

3. Крайнюк Е. В. Строительство автомобильных дорог при безопасном использовании фосфогипса и золошлаков ТЭС [Текст]: автореф. дис. канд. технич. наук / Е. В. Крайнюк. — Х. : ХНАДУ, 2004. — 21 с.
4. Касимов А. М. Миграция тяжелых и редких металлов в почвах в районе размещения золошлаковых отвалов угольных ТЭС [Текст] / А. М. Касимов, А. А. Ковалев, М. И. Мисюра // Экология и промышленность. — № 1. — 2011. — С. 96–99.

УДК 628.16

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕТАНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ МЕЗОФИЛЬНОМ АНАЭРОБНОМ РАЗЛОЖЕНИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ОТХОДОВ

В. Н. Бабаев

Доктор наук государственного управления, профессор
Первый заместитель главы Харьковской областной
государственной администрации
ул. Сумская, 64, Харьков, 61200
Контактный тел.: (057) 700-22-71

Н. П. Горох

Начальник отдела, доцент
Отдел науки и инноваций
Производственно-технического
департамента КП КХ «Харьковкоммуночиствод»
Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет
ул. Шевченко, 2, Харьков, 61013
Контактный тел.: (057) 707-57-95

И. В. Коринько

Доктор технических наук, профессор
Генеральный директор КП «ПТП «Вода»
ул. Краснооктябрьская, 190, Харьков, 61058
Контактный тел.: (057) 712-15-21

Розглядаються біохімічні процеси деструкції органічної складової побутових відходів та мулових осадів рідких стоків. Наведено методику розрахунку об'єму біогазу на реальному полігоні побутових відходів з порівняльними характеристиками енергоємності мулових осадів при мезофільному анаеробному зброджуванні.

Ключові слова: біохімічна деструкція, мезофільно анаеробне розкладання, біогаз, метан.

Рассматриваются биохимические процессы деструкции органической составляющей бытовых отходов и иловых осадков жидких стоков. Приведена методика расчета объема биогаза на реальном полигоне бытовых отходов со сравнительными характеристиками энергоёмкости иловых осадков при мезофильном анаэробном сбраживании.

Ключевые слова: биохимическая деструкция, мезофильно анаэробное разложение, биогаз, метан.

Biochemical processes of domestic waste and sludge sediment of liquid drains organic component destruction have been considered. A calculation method of biogas volume at real domestic waste landfill with comparative characteristics of power capacity of sludge sediment at mesophilous anaerobic digestion has been given.

Keywords: biochemical disrupture, mesophilous anaerobic digestion, biogas, methane.

1. Актуальность проблемы и анализ ситуации

Процесс разложения органических соединений отходов в мезофильно анаэробных условиях, приводит к образованию биогаза, существенно влияющего на «парниковый эффект». Из общего количества метана, ежегодно поступающего в атмосферу, 40–50 % образуется в результате антропогенной деятельности, причем более 20 % из них приходится на объекты захоронения твердых бытовых отходов (ТБО), включая и иловые осадки жидких стоков, размещаемых на иловых площадках (картах) биологических очистных сооружений.

Считается, что способность биогаза вызывать парниковый эффект, примерно в 30 раз выше, чем у углекислого газа CO₂. Метан и диоксид углерода являются «пар-

никовыми» газами, что требует ограничения их эмиссии в атмосферу.

Биогаз полигонов органических отходов содержит ряд газов, обладающих вредными для здоровья человека свойствами. В зависимости от уровня его эмиссии в атмосферу может оказывать токсические воздействия на все виды живых организмов.

Примерный состав основных компонентов биогаза в % масс: метан (CH₄) – 40–75 (обычно 50–60), диоксид углерода (CO₂) – 30–40, азот (N) – 0,8–1, сероводород (H₂S) – 1–2, кислород (O₂) – 1–2, другие токсичные соединения – в небольших количествах.

При нарушении правил и порядка эксплуатации полигонов твердых бытовых отходов по шести признакам вредности (органолептическому, общесанитарному,

фитоаккумуляционному, миграционно-водному, миграционно-воздушному и санитарно-токсикологическому), биогаз, образовавшийся в свободных полостях полигона при содержании метана 5–12 % масс и 12 % кислорода образует взрывопожарную смесь. Примерами тому — имеющие место возгорания на Держачевском полигоне ТБО г. Харькова и других средних и больших городов Украины.

