

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ SRF И RDF НА ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДАХ УКРАИНЫ

Гапонич Л.С., Голенко И.Л., Топал А.И.

Институт угольных энерготехнологий Национальной академии наук Украины
ул. Андреевская, 19, 04070, г. Киев
haponych@ukr.net

За последние годы в Украине объемы сбора твердых бытовых отходов достигают 11–12 млн т. По нашим расчетам, теплота сгорания необработанных твердых бытовых отходов для городов Украины составляет 4,8–7,0 МДж/кг. Согласно Директиве № 1999/31/ЕС, на полигоны нельзя вывозить отходы с теплотой сгорания более 6,0 МДж/кг. Национальной стратегией управления отходами в Украине до 2030 г., которая определяет правительственную политику в этой сфере, предусмотрено уменьшение объемов захоронения твердых бытовых отходов до 80% в 2018 г., до 50% в 2023 г. и до 30% в 2030 г. Кроме того, планировалось увеличение уровня термической переработки до 5% в 2018 г., до 7% в 2023 г. и до 10% в 2030 г. В 2019 г. в Украине переработано и утилизировано всего 5,4% твердых бытовых отходов, из них термически переработано меньше 2%. Почти 95% собранных и не обработанных твердых бытовых отходов поступают на полигоны для захоронения. Поэтому сегодня в Украине актуальной является задача увеличения уровня переработки твердых бытовых отходов, в том числе термической. Приоритетным направлением деятельности является превращение отходов в ресурсы и снижение объемов их образования.

Основная тенденция в управлении твердыми бытовыми отходами в странах Европейского Союза заключается в их комплексной переработке – раздельном сборе, сортировке, механико-биологической обработке и производстве энергетического топлива RDF и SRF из оставшихся фракций твердых бытовых отходов. Преимуществом этого подхода является превращение отходов в товарную продукцию, которая может накапливаться, складироваться, транспортироваться, а ее качественные характеристики могут варьироваться. Теплота сгорания RDF и SRF в зависимости от морфологического состава исходных твердых бытовых отходов и технологии производства составляет 8–25 МДж/кг. RDF и SRF имеют более однородный физический и химический состав, чем твердые бытовые отходы. В Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн т RDF / SRF топлив с теплотой сгорания 15–7 МДж/кг.

В последние годы в Украине производится порядка 9 млн т цемента. Наши расчеты показывают, что в 2018 г. расход энергоресурсов в цементной промышленности Украины в пересчете на уголь составил 1,2 млн т. В странах Европейского Союза в качестве альтернативного топлива в цементных печах активно применяют компоненты твердых бытовых отходов или топлива, полученные на их основе. Использование на цементных заводах RDF / SRF способно частично заменить дефицитный в Украине уголь с соблюдением требований Европейского Союза по обращению с отходами. *Ключевые слова:* твердые бытовые отходы, твердое восстановленное топливо, теплота сгорания, отходы в энергию, цементный завод.

Перспективи використання SRF та RDF на цементних заводах України. Гапонич Л.С., Голенко І.Л., Топал О.І.

За останні роки в Україні обсяги збору твердих побутових відходів досягають 11–12 млн т. За нашими розрахунками, теплота згорання необроблених твердих побутових відходів для міст України становить 4,8–7,0 МДж/кг. Згідно з Директивою № 1999/31/ЄС, не можна вивозити на полігони відходи з теплою згорання понад 6 МДж/кг. Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 р., яка визначає урядову політику в цій сфері, передбачено зменшення обсягів поховання твердих побутових відходів до 80% у 2018 р., до 50% у 2023 р. і до 30% у 2030 р. Крім того, планувалося збільшення рівня термічного перероблення до 5% у 2018 р., до 7% у 2023 р. і до 10% у 2030 р. У 2019 р. в Україні перероблено й утилізовано всього 5,4% твердих побутових відходів, із них термічно перероблено менше ніж 2%. Майже 95% зібраних і не оброблених твердих побутових відходів надходять на полігони для поховання. Тому нині в Україні актуальною є задача підвищення рівня перероблення твердих побутових відходів, у тому числі термічного. Пріоритетним напрямком діяльності є перетворення відходів у ресурси й зменшення обсягів їхнього утворення.

