

УДК 662.767.2

Ю.Б.Матвеев¹, канд.физ.-мат.наук, Д.В.Куцый², канд.техн.наук (Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев)

Исследование потенциала образования биогаза при сбраживании пищевых отходов

Смоделирована смесь пищевых отходов, компонентный состав которой характерен для условий Украины. Для смеси определен потенциал образования метана и постоянная скорости образования метана при сбраживании в лабораторном реакторе (лизиметре). Для оценки параметров использовалось уравнение разложения первого порядка. Библ. 15, табл. 2, рис. 4.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, модель газообразования, постоянная скорости образования метана, потенциал образования метана, пищевые отходы, ТБО.

ORCID: ¹0000-0003-2725-5612; ²0000-0002-0791-7298

Введение. Большую часть твердых бытовых отходов (ТБО) составляют материалы органического происхождения, способные разлагаться под действием микроорганизмов в анаэробных условиях с образованием биогаза. Анаэробные условия обычно формируются на полигонах и свалках ТБО на глубине более одного метра через несколько месяцев после захоронения ТБО. Биогаз состоит в основном из углекислого газа и метана. Метан, полученный в результате биохимической конверсии, часто называют биометаном. Биометан является парниковым газом, его долгосрочное воздействие на парниковый эффект в 25 раз сильнее, чем у углекислого газа. С другой стороны, биометан представляет собой возобновляемое энергетическое сырье, аналог ископаемого метана – основного компонента природного газа.

Кинетику образования биогаза принято определять с помощью дифференциального уравнения Моно n -го порядка, согласно которому рост микробной популяции зависит от количества субстрата или питательной среды. При этом используются уравнения роста и разложения:

$$\frac{dC}{dt} = f(t, C^n), \quad (1)$$

где C – количество разлагаемого субстрата; t – время.

Уравнение (1) может быть решено различными способами в зависимости от начальной концентрации органического вещества. На осно-

ве возможных решений разработан целый ряд моделей газообразования, самыми распространенными из которых являются модели разложения первого порядка, использующиеся для прогнозирования выхода биогаза и расчета газовых эмиссий [8, 10, 11].

$$Q_j = \sum_{i=1}^n [A \cdot k_i \cdot L_{0,i} \cdot e^{-k_i \cdot t}], \quad (2)$$

где A – нормализующий фактор; k_i – постоянная скорости образования метана из i -той фракции ТБО, 1/год; $L_{0,i}$ – потенциал образования метана, м³/кг ТБО, определяемый по формуле:

$$L_{0,i} = DOC_i \cdot DOC_{f,i} \cdot F \cdot 16/12 \cdot MCF, \quad (3)$$

где DOC_i – количество органического углерода, способного к биологическому разложению в i -той фракции ТБО, кг С/кг ТБО; $DOC_{f,i}$ – доля реально разлагающегося углерода; F – объемная доля метана в биогазе; 16/12 – отношение молекулярных масс метана и углерода; MCF – корректирующий множитель, учитывающий возможное окисление метана.

Общий потенциал образования метана представляет собой сумму потенциалов образования метана из отдельных категорий/фракций ТБО. На практике принято разделение категорий по скорости образования метана. Часто используют три категории: быстро разлагающиеся ТБО (представлены пищевыми отходами), средне разла-

гаючіеся ТБО (в основному, садово-паркові відходи) і повільно розкладаючіеся відходи (бумага, картон, деревина і текстиль). Для оцінки змінення утворення біогазу во вврем'я необхідно мати інформацію о значеннях параметрів L_{0i} і k_i для кожної категорії ТБО.

Возможні змінення потенціалу утворення метану із ТБО зв'язані с варіаціями содержання окремих компонентів в загальному потоку ТБО. Крім того, можливі варіації утворення метану для самих компонентів в результаті змінення технології виробництва матеріалів, похідними котрих являються соотвєтствующіє фракції відходів.

Компонентний склад і вологість пищевих відходів в різних країнах і регіонах світа можуть значительно відрізнятися в залежності о традицій і можливостей споживання населення, видів пищевих продуктів і других регіональних особливостей [9]. В літературі можна знайти велике кількість досліджень потенціалу утворення метану L_0 пищевих відходів [6, 7, 12, 14, 15]. Так, в роботі [15] значення L_0 для пищевих відходів, сортированих із потоку ТБО, знаходилося в діапазоні 112,0-117,3 м³ СН₄/т. Для окремо зібраних пищевих відходів ця величина в середньому складала 83,4 м³ СН₄/т [6], а по даним [14] – 113,2 м³ СН₄/т.

