

Александр Волошин, Киевский национальный экономический университет имени Вадима Гетьмана (Киев, Украина)

АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Вступление. Воздействие человека на природу требует мероприятий по нейтрализации загрязнения окружающей среды, поэтому охрана окружающей среды, в том числе переработка отходов – одно из обязательных составляющих высокоразвитого общества. На состояние окружающей среды большинства стран, в значительной степени, влияет неэффективное обращения с отходами, особенно – захоронение отходов на мусорных свалках, стихийных или специально организованных в виде «мусорных полигонов» поскольку, учитывая расходы на защитные сооружения, этот способ до сих пор остается самым дешевым. Однако этот способ борьбы с твердыми бытовыми отходами является неэффективным и устаревшим с экологической и экономической точки зрения.

Современные тенденции развития отрасли сбора и утилизации твердых бытовых отходов становятся все более направленными в сторону вторичного ресурсоиспользования (рециклинга), ведь твердые бытовые отходы – это богатый источник вторсырья (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов), а также «бесплатный» энергоноситель, ведь бытовой мусор – возобновляемое углеродистое энергетическое сырье для топливной энергетики. Поиск оптимальных, с экологической и экономической точки зрения, способов утилизации твердых бытовых отходов – важная задача, которая стоит перед каждой страной, стремящейся перейти к устойчивому развитию.

В связи с вышеизложенным, основной целью данной работы является проведение эколого-экономического анализа существующих способов утилизации твердых бытовых отходов.

Основная часть. Вторичные ресурсы – это отходы производства и потребления, пригодные для повторного изготовления из них готовой продукции, из чего следует их экономическое значение как:

– большого резерва экономии материальных затрат;

- резерва улучшения окружающей среды;
- эффективного метода воспитания бережливости людей.

Благодаря стремительному развитию современных технологий, с каждым годом разрабатывается значительная часть новых способов утилизации твёрдых бытовых отходов, однако самыми распространёнными способами (помимо использования мусорных полигонов) до сих пор являются:

- мусоросжигание в топочных устройствах;
- биотермическое компостирование;
- пиролиз;
- плазменная газификация;
- комбинированные методы.

Мусоросжигание в топочных устройствах – наиболее распространённый в мире способ обезвреживания твердых бытовых отходов. Используя его, можно обезвредить практически весь бытовой мусор. Однако ликвидировать существующие свалки и предотвратить образование новых можно только в случае достижения полной безотходности технологического процесса мусоросжигания, что позволило бы ликвидировать опасные источники загрязнения окружающей среды. Существующие технологии, по которым работает большинство мусоросжигательных заводов, не обеспечивают безотходности данного процесса. Тем не менее, благодаря применению этого метода, используется один из нетрадиционных, постоянно возобновляемых видов топлива для получения дешевой тепловой и электрической энергии. Это особенно важно сейчас, когда запасы ископаемых видов топлива близки к истощению, а потребность в энергии стремительно растёт.

Правда, применение такого нетрадиционного топлива, достаточно низкого, в сравнении с ископаемым, качества, выдвинуло на передний план задачу экологической безопасности и эффективности при сжигании. Однако такие факторы, как постоянное наличие такого топлива в значительных количествах, его естественное распределение по всей населённой территории в зависимости от численности населения, отсутствие необходимости в дорогих перевозках, обуславливают значительное внимание к такому способу утилизации отходов.

