

УДК 504.062 : 66.098.4

**С. И. Падалко**, старший преподаватель  
orcid.org/0000-0002-2559-3784  
**В. Л. Дерюга**, студент  
orcid.org/0000-0002-1342-3382

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Краматорск, Украина  
s.i.padalko@donnaba.edu.ua

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ БИОГАЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ГОРОДА КРАМАТОРСКА

В работе произведена оценка потенциальных объемов биогаза, которые возможно получить с органических отходов города Краматорска и использовать для электро- и теплоснабжения жилых кварталов.

**Ключевые слова:** органические отходы, полигон ТБО, свалочный газ, утилизация биогаза, электротеплоснабжение.

**С. І. Падалко**, старший викладач  
orcid.org/0000-0002-2559-3784  
**В. Л. Дерюга**, студент  
orcid.org/0000-0002-1342-3382

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна  
s.i.padalko@donnaba.edu.ua

## ОЦІНКА ПОТЕНЦІЙНИХ ОБСЯГІВ БІОГАЗУ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ М. КРАМАТОРСЬК

У роботі виконана оцінка потенційних обсягів біогазу, які можливо отримати з органічних відходів міста Краматорська й використати для електро- та теплопостачання житлових кварталів.

**Ключові слова:** органічні відходи, полігон ТПВ, звалищний газ, утилізація біогазу, електротеплопостачання.

**S. Padalko**, senior lecturer,  
orcid.org/0000-0002-2559-3784  
**V. Deryuga**, student  
orcid.org/0000-0002-1342-3382

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Ukraine  
s.i.padalko@donnaba.edu.ua

## ESTIMATION OF POTENTIAL VOLUMES OF BIOGAS DURING ORGANIC WASTE PROCESSING IN THE CITY OF KRAMATORSK

The work has estimated the potential volumes of biogas, which can be obtained from the organic waste of Kramatorsk and used for electricity and heat supply of residential areas.

**Key words:** organic waste, solid waste landfill, landfill gas, biogas utilization, electricity and heat supply.

**Формулировка проблемы.** Сейчас в мире реализовано более 1100 проектов по использованию свалочного газа. Более 150 полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) эксплуатируются как газовые месторождения, 80% из них находятся в США, Германии и Великобритании [1]. В заметных объемах биогаз добывается и утилизируется в развитых западных странах, таких как: Нидерланды, Франция, Италия, Дания и ряде других. Большое количество установок по добыче биогаза из свалок имеется в Китае. Есть установки в

**Мексике, Израиле. Сбор и утилизация биогаза со свалок помогает решать местные экологические и энергетические проблемы.**

Оценка потенциальных объемов биогаза, которые можно получить в случае переработки органических отходов со свалок г. Краматорска ранее не осуществлялась, поэтому необходимо установить энергетический потенциал, который может быть получен и использован для обеспечения электро- и теплоснабжения отдельных объектов данного промышленного центра. Эта задача является актуальной также в связи с обустройством и запуском в эксплуатацию нового городского полигона ТБО в 2018 году.

**Обзор информации.** Любой полигон твердых бытовых отходов представляет собой своеобразный биохимический реактор, в котором в процессе эксплуатации полигона и нескольких десятилетий после его закрытия вследствие анаэробного (без доступа воздуха) разложения отходов образуется биогаз. Биогаз, или как его еще иногда называют, свалочный газ состоит в основном из метана  $\text{CH}_4$  (50-60%), двуокиси углерода  $\text{CO}_2$  (30-40%) и других примесей (<10%). Биогаз представляет собой экологическую проблему - метан является сильным парниковым газом, парниковый эффект которого в 21-23 раза выше, чем у двуокиси углерода [2]. Экологические стандарты развитых стран предусматривают обязательный сбор и сжигание свалочного газа, причем контроль газовых эмиссий должен проводиться не только во время эксплуатации полигона, но и на протяжении 30 лет после его закрытия и рекультивации.

Годовое количество твердых бытовых отходов, которые образуются в Украине, составляет приблизительно 15 млн. т. Основная часть ТБО располагается на свалках (более 90%). Из общего количества свалок более 140 составляют полигоны ТБО, которые могут считаться пригодными для добычи и использования биогаза [1].