Основна тенденція в управлінні твердими побутовими відходами в країнах Європейського Союзу полягає в їхньому комплексному переробленні (роздільний збір, сортування, механіко-біологічна обробка) й виробництві енергетичного палива RDF / SRF із решти фракцій твердих побутових відходів. Перевагою цього підходу є перетворення відходів у товарну продукцію, яка може накопичуватися, складуватися, транспортуватися, а її якісні характеристики можуть варіюватися. Теплота згорання RDF і SRF в залежності від морфологічного складу вихідних твердих побутових відходів і технології виробництва становить 8–25 МДж/кг. RDF і SRF мають однорідніший фізичний і хімічний склад, ніж тверді побутові відходи. В Україні є потенціал для щорічного виробництва 1,5–2,0 млн т RDF / SRF палив із теплою згорання 15–17 МДж/кг.

В останні роки в Україні виробляється майже 9 млн т цементу. Наші розрахунки показують, що у 2018 р. витрата енергоресурсів у цементній промисловості України в перерахунок на вугілля склала 1,2 млн т. У країнах Європейського Союзу як альтернативне паливо в цементних печах активно залучають компоненти твердих побутових відходів або палива, отримані на їх основі. Використання на цементних заводах RDF / SRF здатне частково замінити дефіцитне в Україні вугілля з додержанням вимог Європейського Союзу щодо поводження з відходами. *Ключові слова:* тверді побутові відходи, тверде відновлюване паливо, теплота згорання, відходи в енергію, теплота згорання, цементний завод.

The prospects to use SRF and RDF at cement plant of Ukraine. Haponych L., Holenko I., Topal O.

During the last years the amount of municipal solid waste (MSW) in Ukraine has reached almost 11–12 mln t annually. According to our estimate, heating value of not-sorted MSW from the cities of Ukraine varies in the range of 4.8–7.0 MJ/kg. As to Directive

№ 1999/31/EU, it is not allowed for waste having heating value higher than 6 MJ/kg to be disposed at a landfill. The National strategy of waste management in Ukraine till 2030, which determines the government politics in this sphere, envisions a decrease in the volumes of MSW burial to 80% in 2018, to 50% in 2023, and to 30% in 2030. In addition, it was planned to enhance the level of thermal treatment to 5% in 2018, to 7% in 2023, and to 10% in 2030. In 2019, only 5.4% from MCW were treated and utilized, and less than 2% of them were treated. About 95% of gathered and nontreated MSW come to range for burial. In view of this it is of great importance for Ukraine to increase the level of utilization of MSW including those using thermal treatment. The priority directions of activity lie here waste transformation into resources and the reduction of volumes of their formation.

The main idea in MSW management in EU countries is to follow their complex treatment – separated collection, sorting, mechanical-biological treatment, production of energy fuels as RDF and SRF from remaining fraction of MSW. The advantages of such approach are conversion of wastes toward useful end-products/goods which can be accumulated, stored up, transported, and can have qualitative characteristics to be varied as needed. Heating value of RDF and SRF is about 8–25 MJ/kg depending on morphological composition of initial MSW and way of production. RDF and SRF have more uniform physical and chemical composition compared to MSW. In Ukraine there is a potential for annual production of RDF / SRF fuel as much as 1.5–2.0 mln t having heating value of 15–17 MJ/kg.

During the last years, about 9 mln t of cement are produced in Ukraine. Our calculations show that, in 2018, the consumption of energy resources in the cement industry of Ukraine in terms of coal was 1.2 mln t. In EU countries components of MSW or fuels derived from it are actively used as alternative fuel in cement plant. The use of RDF/SRF at cement plants is capable to partly substitute coal being deficit fuel in Ukraine while meeting the requirements of EU on waste management. *Key words*: municipal solid waste, solid recovered fuel, heating value, waste to energy, cement plant.

Постановка проблемы. Верховная Рада Украины и Европейский Парламент 16 сентября 2014 г. синхронно ратифицировали Соглашение об ассоциации между Украиной, с одной стороны, и Европейским Союзом (далее – ЕС), Европейским сообществом по атомной энергии и их государствами-членами, с другой стороны (далее – Соглашение об ассоциации). Это Соглашение предусматривает постепенное приближение законодательства Украины к политике и законодательству ЕС в сфере охраны окружающей среды в 8 секторах: управление окружающей средой и интеграция экологической политики в другие отраслевые политики, качество атмосферного воздуха, управление отходами и ресурсами, качество воды и управление водными ресурсами, включая морскую среду, охрана природы, промышленное загрязнение и техногенные угрозы, изменение климата и защита озонового слоя, генетически модифицированные организмы.