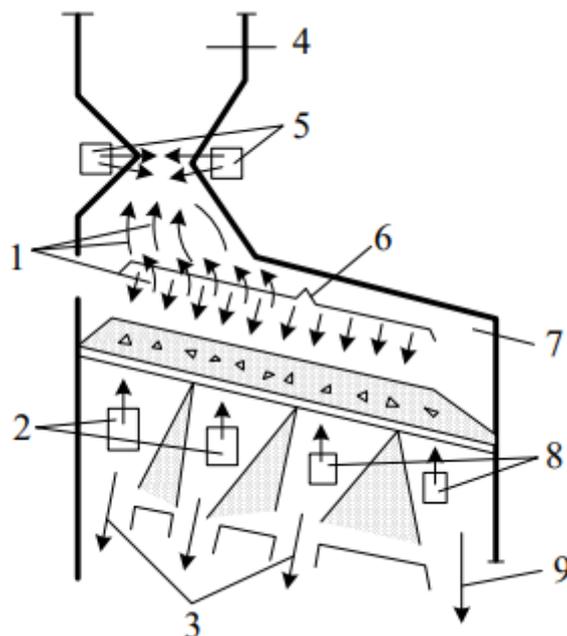
Опыт сжигания бытового мусора показал, что наибольшую эффективность горения можно достичь при организации комбинированного метода: шарового

(основного) и камерного (для дожигания продуктов термического разложения).

Шаровой метод сжигания (Рис. 1) имеет ряд важных преимуществ:

- сжигание высоковлажных отходов без их предварительного подсушивания;
- высокая стабильность процесса горения в определенном и необходимом диапазоне формирования процесса;
- возможность сжигания выходного бытового мусора без какой-либо предварительной подготовки (сортировка, дробление, за исключением крупногабаритных предметов, сепарация металла и т.д.),
- программное управление работой механизмов топочного устройства для обеспечения максимально возможной полноты сгорания отходов.

Рисунок 1. – Схема двухслойного процесса сгорания твердых бытовых отходов



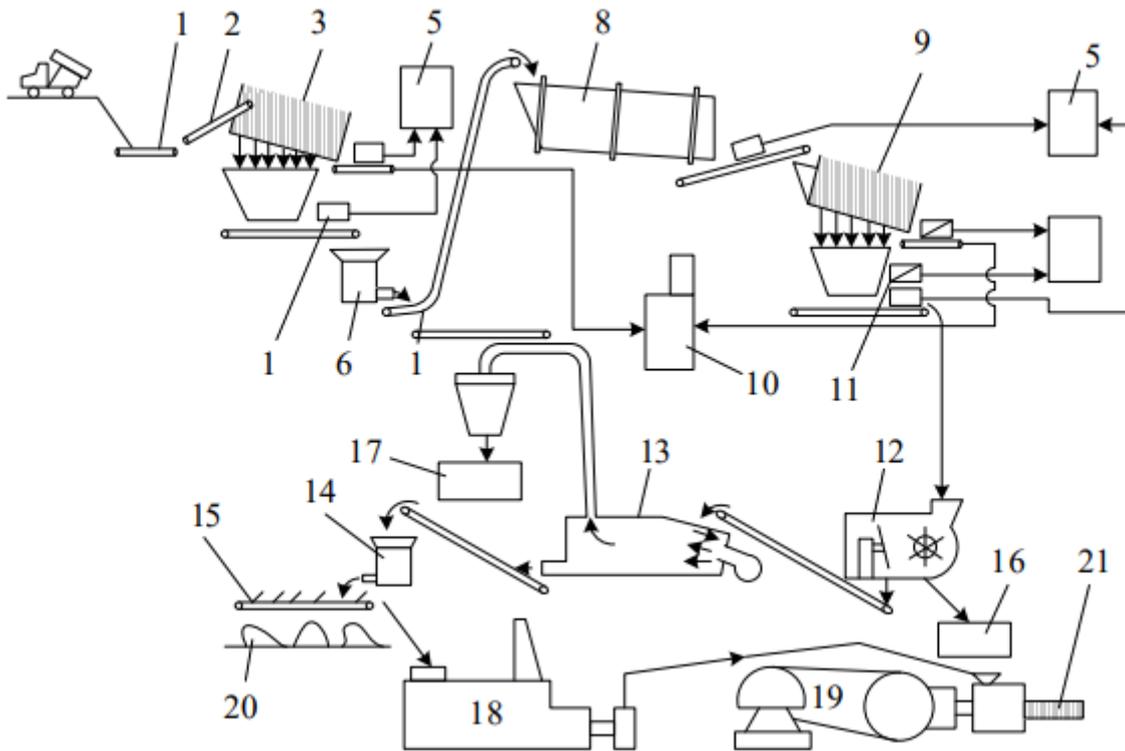
- 1 – летучие компоненты;
- 2, 8 – первичный воздух,
- 3 – провал и шлак,
- 4 – камера догорания;
- 5 – вторичный воздух;
- 6 – бытовые отходы;
- 7 – топочная камера;
- 9 – шлак [Петрук и др., 2013, с. 120].

