

**УДК 628.16**

В.Н. БАБАЕВ, докт. наук государственного управления, профессор, первый заместитель главы Харьковской областной государственной администрации,

Н.П. ГОРОХ, начальник отдела

КП КХ «Харьковкоммуночиствод»

И.В. КОРИНЬКО, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор

КП «ПТП «Вода», г. Харьков

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ БИОГАЗА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ МЕЗОФИЛЬНОМ АНАЭРОБНОМ РАЗЛОЖЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрены биохимические процессы деструкции органической составляющей твердых бытовых отходов и иловых осадков жидких стоков. Приведена методика расчета объема биогаза, образующегося на полигоне бытовых отходов. Выполнена сравнительная оценка энергетических показателей утилизации иловых осадков очистных сооружений путем мезофильного анаэробного сбраживания и сжигания.

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

В процессе разложения органических бытовых отходов в мезофильных анаэробных условиях образуется биогаз, основными компонентами которого являются метан и диоксид углерода. 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) и осадки жидких стоков, размещаемых на иловых площадках биологических очистных сооружений [1].

Считается, что способность биогаза создавать парниковый эффект примерно в 30 раз выше, чем у углекислого газа, что обуславливает необходимость ограничения его эмиссии в атмосферу. Кроме того, биогаз полигонов органических отходов содержит ряд вредных для человека газов, которые при определенных уровнях выделения в атмосферу могут оказывать токсические воздействия на все виды живых организмов. В случае нарушения правил эксплуатации полигонов ТБО выделяющийся биогаз при содержании метана 5–12 % масс. и 12 % кислорода образует взрывопожароопасную смесь.

Для защиты атмосферного воздуха, здоровья населения и предотвращения угрозы взрывов и пожаров необходимо утилизировать образовавшийся в теле полигона биогаз, не допуская его выделения в атмосферу.

По данным различных источников, из одной тонны ТБО и иловых осадков, содержащих около 50 % органических компонентов, в процессе разложения в анаэроб-

ных условиях может образовываться (в зависимости от внешних условий) от 175 до 300 м³ биогаза. Имея информацию об объемах отходов, размещенных на полигонах ТБО и складированных на иловых полях комплексов биологической очистки, можно прогнозировать количество биогаза, которое образуется при разложении их органической составляющей [2].

Разработка методики расчета объемов образования биогаза, учитывающей морфологический состав и содержание основных химических элементов в отходах и иловом осадке, физико-химические и биологические процессы мезофильной аэробно-анаэробной ферментации, позволит оценить энергетический потенциал полигонов ТБО и иловых полей комплексов биологической очистки.

В результате реакции гидролиза органических компонентов ТБО 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 происходит 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 (в частности, образуется уксусная кислота), диоксида углерода и сульфида водорода; в небольших количествах выделя-

ется метан. При этом образуются промежуточные продукты – карбоновые кислоты и спирты.

Образовавшиеся соединения затем используются некоторыми видами бактерий 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 [3].

По мере снижения выхода биогаза начинается последняя стадия разложения органических отходов – образование гумуса (продолжительность стадии – до 40 лет). Процессы разложения органических отходов приведены на рис. 1.

Стадии биохимической деструкции органики в теле полигона и в местах захоронения отходов представлены на рис. 2.

Перекрытие ТБО, размещенных на полигонах, слоями инертного грунта, с одной стороны, защищает атмосферу от загрязнения, с другой – прекращает доступ кислорода к отходам. Однако ТБО являются пористым материалом – запаса воздуха в порах достаточно, чтобы первое время (до 3 месяцев) в теле полигона протекали аэробные процессы [4]. При этом происходит разогрев

тела полигона до температуры 20–40 °С, – основными продуктами аэробных процессов являются диоксид углерода и вода.

Постепенно, по мере использования запасов кислорода в порах ТБО, активность аэробных процессов падает и начинают преобладать анаэробные процессы – анаэробное сбраживание, которое обусловлено деятельностью анаэробных микроорганизмов, протекает медленно, 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.

