительных тепловпотерь, которые неизбежны при транспортировке горячей воды для нужд теплоснабжения на большие расстояния (несколько километров и более);
- наличие гарантированного круглогодичного потребителя тепловой энергии в объемах, вырабатываемых МСЗ;
- политический климат и желание ряда развитых стран с помощью МСЗ снизить зависимость от импорта углеводородных энергоносителей.

В РФ в силу недостаточной экологической грамотности населения и представителей органов власти, принимающих решения в сфере обращения с отходами, имеется довольно выраженное негативное отношение к МСЗ, которое эксплуатируется недобросовестными политиками, особенно в периоды предвыборных кампаний. Важным сдерживающим фактором, наряду с высокой стоимостью МСЗ по сравнению с полигоном захоронения ТБО, является и весьма консервативное отечественное законодательство, которое вместо жестких требований по обеспечению реализации современных экологически безопасных технологий в качестве гаранта экологической безопасности МСЗ требует организации достаточно больших санитарно-защитных зон и запрещает размещать МСЗ в пределах жилой застройки, тем самым исключается возможность эффективного их использования как ТЭЦ.

В последние годы в РФ возобновилось строительство МСЗ на современном технологическом уровне и планируется сооружение ряда МСЗ в ближайшей и среднесрочной перспективе. В настоящее время известен ряд методов термической переработки (обезвреживания) и утилизации ТБО, которые различаются по принципам, характеру и температурному уровню ведения процессов, их аппаратному оформлению, способу подготовки отходов к термической переработке, нацеленности на ликвидационный или утилизационный результат [3–7]. Основные методы термической переработки ТБО приведены на рис. 1–5.

Как свидетельствует практика, наиболее часто из всех термических методов используют слоевое или камерное сжигание смешанных (неподготовленных) или специально подготовленных (частично освобожденных от балластных веществ или обогащенных высококалорийными фракциями отходов) в установках (печах, котлоагрегатах) мусоросжигательных заводов либо в энергетических котлах, цементных печах (непосредственно в самих печах или в сателлитных топках при них). В последние десятилетия чаще стали использовать методы газификации и пиролиза, а также комбинированные методы на основе технологий Siemens, Noell и Thermoselect [4]. Значительно реже используются термические методы на основе плазменных технологий, а также в слоях шлакового или электрошлакового расплавов, доменного процесса.

Наметившаяся в последние десятилетия тенденция гармонизации и сближения нормативно-правовых актов обращения с отходами потребления и производства РФ и стран ЕС, а также социально-экономические условия, сложившиеся в нашей стране в области обращения с отходами, позволяют сделать вывод о том, что следует ожидать в ближайшие годы более быстрых темпов развития и применения термических методов и технологий переработки ТБО и приравненных к ним отходов, особенно в крупных городах и городских агломерациях нашей страны.

Это определяет актуальность разработки методических подходов и практических рекомендаций для принятия решений по выбору термических методов и технологий утилизации и обезвреживания ТБО, оптимальных для конкретных условий,

Рис. 1. Методы термической переработки ТБО

Рис. 2. Методы сжигания ТБО

Рис. 3. Методы газификации ТБО

Рис. 4. Методы пиролиза ТБО

Рис. 5. Комбинированные методы термической переработки ТБО

сложившихся на территориях их возможного применения с учетом заданного потока отходов, экономических возможностей, экологических, социальных и иных ограничений.

Для решения подобного класса задач применима традиционная методология, включающая в себя сравнение всех рассматриваемых технологий по следующим ключевым аспектам:

- экологичность;
- надежность (эффективность) переработки/обезвреживания;
- энергоэффективность;
- использование материального и энергетического потенциалов отходов;
- степень освоенности технологии;
- технологичность;
- экономические показатели;
- соответствие требованиям устойчивого развития.

Алгоритм выбора оптимальной технологии сводится к рассмотрению ряда известных достаточно широко применяемых технологий термической переработки отходов с оценкой их экологической, технико-экономической эффективности и социальной значимости с тем, чтобы выбрать из них наиболее адекватную, отвечающую требованиям заказчика и местным климато-географическим и другим значащим условиям, а также техническим возможностям ее реализации и экономической доступности.

В связи с разнородностью большого числа показателей применяется общепринятый для решения подобного класса задач формализованный подход, при котором все основные качественные характеристики рассматриваемых технологий оцениваются с помощью присваиваемых количественных коэффициентов и факторов приоритета:

$$K = C \times PF,$$

где K – результирующая оценка; C – численный количественный коэффициент каждого показателя; PF – численное значение фактора приоритета каждого показателя.

Для облегчения решения задач по выбору оптимального метода и технологии может быть использован предложенный нами комплексный критерий, включающий в себя техническую, экологиче-

скую, экономическую, социальную и ресурсную составляющие, позволяющий оценить приемлемость и целесообразность использования определенного метода и технологии с учетом местных условий. При использовании комплексного критерия можно формализовать информацию по следующим важным аспектам:

