

УДК 657.471.23:662.767.2

А.Ю.Пухнюк, Ю.Б.Матвеев, канд.физ.-мат.наук, **Д.В.Куцый** (Ин-т технической теплофизики НАН Украины, Киев)

Анализ мирового опыта энергетического использования биогаза на полигонах ТБО

Представлен обзор использования технологий энергетической утилизации биогаза на полигонах ТБО. Выполнен технико-экономический анализ развития данных технологий в Украине.

Представлено огляд використання технологій збору та утилізації біогазу з полігонів ТПВ. Виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження даних технологій в Україні.

Введение. Основными проблемами XXI столетия становятся дефицит природных ресурсов и загрязнение окружающей среды. При этом именно потребление ресурсов, в частности, городским населением, является одним из главных источников загрязнения. Количество твердых бытовых отходов (ТБО) на душу населения может изменяться в широких пределах. Для развивающихся стран эта величина колеблется от 150 до 250 кг/год [1], для развитых стран Западной Европы и Северной Америки количество ТБО на душу населения составляет от 320 до 800 кг/год [1, 2]. Захоронение на полигонах все еще остается наиболее распространенным способом обращения с ТБО в развивающихся странах и в странах с переходной экономикой, а также в большинстве развитых стран. Так, в 2008 г. в 18 из 27 стран ЕС более 50% отходов вывозилось на полигоны ТБО [2], в США в 2009 г. вывезено на полигоны 54,3% ТБО [3], в Канаде в 2005 г. – 95% [4].

По данным Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, за последние 10 лет удельная норма образования отходов в городах варьировалась в диапазоне 320-415 кг/год. Ежегодно в Украине вывозится на полигоны и свалки от 10 до 12,5 млн т ТБО, до 4% из них утилизируется на двух мусоросжигательных заводах, остальные накапливаются на 4,5 тыс. свалок и полигонов общей площадью 7,6 тыс. га. Большая часть свалок эксплуатируется с нарушением технологических режимов, что приводит к неконтролируемым

эмиссиям в атмосферу (биогаз) и грунтовые воды (фильтрат).

Негативные воздействия эмиссии биогаза (БГ) на окружающую среду широко известны. Наиболее опасным является риск возникновения поверхностных и глубинных пожаров, в результате которых происходят выбросы в окружающую среду вредных веществ, в частности, диоксинов и фуранов. Кроме того, метан является сильным парниковым газом (ПГ). Выбросы ПГ в секторе обращения с отходами, включая сточные воды, составляют около 3% глобальных антропогенных выбросов ПГ в мире. По данным Национального кадастра ПГ [5], выбросы метана на полигонах ТБО Украины составляли в 1990 году 251 тыс. тонн (или 5,3 млн тонн $\text{CO}_2\text{-экв}$), а в 2009 году – уже 343 тыс. тонн (7,2 млн тонн $\text{CO}_2\text{-экв}$).

Одним из вариантов решения проблемы является сбор и, по возможности, энергетическое использование биогаза на полигонах ТБО. В то время как в развитых странах сбор и энергетическое использование БГ является стандартной практикой более трех десятилетий, в Украине данные технологии находятся в начале своего развития. В настоящей статье приводится краткий анализ развития технологий использования биогаза на полигонах ТБО в мире, а также оценка перспектив их применения в Украине.

Тенденции развития систем управления отходами. Тенденции последних лет в развитых странах, особенно в странах с высокой плотностью населения и ограниченной территорией (Ев-

росоюз, Япония), направлены на внедрение системы интегрированного управления отходами. Перечислим основные составляющие в порядке убывания их приоритета: предотвращение образования отходов, минимизация их количества, повторное использование (рециклинг), производство энергии, захоронение на полигонах [6].

В соответствии с Директивой [7], страны-члены Евросоюза должны сочетать производство энергии из отходов с мероприятиями по предупреждению их образования и вторичным использованием полезных материалов. Сжигание отходов с получением энергии является звеном в цепочке преобразования отходов перед неизбежным захоронением той части отходов, переработка которых невозможна или нерациональна на данный момент.