Как известно, анаэробное сбраживание – это комплекс биохимических процессов, преобразующих органические соединения ТБО в стабильный продукт, зависящих от микробных популяций и факторов внешней среды, условно разделяющихся на несколько стадий:

Первая стадия

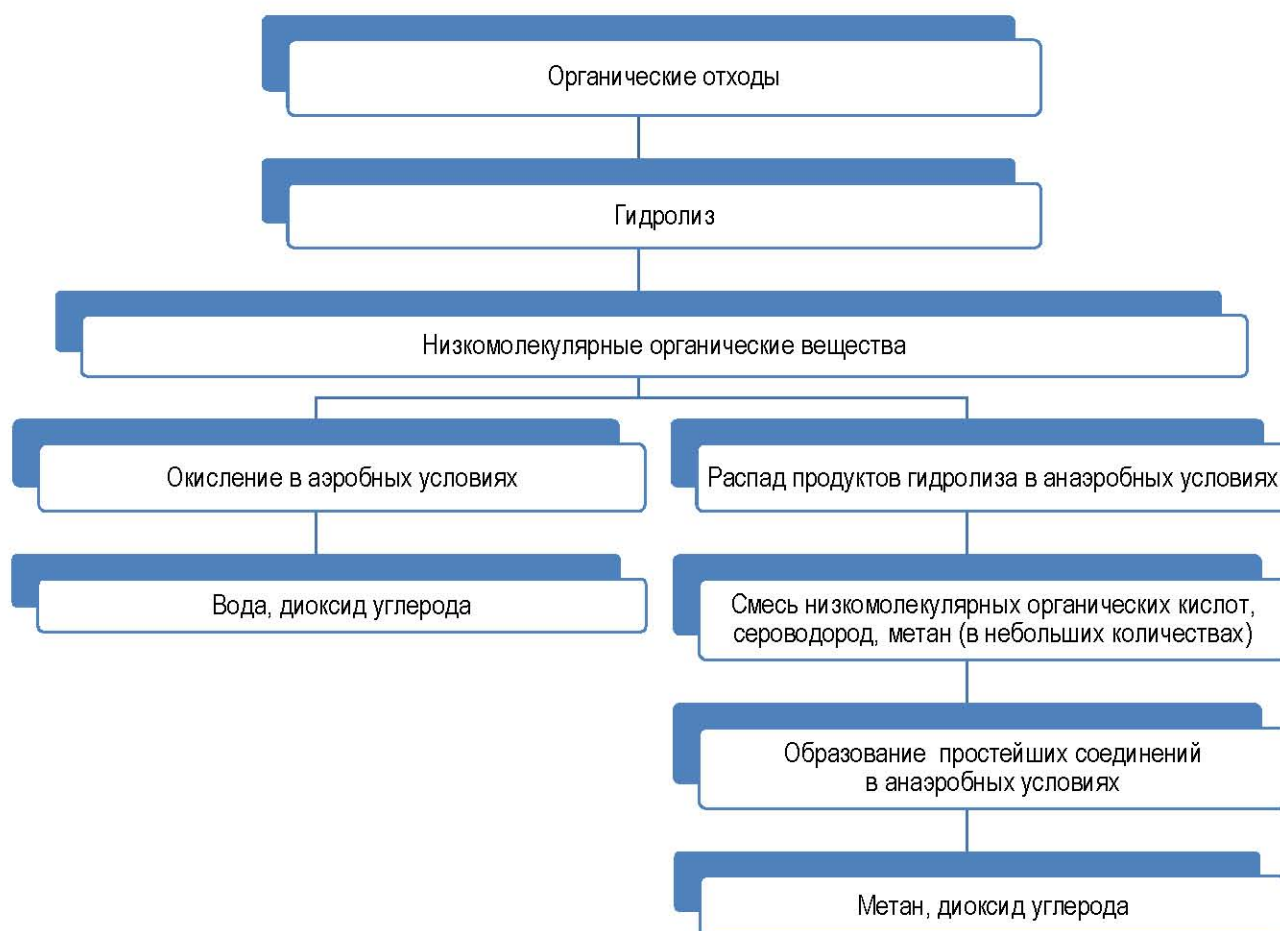
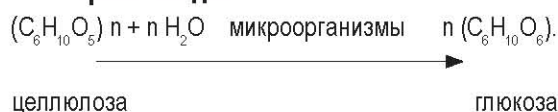