Политика в области управления отходами в ЕС определяется восемью директивами, из них в список Соглашения об ассоциации вошли три: Рамочная Директива № 2008/98/ЕС от 19 ноября 2008 г. об отходах и отмене некоторых директив, Директива № 1999/31/ЕС от 26 апреля 1999 г. о захоронении отходов и Директива № 2006/21/ЕС от 15 марта 2006 г. об управлении отходами добывающих предприятий. Внедрение этих директив в Украине связано со значительными изменениями в законодательстве в сфере управления отходами. Срок внедрения директив составляет от 2 до 5 лет, с 2019 до 2022 г. Важным этапом имплементации директив ЕС в сфере обращения с отходами является разработка и одобрение распоряжением Кабинета Министров Украины № 820-р от 8 ноября 2017 г. Национальной стратегии управления отходами в Украине до 2030 г. (далее – Стратегия), которая определяет правительственную политику в сфере обращения с отходами. Задачей Стратегии является очистка окружающей среды и уменьшение отходов, в том числе твердых бытовых отходов (далее – ТБО), поступающих на полигоны для захоронения.

Актуальность исследований. Стратегией предусмотрено уменьшение объема захоронения ТБО до 80% в 2018 г. и до 30% в 2030 г. Кроме того, в соответствии с Директивой № 1999/31/ЕС, до 2030 г. планируется сокращение количества полигонов ТБО с 6 000 до 1 000 и строительство 19 стационарных установок термической утилизации отходов. Приоритетным направлением деятельности является превращение отходов в ресурсы и снижение объемов их образования.

Связь авторского исследования с важными научными и практическими заданиями. В последние годы в Украине объемы сбора ТБО достигают 11–12 млн т/год, при том, что только 77–78% населения Украины охвачено услугами по сбору и вывозу ТБО. В 2019 г. в Украине переработано и утилизировано всего 5,4% ТБО, из них 1,7% сожжено и 3,7% попало на заготовительные пункты вторичного сырья и мусороперерабатывающие установки. Почти 95% собранных и не обработанных ТБО накапливается на полигонах. В Украине работает только один мусоросжигательный завод «Энергия» (г. Киев). В 2019 г. на нем было сожжено 198,4 тыс. т несортированных ТБО с теплотой сгорания 7,1 МДж/кг. Завод может производить 227 тыс. Гкал тепловой и до 50,7 млн кВт·ч электрической энергии в год. Сегодня в Украине актуальной является задача увеличения уровня переработки ТБО, в том числе термической. Разработка научных основ и экологически безопасных технологий термической переработки альтернативных топлив, в том числе ТБО, является важной научной и актуальной практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. ТБО – это отходы, которые образуются в процессе жизнедеятельности человека, накапливаются в жилых домах и учреждениях социальной сферы и непригодны к дальнейшему использованию по месту их появления. Количественные и качественные характеристики ТБО не являются постоянными и зависят от страны, города или поселка их образования, времени года [1; 2]. Усредненный морфологический

состав ТБО в Украине (данные взяты из Шестого национального сообщения Украины по вопросам изменения климата) таков: пищевые отходы – от 35 до 50%, бумага и картон – от 10 до 15%, вторичные полимеры (пластмассы, ПЭТФ бутылки, полимерная пленка, ТетраПак упаковка) – от 9 до 13%, стекло – от 8 до 10%, черные и цветные металлы – 2%, текстильные материалы – от 4 до 6%, древесина – 1%, строительный мусор – 5%, другие отходы (уличный мусор, листья, гигиенические средства, кости, кожа, резина, комбинированные отходы, опасные отходы и так далее) – 10%. Морфологический состав ТБО существенно меняется в течение года, летом и осенью увеличивается доля органических отходов, зимой – неорганического вещества.