Несмотря на постепенный отказ от вывоза органических отходов на полигоны, в 2008 году в ЕС 42% ТБО было вывезено на полигоны, 39% повторно использовалось (включая компостирование), оставшиеся 20% были подвержены термической обработке с производством тепловой и электрической энергии. Медленное уменьшение роли полигонов объясняется тем, что минимизация и рециклинг отходов требуют многолетних усилий по изменению "потребительского" стереотипа поведения и образованию населения. Возможность применения дорогостоящих технологий утилизации отходов (сжигание, компостирование, механико-биологическая переработка, анаэробное сбраживание) связана с уровнем экономического развития, в частности, с доходами населения. Так, в Германии, где вывоз на полигоны ТБО составляет менее 1% от объема образования отходов, плата населения за вывоз и утилизацию отходов составляет от 43 до 170 евро/т [8], в то время как в Украине соответствующий тариф не превышает 15 евро/т.

Таким образом, в странах с низкими доходами населения, в т.ч. в Украине, захоронение ТБО на полигонах еще длительное время будет оставаться основой практики обращения с отходами. В то время как в развитых странах Европы наблюдается постепенное сокращение количества ТБО, вывозимых на полигоны, и соответственно сокращение количества собираемого БГ на полигонах, в Ук-

раине данные технологии имеют перспективы развития на несколько десятилетий вперед.

Развитие и перспективы энергетического использования биогаза полигонов ТБО. Развитие систем сбора БГ началось в середине 1970-х годов в США, примерно в это же время первые установки были построены и в Европе. Основным стимулом их развития было решение проблем экологии и промышленной безопасности. На определенном этапе во многих развитых странах сбор и сжигание биогаза на полигонах были приняты в качестве обязательных мероприятий. Введение законодательных финансовых стимулов развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) явилось решающим фактором для увеличения доли энергетического использования БГ и привело к быстрому росту количества таких проектов в странах Европы и в США в 1990-е годы [9].

В течение последних 10 лет значительную роль в развитии проектов по ВИЭ и, в частности БГ, играют требования Киотского протокола (КП) по уменьшению эмиссии ПГ. За последние 7 лет в рамках механизма чистого развития (МЧР) КП в странах Восточной Европы и в развивающихся странах Азии, Южной Америки и Африки было зарегистрировано более 600 проектов, связанных с ТБО [10]. По состоянию на апрель 2011 г. в рамках механизмов КП в Украине находилось в разработке 23 проекта. За период 2008-2011 гг. были построены первые полномасштабные системы сбора БГ на семи полигонах ТБО Украины.

В течение последних двух лет в Украине появились законодательные акты [11, 12], предусматривающие ряд финансовых стимулов для развития ВИЭ (в т.ч. "зеленый" тариф (ЗТ) на электроэнергию и освобождение от налога на прибыль). Несмотря на определенные сложности использования ЗТ для биогаза, потенциально это позволило бы улучшить финансовые показатели проектов по производству энергии из БГ.

Свойства биогаза полигонов ТБО и особенности его использования. БГ образуется в результате биологического разложения органической части ТБО в анаэробных условиях (пищевые и садово-парковые отходы, бумага, текстиль, древесина и др.) с участием анаэробных микроорга-

низмов. В состав БГ входит 45...60% метана, 40...50% двуокиси углерода, а также в меньших количествах другие компоненты – кислород, азот, аммиак, сульфиды, водород, оксид углерода и неметановые органические соединения. Состав БГ изменяется во времени в зависимости от "возраста" и состава отходов, физических параметров газообразования, практики эксплуатации полигона и режимов эксплуатации системы сбора БГ. Эмиссия биогаза на закрытом полигоне может продолжаться многие десятилетия после его закрытия, однако фаза стабильного метанообразования продолжается в среднем 20 лет. Значительная часть газа образуется в течение 5-10 лет после захоронения отходов [13].