В связи с вышеизложенным, для защиты атмосферного воздуха, здоровья людей и предотвращения угрозы взрывопожарных ситуаций необходимо утилизировать образовавшийся в теле полигона биогаз, не допуская его проникновения в атмосферу.

При этом возникает вопрос: сколько биогаза образуется при мезофильном анаэробном разложении органической составляющей отходов и иловых осадков жидких стоков? По различным источникам прогнозных оценок из одной тонны ТБО и иловых осадков, содержащих около 50 % органической составляющей, за период ее разложения в анаэробных условиях может образоваться, в зависимости от внешних условий, от 175 до 300 м³ биогаза. Отсюда, исходя из объема уложенных в полигон ТБО и складываемых на иловых полях осадка жидких стоков комплексов биологической очистки, можно прогнозировать количество биогаза, образовавшегося при разложении их органической составляющей. Например, полигон, где заскладировано 20 млн т ТБО, может служить, по прогнозным оценкам, источником получения от 3,5 · 10⁹ до 6,0 · 10⁹ м³ биогаза, а соответственно до 50 % масс метана (СН₄) с удельной теплотой сгорания 15–20 МДж/м³, что соответствует примерно 50 % теплоты сгорания природного газа 38,2 МДж/м³ (7–11 кКал/м³). При этом средняя влажность биогаза — 35–40 % масс.

Очисткой от балластных составляющих биогаза и осушкой удельную теплоту сгорания можно увеличить до 27–31 кДж/м³ (6500–7500 кКал/м³) или до 70 % теплоты сгорания природного газа.

Приведенные данные количественных характеристик носят ориентировочные лабораторные замеры. Полученный биогаз может использоваться в качестве топливного материала для коммунально-бытовых целей, а также для выработки тепловой и электрической энергии. Одновременно утилизация биогаза позволяет улучшить экологическую обстановку, уменьшить загрязнение атмосферы и практически исключить самовозгорание отходов.

Разработка методики расчета объемов образования биогаза с учетом морфологического состава и содержания основных химических элементов органической составляющей отходов и илового осадка (С, Н, О, N, S), физико-химических и биологических процессов мезофильно аэробно-анаэробной ферментации позволит использовать большой энергетический потенциал полигонов ТБО и иловых карт комплексов биологической очистки. К сожалению, в настоящее время в Украине такой потенциал не используется. В то же время в большинстве развитых стран производство электроэнергии на основе биогаза стимулируется государством с помощью специальных законов (США, Швеция, Германия и др.).

2. Биохимическая деструкция органической составляющей отходов

В результате реакции гидролиза образуются низкомолекулярные органические вещества, которые в течение

нескольких недель проходят стадию кислородно-нитратного окисления и разлагаются в аэробных условиях до воды, диоксида углерода и азота. При протекании этих процессов в теле полигона отмечается повышение температуры.

Для анаэробных условий характерна стадия распада продуктов гидролиза. Продолжительность этой стадии — от 1 до 6 месяцев. В итоге процессов ферментации и восстановления сульфатов органические вещества разрушаются до низкомолекулярных кислот (образуется, в частности, уксусная кислота), диоксида углерода и сульфида водорода; в небольших количествах выделяется метан. При этом образуются промежуточные продукты — карбоновые кислоты и спирты.

Образовавшиеся соединения могут затем использоваться метанообразующими бактериями для производства метана. Стадия анаэробного разложения органических веществ растянута во времени и продолжается в течение 8–40 лет, причем первые три года процесс образования метана протекает устойчиво.

По мере снижения выхода биогаза начинается последняя стадия разложения органических отходов — стадия образования гумуса. Ее продолжительность — до 40 лет. Различные стадии активных процессов разложения органических отходов, без указания временного масштаба этих стадий, приведены на рис. 1.



Рис. 1. Процессы разложения органических отходов

Биохимическая деструкция органики в теле полигона и местах захоронения ТБО, поясняющая стадии разложения органических составляющих ТБО (рис. 2), может быть представлен следующими теоретическими пояснениями.

Ежесуточное перекрытие ТБО слоями инертного грунта, с одной стороны, защищает атмосферу от загрязнения, а с другой — прекращает доступ кислорода к ТБО, уложенным в тело полигона. Однако ТБО являются пористым материалом, поэтому, запаса воздуха в их порах достаточно, чтобы первое время (до 3 месяцев) в теле полигона протекали аэробные процессы.