Для штучно змішаних компонентів пищевих відходів (остатки о виробництва полуфабрикатів, кафе, відходи столових, рибних ферм і жиросодержащіє стоки) були отримані значення L_0 в діапазоні 109,0-136,8 м³ СН₄/т [7]. Для другой суміші пищевих відходів (овочі, рис, хліб, зернові хлоп'я і фрукти) максимальне значення L_0 складало 117,3 м³ СН₄/т [12].

Слід відзначити, що перераховані значення перевищують величини, рекомендовані для розрахунок викидів метану із пищевих відходів в Національному кадастрі України [11]. Параметри L_{0i} і k_i для умов України уточнялись на основі досліджень, проведених на полігонах ТБО, розташованих в різних кліматических зонах України [2]. В середньому вихід біогазу із пищевих відходів складає 46,2 нм³/т ТБО (23,1 нм³ СН₄/т ТБО) або з урахуванням содержання

пищевих відходів в ТБО (33,1% [5]) 69,8 нм³ СН₄/т пищевих відходів.

Склад пищевих відходів може змінюватися в залежності о рівня споживання, а також традицій харчування в різних регіонах. Возможность змінення величини L_0 в широкому діапазоні викликає необхідність проведення досліджень образців пищевих відходів, компонентний склад котрих характерен для умов України. В качестве таких образців можуть служити пищеві відходи, отримані із загального потоку ТБО (наприклад, органіческа часта "хвостів" на сортировочних лініях), пищеві відходи, окремо зібрані в місцях утворення (столові, супермаркети), а також модельні суміші.

Для моделювання процесу газоутворення із ТБО крім величини L_0 представляє практичний інтерес визначення постійної швидкості утворення k , а також складу біогазу. Однак слід відзначити, що швидкість утворення метану в лабораторному реакторі і в умовах полігона/свалки може суттєво відрізнятися. Основною причиною являється різниця температури і вологості. Температура і вологість в недрах полігона/свалки формуються під впливом багатьох факторів, серед котрих слід згадати кількість атмосферних опадів, середньорічну температуру, глибину залягання відходів, ступінь ущільнення відходів і др. [13].

Предмет і методи досліджень. Експериментальне визначення потенціалу утворення метану L_0 із пищевих відходів являється основною метою роботи. В качестве образця пищевих відходів в даній роботі використовувалась спеціально підготовлена модельна суміш. Компонентний склад суміші визначено з використанням усереднених результатів досліджень складу пищевих відходів в країнах СНГ [1, 3]. Массовое содержання окремих компонентів суміші, а також їх уточнений склад, представлені в табл. 1.

В процесі підготовки компоненти модельної суміші дробилися до фрагментів не більше 15×15 мм і ретельно перемішувалися до утворення однорідної маси. Із отриманої маси методом квартовання відбирались образці для

определения влажности, содержания сухого вещества (СВ) и сухого органического вещества (СОВ). Измерения влажности, СВ и СОВ проводились с использованием сушильного шкафа *ThermoLab СНОЛ 100/350*, муфельной печи *ThermoLab СНОЛ 7,2/1100*, а также лабораторных весов *Acculab ALC-150.3-U*. Результаты измерений представлены в табл. 2. Исследование потенциала газообразования проводилось с использованием экспериментальной установки, показанной на рис. 1. Модельная смесь в количестве 27,9 кг загружалась в реактор (лизиметр) для последующего сбраживания. Реактор представляет

собой цилиндрическую емкость диаметром 0,3 м и высотой 0,5 м, изготовленную из нержавеющей стали. В нижней части реактора установлены две перфорированные пластины, между которыми находится слой фильтрующего гравия фракции 8-10 мм. Образец модельной смеси располагался непосредственно на верхней пластине, что обеспечивало удержание его твердых частиц. Устройство установки обеспечивало отвод и измерение объема образующегося биогаза, а также возможность рециркуляции жидкого фильтрата, образующегося в процессе механических и биохимических трансформаций исследуемого образца.