Учитывая высокую стоимость и строительства, и эксплуатации установок сжигания и совместного сжигания топлив, полученных с ТБО [3; 4], перспективы их энергетической утилизации в Украине возможны только тогда, когда захоронение отходов будет дороже переработки. На сегодня в Украине захоронение ТБО на полигонах остается самым дешевым из всех видов обращения с ТБО. Ставка налога на захоронение ТБО в Украине составляет 7,5 грн/т (37,86 грн/м³) или 0,25 €/т, тогда как в странах ЕС – 50–350 €/т [3].

При термической переработке ТБО образуется энергия, которая может быть использована для производства электроэнергии и тепла [3]. Термин «Отходы в Энергию» (Waste-to-Energy, WtoE, W2E) включает не только инсинерацию смешанного потока ТБО, но и получение возобновляемого топлива из бытовых и/или промышленных отходов – RDF (Refuse Derived Fuel), SRF (Solid Recovered Fuel) и биогаза с последующей их утилизацией на тепловой электростанции, теплоэлектроцентрали либо в энергоустановках промышленных предприятий [2]. Инсинератор – это установка для утилизации различных типов отходов путем высокотемпературного сжигания с последующей очисткой дымовых газов. Инсинерация позволяет на 90% уменьшить объем и на 75% – массу ТБО. Для инсинерации применяют три основных вида термической обработки отходов: сжигание (полное окислительное сгорание) – наиболее распространенный процесс, пиролиз (термическая деструкция органического материала в отсутствие кислорода) и газификация (частичное окисление). Для сжигания ТБО применяют технологии сжигания на решетках, вращающиеся печи и различные модификации кипящего слоя [3]. Минимальное значение теплоты сгорания ТБО для коммерческой инсинерации – 6 МДж/кг. В случае, когда содержание влаги <50%, золы <60%, а содержание углерода >25%, отходы пригодны для сжигания без вспомогательного топлива [5].

В европейских странах доля ТБО, которая подвергается обработке, в последние годы возрастает. В 2017 г. она почти достигла 98%. Инсинерации, в том числе с получением энергии, подвергается 25%

общего объема ТБО (в странах-членах ЕС – 28%), и этот показатель ежегодно увеличивается [1; 3]. Среднее значение теплоты сгорания ТБО, утилизируемых на европейских заводах WtoE, – 10 МДж/кг. В 2013 г. в странах ЕС работало 939 установок термической переработки отходов, из них 562 по технологии WtoE [1; 2]. В 2016 г. из ТБО было произведено 40 млн кВт·ч электроэнергии и 93 млн кВт·ч теплоты, что сократило использование ископаемого органического топлива на 40–45 млн т и, кроме того, предотвратило выброс до 50 млн т в год парниковых газов (в пересчете на CO₂), которые могли бы выделяться в виде CH₄ и CO₂ в случае складирования этих отходов на полигоне или свалке [2]. В 2004 г. в странах ЕС в качестве альтернативного топлива в цементных печах использовалось 6,1 млн тонн различных видов отходов [6]. В 2007 г. около 17% традиционных видов топлива на цементных заводах было замещено отходами. На некоторых заводах уровни замещения составили более 80%. Это позволило сэкономить около 4 млн т угля [4]. Уголь является основным топливом, сжигаемым в цементных печах. В Австрии уровень замещения традиционного топлива отходами в 2007 г. составил 47%. В цементной промышленности Польши используют в год около 900 тыс. т такого топлива, им замещают около 43% традиционного топлива [2].

Цель работы. Целью работы является анализ современного состояния обращения с ТБО и оценка перспектив энергетического использования в Украине альтернативного топлива, полученного из ТБО.

Изложение основного материала. Теплота сгорания ТБО и их компонентов варьируется очень широко, от 3 до 40 МДж/кг (табл. 1) [3; 4].