При этом происходит разогрев тела полигона до температуры 20–40 °С и основными продуктами аэробных процессов являются диоксид углерода и вода. Постепенно, по мере использования запасов кислорода в порах ТБО активность аэробных процессов падает и в складываемых ТБО начинают преобладать анаэробные процессы, вызываемые деятельностью анаэробных микроорганизмов.

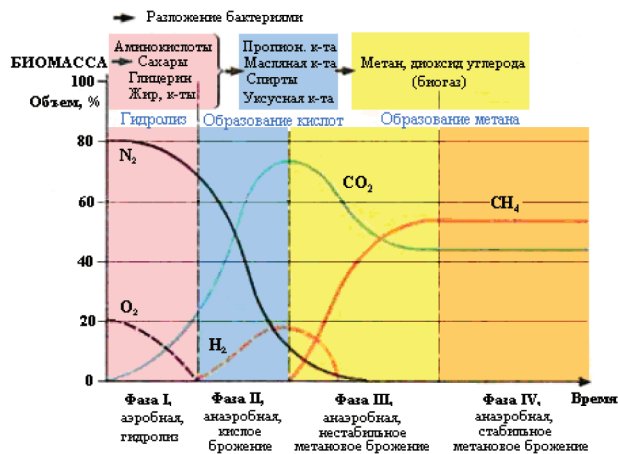


Рис. 2. Стадии разложения органических отходов

Эти процессы идут медленно и, преимущественно в пищевых отходах и других органических соединениях. Анаэробные микроорганизмы не используют молекулярный кислород воздуха для окисления органических веществ, а получают необходимую для жизнедеятельности энергию в результате расщепления органических веществ. Эти процессы получили название анаэробного сбраживания.

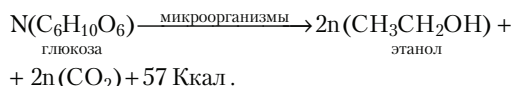
Анаэробное сбраживание — это комплекс биохимических процессов, преобразующих органические соединения ТБО в стабильный продукт. Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды и условно может быть разделен на несколько стадий. Теоретически анаэробные биохимические реакции, протекающие в теле полигона ТБО при отсутствии кислорода, можно представить в следующем виде:

Первая стадия



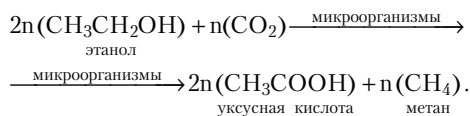
На первой стадии путем биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения разлагаются на низкомолекулярные.

Вторая стадия



Сбраживание без доступа кислорода приводит к образованию этанола, диоксида углерода и выделению небольшого количества тепла (в 12 раз меньше, чем при аэробном процессе). Поэтому в отличие от быстрого обеззараживания при аэробном процессе процесс обеззараживания ТБО при анаэробном сбраживании довольно медленный и требует больших затрат времени.

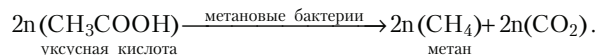
Третья стадия



На третьей стадии при участии микроорганизмов происходит дальнейшее разложение органики с получением органических кислот и их солей, а также небольшого количества метана (CH₄). В реальных условиях разложения рядовых ТБО в небольших количествах также обра-

зуются: сероводород (H₂S), аммиак (NH₃), водород (H₂) и другие микрогазы.

Четвертая стадия



Четвертая стадия имеет название метанового брожения, при котором органика преобразуется в (CH₄) и (CO₂), а из свободных (CO₂) (H₂) также образуется метан. Метанообразующие бактерии могут существовать только в анаэробных условиях, для их воспроизводства необходимо больше времени, чем для кислотообразующих бактерий. Скорость анаэробного сбраживания зависит от метаболической активности метановых бактерий, которая, в свою очередь зависит от:

- температуры (оптимум при t = 33–54 °C);
- отношения C/N (оптимум в диапазоне 10–16);
- величины pH (оптимум около 6,5).

и других внешних условий, например, наличия в ТБО солей тяжелых металлов, аммиака, нитратов, сульфатов, антибиотиков и др.

При отклонении от указанных выше оптимальных условий увеличивается образование летучих кислот и уменьшается выход метана.