Таблица 1. Состав модельной смеси пищевых отходов

№	Компоненты	Содержание в пищевых отходах [1], %	Содержание в модельной смеси, %	Масса в модельной смеси, кг	Состав
1	Картофель и его очистки	38–50	45,9	13,3	Очистки картофеля
2	Другие овощи	9–15	12,5	3,6	Свекла, помидоры, огурцы, капуста, лук, морковь
3	Фрукты	18–24	20,6	6,0	Яблоки, кожура бананов и цитрусовых
4	Мясо и колбасы	3–5	4,3	1,3	Мясо, в том числе говядина и курица
5	Кости	3–4	3,4	1,0	Кости, в том числе куриные трубчатые и хрящи
6	Рыба и рыбные кости	2–3	2,6	0,7	Рыба и рыбные кости
7	Хлеб и хлебобродуки	2	4,2	1,2	Ржаной и пшеничный хлеб, сухари, печенье
8	Молочные продукты	0,5	0,5	0,2	Сметана и сыр
9	Яичная скорлупа	0,5	0,5	0,2	Яичная скорлупа
10	Другие	5–15	5,4	1,6	Рис, семечки, фасоль, сало, икра овощная
	Всего		100,0	29,1	

Таблица 2. Характеристики модельной смеси пищевых отходов

№ образца	Влажность, %	СВ, %	СОВ, %	СОВ/СВ, %
1	74,6	25,4	21,0	82,7
2	79,0	21,0	17,4	82,7
3	80,3	19,7	15,2	77,3
4	81,7	18,3	15,4	84,4
Среднее	78,9	21,1	17,3	81,8

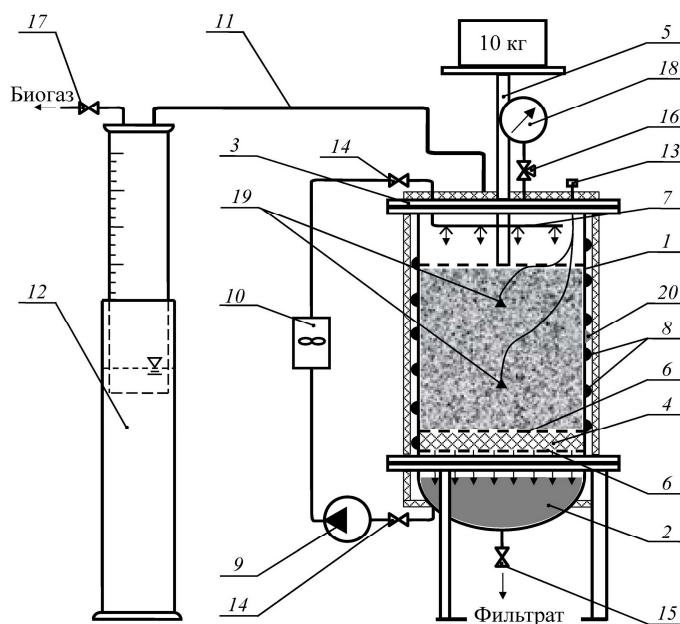


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – реактор (лизиметр); 2 – днище; 3 – крышка; 4 – гравийный фильтр; 5 – поршневой механизм; 6 – перфорированная пластина; 7 – ороситель; 8 – греющий кабель; 9 – насос; 10 – счетчик расхода фильтрата; 11 – газовая трубка; 12 – эвдиометр; 13 – ниппель; 14 – запорный вентиль; 15 – сливной вентиль; 16 – трехходовой вентиль; 17 – вентиль со штуцером; 18 – манометр; 19 – контактный термометр; 20 – термопара.

Поддержание температуры в реакторе обеспечивалось с помощью греющего кабеля мощностью 0,32 кВт и терморегулятора. В течение всего периода измерений поддерживалась температура $35 \pm 2^\circ\text{C}$, что соответствовало мезофильному режиму сбраживания. Контроль температуры и ее равномерное распределение в объеме образца осуществлялись с помощью трех контактных термометров. В процессе установки было обеспечено максимально возможное расстояние между термометрами и стенками реактора в горизонтальной и вертикальной плоскости. Для создания в реакторе анаэробных условий непосредственно после загрузки образца и герметизации объем реактора продувался азотом в течение 5 минут.

Для измерения объема биогаза использовался эвдиометр, заполненный водным раствором хлорида натрия. Полученный объем биогаза приводился к нормальным условиям на основании данных о давлении и температуре в системе реактор-эвдиометр. Состав биогаза измерялся с помощью портативных газоанализаторов *GEM-500* и *Drager X-am 7000*. Величина pH жидкой фракции (фильтрата) определялась с помощью pH-метра *PHT-027*.