- объемам и равномерности образования отходов, их морфологическому составу, теплотворной способности и иным свойствам, которые определяют возможность их термической утилизации и обезвреживания определенным методом;
- ранжированию приоритетности выбора возможных методов и технологий сжигания (слоевым, камерным, в кипящем слое и др.), газификации, пиролиза или комбинированных методов на основе использования комплексного критерия;
- возможности сортировки и иной предварительной подготовки отходов с целью освобождения их от балластных (негорючих) веществ и обогащения высококалорийными фракциями, а также удаления опасных компонентов, приводящих к повышению эмиссии загрязняющих веществ и затрудняющих регламентное ведение основных технологических процессов;
- наличию круглогодичных внешних потребителей избыточного тепла (в виде горячей воды, пара) и электроэнергии по ценам, обеспечивающих требуемый уровень рентабельности работы МСЗ;
- наличию потребителей золошлаковых отходов, шламов и иных твердых вторичных отходов, образующихся при термической утилизации ТБО по экономически приемлемым ценам;
- наличию потребителей продукции, получаемой при газификации, пиролизе или комбинированных методах утилизации отходов (пиролизата, синтез газа, жидкого топлива и других продуктов) по экономически приемлемым ценам, обеспечивающим рентабельность утилизации отходов;
- обеспечению приемлемого уровня формирования экологической нагрузки и социальной привлекательности функционирования предприятия;
- логистическим затратам на доставку ТБО на предприятие, отпуск потребителям полученных продуктов и удаление вторичных отходов.

Апробация разработанных методических подходов была проведена на примере оценки целесообразности размещения в промышленной зоне «Осенцы» г. Перми пиролизного завода по утилизации всего потока ТБО г. Перми. Проведенный анализ местных условий (заданный смешанный поток ТБО без предварительной подготовки и обогащения высококалорийными фракциями, отсутствие внешних круглогодичных потребителей избыточной тепловой и электрической энергии, пиролизата и вторичного жидкого топлива в зоне планируемого размещения объекта по термической переработке ТБО методами пиролиза, высокая фоновая экологическая нагрузка на этой территории, значительные логистические затраты, связанные с необходимостью увеличения пропускной возможности дорожной сети и дальностью перевозки ТБО от мест их образования) позволил сделать рекомендации о нецелесообразности строительства такого предприятия в промышленной зоне «Осенцы» г. Перми.

Библиографический список

1. Кофман Д.И., Востриков М.М. Термическое уничтожение и обезвреживание отходов. – СПб.: Профессионал, 2013. – 340 с.
2. Кимхи Д. Комментарии к Псалому 27:13 // Классические библейские комментарии. Книга бытия. – М.: Олимп, 2010. – 701 с.
3. Пятикнижие Моисеево, с дословным русским переводом / пер. О.Н. Шнейдера. – Нью-Йорк, 1977. – 650 с.
4. Вайсман Я.И. Тенденции и перспективы управления твердыми бытовыми отходами на урбанизированных территориях // Вестник Пермского государственного технического университета. Урбанистика. – 2011. – № 1. – С. 81–99.
5. Бернадинер И.М., Ковальчук А.А. Утилизация твердых бытовых отходов методом паровоздушной газификации // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2 (14). – С. 81–96.
6. Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Олейник А.В. Технология твердых бытовых отходов. – М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2013. – 400 с.

7. Литун Д.С., Рябов Г.А. Сокращение объемов захоронения и пути энергоиспользования твердых бытовых отходов [Электронный ресурс]. – URL: http://incot.ru/www/docs/exh_acc/08_othody/14.pdf (дата обращения: 10.01.2015).

References

1. Kofman D.I., Vostrikov M.M. Termicheskoe unichtozhenie i obezvrezhivanie otkhodov [Thermal destruction and neutralization of waste]. Saint Petersburg: Professional, 2013. 340 p.

2. Kimkhi D. Kommentarii k Psalomu 27:13 [Comments to Psalm 27:13]. *Klassicheskie biblejskie kommentarii. Kniga Bitiya*. Moscow: Olimp, 2010. 701 p.

3. Pyatiknizhie Moiseevo, s doslovnym russkim perevodom [Nhe Pentateuch, Literal translation into Russian]. New York, 1977. 650 p.

4. Vaisman Y.I. Tendentsii i perspektivy upravleniya tverdymi bytovymi otkhodami na urbanizirovannykh territoriyakh [Developments and prospects of municipal Solid Waste management in urban areas]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2011, no. 1, pp. 81–99.

5. Bernadiner J., Kovalchuk A. Utilizatsiya tverdykh bytovykh otkhodov metodom parovozdushnoj gazificatsii [Municipal Solid Waste disposal method air-steam Gasification]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 2 (14), pp. 81–96.

6. Shubov L.Y., Stavrovskij M.E., Olejnik A.V. Tekhnologiya tverdykh bytovykh otkhodov [Technology of municipal solid waste]. Moscow: Alfa: INFRA-M, 2013. 400 p.

7. Litun D.S., Ryabov G.A. Sokrashchenie ob'emov zakhoroneniya i puti energoispolzovaniya tverdykh bytovykh otkhodov [Reduction in energy use and ways of disposal of municipal solid waste], available at: http://incot.ru/www/docs/exh_acc/08_othody/14.pdf (accessed 10 Januaru 2015).

Получено 20.01.2015

Ya. Vaisman

**RETROSPECTIVE ANALYSIS AND DEVELOPMENT
PROSPECTS FOR THE THERMAL WASTE
NEUTRALIZATION AND RECYCLING**

The article represents the results of a comprehensive retrospective analysis of thermal methods of municipal solid waste (MSV) neutralization and recycling from the primitive open burning to modern environmentally safe and economically viable technologies. The article also gives the evaluation of the development prospects of these methods and the developed by authors methodological approaches on the choice of thermal neutralization and MSV recycling technologies based on comprehensive environmental, economic, social and technological criteria.

Keywords: MSV, thermal methods of neutralization and recycling, choice of the methods and technologies, comprehensive criteria.

***Вайсман Яков Иосифович** (Пермь, Россия) – д-р мед. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: eco@pstu.ru).*

***Vaisman Yakov** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Medical Sciences, Professor of Department of Environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: eco@pstu.ru).*