3. Определение объема биогаза на полигонах ТБО

В теле полигона твердых бытовых отходов под воздействием микрофлоры происходит биотермический анаэробный процесс распада органических составляющих отходов, способных на 70–80 % к разложению в анаэробных условиях. Конечным продуктом этого процесса является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан и диоксид углерода. Количественный и качественный состав биогаза зависит от многих факторов, в том числе от климатических и геологических условий места расположения полигона, морфологического и химического состава отходов, условий складирования (площадь, объем, глубина захоронения), влажности, плотности, и т. д., и подлежит уточнению в каждом конкретном случае.

Для расчета количественных и качественных характеристик образования биогаза для конкретного региона (мегаполиса) в качестве исходных данных принимается морфологический состав органической части отходов, содержание основных химических элементов в сухом веществе и количество сухого вещества органической составляющей отходов, способного к разложению в анаэробных условиях.

По данным исследований (г. Донецк) в 1 кг ТБО содержится 212,4 г сухого вещества. Исходя из процентного содержания химических элементов сухого вещества и их атомного веса: углерод (12); водород (1); кислород (16); азот (14); сера (32); определено количество грамм-молей этих элементов в 1 кг отходов равно 8,51.

Количественные характеристики основных химических элементов фракций морфологического состава ТБО и количество грамм-молей химических элементов в составе сухого вещества органической составляющей 1 кг твердых бытовых отходов приведены в табл. 1, 2.

При анаэробном разложении органического вещества в теле полигона освобождаются основные ее химические элементы, которые при наличии воды, содержащейся в составе ТБО (40–60 % по массе) или проникающей

через укрытие полигона во время атмосферных осадков, образуют новые химические соединения, такие, как диоксид углерода (CO₂), метан (CH₄), аммиак (NH₃), сероводород (H₂S). Эти газоподобные вещества, смешиваясь, образуют биогаз.

Таблица 1

Морфологический состав органической части ТБО и содержание основных химических элементов в сухом веществе ее компонентов

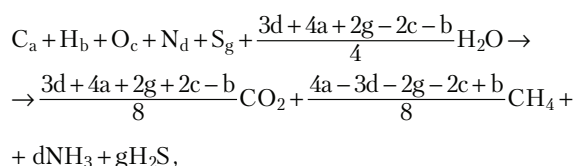
Морфологический состав органической части ТБО	Донецк (1991 г.)		Процентное содержание по массе основных химических элементов в сухом веществе органических компонентов ТБО						
	%-ное содержание по массе в ТБО	%-ное содержание в органической части ТБО	C	H	O	N	S	Зола	
Бумага	21,0	44,5	45,40	6,10	42,10	0,30	0,12	6,00	
Пищевые отходы	12,0	25,4	41,70	5,80	27,60	2,80	0,25	21,90	
Дерево	2,1	4,5	48,30	6,00	42,40	0,30	0,11	2,90	
Текстиль	2,6	5,5	46,20	6,40	41,80	2,20	0,20	3,20	
Кожа, резина	4,6	9,5	59,80	8,30	19,00	1,00	0,30	11,60	
Пластмасса	3,4	7,2	67,90	8,57	10,30	1,13	0,05	12,02	
Кости	1,6	3,4	59,60	9,50	24,70	1,02	0,19	4,99	
Смесь компонентов	Донецк (1991 г.)	47,2	100	48,10	6,53	33,30	1,18	0,15	10,74

Таблица 2

Количество грамм-молей основных химических элементов в органическом веществе 1 кг ТБО

Химический знак элемента	Донецк (1991 г.)		Условное обозначение количества грамм-молей
	Масса в 1 кг ТБО, г	Количество грамм-молей	
C	102,16	8,51	a
H	13,87	13,87	b
O	70,70	4,40	c
N	2,50	0,18	d
S	0,32	0,01	g
	189,55		

Основную химическую формулу анаэробного процесса можно записать в таком виде:

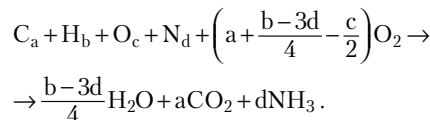


где a, b, c, d, g — количество грамм-молей соответствующего химического элемента.

Зная молекулярный вес образованных соединений: CO₂ (44), CH₄ (16), NH₃ (17), H₂S (34), H₂O (18), можно определить массы веществ, образующихся при разложении 1 кг ТБО. Данные таких расчетов приведены в табл. 3.

При аэробном разложении органического вещества ТБО образуется вода (H₂O), диоксид углерода (CO₂), аммиак (NH₃).