В работе [9] представлены данные для разных стран мира об удельном количестве БГ, который собирают с тонны ТБО в год. Величина удельного сбора биогаза находится в диапазоне от 3 до 6 м³/ч

в течение нескольких лет после закрытия полигона. Эти данные могут быть ориентиром при оценке потенциала газообразования отдельных полигонов. Однако необходимо учитывать, что в условиях украинских полигонов ТБО реальное количество БГ может оказаться ниже. Это объясняется многими причинами: неудовлетворительной практикой эксплуатации полигонов, имевшими место в прошлом пожарами, высоким уровнем фильтрата, преобладанием практически полностью разложившихся ТБО на старых свалках. Прогнозирование газообразования в случае недостатка исторических данных о количестве и составе ТБО остается сложной задачей. В качестве инструмента прогнозирования обычно используются математические модели, основанные на кинетике процесса разложения, наиболее распространенными из которых являются многокомпонентные модели разложения первого порядка [14, 15].

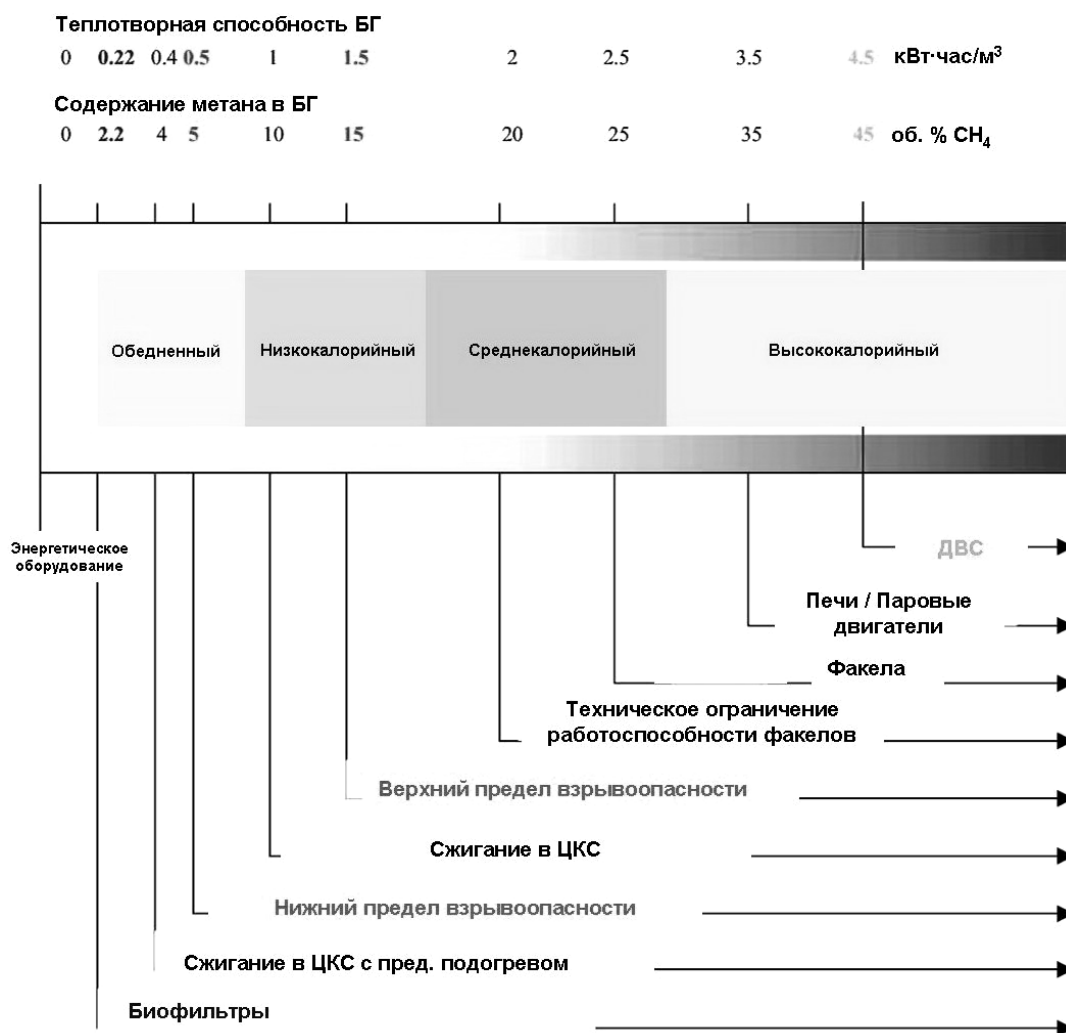


Рис. 1. Диапазон работы энергетического оборудования с утилизацией биогаза.

Возможность энергетического использования БГ зависит от содержания компонента метана (рис. 1) [16]. Обычно биогаз из ТБО имеет теплотворную способность в диапазоне 16...20 МДж/м³, что соответствует содержанию метана 45...55%. Сжигание БГ в тепловых двигателях для производства электроэнергии обычно осуществляется при концентрации метана выше 35%. При содержании метана от 35% и выше БГ также может использоваться в печах и котлах, от 20% – сжигаться на факеле, от 10% – в циркулирующем кипящем слое (ЦКС), от 4% – в ЦКС с использованием вспомогательного топлива. Концентрация метана в БГ может изменяться в зависимости от фазы генерации и, в общем случае, режима работы системы сбора. Увеличение содержания балласта – углекислого газа и азота – снижает скорость распространения пламени и его устойчивость по сравнению со сжиганием природного газа.

В состав БГ могут входить летучие органические соединения (в т.ч. сероводород, соединения фтора, кремния и др.) и пыль, которые могут ухудшать экологические характеристики выбросов от сжигания БГ [17], а также приводить к коррозии и уменьшению срока службы элементов конструкции энергетических устройств.