При сравнительной экономической эффективности такого метода утилизации твёрдых бытовых отходов, как мусоросжигание в топочных устройствах, его экологическая эффективность, в подавляющем большинстве случаев (помимо современных экологически – безопасных мусоросжигательных заводов, количество которых на данный момент времени крайне ограничено), находится на очень низком уровне [Петрова, Войтович 2013, с. 77-80]. Помимо того, что значительная часть вредных веществ не сгорает при температурах, используемых в мусоросжигательных заводах, сам процесс сопровождается значительным количеством выбросов вредных веществ и углекислого газа в атмосферу.

В основе биотермических методов утилизации твердых бытовых отходов лежит жизнедеятельность микроорганизмов, использующих кислородную составляющую воздуха и органическое вещество твердых бытовых отходов с выделением значительного количества тепла [Дорофеев, Майстренко 2015, с. 131-134]. Конечным продуктом биотермической переработки отходов является компост (органическое удобрение). Компостированию подлежит 67% общей массы бытовых отходов. Часть, которая не подлежит компостированию (33%), либо вывозится на полигоны, либо должна утилизироваться другим способом, что значительно уменьшает экономическую целесообразность данного метода.

Процесс компостирования происходит в биотермическом барабане, в котором в качестве энергетического материала используются аэробные микроорганизмы, которые способствуют окислению и разложению органической массы бытовых отходов (рис. 2). Температура процесса составляет 60 °С.

Рисунок 2. – Принципиальная схема биотермического мусороперерабатывающего завода.



- 1 – питатель пластинчатый;
- 2 – ленточный конвейер,
- 3 – грохот первичной сортировки,
- 4 – Железоотделитель,
- 5 – пакетирующий пресс;
- 6 – измельчитель;
- 7 – элеватор ковшовый;
- 8 – барабан биотермический;
- 9 – грохот барабанный;
- 10 – установка для балласта;
- 11 – сепаратор цветных металлов;
- 12 – сепаратор стекла;
- 13 – сепаратор пленки;
- 14 – измельчитель;
- 15 – сбрасыватель плужковый;
- 16 – сборка стекла;
- 17 – сборка пленки;

- 18 – печь сушки;
- 19 – пресс;
- 20 – компост;
- 21 – брикеты [Петрук и др., 2013, с. 106]

В зависимости от состава отходов в результате технологического процесса выделяются следующие вредные вещества: пыль органического и минерального происхождения, окись углерода, толуол, ксилол, углеводороды, бензол, ацетон, диоксины и другие [Шерстобитов, Лебедев 2011, с. 79–84]. Кроме того, компост, изготовленный из бытового мусора и внесенный в почву, приводит к значительному загрязнению его такими тяжелыми металлами (токсичными элементами), как сурьма, ртуть, кадмий, висмут, медь, свинец, серебро, олово, вольфрам, молибден, хром, а также вызывает существенное накопление этих элементов в сельхозпродуктах. Также в компосте содержится значительное количество пластмассы, резины, битого стекла и других компонентов, которые не подлежат компостированию, которые при внесении удобрения в почву существенно загрязняют его.

Многочисленное внесение компоста на поля может привести к значительному накоплению вредных элементов в почве и увеличения их роли в биологическом круговороте. Выявлено, что по сравнению с почвами, не обработанными компостом, в почвах с одноразовым внесением компоста увеличено содержание таких элементов как свинец, цинк, медь, молибден, серебро в 1,5-2 раза, ртути – в 10 раз.