Основную химическую формулу аэробного процесса можно записать в таком виде:



Далее, как и при анаэробном процессе, можно определить массы веществ, образующихся при разложении 1 кг ТБО. Данные расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Баланс масс исходных веществ и продуктов реакции при анаэробном и аэробном разложении органического вещества 1 кг ТБО

Исходные химические элементы		Продукты реакции				
химический знак	масса, г	химическая формула	масса, г	массовая часть, г	объем, м ³	объемная часть, г
Анаэробный процесс (полигон) Донецк (1991 г.)						
C	102,16	CO ₂	162,20	66,70	0,0923	42,36
H	13,88	CH ₄	77,20	31,80	0,1210	55,53
O	70,73	NH ₃	3,06	1,36	0,0044	2,02
N	2,51	H ₂ S	0,34	0,14	0,0002	0,09
S	0,32					
H ₂ O	53,50					
	242,90		242,90	100	0,217	100
Аэробный процесс (полигон) Донецк (1991 г.)						
C	102,20	H ₂ O	120,0	24,10	—	—
H	13,88	CO ₂	374,30	75,20	0,213	98,0
O	70,70	NH ₃	3,06	0,70	0,004	2,0
N	2,50					
O ₂	308,20					
	497,50		497,50	100	0,217	100

В расчете принято, что биогаз выходит из ТБО при температуре 30 °С. Пересчет плотности газов при этой температуре определяется по формуле:

$$\frac{PV}{T_0} = const,$$

где P — давление газа, p = 760 мм в ст.; V — объем газа, V = m/p, где m — масса газа; T — абсолютная температура газа (по шкале Кельвина), T = t + 273, где t — температура по шкале Цельсия.

Плотность CO₂ (при 30 °С) составляет 1,7596 кг/м³; CH₄ — 0,6380, NH₃ — 0,6863 и H₂S — 1,3699.

Объем смеси образуемых газов определяется по формуле:

$$V_c = \sum_i^n V_i,$$

где V_i — парциальный объем определенного (i -го) газа. Плотность смеси газов определяется по формуле:

$$\rho_c = \frac{M_c}{V_c},$$

где M_c — масса смеси газов.

По данным табл. 3 определяем, что при анаэробном процессе $\rho_{c1} = 1,1 \text{ кг/м}^3$; при аэробном процессе $\rho_{c2} = 1,7 \text{ кг/м}^3$.

При анаэробном разложении 1 кг ТБО для образования продуктов реакции используется 54–65 г воды. Даже при достаточно низкой влажности (40 %) в 1 кг ТБО содержится 400 г воды. Поэтому процесс анаэробного разложения органического вещества в теле полигона происходит и без доступа атмосферных осадков, то есть при водонепроницаемом укрытии. Часть воды при этом образует фильтрат. Потребность в свободном кислороде (O_2) при аэробном разложении 1 кг ТБО составляет 300–350 г, что необходимо учитывать, например, при компостировании ТБО. Компостирование должно осуществляться только при аэробном процессе, а поэтому в компостную смесь должно подаваться достаточное количество воздуха (кислорода). Диоксид углерода или углекислый газ (CO_2), образуемый как при анаэробном, так и при аэробном разложениях органического вещества ТБО, является парниковым газом, и его остаточная концентрация в атмосфере приводит к глобальным и локальным аномальным потеплениям, а поэтому его выбросы в атмосферу являются вредными. Как видно из данных табл. 3, при аэробном процессе из 1 кг ТБО образуется в 2,3–2,4 раза больше CO_2 , чем при анаэробном.

Приведенные объемы образования газов можно считать лишь потенциальными, так как на практике ни аэробного, ни анаэробного процесса в чистом виде не бывает, эти процессы всегда идут одновременно.

Наибольший практический интерес вызывают процессы, происходящие в теле полигона, так как они связаны с образованием значительного количества вредных миграций в окружающую среду: биогаза — в атмосферу, а фильтрата — в грунтовые воды.

