

УДК 504.062

Т. А. Алешина

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВАЛОЧНОГО ГАЗА НА ПОЛИГОНАХ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ АМЕРИКИ

Описан опыт США по использованию свалочного метана как сырья для производства электроэнергии, продаже газа непосредственно потребителю, обработке газа до состояния, пригодного для газопроводных сетей, использованию свалочного газа для производства синтетических видов топлива и для других целей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: твердые бытовые отходы (ТБО), свалки и полигоны ТБО, свалочный газ, альтернативные источники энергии, опыт США.

The author describes the experience of use of landfill methane as raw material for the production of electric power, sale of the gas to the customer directly, gas treatment to get natural gas for gas network, use of landfill gas for the production of synthetic fuel and other purposes.

К е у w o r d s: municipal solid wastes (MSW), landfills, biogas, renewable energy source, USA experience.

Метан — побочный продукт, образующийся на свалках ТБО в результате разложения органической массы. Большая часть этого газа в мире остается до сих пор не востребованной в хозяйственной деятельности и выбрасывается в атмосферу. Однако в ряде развитых стран свалочный газ является альтернативным и возобновимым источником энергии, его собирают и подвергают утилизации для получения тепловой и электрической энергии.

В 2001 г. в мире насчитывалось около 1000 полигонов ТБО, оснащенных системой активной дегазации для добычи свалочного газа (табл. 1). Теоретические и экспериментальные данные показывают, что из 1 т биомассы в анаэробных условиях вырабатывается 200 нм³ метана. Тем не менее из 1 т органических отходов в реакторе способно образовываться 40...80 нм³ метана. В соответствии с отчетами по нескольким полигонам ТБО в США можно сказать, что из 1 т ТБО вырабатывается 50 нм³ метана. В мире ежегодно накапливается 1,5 млрд т отходов, соответственно, метана вырабатывается из этого количества 75 млрд нм³. Лишь малая часть (менее 10 %) из этого количества улавливается и утилизируется для хозяйственной деятельности некоторыми странами.

Т а б л и ц а 1

Страны с активной системой дегазации биогаза на полигонах ТБО [1]

| Страна | Количество полигонов |
|----------------|----------------------|
| США | 325 |
| Германия | 150 |
| Великобритания | 135 |
| Швеция | 70 |
| Голландия | 60 |
| Италия | 40 |
| Канада | 25 |

Окончание табл. 1

| Страна | Количество полигонов |
|--------------|----------------------|
| Австралия | 25 |
| Дания | 21 |
| Норвегия | 20 |
| Австрия | 15 |
| Франция | 10 |
| Испания | 10 |
| Швейцария | 10 |
| Финляндия | 10 |
| Польша | 10 |
| Бразилия | 6 |
| Чехословакия | 5 |
| Венгрия | 5 |
| Китай | 3 |
| Всего | 955 |

Согласно оценке Управления по охране окружающей среды США (ЮСЕПА) выброс антропогенного метана в 2000 г. составил 282,6 млн т [2]; из этого количества: 28 % — от интестинальной ферментации; 15 % — природного газа; 13 % представляли собой выделения свалок (36,7 млн т); 11 % — рисовые поля; 10 % — сточные воды; 8 % — уголь; 5 % — горение биомассы; 4 % — навоз; 4 % — сжигание биотоплива; 1 % — нефть; 1 % — топливо (рис. 1).

Мировое количество антропогенного CH₄ от различных источников

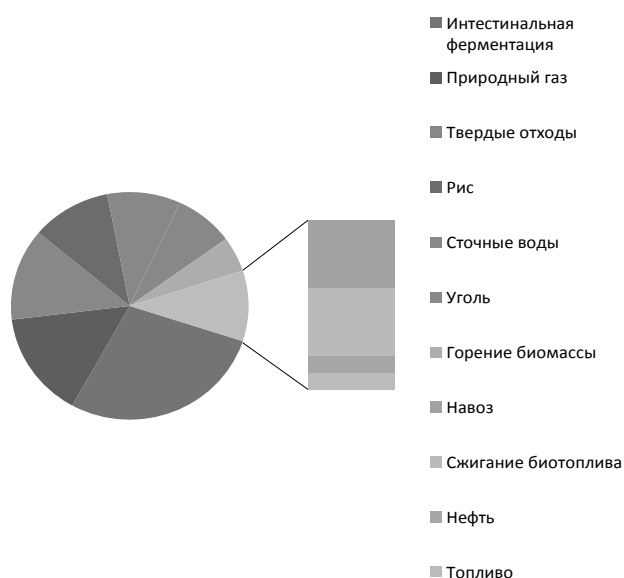


Рис. 1. Мировое количество антропогенного метана [2]

Попытаемся оценить, насколько точна эта оценка.