Опыт биохимических исследований показывает, что под воздействием выветривания подвижность и доступность микроэлементов для растений увеличивается. Поэтому загрязнение сельскохозяйственной почвы является неконтролируемым процессом.

Таким образом, можно утверждать, что мусороперерабатывающий завод биотермического типа не решает основную экологическую проблему – защиту окружающей среды от загрязнений, содержащихся в мусоре. Фактически, мусор, со всеми примесями тяжелых металлов, радиоактивными и другими возможными вредными веществами, содержащихся в нем, превращается в форму, удобную для внесения на поля в качестве удобрения или в теплицы в качестве биотоплива. Вредные примеси переходят в состав растительной продукции, попадают в грунтовые воды и, соответственно, в питьевую воду.

Засорение почвы на полях происходит не только вредными веществами, а и просто огромной количеством твердых остатков металлического, полимерного и стеклянного происхождения мелкого и среднего размера. Происходит интенсивное накопление в почве твердых, острых предметов, которые не изменяют свою структуру десятки лет.

Частичного решения экологических проблем, связанных с компостированием, можно достичь, обрабатывая компост специальным сорбентом с помощью поливомоечной машины. Такая обработка необходима для связывания в компосте солей тяжелых металлов и, следовательно, прекращения их миграции в растительную продукцию. При этом необходимо осуществлять предварительную сортировку бытовых отходов, поступающих на мусороперерабатывающий завод с целью очистки его от металла, батареек, стекла, пленки, камней и других компонентов.

Однако, даже после осуществления вышеперечисленных мер по нейтрализации экологической опасности, компост не становится абсолютно безопасным, что вызвано следующими причинами:

- предварительная сортировка так называемых «инертных материалов» никогда не может быть полной из-за того, что каждый «инертный» компонент находится в огромной массе бытового мусора в относительно малых количествах, удалить который можно максимально на 15-20%. Что же касается тяжелых металлов, то они вообще практически неуловимы.
- для реагирования сорбента с тяжелым металлом, поверхность последнего должна быть открытой, без всякой оболочки.
- невозможно определить, где находятся мизерные по размерам и количеству такие токсичные тяжелые металлы, как ртуть, стронций, хром, кадмий, свинец и другие, чтобы их обработать сорбентом.
- «обливание» компоста с помощью поливомоечной машины, благодаря достаточно высокой плотности компоста и его большой влажности не возымеет должного эффекта, ведь сорбент не проникнет на внутреннюю часть компоста
- качество обработки сорбентом всей массы компоста должно постоянно и непрерывно контролироваться на всей территории сельскохозяйственных угодий, однако, осуществление такого контроля практически нереально.

Таким образом, можно констатировать, что биотермическое компостирования могло бы найти применение для сельской местности, где есть значительное количество сельскохозяйственных отходов, которые не содержат тяжелые металлы и другие вредные, в том числе радиоактивные, компоненты. Продукцию такого компостирования можно использовать как удобрения почвы в теплицах или на ограниченных территориях земли.

Что же касается применения способа «компостирования» для твердых бытовых отходов, собираемых в городах, особенно в промышленно развитых, то он может оказаться востребованным для выработки компоста только в качестве удобрения почв, отведенных для цветоводства, и ни в коем случае для пищевой растительной продукции. Правда, в этом случае производительность мусороперерабатывающего завода определяется потребностью только для выращивания цветов, следовательно, подобный способ нельзя применять в больших масштабах.

Пиролиз – энерготехнологический процесс термического разложения без доступа воздуха с целью получения газообразного продукта для использования его в энергетике и других отраслях промышленности. Однако, этот способ газификации широкого распространения не получил в силу значительных трудностей в регулировании и управлении самим процессом, хранением, транспортировкой и применением по сравнению с невысокой ценностью конечного продукта [Жадан, Верютіна 2013, с. 53-57.].