Для того чтобы начать производство свалочного газа необходим полигон специальной конструкции [1], которая бы позволяла собирать газ для его дальнейшего использования в самых различных целях, и отвечала бы всем современным экологическим нормам, не загрязняла почву и грунтовые воды. Дно вырытого котлована застилается специальной геомембраной, а затем накрывается слоем глины, толщиной приблизительно в метр. Геомембрана представляет собой гидроизоляционный материал, который также способен выполнять и дренирующие функции. Подобная надежная защита необходима для предотвращения проникновения продуктов гниения мусора в почву и в грунтовые воды.

Мусор в котлован вносится слоями, затем в конце каждого рабочего дня он утрамбовывается машинами-катками и засыпается слоем глины толщиной до 30 см. Это необходимо для предотвращения рассеивания мусора под воздействием внешних факторов и уменьшения зловония. После заполнения котлована мусором, он накрывается кровлей и защитным покрытием. В данном случае кровлей является толстый слой глины, уложенной поверх мусора и утрамбованной специальными катками. Защитное же покрытие представляет собой тонкий слой почвы с растительным покровом. Котлован оснащается специальными инженерными сооружениями, предназначенными для отвода жидких продуктов разложения мусора и сбора свалочного газа (см. рисунок). Для этого в теле котлована делаются скважины, устанавливаются трубы и монтируется насосное оборудование.