В случае нецелесообразности энергетического использования БГ и невозможности сжигания на факеле или в ЦКС для снижения выбросов в атмосферу могут использоваться альтернативные технологии: биофильтры с органическими наполнителями (компост, торф), окисляющие покрытия из органического материала, принудительная аэрация полигона ТБО.

Производство электроэнергии. Производство электроэнергии является самым распространенным способом утилизации БГ. Наиболее часто для этой цели используются газопоршневые двигатели внутреннего сгорания (ДВС) мощностью от 100 кВт_{эл} до 2 МВт_{эл}. Реже (для мощностей более 4 МВт_{эл}) используют газовые турбины (ГТ), паровые турбины (ПТ) и комбинированный парогазовый цикл. Использование ГТ обладает рядом преимуществ по сравнению с ДВС (низкие выбросы оксидов азота и эксплуатационные затраты, высокая коррозионная стойкость), а также и

недостатков (сравнительно низкий КПД, высокие капитальные затраты) [18].

Биогаз с низким содержанием метана (от 35%) в диапазоне мощностей до 100 кВт_{эл} может использоваться в микротурбинах (МТ), к достоинствам которых относятся низкие эксплуатационные затраты, малые габариты, низкие выбросы оксидов азота. Потенциал использования таких установок относится к небольшим и/или старым полигонам с низким уровнем генерации БГ. Однако стоимость МТ остается высокой (примерно в 3 раза выше, чем ДВС), что делает их применение нерентабельным.

Совместное производство электрической и тепловой энергии (когенерация) является наиболее эффективным способом энергетического использования БГ, т.к. позволяет повысить КПД использования топлива. Ограниченность применения таких установок обычно связана с отсутствием потребителей тепловой энергии вблизи полигонов ТБО.

В условиях Украины максимальное количество собранного БГ на полигонах ТБО с количеством накопленных отходов (1-3 млн тонн, в отдельных случаях до 6-8 млн тонн) позволяет использовать линейки ДВС для производства электрической и/или (в некоторых случаях) тепловой энергии. Использование ГТ или ПТ в Украине на данный момент нецелесообразно.