В процессе сбраживания проводилась регулярная (ежедневно или еженедельно в зависимости от стадии газообразования) рециркуляция фильтрата. При этом фильтрат, накапливающийся в объеме сферического днища, с помощью насоса подавался в верхнюю часть реактора для орошения верхней поверхности образца.

Анализ результатов исследований. Результаты измерений объема и состава биогаза показаны на рис. 2 и 3.

На рис. 2 видно, что в процессе сбраживания имели место два пика газообразования. Первый пик пришелся на 30-й день после начала эксперимента. На этом этапе образующийся газ состоял из углекислого газа (CO_2) и водорода (H_2). Продолжительность первого периода газообразования составила 15 дней. После этого образование газа уменьшилось практически до нуля, что, по-видимому, было вызвано накоплением большого количества летучих жирных кислот (ЛЖК) вследствие большой органической нагрузки в реакторе [7]. Накопление ЛЖК обеспечивало низкий уровень pH (до 5,4), результаты измерений которого приведены на рис. 4.

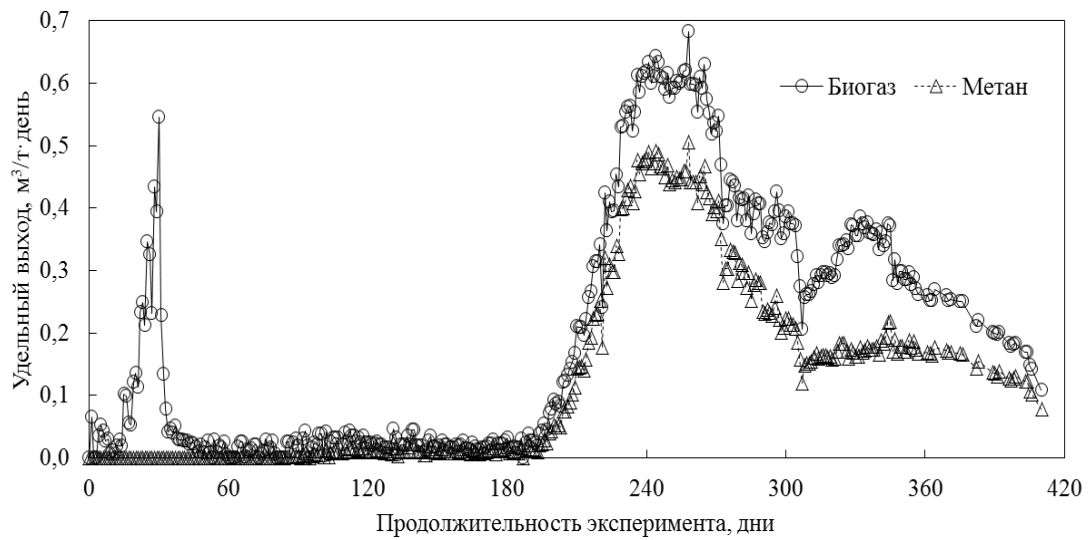


Рис. 2. Удельный выход биогаза и метана.

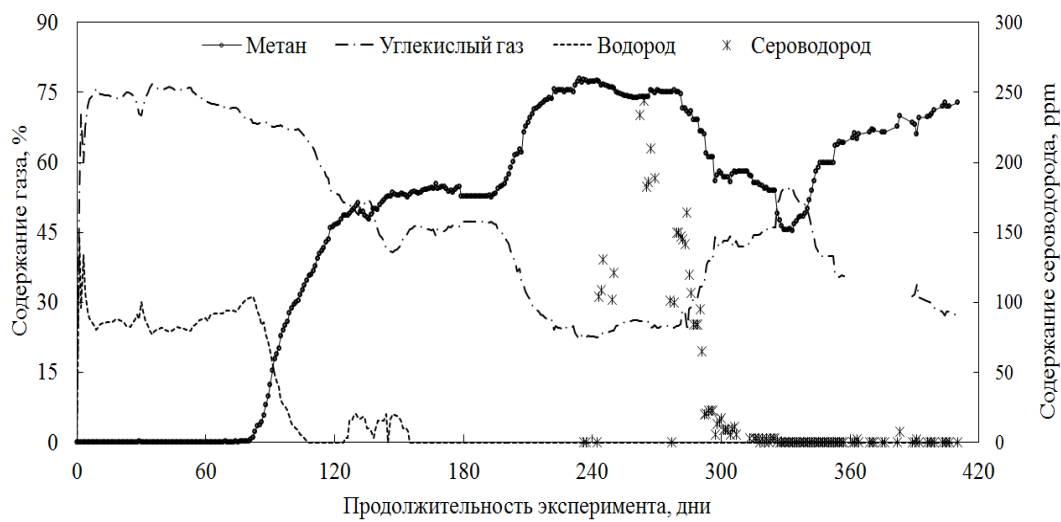


Рис. 3. Компонентный состав биогаза.