Как было отмечено ранее, мировое количество захороненных ТБО оценивалось величиной в 1,5 млрд т. На основании данных, приведенных выше, допустим, что в среднем количество выделенного метана составляет по крайней мере 50 нм^3 метана на 1 т ТБО (при низком уровне скоростей анаэробного разложения), а мировое количество метана, выделяемого свалками ТБО, по порядку величины составляет 75 млрд ст. м^3 , или 54 млн т метана.

Исследователи [3] экстраполировали оценку в 36 млн т CH_4 , которая дана в [4] для периода до 1985 г., допустив, что производство ТБО и объем их захоронений пропорциональны экономическому росту.

Основываясь на этом допущении и полагая, что мировой экономический рост с 1985 по 2000 гг. составил 58 %, величина в 36 млн т метана в 1985 г. экстраполируется в 57 млн т в 2000 г. [5] Она существенно выше величины в 36,7 млн т, полученной по оценке ЮСЕПА.

Как было упомянуто ранее, на современных полигонах ТБО стараются собирать биогаз, производимый путем анаэробного разложения. Однако обеспечиваемое число газоотводящих скважин ограничено (например, по США в среднем около 1 скважины на 4000 м^2 полигона) и фактически улавливается только то количество биогаза, которое соответствует этому числу скважин [6].

В табл. 2 представлены данные о количестве уловленного метана, а также оценки утечек метана для 10 полигонов в штате Калифорния. Данные о количестве захороненных ТБО опубликованы Объединенным советом по утилизации отходов штата Калифорния, а данные о количестве уловленного биогаза опубликованы в [7] и пересчитаны на метан путем умножения на 54 % [5, 7]. Следует отметить, что в среднем количество уловленного метана от 25 полигонов ТБО в штате Калифорния составило 43 нм^3 на 1 т ТБО, а оценка утечки метана дала 82 нм^3 на 1 тонну ТБО.

Т а б л и ц а 2

Производство метана (CH_4) на полигонах ТБО в Калифорнии [7, 8]

| Название полигона | ТБО, т/год | Утилизированный CH_4 , $\text{нм}^3/\text{т}$ ТБО | Утечка CH_4 , $\text{нм}^3/\text{т}$ ТБО |
|-------------------|------------|--|---|
| Altamont | 1 157 312 | 21 | 101 |
| Scholl Canyon | 412 429 | 122 | — |
| Azusa | 157 445 | 108 | 14 |
| Puente Hills № 6 | 3 377 867 | 59 | 63 |
| Bradley Avenue W | 418 341 | 96 | 26 |
| Crazy Horse | 151 258 | 32 | 90 |
| Monterey Peninsul | 197 797 | 17 | 105 |
| Prima Deshecha | 703 051 | 16 | 106 |
| Olinda Alpha | 1 877 620 | 10 | 112 |
| Frank Bowerman | 1 991 666 | 10 | 112 |
| Всего | 10 444 786 | 491 | 629 |

Из данных табл. 2 следует, что от 10 полигонов за год было утилизировано 491 $\text{нм}^3/\text{т}$ метана, значение потерь составило 629 $\text{нм}^3/\text{т}$. В соответствии со статистическими данными Департамента природопользования США в 1999 г. насчитывалось 327 предприятий, перерабатывающих свалочный газ в энергию [7].

В табл. 3 суммируются данные по различным способам использования свалочного газа.

Т а б л и ц а 3

Способы утилизации свалочного газа [9]

| Способ применения | Характеристики |
|--|---|
| Применение для выработки тепла | <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование в промышленных водонагревателях. 2. Нагрев и охлаждение помещений (например, теплиц). 3. Промышленное теплоснабжение / совместное сжигание |
| Применение для производства электроэнергии | <ol style="list-style-type: none"> 1. Обработка и использование в поршневых двигателях внутреннего сгорания (стехиометрическое сжигание или сжигание бедной топливной смеси). 2. Обработка и использование в микротурбинах, газовых и паровых турбинах. 3. Обработка и использование в топливных элементах |
| Исходное сырье для процессов в химической промышленности | <ol style="list-style-type: none"> 1. Переработка в метанол (для использования в промышленности или автотранспорте). 2. Переработка в дизельное топливо (автотранспортное топливо) |
| Очистка до качества, пригодного для газопроводных сетей | <ol style="list-style-type: none"> 1. Утилизация в качестве автотранспортного топлива. 2. Включение в местную сеть природного газа |
| Рекультивация земель | В системах испарения сточных вод |

На рис. 2 продемонстрировано, что немногим менее чем три четверти предприятий, перерабатывающих свалочный газ (т. е. 71 %, 231 предприятие), производят электроэнергию. Около 21 % предприятий продают газ непосредственно пользователю; приблизительно 4 % производят газ, пригодный для газопроводных сетей; приблизительно 3 % используют свалочный газ для производства синтетических видов топлива или других целей.