Рисунок 1 – Процессы разложения органических отходов

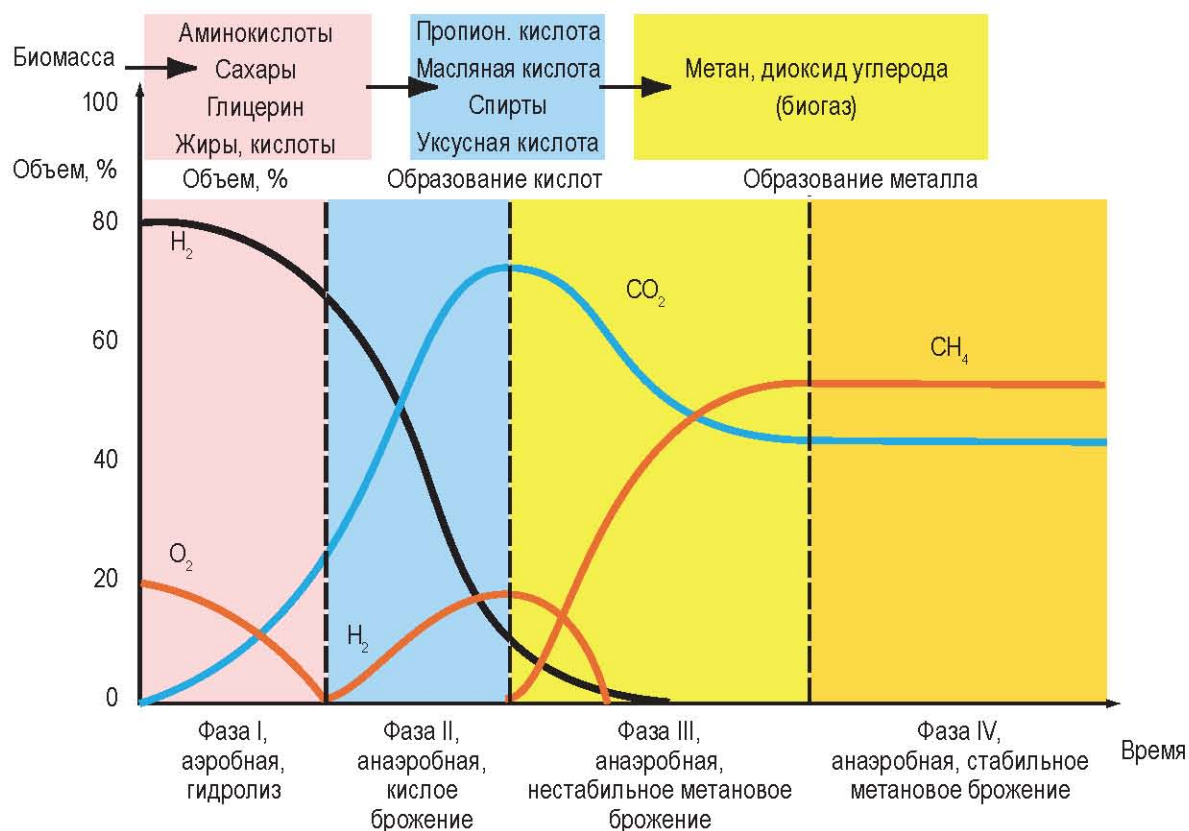


Рисунок 2 – Стадии разложения органических отходов

На этой стадии в результате биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения разлагаются на низкомолекулярные.

Вторая стадия

$n(C_6H_{10}O_6)$ микроорганизмы $2n(CH_3CH_2OH) + 2n(CO_2) + 57 \text{ Ккал.}$

глюкоза → этанол

Сбраживание без доступа кислорода приводит к образованию этанола, диоксида углерода и выделению небольшого количества тепла (в 12 раз меньшего, чем при аэробном процессе), поэтому, в отличие от быстрого обеззараживания при аэробном процессе, обеззараживание ТБО при анаэробном сбраживании протекает медленно.

Третья стадия

$2n(CH_3CH_2OH) + n(CO_2)$ микроорганизмы $2n(CH_3COOH) + n(CH_4)$

этанол → уксусная кислота
метан

На третьей стадии при участии микроорганизмов происходит дальнейшее разложение органики с получением органических кислот и их солей, а также небольшого количества метана (CH_4). В реальных условиях разложения обычных ТБО в небольших количествах также

образуются: сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), водород (H_2) и другие газы.