Под пиролизом (газификацией) твердых бытовых отходов понимается необратимое химическое изменение компонентов бытового мусора при их термическом разложении без доступа кислорода, результатом которого является образование различных химических соединений.

Процесс пиролиза может быть выборочным и не выборочным. При выборочном процессе разрушается определенная химическая связь в молекуле компонента отходов с тем, чтобы обеспечить высокий выход целевого продукта. Поскольку твердые бытовые отходы – сырьё, которое очень различается по размеру, составу и химическому строению, возможность проведения выборочного процесса пиролиза отходов исключается, так как влиять на определенную химическую связь невозможно.

При термическом разложении ТБО можно выделить в основном два типа реакций:

- 1) термический распад исходного вещества и дальнейшее разложения промежуточных соединений;

2) конденсация и полимеризация молекул, которые образовались в результате первичных реакций деструкции исходного сырья.

Сам процесс пирогаенетического разложения отходов характеризуется выделением газа, смолы, углеродного твердого остатка (кокса). Соотношение количества получаемых газообразных, жидких и твердых продуктов, а также их состав зависит от условий, при которых протекает процесс пиролиза, и состава исходных бытовых отходов. В результате газификации углерод под влиянием окислителя (воздуха, кислорода, водяного пара) переходит в газообразное топливо. Твердый остаток, оставшийся после этого содержит минеральную часть отходов.

Таким образом, учитывая разнообразие компонентов в бытовом мусоре, нельзя однозначно оценить тепловой эффект реакции пиролиза. Однако можно предположить, что, в основном, реакции, протекающие при пиролизе, эндотермические, поэтому их суммарный тепловой эффект недостаточен для поддержания процесса.

Следует привести еще два основных недостатка процесса пиролиза:

1. Единичная производительность установки для осуществления процесса с целью обезвреживания бытовых отходов не может быть большой. Причина заключается в том, что с увеличением производительности установки значительно усложняются ее узлы, а сам процесс становится неконтролируемым.
2. Для осуществления процесса пиролиза такого низкокалорийного топлива как твердые бытовые отходы требуются значительные дополнительные энергоресурсы, что вызывает большие эксплуатационные расходы. Более того, для сжигания пиролизного газа, который образуется, тоже низкокалорийного, необходимо затратить значительное количество дополнительного ископаемого топлива с целью обеспечения стабилизации процесса горения. Таким образом, двойной расход ископаемого топлива (как для процесса пиролиза, так и для использования полученного газа) делает этот способ энергозатратным, а потому менее экономичным. Причем, для использования пиролизного газа нужна котельная установка, строительство которой значительно увеличивает капитальные затраты на содержание мусороперерабатывающего предприятия, основанного на методе «Пиролиз».

Сторонники высоких температур считают, что плазменная газификация – единственный рецепт достижения безвредности процесса и обеспечения экологической безопасности [Тімченко и др., 2015. с. 448-454]. Сущность данного метода заключается

в применении плазменного сжигания бытовых отходов при сверхвысоких температурах (2000-3200 ° K). Указанный метод получения и использования плазмы заимствован из атомной энергетики.

Этот метод позволяет проводить «глубокую переработку» бытового мусора с получением высококалорийного (11-13 тыс. кДж / м³) синтез-газа для дальнейшего производства тепловой энергии в виде пара или горячей воды. Оставшийся твердый продукт (шлак), может гранулироваться и использоваться для устройства дорог и других строительных нужд.

Предлагаемый процесс переработки отходов заключается в «управляемом окислении бытового мусора на поверхности шлакового расплава в зоне действия плазменных струй с переводом компонентов отходов в металлический и шлаковый расплавы и газовую фазу». При этом, выходные газы окисляются и состоят в основном из CO, H₂O и N₂ (при окислении воздухом или кислородом). А сам процесс переработки ведется в зоне действия плазменных струй с добавкой необходимого количества кислорода.

Образованный в результате процесса плазменной газификации синтез-газ используется для производства сначала тепла, а затем, при необходимости, электрической энергии.