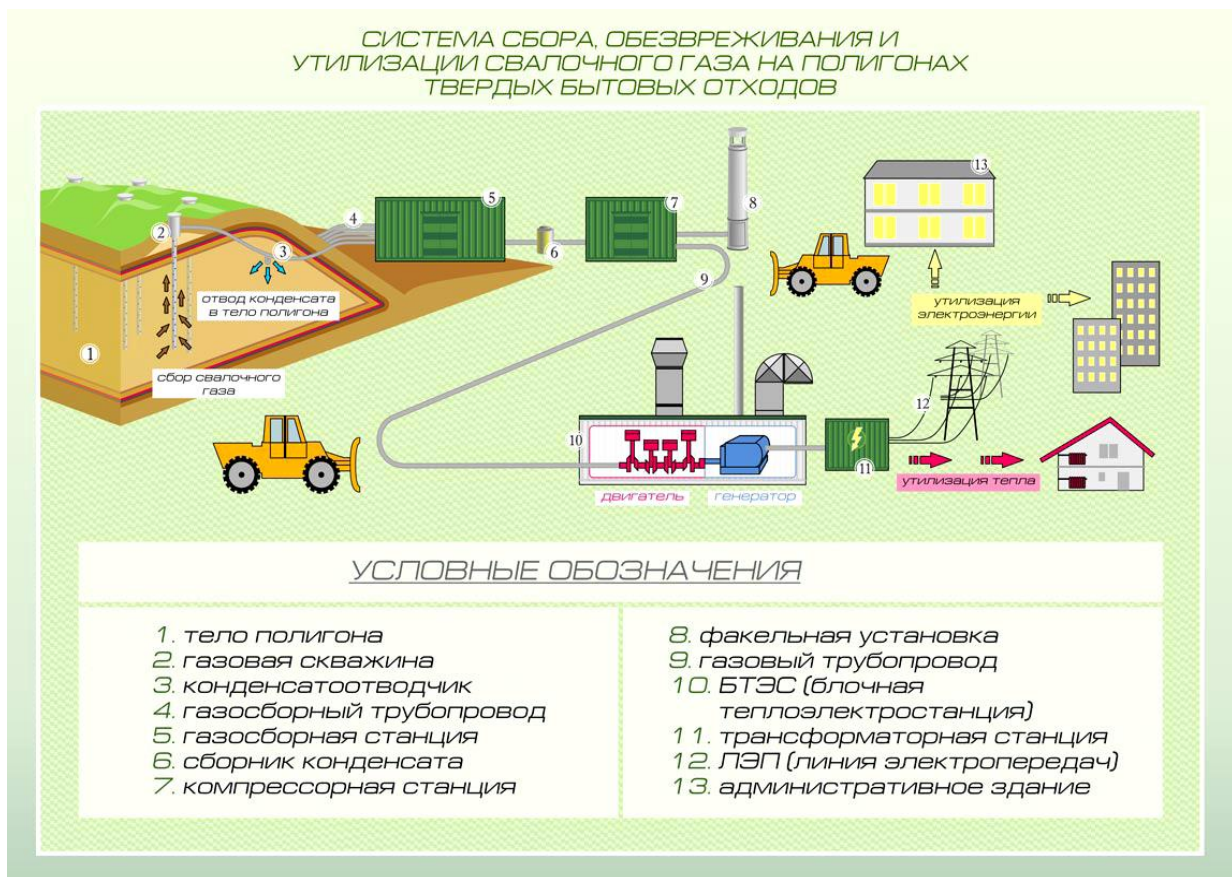


Рисунок - Схема получения и утилизации свалочного газа

Содержащий метан свалочный газ, образующийся в процессе разложения мусора, тщательно собирается, после чего он попадает в скруббер – специальный газоочистительный аппарат, который используется в различных химико-технологических процессах для очистки газов от примесей. Здесь газ очищается от частиц пыли и ненужных примесей (например, серы) и попадает в компрессор. После этого газ становится готовым к дальнейшему использованию.

В газосборном пункте объединяются сборные газопроводы. Газосборный пункт может быть выполнен в виде трубы, резервуара и т.п. и размещается в нижней точке с целью обеспечения сбора и отвода выпадающего конденсата. В газосборном пункте размещаются установки для очистки или утилизации газа, а также пульт управления и другие устройства.

**Цель работы.** Требуется установить потенциальный объем свалочного газа, который можно получить из органических отходов со свалок города Краматорска и использовать, например, для электро- и теплоснабжения жилой застройки.

**Основной материал исследований.** Чтобы оценить годовые объемы органических отходов города Краматорска, требуется определить объемы органической части в составе твердых бытовых отходов, а также объемы опада листвы, собираемой ежегодно с территории парков города и придомовых территорий. Количество пищевых отходов в составе ТБО обычно составляет до 40% и их общий годовой объем напрямую зависит от численности населения [3]. Удельные нормы ТБО в расчете на одного жителя, как правило, разрабатываются и утверждаются местными коммунальными службами, и они не сильно

отличаются для разных городов, а зависят, в основном, только от типа застройки и этажности зданий (табл. 1).

Таблица 1

Годовые нормы накопления ТБО на одного человека для жилых районов [3]

Объекты образования отходов		Норма накопления ТБО на одного жителя				Плотность ТБО, кг/м <sup>3</sup>
		среднесуточная		среднегодовая		
этажность застройки	степень благоустройства районов жилой застройки	кг	дм <sup>3</sup>	кг	дм <sup>3</sup>	
9-14-этажная	полностью благоустроенные дома без отбора пищевых отходов	0,49- 0,51	2,12-2,19	190-195	770-820	230-250
3-5-этажная	неблагоустроенные дома без отбора пищевых отходов	0,93	2,57	340	940	360
одноэтажная	дома частного сектора с приусадебными участками	1,5	3,29	550	1200	460

На основании топологической карты города было установлено примерное долевое соотношение между всеми типами застройки г. Краматорска. Оно составило: одноэтажная застройка (60%), 3-5-этажная (15 %), 9-14-этажная (25%)

Согласно данным городского управления статистики численность населения г. Краматорска на 1 октября 2017 года [4] составляла 156 тыс. чел. Используя годовые нормы накопления ТБО на одного человека (табл. 1) и распределение населения по типам застройки, был рассчитан суммарный годовой объем бытового мусора. Он оценивается в 66 843 тонн. Исходя из того, что пищевые отходы и другая органика занимают около 40%, как отмечалось ранее, объем органических отходов составит примерно 26 737 тонны.

Массу опада листвы находим исходя из площади зеленых массивов города (2 602 га) [5] и удельной массы образования опада на единицу площади территории, покрытой растительностью (100 г/м<sup>2</sup>) [6]. В итоге суммарный объем опада оценивается в 2 602 тонны. Следовательно, годовой объем органических отходов составит:

$$26\ 737\ \text{т} + 2\ 602\ \text{т} = 29\ 339\ \text{т}.$$

Для оценивания объема свалочного газа, который можно получить из такого количества отходов, использовались данные из [7], согласно которым удельный выход газа на одну тонну ТБО составляет примерно 120 м<sup>3</sup>. Тогда объем биогаза, который можно получить с годового объема органических отходов г. Краматорска, может составить

$$29\,339 \text{ т} \cdot 120 \text{ м}^3/\text{т} = 3\,520\,680 \text{ м}^3.$$

Учитывая, что максимальная доля метана в биогазе - 50%, потенциальный сбор метана будет равен 1 760 340 м<sup>3</sup>.