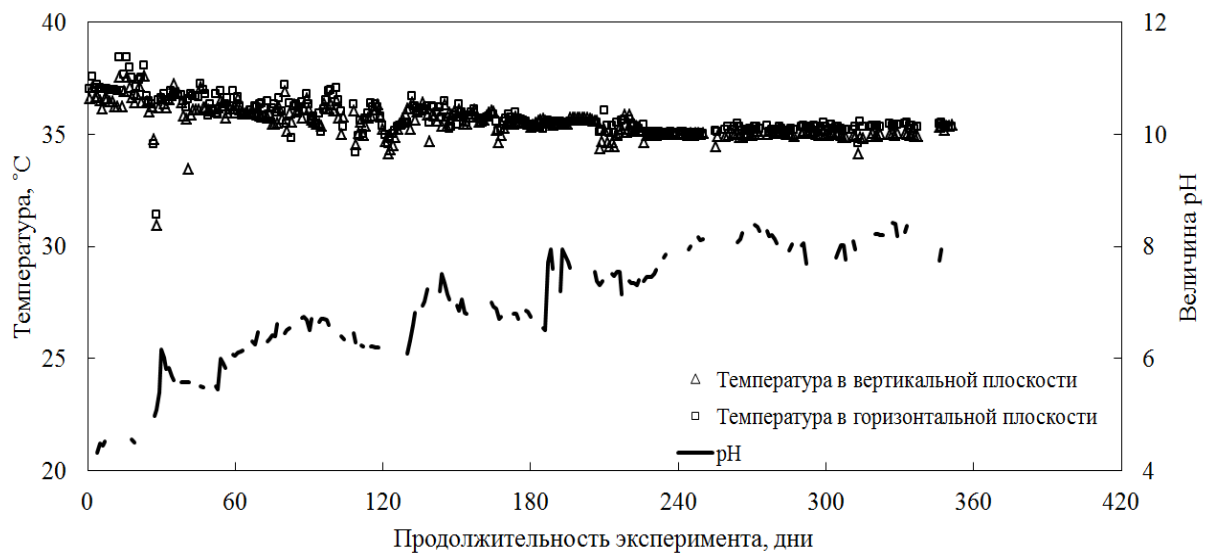


Рис. 4. Контролируемые параметры процесса сбраживания.

Последующая активизация процесса сбраживания и переход к фазе метанообразования оказались возможны после искусственного повышения уровня рН. Для этой цели использовался кристаллический гидроксид натрия (NaOH). Гидроксид небольшими порциями добавлялся в рециркулируемый фильтрат вплоть до начала образования биогаза, которое было достигнуто на 190-й день эксперимента при стабилизированном уровне рН 7,5. Максимальная суточная доза гидроксида составила 22 г, общее количество – 295 г.

В течение 50 дней после начала второго этапа газообразования наблюдалось увеличение суточного объема образующегося биогаза, сопровождающееся высоким содержанием метана (до 75%, см. рис. 3). После достижения пика последовал переход к экспоненциальному падению интенсивности образования биогаза в соответствии с уравнением разложения первого порядка. Такая зависимость наблюдалась вплоть до завершения эксперимента. В процессе экспоненциального падения имело место незначительное ингибирование процесса сбраживания (см. рис. 2), связанное с попытками коррекции величины рН, достигающей значений 8,1-8,4, с помощью соляной и лимонной кислоты (см. рис. 4). Общее количество кислоты составило 123 г, максимальная суточная доза – 25 г. Отклонение газообразования от экспоненты сопровождалось также падением содержания метана до 50% (см. рис. 3).