Биологические процессы являются ключевыми и выражены фазами аэробного и анаэробного разложения органического вещества с образованием биогаза и фильтрата. Аэробное разложение органического вещества происходит на поверхности полигона, а также в его теле, до тех пор, пока не будет использован весь кислород (O_2), содержащийся в ТБО при их захоронении. Этот процесс может продолжаться 50–150 дней, после чего облигатные аэробные микроорганизмы отмирают, а факультативные переходят в анаэробные, и начинается фаза анаэробного разложения органического вещества. Анаэробное разложение органического вещества продолжается несколько десятилетий, причем интенсивность процесса достигает максимума уже через 1 год после закрытия ТБО изолирующим слоем грунта и находится практически на одном уровне 5–6 лет, а далее плавно спадает. Для ориентировочных расчетов можно считать, что 42,5 % биогаза выделяется в первые 6 лет и еще 57,5 — за последующие 15 (рис. 3).

Приведем пример расчета объемов образования биогаза на условном полигоне, где захороняются ТБО из города в 1 млн. жителей (при норме накопления ТБО

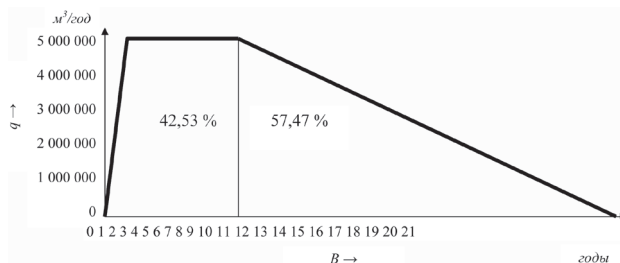


Рис. 3. Зависимость интенсивности образования биогаза из годового количества ТБО от времени

300 кг/год на 1 жителя) на протяжении 20 лет, после чего полигон закрывается.

Годовое количество ТБО, поступающее на полигон, определим по формуле:

$$M = N \cdot \tau = 300 \cdot 1 \cdot 10^6 = 300 \cdot 10^6 \text{ (кг)},$$

где N — годовая норма накопления ТБО на 1 жителя, τ — количество жителей.

На рис. 3 приведен график зависимости q образования биогаза исходя из годового количества захороненных на полигоне ТБО от времени, прошедшего с момента захоронения.

$$q = \frac{0,4253 \cdot M \cdot V_c}{5,5} = \frac{0,4253 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 0,217}{5,5} = 5,034 \cdot 10^6 \text{ (м}^3/\text{год)},$$

где $V_c = 0,217 \text{ м}^3/\text{кг}$ — объем биогаза, образуемого с 1 кг ТБО.

При условии непрерывного складирования бытовых отходов на полигоне и закрытие его через 20 лет (оптимальный вариант проектирования и эксплуатации), происходит смена нескольких фаз мезофильно анаэробного процесса разложения органической составляющей отходов (рис. 2). Как правило, продолжительность фаз 1 и 2 составляет 1 месяц, фазы 3 — менее 1 года, фазы 4—25 лет. Образование биогаза на полигоне в зависимости от времени происходит 40–50 лет. Принято считать, что утилизировать (собирать) биогаз целесообразно в течение 20–25 лет, после чего его образование идет на убыль и к 40–50 годам объем его практически равен нулю.

Данные расчетов по объемам захоронения ТБО и образования биогаза на расчетном полигоне приведены в табл. 4.

На основании обобщенных результатов многочисленных лабораторных исследований, проведенных на крупных полигонах отходов Украины (г. Донецк) и России (г. Москва), составлена математическая модель определения удельного выхода биогаза за период его активной стабилизированной генерации. Эта модель описывается формулой:

$$Q_{t1} = \frac{1,8G_0(1-10^{kt})}{\left(\frac{59-W}{13}\right)^4},$$

где Q_{t1} — удельный выход биогаза, куб. м/т отходов; $G_0 = 1,868 C_{акт}(0,014T + 0,28)$; $C_{акт}$ — активный органический углерод, г/т отходов; T — температура в теле полигона, °С; температура в теле полигона колеблется от 28 до 32 °С; k — постоянная разложения, равная отношению углерода к общему азоту (C/N); t — продолжительность периода стабилизированного выхода биогаза (4 фаза), год; W — естественная влажность отходов %.