Осуществлению процесса плазменной газификации должна предшествовать определенная подготовка бытового мусора, а именно:

- сушка до определенного значения остаточной влажности, для чего необходимы дополнительные площади, оборудование и энергоресурсы;
- дробление всего мусора во фракцию 20-40 см; это является одной из самых тяжелых проблем, поскольку практически отсутствуют дробильные устройства, которые измельчают к указанной фракции металл, строительный мусор, включая железобетонные изделия и проч.

Все это значительно увеличивает капитальные затраты предприятия и его эксплуатационные расходы.

Помимо этого, для достижения необходимой температуры процесса в 3200 ° K требуется огромное количество дорогих энергоресурсов, которое превышает тепловой потенциал отходов.

Процесс плазменного сжигания для обезвреживания бытовых отходов также достаточно энергоемкий, из-за чего он на данный момент времени не является самокупаемым. Капитальные затраты, к которым относится не только стоимость

строительства самой установки, но и стоимость разработки конструкций и изготовление специальных газоочистных устройств, а также стоимость строительства теплоэнергетической установки и необходимых для нее вспомогательных сооружений, не являются окупаемыми, поскольку эксплуатационные расходы в подобном предприятии несравненно больше чем у объектов подобной мощности переработки отходов.

Сложность указанного высокотемпературного процесса требует применения специальных и дефицитных материалов, контрольных измерительных приборов, высококвалифицированного инженерно-технического и обслуживающего персонала. Все это усложняет обслуживание и эксплуатацию объекта жилищно-коммунального сектора любого города, а также увеличивает его пожаро – и взрывоопасность.

В последнее время ряд специалистов и организаций предлагают применять комбинированные методы обезвреживания твердых бытовых отходов, составленные из вышеизложенных методов [Козій, и др., 2008, с. 122-125].

Обязательным элементом в каждом предложенном методе есть устройство предварительной сортировки бытовых отходов. При этом необходимо отметить, что сортировка отходов не должна сдерживать непрерывность работы по ликвидации отходов. Технологические линии основного метода обезвреживания должны включать отделение для накопления отсортированных компонентов на такое их количество, которое будет достаточным для нормальной работы линии в течение не менее трех суток. Отделение предварительной сортировки должно быть отделено от линии основного метода обезвреживания, иметь свой эксплуатационный персонал, свои въезд и выезд для транспорта, собственные складские помещения.

Одним из комбинированных методов обезвреживания отходов является комплекс, состоящий из мусороперерабатывающего завода, который использует метод биотермического компостирования, и отделение, работающее по методу пиролиза. Причиной появления такого комбинированного метода поспособствовал тот факт, что биотермическому компостированию подлежит лишь 67% общей массы бытового мусора, а оставшиеся 33% подлежат возврату на свалку. Поэтому предполагается, что эта некомпостируемая часть должна использоваться в процессе пиролиза, а значит, из нее будет производиться пиролизный газ, для получения тепловой энергии.

Однако, с точки зрения экономической и экологической состоятельности, комбинированные методы тоже не являются безупречными. Исходя из специфики комбинированного метода переработки, на одной территории должны располагаться

два отдельных, не связанных между собой предприятия, что увеличивает капитальные расходы примерно в два раза. Резко возрастают и эксплуатационные расходы. Причем, если учесть, что пиролизный газ, помимо того, что имеет низкую тепловую ценность, не может передаваться внешним потребителям, то необходимыми дополнительными затратами будет строительство на этой же территории еще и компрессорной станции и теплоэнергетической установки с высокоэффективными газоочистными устройствами как после процесса пиролиза, так и после процесса сжигания пиролизного газа. Все это еще больше увеличивает капитальные и эксплуатационные расходы.

Что же касается безотходности комбинированного способа, то эта задача также остается не до конца решенной, поскольку оставленная после выделения пиролизного газа минеральная часть отходов должна быть отправлена на золошлакоотвалы.