Стоит отметить, что на протяжении всего процесса метанообразования (начиная со 120-го дня эксперимента) качество получаемого биогаза оставалось относительно высоким. На рис. 3 видно, что содержание метана в биогазе превышало 50% и достигало 70-75% в пике газообразования. Образование сероводорода имело кратковременный характер (с 240 по 300-й день), в максимуме его содержание не превышало 250 ppm. Такой состав биогаза позволяет его использовать в энергетических установках без предварительного обогащения метана и очистки биогаза от серы.

Определение параметров модели газообразования. Общая продолжительность эксперимента составила 410 дней, эксперимент был остановлен через 170 дней после достижения максимума газообразования. Общее количество ме-

тана, полученное за период измерений, составило $1,216 \text{ м}^3$, причем до достижения максимума газообразования выделилось $0,342 \text{ м}^3$ или 28% общего количества метана, полученного в эксперименте.

Для определения параметров L_0 и k использовалось уравнение разложения первого порядка. Экспоненциальная стадия (начиная с 240-го дня) газообразования наилучшим образом описывается следующими значениями исследуемых параметров: $L_0 = 1,456 \text{ м}^3$, $k = 3,28$. При этом среднее отклонение измеренных суточных объемов метана составило 6,1%. С учетом метана, полученного до достижения максимума газообразования, общий потенциал образования метана из исследуемого образца оказался равным $1,798 \text{ м}^3$. С учетом веса исследуемого образца это соответствует $64,4 \text{ м}^3/\text{т}$ или $372 \text{ м}^3/\text{т СОВ}$. При этом, по оценкам авторов, общая погрешность определения потенциала образования метана составляет не более 5%.

Полученное значение L_0 и общее количество образованного в процессе измерений метана позволило оценить достигнутую в эксперименте степень распада органического вещества, которая составила 67%.

Выводы. Потенциал образования метана при сбраживании специально подготовленной смеси, имитирующей пищевые отходы, характерные для условий Украины, составил $64,4 \text{ м}^3/\text{т}$. Эта величина оказалась на 7,7% ниже рекомендуемого значения для расчета выбросов метана в Национальном кадастре Украины.

Очевидно, что отдельный эксперимент не может быть основанием для пересмотра расчетов, выполняемых при подготовке Национального кадастра [4]. Необходимо увеличить количество экспериментальных данных, в том числе, с использованием описанной выше методики. В качестве объекта исследований могут использоваться пищевые отходы, отобранные из общего потока ТБО на сортировочных линиях, пищевые отходы, собранные в местах образования (столовые, супермаркеты), а также различные модельные смеси.

Полученная в эксперименте величина постоянной скорости образования метана $k = 3,28$ ха-

рактирует искусственные условия, созданные в экспериментальном реакторе, и не специфична для полевых условий свалок и полигонов ТБО. Однако информация о скорости разложения органического вещества может оказаться полезной для составления программы последующих изменений. Для определения скорости образования метана, характерной для условий полигонов и свалок ТБО, необходимо проводить дополнительные исследования в условиях реальных мест захоронения (переработки) ТБО.

Пищевые отходы представляют собой сложную смесь различных компонентов. Их сбраживание характеризуется значительной органической нагрузкой в реакторе, что приводит к необходимости внешнего контроля уровня рН путем добавления щелочи. Возможным решением этой проблемы может быть снижение органической нагрузки в реакторе с помощью совместного сбраживания пищевых отходов с другими фракциями ТБО (садово-парковые отходы, бумага, текстиль и др.)

1. *Вайсман Я.И.* Управление отходами. Полигоны захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 464 с.

2. Дослідження газотворення на найбільш великих полігонах ТПВ та перехід на трьохкомпонентну національну модель розрахунку викидів ПГ від звалищ ТПВ в Україні. Звіт про НДР (заключний) / ІТТФ НАН України; кер. Матвеев Ю.Б.; № держреєстрації 0112U001577. – Київ, 2012. – 68 с.

3. *Ильиных Г.В.* Управление метановым потенциалом ТБО путем их предварительной обработки / Г.В. Ильиных, Н.Н. Слюсарь, Я.И. Вайсман, Ю.Б. Матвеев, А.Ю. Пухнюк // Экология и промышленность России. – 2013. – № 11. – С. 38–42.

4. *Національний кадастр антропогенних вибросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1900–2013 гг.* / Сливинская В.В. [и др.]. – К: Госэкоинвестагентство Украины, 2015. – 569 с.

5. *Шмарин С.Л.* Содержание биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов в Украине / С.Л. Шмарин, И.Л. Алексеев, Р.С. Филозоф, Н.С. Ремез, Г. Денафас // Экология и промышленность. – 2014. – № 1. – С. 73–77.