Виды утилизации свалочного газа в США

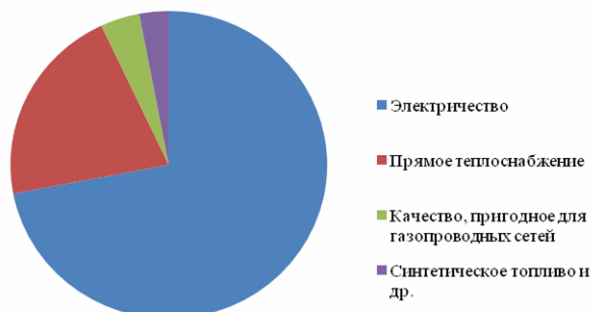


Рис. 2. Виды утилизации свалочного газа в США [7]

Наибольшее количество предприятий по утилизации свалочного газа сосредоточено в штате Калифорния. Здесь работает 65 таких перерабатывающих предприятий, что обусловлено требованиями штата и местных властей, приоритетом которых является сбор газа и последующее управление им. В других штатах число таких предприятий меньше (Иллинойс — 43, Мичиган — 22, Нью-Йорк — 20, Пенсильвания — 19).

В табл. 4 приведены данные по наиболее значимым проектам в нескольких американских штатах по объему использования свалочного газа. Общая активная площадь полигонов, обеспеченная средствами улавливания газа, составляет приблизительно 21 000 га, и практически половина этой площади (12 000 га) предназначена для регенерации метана. В штатах Калифорния, Иллинойс, Мичиган, Нью-Йорк и Пенсильвания содержится около 50 % общей площади, предназначенной для регенерации метана. В то же время в штатах Калифорния, Иллинойс, Техас и Мичиган захоранивается около 60 % общего количества отходов, которые захораниваются на полигонах с утилизацией газа для дальнейшего хозяйственного использования. Таким образом, наибольшее количество ТБО захоранивается в Калифорнии — около 35 млн т в год. Другие штаты, где захораниваются значительные объемы ТБО, — Пенсильвания, Техас, Иллинойс, Мичиган и Огайо [10].

Таблица 4

Характеристика полигонов ТБО, перерабатывающих свалочный газ [7]

| Штат | Количество полигонов, утилизирующих газ | Площадь полигона, га | Площадь переработки CH_4 , га | ТБО без улавливания CH_4 , т | Глубина, м | Плотность, кг/м^3 |
|-------------------|---|----------------------|--|---------------------------------------|------------|----------------------------|
| Калифорния | 65 | 5746 | 3570 | 546 179 234 | 36 | 730 |
| Иллинойс | 43 | 1743 | 1087 | 117 968 430 | 26 | 814 |
| Мичиган | 22 | 1038 | 697 | 67 676 676 | 24 | 744 |
| Нью-Йорк | 20 | 1050 | 619 | 152 041 187 | 38 | 812 |
| Пенсильвания | 19 | 1496 | 572 | 64 773 655 | 32 | 736 |
| Массачусетс | 16 | 345 | 267 | 20 638 665 | 25 | 752 |
| Северная Каролина | 15 | 723 | 435 | 31 942 937 | 24 | 695 |
| Висконсин | 12 | 546 | 289 | 39 335 934 | 25 | 759 |
| Флорида | 12 | 697 | 530 | 69 971 877 | 25 | 731 |
| Нью-Джерси | 11 | 770 | 492 | 62 367 776 | 23 | 790 |

Средняя глубина свалок на полигонах со сбором газа варьируется в пределах 14...53 м; средняя глубина по стране — 28 м. Плотность ТБО, захороненных на этих полигонах, лежит в пределах 594...832 кг/м^3 , а средняя плотность по стране оценивается в 732 кг/м^3 .

Общий объем собираемого свалочного газа составляет около 7 млрд нм^3 в год, а объем обрабатываемого свалочного газа (за исключением сжигания) — 5 млрд нм^3 в год, около 70 % от собираемого биогаза. На штаты

Калифорния, Иллинойс, Мичиган, Пенсильвания и Нью-Йорк приходится 60 % газа, обрабатываемого для производства энергии (теплоснабжение, электричество или топливо).

Теплотворная способность необработанного свалочного газа находится в пределах 464...591 кДж/м³ (средняя величина — 540 кДж/м³).