Прямое сжигание биогаза и производство тепловой энергии. Второй по распространенности и самый простой способ использования БГ – замещение природного газа, угля или мазута в котлах или промышленных печах для производства тепловой энергии. Ограниченное распространение этого технического решения объясняется тем, что в большинстве развитых стран тарифы на электроэнергию из ВИЭ выше, чем на тепловую энергию. Кроме того, электроэнергия может быть продана в сеть в неограниченных количествах. Возможность прямого использования тепла из БГ зависит от наличия потребителей в радиусе до 10 км от полигона. При переводе на БГ котлы, рассчитанные для работы на природном газе, требуют определенных конструктивных изменений (замена горелок, реконструкция системы топливоподачи и автоматики).

Другие примеры прямого использования БГ, которые нашли более узкое практическое применение: испарение фильтрата, теплицы, инфракрасные нагреватели (ИКН). Отдельно стоит остановиться на ИКН, применяемых для отопления производственных помещений на полигонах Европы, США и Канады. Эти достаточно простые при монтаже и эксплуатации устройства могут применяться при малых расходах газа (20-50 м³/ч). Стоимость нагревателей составляет примерно 3000 долларов США на 45-75 м² отапливаемой площади [18].

Подобный проект для отопления мастерской на базе ИКН реализован на украинском полигоне ТБО в г. Хмельницкий [19]. Здесь установлено четыре ИКН *Roberts Gordon Black Heat U30* для отопления в зимний период мастерской площадью 120,2 м². В летний период БГ сжигается на факеле.

Украинские полигоны нередко располагаются в городской черте поблизости от коммунальных котельных или промышленных объектов. В таком случае БГ может использоваться в котлах централизованного теплоснабжения или промышленных печах. Поэтому в Украине прямое использование биогаза может найти достаточно широкое применение. На многих украинских свалках наблюдается повышенный уровень фильтрата, поэтому может представлять интерес также использование БГ для его испарения.

Обогащение БГ до качества природного газа. После обогащения и очистки биогаз может поставляться в сети газоснабжения, а также в сжатом или сжиженном виде использоваться в качестве топлива для транспортных средств. Для обогащения и очистки применяются различные методы: сухая или влажная очистка с применением сорбентов и воды, полупроницаемые мембраны, вымораживание и др. Проекты по подаче БГ в газопроводы реализованы на ряде полигонов Европы и США. Большие инвестиции в подготовку БГ и высокие эксплуатационные затраты [18] не всегда окупаются за счет доходов от продажи газа, поэтому такой тип использования БГ не получил широкого коммерческого распространения.

Использование БГ в качестве топлива для транспортных средств характеризуется высокими требованиями к качеству газа, необходимостью

переоборудования транспортных средств и строительства заправочных станций. Такой способ также не получил широкого распространения в Европе. Примером может служить экспериментальная установка в Лос-Анджелесе, эксплуатируемая более десяти лет [18]. В установке БГ с расходом 425 м³/ч и содержанием метана 55% обогащается и компримируется с получением на выходе газа с содержанием метана 96% (170 м³/ч, эквивалент 3800 л бензина в день). Технологический процесс включает следующие этапы: сжатие и удаление влаги, угольный фильтр, подогрев газа до 60°C, три стадии мембранной очистки, многоступенчатое сжатие до 25 МПа, закачивание в емкости для хранения, заправку под давлением.

Стоимость этой демонстрационной установки составила 1,8 млн долларов США (в 2007 г). При расходе метана 850 м³/ч себестоимость произведенного метана составляет 0,29/л бензинового эквивалента, при расходе 2100 м³/ч – 0,22/л. В 2007-2009 гг. в США были запущены четыре коммерческих проекта по производству метана из ТБО производительностью от 19 до 49 тыс. литров в сутки. Газ используется в качестве топлива для мусоровозов и школьных автобусов.