6. *Browne J.D.* Evaluation of the biomethane potential from multiply waste streams for a proposed community scale anaerobic reactor / J.D. Browne, E. Allen, J.D. Murphy // Environmental technology. – 2013. – Vol. 34. – P. 2027–2038.

7. *Chen X.* Anaerobic digestion of food waste for biogas production / X. Chen, R.T. Romano, R. Zhang // International journal of agricultural and biological engineering. – 2010. – Vol. 3. – P. 61–72.

8. 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.

9. *Fisgavita H.* Characterizing the variability of food waste quality: A need for efficient valorization through anaerobic digestion / H. Fisgavita, A. Tremier, P. Dabert // Waste management. – 2016. – Vol. 50. – P. 264–274.

10. *Hoeks J.* Significance of biogas production in waste tips / J. Hoeks // Waste management and research. – 1983. – Vol. 1. – P. 323–335.

11. *Kamalan H.* A Review of Available Landfill Gas Models / H. Kamalan, M. Sabour, N. Shariatmadari // Journal of Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 4, Iss. 2. – P. 79–92.

12. *Kumar P.* Methane formation from food waste by anaerobic digestion / P. Kumar, A. Hussain, S.K. Dubey // Biomass conversion and biorefinery. – 2016. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 271–280.

13. *Pukhnyuk A.* Landfill gas generation at municipal solid waste landfills of Ukraine / A. Pukhnyuk, P. Mostbauer, Yu. Matveev, M. Huber-Humer // Biogasspeicher für eine bedarfsorientierte Biogasproduktion und –nutzung. – 2013. – P. 203–207.

14. *Schott A.B.S.* Potential for food waste minimization and effects on potential biogas production through anaerobic digestion / A.B.S. Schott, S. Vukicevic, I. Bohn, T. Andersson // Waste management and research. – 2013. – Vol. 31. – P. 811–819.

15. *Zhang R.* Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion / R. Zhang, H.M. El-Mashad, K. Hartman, F. Wang, G. Liu, C. Choate, P. Gamble // Bioresource technology. – 2007. – Vol. 98. – P. 929–935.

REFERENCES

1. *Vaisman I.I.* Waste management. Solid waste landfills / I.I. Vaisman I.I. [and others]. – Perm: Publishing by Perm National Research Polytechnic University, 2007. – 464 p.

2. *Investigation of gas generation at the biggest MSW landfills and transfer to tree-component national model of GHG emission calculation from MSW landfill in Ukraine.* Project report (final) / Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine; Matveev Yu.B. ; State registration № 0112U001577. – Kyiv, 2012. – 68 p.

3. *Ilynych G.V.* Management of methane potential by preliminary treatment of MSW / G.V. Ilynych, N.N. Slusar, I.I. Vaisman, Yu.B. Matveev, A.Yu. Pukhnyuk // Ecology and industry of Russia. – 2013. – № 11. – P. 38–42.

4. *The national inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in Ukraine for 1900–2013/ Slivinskaya V.V.* [and others]. – Kyiv: State Environmental Investment of Ukraine, 2015. – 569 p.

5. *Shmarin S.L.* Content of biodegradable components in municipal solid waste in Ukraine / S.L. Shmarin, I.L. Alekseevets, R.S. Filozov, N.S. Remez, G. Defanas // Ecology and Industry. – 2014. – № 1. – P. 73–77.

6. *Browne J.D.* Evaluation of the biomethane potential from multiply waste streams for a proposed community scale anaerobic reactor / J.D. Browne, E. Allen, J.D. Murphy // Environmental technology. – 2013. – Vol. 34. – P. 2027–2038.

7. *Chen X.* Anaerobic digestion of food waste for biogas production / X. Chen, R.T. Romano, R. Zhang // International

journal of agricultural and biological engineering. – 2010. – Vol. 3. – P. 61–72.

8. 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.

9. *Fisgavita H.* Characterizing the variability of food waste quality: A need for efficient valorization through anaerobic digestion / H. Fisgativa, A. Tremier, P. Dabert // Waste management. – 2016. – Vol. 50. – P. 264–274.

10. *Hoeks J.* Significance of biogas production in waste tips / J. Hoeks // Waste management and research. – 1983. – Vol. 1. – P. 323–335.