Таблица 1

Теплота сгорания для различных типов отходов, используемых в качестве топлива в странах ЕС

Вид горючих отходов	Q _i , МДж/кг
Дерево	16
Бумага, картон	3–16
Текстиль	40
Пластмассы	17–40
Восстановленное топливо из ТБО (RDF)	14–25
Резина	26
Промышленный шлам	8–14
Муниципальный осадок сточных вод	12–16
Мука животного происхождения, жиры	14–18, 27–32
Сельскохозяйственные отходы	12–16
Растворители и связанные с ними отходы	20–36
Осадок сточных вод: влажность > 10%, влажность < 10%	3–8, 8–13
Нефтяные и масляные отходы	25–36

Для замещения традиционного топлива в цементной печи необходимо топливо с теплотой сгорания более 15–17 МДж/кг. ТБО городов Украины характе-

ризируются более низкими значениями теплоты сгорания, однако некоторые составляющие ТБО и восстановленное топливо из ТБО с достаточной теплотой сгорания могут заменить ископаемое топливо и обеспечить его экономию. В табл. 2 приведены элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов и Украины в целом. Элементный состав (на рабочее состояние) рассчитан по морфологическому составу и элементному составу компонентов ТБО для разных городов Украины [5]. Низшая теплота сгорания на рабочий состав топлива Q_i^r , МДж/кг рассчитана по формуле Менделеева:

$$Q_i^r = 4,18(81C^r + 300H^r - 26(O^r - S^r) - 6(9H^r + W^r)) \times 10^{-3}.$$

По нашим расчетам, теплота сгорания необработанных ТБО для городов Украины составляет 4,8–7,0 МДж/кг. Согласно Директиве № 1999/31/ЕС, нельзя вывозить на полигоны отходы с теплотой сгорания более 6 МДж/кг.

Концепция “Recovered” (восстановление) является ключевым элементом интегрированного обращения с отходами. Преимуществами этого подхода к переработке отходов является то, что отходы превращаются в товарную продукцию, которая может накапливаться, складироваться, транспортироваться. Refuse – в англоязычных странах это общий термин для определения твердых бытовых и коммерческих или промышленных отходов. Термин Refuse Derived Fuel (RDF) обычно относится к выделенным высококалорийным фракциям ТБО. Для отделения фракций ТБО, которые можно использовать как топливо, разработаны две технологии: механико-биологическая обработка (далее – МБО) отходов с получением твердого восстановленного топлива и / или биогаза и сухая стабилизация [7]. МБО отходов объединяет механические и биологические методы. К механическим методам относятся: отдельный сбор, сортировка с помощью сит, магнитов и другого, смешивание, сушка, измельчение, прессование, гранулирование. Такое сырье, как бумага, стекло, пластик

и металл идут на переработку. Биологически разлагающиеся фракции ТБО могут быть отправлены на компостирование и анаэробное сбраживание. Все остальные фракции, а это около трети ТБО, являются сырьем для твердого восстановленного топлива. При использовании технологии сухой стабилизации остаточные отходы (без инертных и металлов) подвергаются биологической обработке: сушатся и стабилизируются с помощью процесса компостирования. При этом образуется топливо с высокой теплотой сгорания. Таким образом, RDF – это органическое топливо, полученное из ТБО при удалении вторичного сырья и негорючих материалов. Качественные характеристики RDF варьируются в зависимости от морфологического состава ТБО и технологии производства: может быть получено топливо с теплотой сгорания 8–25 МДж/кг в виде порошка или гранул разного размера и плотности. RDF имеет более однородный физический и химический состав, чем ТБО.

Solid Recovered Fuel, SRF (твердое восстановленное топливо, твердое рекуперированное топливо) – это твердое топливо, полученное из безопасных отходов, в том числе твердых бытовых, промышленных и коммерческих отходов, включая бумагу, картон, дерево, текстиль и пластмассу, которое может быть использовано для производства энергии в установках сжигания или совместного сжигания. SRF производится в соответствии с классификацией и техническими характеристиками, изложенными в Европейском стандарте EN 15359:2011. Этот стандарт принят в Украине методом подтверждения – «ДСТУ EN 15359: 2018 Твердое восстановленное топливо. Технические характеристики и классы (EN 15359: 2011, IDT)».