Метан может быть сжижен, однако данный подход требует большей степени очистки БГ – удаления двуокси углерода, кислорода и азота. Коммерческие установки для сжижения метана имеют большую мощность (от 40 тыс. л в день), что делает практическое применение данного решения на полигонах маловероятным. Ожидается, что в Украине использование биогаза из ТБО в качестве топлива для транспортных средств не найдет широкого распространения.

Технико-экономические показатели проектов сбора и использования БГ полигонов ТБО Украины. Технико-экономическая оценка (ТЭО) описанных выше способов использования БГ проводилась на основе модельного полигона ТБО, обслуживающего типичный город Украины с населением 500 тыс. человек. Предполагалось, что полигон имеет форму усеченного конуса, и что за 10 лет эксплуатации накоплено 1,7 млн тонн ТБО. Газообразование и сбор БГ с принятой эффективностью 50% оценивались с использованием многокомпонентной модели IPCC. Сбор БГ может

составить 700 м³/ч в течение первого года после закрытия полигона [20].

Первым способом утилизации БГ рассмотрено сжигание на факеле. В состав технологической схемы сжигания входила система сбора биогаза и факельная установка компании *Hofstetter (HOF-GAS-Ready)*. Капитальные и эксплуатационные затраты по сжиганию БГ на факеле рассчитывались на основании коммерческих предложений производителей оборудования и удельных сметных стоимостей строительства элементов системы сбора. В качестве источника дохода принималась продажа единицы сокращения выбросов (ЕСВ) от деструкции метана. Предполагалось, что ЕСВ могут быть реализованы по цене 100 грн/т CO_{2-экв} в рамках механизмов КП. Результаты расчета затрат и экономические показатели проекта представлены в табл. 1.

Следующим способом утилизации биогаза рассмотрено использование в ДВС для производства электроэнергии. В состав технологической схемы проекта, помимо системы сбора и факельной установки, включены два ДВС компании *GE Jenbacher* мощностью 650 кВт_{эл} каждый. Капитальные и эксплуатационные затраты на ДВС оценены по данным производителя. Предполагалось, что произведенная электроэнергия продается в сеть по тарифу 0,82 грн/кВт·ч без НДС. Также рассмотрен потенциальный вариант продажи по "зеленому" тарифу, который согласно [11] для твердой биомассы составляет 1,34 грн/кВт·ч без НДС. Кроме того, рассмотрен вариант продажи ЕСВ (табл. 1).

В качестве альтернативы использования БГ в ДВС были рассмотрены капитальные и эксплуа-

ционные затраты проекта подачи БГ в котельную для производства тепловой энергии. В состав технологической схемы проекта входила система сбора БГ, факельная установка, транспортный трубопровод до котельной длиной 1 км и горелка компании *Weishaupt*, предназначенная для сжигания БГ. Затраты на строительство магистрального трубопровода оценены на основе сметной документации подобного проекта, а капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с горелкой, получены на основании коммерческого предложения производителя. Оценивалась прибыль от продажи биометана по цене природного газа для коммунальной сферы (КС) и промышленности (ПМ), которые на момент проведения расчетов составляли 1,31 и 1,96 грн/м³ соответственно (табл. 1).

Последним вариантом рассмотрен способ очистки БГ от примесей (углекислый газ и азот), его сжатие и накопление в резервуаре с целью продажи метана в качестве топлива для автомобилей. Технологическая схема проекта, помимо системы сбора БГ и факельной установки, включала систему очистки (сепаратор, компрессор, абсорбционные и регенеративные очистные колонны от углекислого газа и азота, дожимной компрессор, накопительный резервуар), а также газозаправочную колонку. Капитальные и эксплуатационные затраты системы очистки и заправки получены на основе коммерческих предложений компании ООО "Гарантия". Экономические параметры проекта оценены на основе продажи сжатого метана по цене 4,3 грн/м³, а также с учетом ЕСВ (табл. 1).