Таблица 4

Объемы захоронения ТБО и образования биогаза по годам эксплуатации на расчетном полигоне

Год от начала складирования	Захоронено ТБО на конец года, млн. т	Среднегодовая интенсивность образования биогаза, млн. м ³ /год	Образовано биогаза от начала складирования (на конец года)		Относительная эффективность образования биогаза (на конец года)
			млн. м ³	% от суммарных объемов	
1	0,3	2,50	2,50	0,19	1,0
5	1,5	22,50	62,50	4,81	5,0
10	3,0	44,83	244,99	18,84	9,33
15	4,5	59,00	514,98	39,60	12,0
20 закрытие	6,0	64,83	830,80	63,88	13,0
25	6,0	42,50	1093,30	84,06	8,0
30	6,0	20,18	1236,34	95,06	3,67
35	6,0	6,00	1291,38	99,29	1,0
40	6,0	0,18	1300,60	100,00	0
Всего	6,0		1300,6	100	

Для практических расчетов более удобно пользоваться известным уравнением выхода биогаза при метановом брожении:

$$Q_{t2} = 10 - 6R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б),$$

где Q_{t2} — удельный выход биогаза за период активного выхода, кг/кг отходов; W — средняя влажность отходов %; R — содержание органической составляющей в отходах, на сухую массу, %; $Ж$ — содержание жироподобных веществ в органике отходов, %; $У$ — содержание углеводородных веществ в органике отходов, %; $Б$ — содержание белковых веществ в органике отходов, %; $W, R, Ж, У$ и $Б$ — определяются анализами отбираемых проб отходов.

Расчет выбросов биогаза ведется для условий стабилизированного процесса разложения при максимальном выходе биогаза (в период 4 фазы).

Стабилизация процесса газовой выделености наступает спустя в среднем два года после захоронения отходов.

Период активного выхода биогаза составляет в среднем двадцать лет. За это время генерируется около 80 % от общего количества биогаза, получаемого с одной тонны отходов.

Расчеты свидетельствуют о том, что на условном полигоне (принятом в расчете для 1 млн. жителей) за 40 лет образуется 1,3 млрд. м³ биогаза. Учитывая, что теплотворная способность биогаза 10–20 МДж/м³, это составит 3,10–6,21 млн. Гкал, или 3,607,2 млрд. кВт·ч. За 30 лет, с конца 2-го до конца 32-го года, на расчетном полигоне образуется 97 % общего количества биогаза, то есть 1,26 млрд. м³.

Для того чтобы практически осуществить сбор биогаза, необходимо разработать проект для конкретного полигона с учетом его параметров и особенностей захоронения ТБО, а также условий использования полученного газа.

В Украине существует 140 больших полигонов, на которых захороняется почти половина всех образуе-

мых ТБО и на которых экономически целесообразно собирать и использовать биогаз. С годовых объемов ТБО, захороняемых на этих полигонах, можно собрать почти 0,98–1,12 млрд. м³ биогаза. Если учитывать, что на этих полигонах за последние 15–20 лет захоронено 60–100 млн. т ТБО, то по приведенной методике можно рассчитать, что на этих полигонах ежегодно образуется 600–1000 млн. м³ биогаза.

4. Сравнительный анализ возможного использования технологии анаэробного сбраживания осадков с получением биогаза и технологии термоутилизации с получением тепловой и электрической энергии на очистных сооружениях г. Харькова

В городе Харькове работают два комплекса канализационных очистных сооружений КП КХ «Харьковкоммуночиствод»: Комплекс биологической очистки «Диканевский» (КБОД) и Комплекс биологической очистки «Безлюдовский» (КБОБ). Общая пропускная способность комплексов составляет более 1,0 млн. м³/сут. Сегодня на комплексах проводится очистка примерно 0,7 млн. м³ в сутки жидких стоков.

Полезная площадь иловых полей на КБОБ составляет 126,18 га, из которых свободными остаются 9,2 га площади.

На иловых площадках накоплено примерно 2,2 млн. м³ смесей осадка сточных вод. Влажность осадка на иловых полях колеблется в пределах 98–70 %.

Общий объем смеси осадка, образующейся на канализационных очистных сооружениях, составляет около 3000 м³/сут.

Существующее состояние с обработкой осадков на Комплексе биологической очистки «Безлюдовский» в г. Харькове является показательным для больших канализационных очистных сооружений в Украине. Однако с учетом рабочего проекта «Усовершенствование системы илового хозяйства канализационных очистных сооружений г. Харькова», технологическая схема обработки осадков не является завершенной. Сегодня остро стоит вопрос дальнейшей утилизации кека после механического обезвоживания и большого количества осадков, накопленных на иловых площадках.