Четвертая стадия

$2n(CH_3COOH)$ метановые бактерии $2n(CH_4) + 2n(CO_2)$

уксусная кислота → метан

Четвертая стадия – метановое брожение, при котором органика преобразуется в CH_4 и CO_2 , а из свободных CO_2 и H_2 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 $t = 33-54^\circ C$);
- 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 оптимальных условий увеличивается образование летучих кислот и уменьшается выход метана.

Конечным продуктом биохимического анаэробного процесса распада органических компонентов отходов

является биогаз, основную объемную массу которого составляют метан и диоксид углерода. Количественный и качественный состав биогаза зависит от многих факторов, в т. ч. от климатических и геологических условий места расположения полигона, морфологического и химического состава отходов, условий складирования (площадь, объем, глубина захоронения), влажности, плотности и т.д.

Для расчета количественных и качественных характеристик образования биогаза для конкретного полигона исходными данными являются: морфологический состав органической части отходов, содержание в сухом веществе отходов основных химических элементов и органических компонентов, способных к разложению в анаэробных условиях [5].

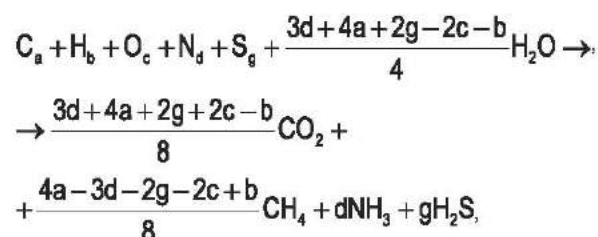
По данным исследований, проведенных в г. Донецке, в 1 кг ТБО содержится 212,4 г сухого вещества. Исходя из процентного содержания и атомного веса химических элементов (углерод, водород, кислород, азот, сера) в сухом веществе ТБО, определено количество грамм-молей этих элементов в 1 кг отходов, равное 8,51.

Количественные характеристики основных химических элементов фракций ТБО и количество грамм-молей этих элементов в сухом веществе органической составляющей 1 кг ТБО приведены в табл. 1, 2.

При анаэробном разложении органического вещества освобождаются его основные химические элементы, которые в присутствии воды, содержащейся в ТБО

(40–60 % масс.), образуют новые химические соединения (диоксид углерода, метан, аммиак, сероводород). Эти газообразные вещества, смешиваясь, образуют биогаз.

Анаэробный процесс можно описать формулой



где a, b, c, d, g – количество грамм-молей соответствующего химического элемента (табл. 2).

Зная молекулярный вес образованных соединений CO_2 (44), CH_4 (16), NH_3 (17), H_2S (34), H_2O (18), можно определить массы веществ, образующихся при разложении 1 кг ТБО (табл. 3).

При аэробном разложении органической составляющей ТБО образуется вода, диоксид углерода и аммиак.

Аэробный процесс можно описать формулой

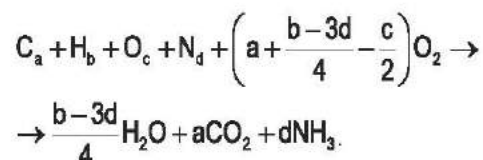


Таблица 1– Морфологический состав органической части ТБО и содержание основных химических элементов в сухом веществе ее компонентов

Морфологический состав органической части ТБО	Содержание в ТБО, % масс.	Содержание в органической части ТБО, % масс.	Содержание по массе основных химических элементов в сухом веществе органических компонентов ТБО, % масс.					
			С	Н	О	Н	С	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	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 элемент	Масса в 1 кг ТБО, г	Количество грамм-молей	Условное обозначение количества грамм-молей
С	102,16	8,51	a
Н	13,87	13,87	b
О	70,70	4,40	c
Н	2,50	0,18	d
С	0,32	0,01	g
Итого	189,55		



Таблица 3 – Баланс масс исходных веществ и продуктов реакции при анаэробном и аэробном разложении органической составляющей 1 кг ТБО

Исходные элементы		Продукты реакции				
Знак элемента	Масса, г	Химическая формула	Масса, г	Массовая часть, г	Объем, м³	Объемная часть, г
Анаэробный процесс						
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	–	–	–	–	–
Итого	242,90		242,90	100	0,217	100
Аэробный процесс (полигон г. Донецка, 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	–	–	–	–	–
Итого	497,50		497,50	100	0,217	100

Далее, как и при анаэробном процессе, можно определить массы веществ, образующихся при разложении 1 кг ТБО (табл. 3).