Таблица 1. Техничко-экономическое обоснование различных способов утилизации биогаза

Основные показатели	Сжигание на факеле	Утилизация в ДВС		Утилизация в котлах		Топливо для автомобилей
		Действующий тариф	"Зеленый" тариф	Коммунальная сфера	Промышленность	
Мощность тепловая, кВт _{тепл}	4 000	1 404		3 000		–
Мощность электрическая, кВт _{эл}	–	1 250		–		–
Капитальные затраты, грн	16 031 400	31 958 330		22 219 060		31 688 270
Эксплуатационные затраты, грн	1 087 150	1 702 590		1 139 250		2 672 250
Финансовые показатели	КП	без КП /КП	без КП /КП	без КП /КП	без КП /КП	без КП /КП
Чистая приведенная стоимость, NPV, грн	-6 560 310	-10 081 555 / 1 668 565	2 164 602 / 13 914 723	-12 128 924 / -562 039	- 2 828 680 / 8 244 697	-3 582 427 / 7 211 111
Внутренняя норма рентабельности, IRR, грн	-2%	3% / 19%	20% / 33%	-11% / 16%	12% / 31%	12% / 26%
Простой срок окупаемости, лет	>10	8,7 / 4,6	4,5 / 3,4	>10 / 5,0	5,7 / 3,5	5,5 / 3,8

Примечание: Ставка дисконтирования – 17%; ставка инфляции – 10,2%.

Легко убедиться, что все способы утилизации БГ являются экономически нерентабельными, поскольку имеют простой срок окупаемости от 5 и более лет. Использование дополнительного финансирования за счет механизмов КП несколько улучшает экономические показатели проектов, особенно в случае подачи БГ на котельные коммерческих предприятий, где относительно высокие тарифы на природный газ. Однако в этом случае есть ограничение, которое связано с длиной трассы транспортного газопровода. Согласно [20], она не должна превышать 10 км. Использование "зеленого" тарифа на электроэнергию для твердой биомассы при использовании ее в проектах утилизации БГ в ДВС выводит последние на приемлемый уровень рентабельности, особенно в случае одновременного использования механизмов КП.

Следует отметить, что реальная стоимость ЕСВ в рамках механизмов финансирования КП в последнее время снизилась и отличается в 2 раза от величины, принятой для расчета. Таким образом, основной возможностью улучшения экономических показателей рассмотренных проектов остается повышение цен на природный газ и тарифов на произведенную энергию.

Выводы. В странах с низкими доходами населения захоронение ТБО на полигонах достаточно длительное время будет оставаться основной практикой обращения с отходами. При этом внедрение систем сбора и энергетического использования БГ, которое в развитых странах является стандартной практикой, должно осуществляться как с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, так и для получения альтернативных источников энергии. Наибольшей перспективой обладают проекты с производством электроэнергии.

В Украине за первый период действия КП построены семь систем сбора биогаза на полигонах ТБО. Собранный БГ в основном сжигается на факеле. Он может эффективно использоваться в газопоршневых ДВС для производства электроэнергии и/или тепловой энергии. Решающим для развития данных технологий является законодательство, стимулирующее развитие ВИЭ и сокращение выбросов вредных веществ на полигонах ТБО, поскольку проекты утилизации БГ в ус-

ловиях Украины могут быть экономически рентабельными только при условии продажи электроэнергии по "зеленому" тарифу или же при высоких ценах на замещаемый природный газ.