В рамках инвестиционного проекта «Усовершенствование системы илового хозяйства канализационных очистных сооружений г. Харькова» для оценки количественных характеристик тепловой и электрической энергии и биогаза, образующихся в технологических схемах анаэробного сбраживания и термоутилизации осадка были использованы реальные результаты определения физико-химических особенностей смеси осадков Комплексов очистных сооружений г. Харькова.

Сравнивая полученные результаты можно сделать вывод, что с энергетической точки зрения как анаэробное сбраживание, так и термоутилизация позволяют не только вести процессы без вовлечения энергетических ресурсов, но и дополнительно получать определенное количество тепловой и электрической энергии (табл. 5).

Из табл. 5 видно, что больше дополнительной энергии, как электрической, так и тепловой, мы получим при сжигании, так как при сбраживании разлагается лишь определенная часть органического вещества осадка, а при сжигании мы используем ее в полном объеме.

Таблица 5

Усредненные результаты обработки смесей илового осадка

Наименование	Стадия обработки осадков	
	Мезофильное анаэробное сбраживание	Сжигание
Масса сухого вещества осадков в начале процесса	108900 кг/сут.	108900 кг/сут.
Масса сухого вещества осадков после процесса	76062 кг/сут.	29580 кг/сут.
Объем осадков в начале процесса	3000 м ³ /сут.	435,6 м ³ /сут. (кек)
Объем осадков после процесса	3000 м ³ /сут.	30 м ³ /сут. (зола)
Количество избыточной электроэнергии в теплое время года	40,15 МВт-ч/сут.	38,1 МВт-ч/сут.
Количество избыточной тепловой энергии в теплое время года	36,1 Гкал/сут.	103 Гкал/сут.
Количество избыточной электроэнергии в холодное время года	31,1 МВт-ч/сут.	38,1 МВт-ч/сут.
Количество избыточной тепловой энергии в холодное время года	7,69 Гкал/сут.	103 Гкал/сут.
Количество избыточной электроэнергии за год	13568,75 МВт-ч	13906,5 МВт-ч
Количество избыточной тепловой энергии за год	7199,6 Гкал/год	37595,0 Гкал/год

В то же время полученные расчетные данные позволят более точно определить целесообразность выбора того или иного процесса с учетом всего спектра затрат.

5. Общие выводы

1. Метан и диоксид углерода являются парниковыми газами, что само по себе требует принятия мер к ограничению их эмиссии в атмосферу.

2. Для защиты атмосферного воздуха, здоровья людей и предотвращения угрозы возгорания (взрывопожарной опасности) необходимо собирать образовавшийся в теле полигона биогаз промышленным способом, не допуская его проникновения в атмосферу.

3. Биогаз оказывает негативное воздействие на растительный покров, угнетая растительность на примыкающих к полигонам ТБО площадях (механизм влияния связан с насыщением биогазом порового пространства почвы и вытеснением из нее кислорода).

4. Негативное воздействие биогаза на окружающую среду привело к тому, что в большинстве развитых стран владельцы полигонов законодательно принуждаются к предотвращению его стихийного распространения.

В связи с этим за рубежом в последнее десятилетие получили широкое распространение технологии добычи и утилизации биогаза. В Германии, например, добыча биогаза на полигонах ТБО составила около 35 млн. м³/год, что позволяет получать ежегодно 140 млн. кВт-час электроэнергии и экономить 14 тыс. т/год нефти.

На украинских полигонах и свалках биогаз практически не собирается.

Литература

1. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса [Текст]: учеб. пособие / А. В. Гриценко, Н. П. Горох, И. В. Коринько и др. — Х.: ХНАДУ, 2005. — 340 с.
2. Шубов Л. Я. Технологии отходов (технологические процессы в сервисе) [Текст]: учеб. / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, Д. В. Шехирев. — М.: ГОУВПО «МГУС», 2006. — 410 с.
3. Абрамов Н. Ф. Сбор и утилизация биогаза на полигонах твердых бытовых отходов [Текст] / Н. Ф. Абрамов, А. Ф. Проскуряков // Обзорная информация. — 1989. — Вып. 1(30). — М.: ЦБНТИ Минжилкомхоза РФ. — С. 41–47.
4. Гейнрих Д. Экология: dtv-Atlas [Текст]: пер. с 5-го нем. изд. — М.: Рыбари, 2003. — 287 с.
5. Сотрудничество для решения проблемы отходов [Текст]: материалы VI междунар. науч.-практ. конф., 8–9 апреля 2009 г. Харьков. — Х., 2009. — 290 с.