В расчете принято, что биогаз выходит из ТБО при температуре 30 °С. Плотность CO₂ при этой температуре составляет 1,7596 кг/м³; CH₄ – 0,6380 кг/м³; NH₃ – 0,6863 кг/м³ и H₂S – 1,3699 кг/м³.

Объем смеси образуемых газов определяется по формуле

$$V_c = \sum_{i=1}^n V_i,$$

где V_i – парциальный объем i -того 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 $\rho_{c1} = 1,1$ кг/м³; при аэробном процессе $\rho_{c2} = 1,7$ кг/м³.

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, т.е. при водонепроницаемом укрытии. Часть воды при этом образует фильтрат. Потребность в свободном кислороде при аэробном разложении 1 кг ТБО составляет 300–350 г, что необходимо учитывать, например, при

компостировании отходов, которое должно осуществляться только при аэробном процессе, а поэтому в компостную смесь должно подаваться достаточное количество воздуха (кислорода). Диксид углерода образуется как при анаэробном, так и при аэробном разложении органических компонентов ТБО. При аэробном процессе из 1 кг ТБО образуется в 2,3–2,4 раза больше CO₂, чем при анаэробном (табл. 3).

Рассчитанные 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.

Аэробное разложение органического вещества происходит на поверхности и в теле полигона до тех пор, пока не будет использован весь кислород, 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, а 57,5 % – в последующие 15 лет (рис. 3).

Приведем пример расчета объемов образования биогаза на условном полигоне, на котором размещаются ТБО города с населением 1 млн жителей на протяжении

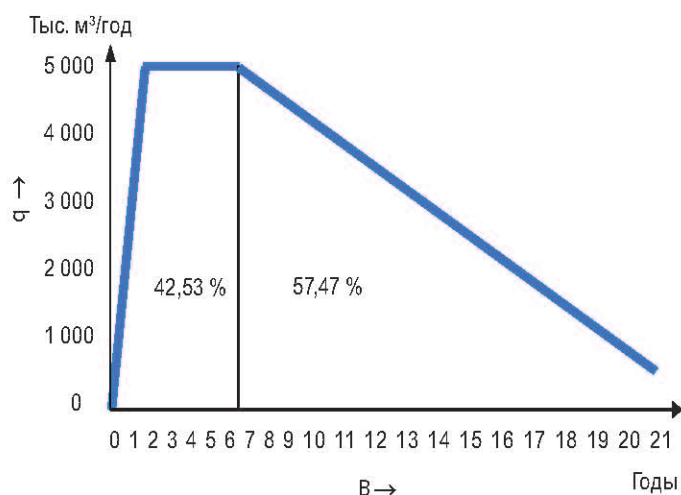


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности образования биогаза из ТБО от времени

20 лет, после чего полигон закрывается. При норме образования отходов 300 кг/год на 1 жителя годовое количество ТБО, поступающее на полигон, составит $300 \cdot 10^6$ кг.

Исходя из годового количества ТБО, захороненных на полигоне, составлен график зависимости объема q образовавшегося биогаза от времени, прошедшего с момента захоронения (рис. 3).

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

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

При условии непрерывного складирования ТБО на полигоне и закрытия его через 20 лет (оптимальный вариант эксплуатации полигона) происходит смена нескольких фаз мезофильного 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 производить сбор биогаза целесообразно в течение 20–25 лет, после чего его образование идет на убыль и к 40–50 годам объем его практически равен нулю.

Результаты расчетов по объемам захоронения ТБО и образования биогаза на условном полигоне приведены в табл. 4.