Количество RDF / SRF, получаемого из ТБО, варьируется от 25 до 55% (по массе) в зависимости от страны, типа сбора, методов обработки и требований к качеству [7]. В ЕС в 2003 г. было произведено около 3 млн т RDF / SRF, в 2005 г. – более 5 млн т, а в 2017 г. – уже 17,5 млн т. Производство и потребление RDF / SRF в мире ежегодно увеличивается. На

Таблица 2

Элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов Украины и Украины в целом

Страна или город	Элементный состав, %							Q_i^r , МДж/кг
	C ^r	H ^r	O ^r	N ^r	S ^r	A ^r	W ^r	
Украина	20,3	2,8	17,5	0,6	0,1	20,2	38,5	6,9
Винница	18,6	2,6	15,8	0,4	0,1	21,8	40,2	6,3
Киев	17,1	2,4	14,4	0,5	0,1	24,4	40,9	5,7
Львов	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	6,7
Мелитополь	20,2	2,9	18,1	0,4	0,1	21,0	40,0	7,0
Николаев	19,6	2,7	15,3	0,6	0,2	17,3	43,8	6,7
Полтава	16,5	2,3	13,6	0,6	0,1	25,4	41,3	5,5
Суммы	14,0	2,0	10,6	0,5	0,1	39,0	33,8	4,8
Харьков	18,3	2,6	16,5	0,5	0,1	22,7	38,8	6,1
Черкассы	20,3	2,8	15,5	0,6	0,2	18,7	41,3	7,0

заводах WtoE при совместном сжигании с углем при производстве цемента на тепловых электростанциях и теплоэлектроцентралях в 2015 г. было утилизировано около 13,5 млн т RDF / SRF, из них 6,2 млн. т – на цементных заводах (данные CEMBUREAU – Европейской цементной ассоциации).

В цементной промышленности используют технологии вращающихся печей. Такие печи также используют для сжигания опасных отходов [3; 4]. Во вращающейся печи температура процесса сгорания достигает 1 400–1 500 °С, температура пламени при этом достигает 2 000 °С. Сжигание происходит в кислородной атмосфере. При наивысшей температуре материал пребывает в зоне горения до 20 минут. Время пребывания уходящих газов при температуре более 1 100 °С составляет 8–10 секунд, а при температуре более 1 600 °С – 2–3 секунды. Такие условия необходимы для получения клинкера высокого качества. Газообразные продукты сгорания находятся в зоне с температурой выше 1 200 °С в течение 50–60 секунд. Теплоемкость разогретой вращающейся цементной печи является настолько высокой, что даже в случае аварийной остановки и прекращения подачи топлива в течение примерно получаса температура поверхности печи и материала не снижается [8; 9]. Продолжительность обжига в цементных печах создает возможность безопасно и в соответствии с экологическими требованиями сжигать практически все виды горючих отходов [10].

Предельные выбросы загрязняющих веществ в дымовых газах при сжигании отходов регламентируются Директивой № 2010/75/ЕС о промышленных выбросах (Табл. 3). Требования Директивы № 2010/875/ЕС о промышленных выбросах являются определяющими для выбора технологий сжигания отходов (далее – СО).

В последние годы в Украине производится порядка 9 млн т цемента. Производство цемента является энергозатратным. По данным ассоциации Укрцемент, существующих мощностей достаточно для производства 13 млн т цемента в год. В 2018 г. было произведено 9,11 млн т цемента, причем производство клинкера составило 6,6 млн т. Сухим способом было произведено 80,1%, мокрым – 19,9% клинкера. Затраты энергоресурсов для сухого метода производства клинкера составляют 3,0–4,2 МДж/кг, мокрого – 5,0–6,4 МДж/кг [11]. Наши расчеты показывают, что в 2018 г. расход энергоресурсов в цемент-

ной промышленности Украины в пересчете на уголь составил 1,2 млн т.

В Украине, начиная с 2014 г., наблюдается дефицит угля всех марок. Использование на цементных заводах в качестве топлива или добавки к основному топливу RDF и SRF способно частично заменить дефицитный в Украине уголь с соблюдением требований ЕС по обращению с отходами. Наши расчеты показывают, что в Украине есть потенциал для производства 1,5– 2,0 млн т RDF / SRF с теплотой сгорания 15–17 МДж/кг ежегодно. Надо отметить, что производство RDF и SRF в Украине только начинается. На рынке уже есть предложения по поставке таких топлив в виде гранул и брикетов калорийностью 14,5–27,0 кДж/кг, цена которых колеблется от 2 000 до 3 000 грн/т.

Новизна. Рассчитаны элементный состав и теплота сгорания смешанных ТБО разных городов Украины и Украины в целом. Оценены перспективы применения технологий WtoE в цементной промышленности Украины в части использования в цементных печах топлив на основе ТБО – RDF и SRF. Показано, что в Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн т RDF / SRF с теплотой сгорания, пригодной для сжигания в цементных печах.