11. *Kamalan H.* A Review of Available Landfill Gas Models / H. Kamalan, M. Sabour, N. Shariatmadari // Journal of Environmental Science and Technology. – 2011. – Vol. 4, Iss. 2. – P. 79–92.

12. *Kumar P.* Methane formation from food waste by anaerobic digestion / P. Kumar, A. Hussain, S.K. Dubey // Biomass conversion and biorefinery. – 2016. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 271–280.

13. *Pukhnyuk A.* Landfill gas generation at municipal solid waste landfills of Ukraine / A. Pukhnyuk, P. Mostbauer, Yu. Matveev, M. Huber-Humer // Biogasspeicher für eine bedarfsorientierte Biogasproduktion und –nutzung. – 2013. – P. 203–207.

14. *Schott A.B.S.* Potential for food waste minimization and effects on potential biogas production through anaerobic digestion / A.B.S. Schott, S. Vukicevic, I. Bohn, T. Andersson // Waste management and research. – 2013. – Vol. 31. – P. 811–819.

15. *Zhang R.* Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion / R. Zhang, H.M. El-Mashad, K. Hartman, F. Wang, G. Liu, C. Choate, P. Gamble // Bioresource technology. – 2007. – Vol. 98. – P. 929–935.

Ю.Б.Матвєєв, канд.фіз.-мат.наук, **Д.В.Куций**, канд.техн.наук (Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ)

Дослідження потенціалу утворення біогазу при зброджуванні харчових відходів

Змодельовано суміші харчових відходів, компонентний склад якої характерний для умов України. Для суміші визначено потенціал утворення метану та постійна швидкість виходу метану при зброджуванні в лабораторному реакторі (лізіметрі). Для оцінки параметрів використовувалося рівняння розкладу першого порядку. Бібл. 15, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: анаеробне зброджування, модель газоутворення, постійна швидкість виходу метану, потенціал утворення метану, харчові відходи, ТПВ.

Matveev Yu., Kutsyi D. (Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv)

Investigation of biogas generation potential during digestion of food waste

The mixture of food waste, morphological content of which reflects Ukrainian conditions is modeled. The methane generation

potential of the mixture and methane generation rate constant are estimated during the digestion in laboratory reactor (lysimeter). For obtained the first order decay equation is used. References 15, tables 2, figures 4.

Key words: anaerobic digestion, gas generation model, methane generation potential, methane generation rate constant, food waste, MSW.

SYNOPSIS

Approximately 4.2 mill tons of food waste generated annually in Ukraine. Most of food waste is landfilled with subsequent generation of landfill gas (LFG). Food waste is one of the main sources of LFG in Ukraine. The quantity of the generated LFG and methane can be evaluated based on first order decay equation. For this purpose the reliable data regarding methane generation potential and methane generation rate constant is needed.

At this study these parameters were evaluated based on the results of the anaerobic digestion of modeled mixture of food waste in laboratory reactor (lysimeter) at 35±2°C temperature. The component content of the modeled mixture was obtained from the available literature data. The average moisture content (MC) and volatile solids (VS) of the mixture were 78.9 and 17.3%, respectively.

The obtained methane generation potential of the modeled mixture equals 64.4 nm³/t of food waste. The methane content in LFG was between 50% and 75% during all methane generation period.

Obtained methane generation potential of the modeled mixture is lower by 7.7% than recommended values for the calculation of methane emissions in the National Inventory of green gas emission of Ukraine.

It is obvious that a single experiment cannot be the basis for the revision of the calculations performed in the preparation of national inventories. It is necessary to extend the number of experimental data, including application of the method described in this paper. As an object of research can be used food waste, taken from the general solid waste stream at the sorting lines, food waste separately collected in the locations of waste generation (cafeterias, supermarkets) as well as mixtures of various model mixtures.

Methane generation rate constant was estimated to be 3,28 1/year. This figure represents laboratory condition only. The obtained experimental value artificial conditions created in an experimental reactor and is not specific to conditions of real dumps and landfills. However, information about the rate of organic matter decomposition may be useful for drawing up the program of subsequent measurements. To determine the rate of methane production, typical conditions of landfills and dumps of solid waste, it is necessary to conduct additional studies in situ.

The result of this study indicates that the obtained methane generation potential is lower than the data recommended by National Inventory Report of Ukraine. It could be used for the calculation of methane emission. However the additional investigation should be recommended to conduct.

Стаття надійшла до редакції 24.06.16

Остаточна версія 29.07.16