Таким образом, комбинированный способ, включающий компостирование бытовых отходов и пиролиз части, которая не поддается компостированию, в том виде, в котором он предлагается в большинстве проектов в настоящее время, не решает главного экологического вопроса, является дорогостоящим и дотационным.

Подводя итоги стоит отметить, что на данный момент не существует оптимального способа утилизации твердых бытовых отходов, соотношение экономической и экологической эффективности находится в состоянии, близком к обратной зависимости, так, самый эффективный способ утилизации с экономической точки зрения – мусоросжигание в топочных устройствах, оказывает крайне негативное влияние на экологию, а самый «экологически чистый метод» - плазменное сжигание, является очень дорогостоящим. Таким образом, решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов ставит человечество перед сложным выбором, и, выбирая экономические выгоды краткосрочного периода, необходимо осознавать тяжелые экологические последствия, которые оказывают значительное негативное влияние в долгосрочной перспективе.

Библиография

1. Дорофеев В. С., Майстренко О. Ф. (2015). Сучасні рішення по переробці твердих побутових відходів та досвід утилізації їх в будівельній галузі. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Вип. 57. – С. 131-134.
2. Жадан Л. В., Верютіна В. Ю. (2013). Еколого-економічні проблеми утилізації твердих побутових відходів. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. – № 66. – С. 53-57.

3. Козій О. І., Петрук М.П., Вахула О.М. (2008). Термічне знешкодження твердих побутових відходів: європейський досвід. Коммунальное хозяйство городов. Серия: Технические науки и архитектура : науч.-техн. сб. Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – С. 122-125.

4. Петрова М. А., Войтович М. О. (2013). Напрямки підвищення екологічної безпеки термічної утилізації твердих побутових відходів. Зб. наук. стат. IV-й всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology). – С. 77-80.

5. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Суркова Є. О., Козюра С. С. (2015). Використання новітніх технологій для утилізації відходів крупних міст. Містобудування та територіальне планування – Вип. 55. – С. 448-454.

6. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Кватернюк С. М., Турчик П. М., Іщенко В. А., Петрук Р. В. (2013). Управління та поводження з відходами. Частина 2. Тверді побутові відходи. Навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ – С. 120.

7. Шерстобитов М.С. , Лебедев В.М. (2011). Способы утилизации твёрдых бытовых отходов. Известия Транссиба.– №7. – С. 79-84

Oleksandr Voloshyn, Kyiv National Economic University named after Vadim Getman (Kyiv, Ukraine)

ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF EXISTING WAYS OF UTILIZATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE

***Abstract.** Nowadays, achieving of sustainable development became impossible without effective, both from an environmental and from an economic view, solution of the problem of recycling of solid waste. The paper gives an overview of the ecological and economic efficiency of the main existing methods for utilization of solid domestic waste, namely, incineration in combustion plants, biothermal composting, pyrolysis, plasma gasification, use of combined methods. The essence of the widespread methods of utilization of solid domestic waste, their scope. The main drawbacks of the existing methods of solid domestic waste utilization were also outlined: such incineration in combustion plants is the most appropriate from the economic point of view, but poorly solves the problem of environmental pollution, because a significant part of harmful substances do not burn at temperatures used in incineration plants and the process is accompanied by a significant amount of emissions of harmful substances and carbon dioxide into the atmosphere; when using a biothermal composting, debris, with all heavy metal impurities, radioactive and other possible harmful substances, is just applied to the fields as a fertilizer or in a greenhouse as a biofuel; when pyrolysis is used, the unit's capacity for the process to dispose of household waste cannot be large; to carry out the process of pyrolysis of such low-calorific fuel as solid household waste, considerable additional energy resources are required, which causes high operating costs; the process of plasma combustion to neutralize domestic waste is quite energy intensive, which is why it is not currently self-supporting at the moment.*

***Keywords:** municipal solid waste, utilization, incineration, biothermal composting, pyrolysis, plasma gasification, ecological efficiency, economic efficiency*