На основании обобщения результатов многочисленных исследований, проведенных на крупных полигонах ТБО Украины (г. Донецк) и России (г. Москва), создана математическая модель определения удельного выхода биогаза за период его активной стабильной генерации. Эта модель описывается формулой

$$Q_{11} = \frac{1,8 G_0 (1 - 10^{-k t})}{\left(\frac{59 - W}{13} \right)^4},$$

где Q_{11} – удельный выход биогаза, $\text{м}^3\text{/т}$ отходов;

$G_0 = 1,868 C_{\text{акт.}} (0,014 T + 0,28)$;

$C_{\text{акт.}}$ – активный органический углерод, г/т отходов;

T – температура в теле полигона, $^{\circ}\text{C}$ (28–32 $^{\circ}\text{C}$);

k – константа разложения, равная отношению углерода к общему азоту (C/N);

t – продолжительность периода стабильного выхода биогаза (фаза 4), год;

W – естественная влажность отходов, %.

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

$$Q_{12} = 10^{-6} R (100 - W) (0,92 Ж + 0,62 У + 0,34 Б),$$

где Q_{12} – удельный выход биогаза за период активного выхода, кг/кг отходов;

W – средняя влажность отходов, %;

Таблица 4 – Объемы захоронения ТБО и образования биогаза по годам эксплуатации на условном полигоне

Год от начала складирования ТБО	Захоронено ТБО на конец года, млн т	Среднегодовая интенсивность образования биогаза, млн $\text{м}^3\text{/год}$	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	



R – содержание органической составляющей в отходах на сухую массу, %;

Ж – содержание жироподобных веществ в органике отходов, %;

У – содержание углеводоподобных веществ в органике отходов, %;

Б – содержание белковых веществ в органике отходов, %.

W, R, Ж, У и Б – определяются анализами проб, отбираемых из отходов.

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

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

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

Расчеты (табл. 4) свидетельствуют, что на условном полигоне, принятом в расчете для 1 млн жителей, за 40 лет образуется 1,3 млрд м³ биогаза – при теплотворной способности биогаза 10–20 МДж/м³ это составит 3,10–6,21 млн Гкал, или 3,607,2 млрд кВт·час. За 30 лет (с конца 2-го до конца 32-го года) на расчетном полигоне образуется 97 % общего количества биогаза, т.е. 1,26 млрд м³.

Для практического осуществления сбора биогаза необходима разработка проекта для конкретного полигона с учетом его параметров и особенностей захоронения ТБО, поэтому а также условий использования полученного биогаза.

В Украине существует 140 больших полигонов, на которых размещается почти половина всех образуемых ТБО и экономически целесообразно собирать и использовать биогаз. Годовые объемы ТБО, размещаемых на этих полигонах, позволяют собрать 0,98–1,12 млрд м³ биогаза. Всего за последние 15–20 лет здесь захоро-

нено 60–100 млн т ТБО, следовательно, общие объемы ежегодно образующегося биогаза могут достигать 600–1000 млн м³.

В настоящее время важной является и проблема утилизации иловых осадков комплексов биологической очистки сточных вод.

В Харькове работают два комплекса канализационных очистных сооружений КП КХ «Харьков-коммуночиствод» – комплексы биологической очистки «Диканевский» (КБОД) и «Безлюдовский» (КБОБ). Их общая пропускная способность составляет более 1,0 млн м³/сут. Сегодня на комплексах проводится очистка примерно 0,7 млн м³ жидких стоков в сутки.

Полезная площадь иловых полей на КБОБ – 126,18 га, из которых свободными остаются 9,2 га. На иловых полях накоплено примерно 2,2 млн м³ осадка сточных вод, влажность которого колеблется в пределах 70–98 %. Общий объем смеси осадка, образующегося на канализационных очистных сооружениях, составляет около 3000 м³/сут.

Ситуация с обработкой осадков на КБОБ является показательной для больших канализационных очистных сооружений в Украине – технологическая схема обработки осадков является незавершенной. Сегодня остро стоит вопрос дальнейшей утилизации кека после механического обезвоживания, а также большого количества осадков, накопленных на иловых площадках.

В рамках инвестиционного проекта «Усовершенствование системы илового хозяйства канализационных очистных сооружений г. Харькова» для количественной оценки тепловой, электрической энергии и биогаза, образующихся в технологических схемах анаэробного сбраживания и термоутилизации (сжигания) осадка, были использованы результаты исследования физико-химических параметров смеси осадков комплексов очистных сооружений г. Харькова [6].