ЮСЕПА осуществляет информационно-разъяснительную программу по регенерации свалочного метана, содействующую тому, чтобы владельцы полигонов ТБО развивали проекты по регенерации газа везде, где это целесообразно. Согласно оценке ЮСЕПА свыше 700 полигонов на территории США могут быть оборудованы экономически эффективными системами переработки газа в энергию, но в 2004 г. действовало всего 380 предприятий [10]. В настоящее время 295 из них производят электроэнергию, остальные используют свалочный газ для теплоснабжения и других нужд.

Посредством Информационно-разъяснительной программы по регенерации свалочного метана ЮСЕПА работает с владельцами и работниками полигонов ТБО на местах, властями штатов, коммунальными службами, промышленными предприятиями, а также с другими федеральными агентствами с целью ликвидировать барьеры на пути экономически эффективной регенерации свалочного газа в энергию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Themelis N. J., Ulloa P. A.* Renewable Energy // Methane generation in landfills. 2007. № 32.
2. USEPA. International analyses of methane emissions, 2002 [Электронный ресурс]. URL: www.epa.gov/methane/intlanalyses.html (дата обращения : 04.02.2013).
3. *Stern D. I., Kaufmann R. K.* Annual estimates of global anthropogenic methane emissions: 1860—1994. Trends online: a compendium of data on global change. Carbon dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge. Tennessee, 1998.
4. *Subak S., Raskin P., Von Hippel D.* National greenhouse gas accounts: current anthropogenic sources and sinks // Climate Change. 1993.
5. Earth Policy Institute. Economic growth falters: historical time series from David Malin Roodman. In Worldwatch Institute, vital signs, 2002. P. 58—59 [Электронный ресурс]. URL: http://www.earth-policy.org/Indicators/Econ/Econ_data.htm (дата обращения : 04.02.2013).
6. USEPA. The role of recycling in integrated waste management in the US. Franklin Associates. Municipal Industrial Waste Division. Washington, DC, EPA/530-R-96-00, 1995.
7. *Berenyi E.* Methane recovery from landfills yearbook, 5th ed. Westport CT : Governmental Advisory Associates, 1999.
8. California Integrated Waste Management Board [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ciwmb.ca.gov/landfills/Tonnage/2003/Landfill.htm> (дата обращения : 04.02.2013).
9. Energy Information Administration. US Department of Energy. Growth of the landfill gas industry, 1996.
10. USEPA. Landfill Gas Outreach Program [Электронный ресурс]. URL: <http://www.epa.gov/lmop/proj/index.htm> (дата обращения : 04.02.2013).

1. *Themelis N. J., Ulloa P. A.* Renewable Energy // Methane generation in landfills. 2007. № 32.
2. USEPA. International analyses of methane emissions, 2002 [Elektronnyy resurs]. URL: www.epa.gov/methane/intlanalyses.html (data obrashcheniya : 04.02.2013).
3. *Stern D. I., Kaufmann R. K.* Annual estimates of global anthropogenic methane emissions: 1860—1994. Trends online: a compendium of data on global change. Carbon dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, Oak Ridge. Tennessee, 1998.
4. *Subak S., Raskin P., Von Hippel D.* National greenhouse gas accounts: current anthropogenic sources and sinks // Climate Change. 1993.
5. Earth Policy Institute. Economic growth falters: historical time series from David Malin Roodman. In Worldwatch Institute, vital signs, 2002. P. 58—59 [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.earth-policy.org/Indicators/Econ/Econ_data.htm (data obrashcheniya : 04.02.2013).

6. USEPA. The role of recycling in integrated waste management in the US. Franklin Associates. Municipal Industrial Waste Division. Washington, DC, EPA/530-R-96-00, 1995.
7. *Berenyi E.* Methane recovery from landfills yearbook, 5th ed. Westport CT : Governmental Advisory Associates, 1999.
8. California Integrated Waste Management Board [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.ciwmb.ca.gov/landfills/Tonnage/2003/Landfill.htm> (data obrashcheniya : 04.02.2013).
9. Energy Information Administration. US Department of Energy. Growth of the landfill gas industry, 1996.
10. USEPA. Landfill Gas Outreach Program [Elektronnyy resurs]. URL: <http://www.epa.gov/lmop/proj/index.htm> (data obrashcheniya : 04.02.2013).

© Алёшина Т. А., 2013

*Поступила в редакцию
в декабре 2013 г.*

Ссылка для цитирования:

Алёшина Т. А. Опыт использования свалочного газа на полигонах Соединенных Штатов Америки // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 4(29). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Aleshina-2013_4\(29\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Aleshina-2013_4(29).pdf)