1. *State of the World's Cities 2008/2009. Harmonious cities / [UN-HABITAT]; ed. by Warah R. – London: Earthscan, 2008. – 259 p.*
2. *Europe in figures. Eurostat yearbook 2010 / [Eurostat]; ed. by Piirto J. [at all.]. – Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2010. – 657 p.*
3. *Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2009 / [U.S. EPA]. – Washington: Solid Waste and Emergency response, 2010. – 12 p.*
4. *Human Activity and the Environment. Environment and Economy / [Environment Account and Statistic division, Canada]; ed. by Trant D. – Ottawa: authority of the Minister responsible for Statistic Canada, 2011. – 45 p.*
5. Национальний кадастр антропогенних вибросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2009 гг. / Панченко Г.Г. [и др.] – К: Госэкоинвестагентство, 2011. – 551 p.
6. *Mamveev Ю.Б. Энергетическое использование ТБО как средство решения проблем управления отходами / Мамвеев Ю.Б., Гелетуха Г.Г. // Альтернативное топливо. – 2011. – Т. 41–42. – №1–2. – С. 14–21.*
7. *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain directives from 19 November 2008 / European Union // Official Journal of the European Union. – 2008. – Iss. L312. – P. 3–30.*
8. *INSM Abfallmonitor 2008. Abfallgebuehren im Vergleich – Die 100 groessten deutschen Staedte / [IW Consult GmbH]. – Koeln: IW Consult GmbH, 2008. – 39 p.*
9. *Willumsen H. Landfill gas recovery plants. Looking at types and numbers worldwide / Hans Willumsen // Waste management world. – 2004. – Iss. July–August 2004. – С. 125–133.*
10. *Distribution of registered project activities by scope / [CDM in numbers] // UNFCCC 2012. – Access mode: <http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjByScopePieChart.html> (16.01.12). – Title from the monitor.*
11. Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії: №1220-VI від 1 квітня 2009 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Відомості Верховної Ради України, 2009. – № 32–33. – С. 489.
12. *Податковий кодекс України: № 2756-IV за станом на 2 грудня 2010 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Голос України, 2010. – №229–230. – С. 4–62.*
13. *Landfilling of Waste: Biogas / edited by T.H. Christensen, R. Cossu, R. Stegmann. – [1st ed.]. – London: E&FN Spon, 1996. – 840 p.*
14. *First–Order Kinetic Gas Generation Models Parameters for Wet Landfills / [University of Central Florida]; ed. by D.R. Reinhart, A.A. Four, H. You. – Washington: U.S. EPA Office of Research and Development, 2005. – 50 p.*

15. *Scharff H.* Applying guidance for methane emission estimation for landfills / H. Scharff, J. Jacobs // *Waste Management*. – 2006. – Iss. 26. – P. 417–429.
16. Stachowitz W.H. Overview of Methane Oxidation at (Old) Landfills – Global CO₂ Consideration, Trade with CO₂-certificates [Electronic resource]: proceedings Sardinia, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium / W.H. Stachowitz. – Padova: IWWG, 2003. – 1 CD-disk (CD-ROM). – System requirements: Windows 95 – NT/XP ; Macromedia Flash Player 6 ; Microsoft Internet Explorer ; Adobe Acrobat Reader. – Title from List of Papers.
17. *Гонопольский А.М.* Сравнение эколого-экономических характеристик методов утилизации свалочного газа / Гонопольский А.М., Мурашов В.Е., Борисов Н.И., Кушнир К.Я. // *Рециклинг отходов*. – 2007. – Т. 9. – №3. – С. 2–7.
18. *Project Development Handbook*. – 2009. – Access mode: <http://www.epa.gov/lmop/publications-tools/handbook.html> (16.12.11). – Title from the monitor.
19. *Infrared Heater Technology Utilizing Landfill Gas in the Ukraine* / [REA]. – Kyiv: REA office, 2010. – 51 p.
20. *Куцый Д.В.* Экономические аспекты использования биогаза из ТБО [Электронный ресурс]: труды 6-й Международной конференции "Энергия из биомассы" / Куцый Д.В., Матвеев Ю.Б., Мушинская И.М. – К.: ООО "Биомасса", 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: 128 Mb RAM; CD-ROM ; Windows 2000–2003/XP; Flash Player 8; Internet Explorer ; Acrobat Reader 7.0. – Название с перечня материалов.