Таблица 5 – Усредненные результаты обработки смесей илового осадка

Наименование	Стадия обработки осадков	
	Мезофильное анаэробное сбраживание	Термоутилизация
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·час/сут	38,1 МВт·час/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·час/сут	38,1 МВт·час/сут
Количество избыточной тепловой энергии в холодное время года	-7,69 Гкал/сут	103 Гкал/сут
Количество избыточной электроэнергии за год	13568,75 МВт·час	13906,5 МВт·час
Количество избыточной тепловой энергии за год	7199,6 Гкал/год	37595,0 Гкал/год

Как анаэробное сбраживание, так и термоутилизация осадков позволяют не только вести процессы без использования внешних энергетических ресурсов, но и дополнительно получать тепловую и электрическую энергию (табл. 5).

Из табл. 5 следует, что больше дополнительной энергии, как электрической, так и тепловой, может быть получено при сжигании, так как при сбраживании разлагается лишь определенная часть органической составляющей осадка, а при сжигании он используется в полном объеме. В то же время целесообразность выбора того или иного процесса утилизации осадка очистных сооружений следует оценивать с учетом всего спектра затрат на их реализацию.

ВЫВОДЫ

Метан и диоксид углерода являются парниковыми газами, поэтому необходимо принятие мер по ограничению их эмиссии в атмосферу.

Для защиты атмосферного воздуха, здоровья людей и предотвращения угрозы возгорания и взрыва необходимо собирать образовавшийся в теле полигона биогаз промышленным способом, не допуская его попадания в атмосферу.

Биогаз оказывает негативное воздействие на растительный покров, угнетая растительность на примыкающих к полигонам ТБО площадях, что связано с насыщением биогазом порового пространства почвы и вытеснением из нее кислорода.

С целью предотвращения стихийного распространения биогаза, негативно воздействующего на окружающую среду, в большинстве развитых стран законодательно установлены природоохранные требования,

согласно которым получили широкое распространение технологии добычи и утилизации биогаза. В Германии, например, добыча биогаза на полигонах ТБО составляет около 35 млн м³/год, что позволяет получать ежегодно 140 млн кВт·час электроэнергии и экономить 14 тыс. т/год нефти. На украинских полигонах биогаз практически не собирается.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Матвеев, Ю.Б.** Методы и опыт оценки потенциала газообразования на украинских полигонах ТБО / Ю.Б. Матвеев, А.Ю. Пухнюк. // Сотрудничество для решения проблемы отходов : матер. IV Междунар. конф., г. Харьков, Украина. – Х., 2007. – С. 198–200.
2. **Шубов, Л.Я.** Технологии отходов (технологические процессы в сервисе) : учеб. / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, Д.В. Шехирев. – М. : ГОУВПО «МГУС», 2006. – 410 с.
3. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса : учеб. пособие / А.В. Гриценко, Н.П. Горох, И.В. Коринько и др. – Х. : ХНАДУ, 2005. – 340 с.
4. **Гейнрих, Д.** Экология : dtv-Atlas: пер. с 5-го нем. изд. – М. : Рыбари, 2003. – 287 с.
5. **Гонопольский, А.М.** Физико-химические аспекты рыночного использования биогаза, образующегося на полигонах ТБО / А.М. Гонопольский // V Междунар. конгресс по управлению отходами и природоохранным технологиям. – М. : Вэйст Тэк, 2007. – С. 264–266.
6. Усовершенствование системы илового хозяйства канализационных очистных сооружений г. Харькова : отчет о НИР / ОАО «Харьковский Водоканалпроект»; рук. Ю.А. Чмелев. – 4063-ПЗ (РП). – Харьков. 2003. – 133 с.

Поступила в редакцию 13.07.2011

Розглянуто 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.

Biochemical processes of destructing organic components of domestic solid waste and sludge sediment of liquid drains are considered. Technique for calculating biogas volume being generated at domestic waste landfill is given. Comparative assessment of energy parameters at recovery of sludge sediment from purifying plants by mesophilous anaerobic digestion and incineration is carried out.