Основные выводы. Главная тенденция в управлении ТБО в странах ЕС заключается в их комплексной переработке – раздельном сборе, сортировке, механико-биологической обработке, и производстве энергетического топлива RDF и SRF из оставшихся фракций ТБО. Преимуществом этого подхода является превращение отходов в товарную продукцию с необходимыми для выбранного направления использования качественными характеристиками. В Украине есть потенциал для ежегодного производства 1,5–2,0 млн тонн RDF / SRF с теплотой сгорания 15,0–17,0 МДж/кг. Использование RDF и SRF на цементных заводах в качестве добавки к технологическому топливу способно частично заменить дефицитный в Украине уголь, уменьшить загрязнение окружающей среды и снизить эмиссию парниковых газов. Задачей последующих исследований является выбор технологии получения RDF / SRF с показателями, пригодными для использования в цементной промышленности, изучение его физических параметров, химического состава и экспериментальное исследование процессов его термической конверсии.

Таблица 3

Требования Директивы № 2010/75/ЕС о промышленных выбросах

Вещество, мг/м ³	Пыль	СОУ*	НСl	HF	SO ₂	NO _x	CO	Cd+Pb	Hg	Тяжелые металлы	Диоксины и фураны, нг/м ³
CO	10	10	10	1	50	200	50	0,05	0,05	0,5	0,1
Совместное СО	30	10	10	1	50	500	–	0,05	0,05	0,5	0,13

*Газообразные и парообразные органические вещества, выраженные как суммарный органический углерод (СОУ)

Литература

1. UNEP. Waste-to-Energy: Considerations for Informed Decision-Making. 2019. URL: <https://www.unenvironment.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making>.
2. Saveyn H., Eder P., Ramsay M., Thonier G., Warren K., Hestin M. Towards a better exploitation of the technical potential of waste-to-energy. EUR 28230 EN. 2016. DOI : 10.2791/870953.
3. Neuwahl Frederik, Cusano Gianluca, Benavides Jorge Gómez, Holbrook Simon, Roudier Serge. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration. EUR 29971 EN. 2019. 764 p. DOI : 10.2760/761437.
4. Schorcht Frauke, Kourti Ioanna, Scalet Bianca Maria, Roudier Serge, Sancho Luis Delgado. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. 2013. 506 p. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM_Published_def_0.pdf.
5. Соломин И.А., Афанасьева В.И. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами. *Природообустройство*. 2017. Вып. 3. С. 82–90. DOI : 10.26897/1997-6011-2017-3-82-90.
6. Pedersen M.N. Co-firing of Alternative Fuels in Cement Kiln Burners. Technical University of Denmark. 2018. URL: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/161972551/808873_PhD_thesis_Morten_Nedergaard_Pedersen_fil_fra_trykkeri.pdf.
7. Refuse derived fuel, current practice and perspectives (B4-3040/2000/306517/ MAR/E3). WRc, 2003. URL: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/rdf.pdf>.
8. Khrunyk S. Bezpieczeństwo ekologiczne wykorzystania paliw alternatywnych z odpadów w przemyśle cementowym. *Dioksyny w przemyśle i środowisku* : IX Konferencja Naukowa, Kraków – Tomaszowice, 12–13.06.2008. Kraków : Wydawnictwo Naukowe Politechniki Krakowskiej, 2008. S. 110–117.
9. Саницький М.А., Марків Т.Є., Хруник С.Я., Круць Т.М., Рецько К.О. Використання альтернативного палива в цементній промисловості. *Теорія і практика будівництва. Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2007. № 600. С. 258–264.
10. Саницький М.А., Хруник С.Я., Марків Т.Є., Мазурак О.Т. Використання альтернативних палив у цементній промисловості. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні* : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. Львів : ЛьЦНТЕІ, 2007. С. 152–156.
11. Плашихін С.В. Довідник з ресурсоефективного та чистого виробництва. Цементна промисловість. Київ : Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2020. 96 с. URL: http://www.recpc.org/wp-content/uploads/2020/03/Posibnik_CemProm_A5_prosm.pdf.