Известно, что при содержании метана 45–50% биогаз теоретически демонстрирует энергетический потенциал в размере 5 кВт·ч/м<sup>3</sup> [8]. Тогда количество электроэнергии, которое можно будет получить от его сжигания, оценивается в 8 801 700 кВт·ч. В свою очередь, средняя калорийность свалочного газа составляет примерно 5500 Ккал или 0,0055 Гкал на м<sup>3</sup> [9]. Соответственно потенциальное количество тепловой энергии может достигать 9 681,8 Гкал. Общие результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Общие результаты расчетов энергетического потенциала органических отходов г. Краматорска

Показатель	Значение
Суммарный годовой объем ТБО, из них	66 843 т
- пищевые отходы	26 737т
- лиственный опад	2 602 т
Годовой объем органических отходов	29 339 т
Потенциальный объем биогаза,	3 520 680 м <sup>3</sup>
в т.ч. метана	1 760 340 м <sup>3</sup>
Количество электроэнергии	8 801 700 кВт·ч
Количество тепловой энергии	9 681,8 гКал

Далее оцениваем возможности применения такого количества электричества и тепла в условиях города. Будем считать, что необходимо обеспечить электричеством или теплом городские кварталы. Для примера взят 9-ти этажный дом с пятью подъездами, на каждом этаже которого находится по 4 квартиры. Общее количество квартир во всем доме равно 180. Исходя из опыта будем считать, что одна квартира потребляет в среднем 200 кВт·ч/месяц, что за год составит 432 000 кВт·ч в расчёте на все 180 квартир. Если принять во внимание, что годовой потенциал электроэнергии от переработки органических отходов города может достигать 8 935 170 кВт·ч, то этого количества электроэнергии хватит для обеспечения 20-ти девятиэтажных домов в течение года. Фактически электроэнергии будет достаточно для энергоснабжения целого микрорайона. В свою очередь тепловую энергию можно пустить на

обеспечение города горячей водой, поскольку в настоящее время в Краматорске горячее водоснабжение применяется в очень ограниченных размерах.

**Выводы.** Таким образом, предварительные оценки показывают, что такой крупный промышленный город как Краматорск обладает достаточно весомым потенциалом получения электро- и теплоэнергии из органических отходов. В условиях дороговизны энергоносителей, импортируемых из-за рубежа, решение задачи сбора и утилизации свалочного газа поможет частично решить местные экологические и энергетические проблемы. Для этого представителям местной власти необходимо внимательно изучить имеющиеся возможности и привлечь представителей бизнеса, готовых инвестировать в техническое решение задачи утилизации отходов ТБО.

---

**Литература**

1. Энергетический потенциал свалочного газа на полигонах ТБО – 2013 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docplayer.ru/33671637-Energeticheskiy-potencial-svalochnogo-gaza-na-poligonah-tbo-analiticheskaya-zapiska.html> – Название с экрана.
2. А.Ю. Пухнюк, Ю.Б. Матвеев. Биогаз с полигонов отходов: процедура оформления проекта – 2007 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.journal.esco.co.ua/2010\\_12/art110.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/2010_12/art110.pdf) - Название с экрана.
3. Ф.В. Стольберг. Экология города / Ф.В. Стольберг, В.Я. Шевчук, И.Г. Черванев, В.Н. Ладыженский // Либра, 2000. С. 310-324.
4. В 2017 году население Краматорска уменьшилось на 1834 человека [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://goo.gl/Kw79mo> - Название с экрана
5. В.В. Ковтун. Города Украины: Экономико-географический справочник // В.В. Ковтун, Н.В. Степаненко //К.: Вища шк.,-1990
6. Каждый год в Киеве опадает больше 100 тысяч тонн листьев. Газета «Сегодня», выпуск № 270 (1022) за 29.11.2001 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.segodnya.ua/oldarchive/c2256713004f33f5c2256b12003490bd.html> - Название с домашней страницы.
7. Г.М. Климов. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения (свалочный биогаз) – 2012 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.bibl.nngasu.ru/electronicresources/uch-metod/energetika/851231.pdf> - Название с экрана.
8. Электроэнергия из биогаза и применение биогазовой технологии – 2013 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://biogaz-russia.ru/ehlektroehnergiya-iz-biogaza/> - Название с экрана.
9. Гурвич В.И., Лифшиц А.Б. Добыча и утилизация свалочного газа (СГ) - самостоятельная отрасль мировой индустрии – 2005 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://journal.esco.co.ua/2005\\_5/art104.htm](http://journal.esco.co.ua/2005_5/art104.htm) - Название с экрана.