



**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Департамент жилищно-коммунального хозяйства Белгородской области  
Совет молодых ученых и специалистов Белгородской области  
при Губернаторе Белгородской области  
Филиал ПАО «МРСК-Центр» – «Белгородэнерго»  
Белгородский институт альтернативной энергетики  
Донбасский государственный технический университет, (Алчевск)  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (г. Макеевка)**

**II Международная  
научно-техническая  
конференция**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ  
СИСТЕМЫ**

**Сборник трудов**

**(г. Белгород 23–24 ноября 2017 г.)**

**Белгород 2017**

УДК 620.9(082)

ББК 3

Э 65

Э65 **Энергетические системы:** сб. трудов II Междунар. науч.-техн. конф. БГТУ им В.Г. Шухова; отв. редактор П.А. Трубаев. – Белгород: ИП Остащенко А.А., 2017. – 565 с.

ISBN 978-5-361-00545-1

В сборнике представлены работы, освещающие современное состояние теоретических и экспериментальных исследований по следующим направлениям:

- теплоэнергетика и теплотехника;
- электроэнергетика и электротехника;
- энергетическое машиностроение;
- системы энергоснабжения;
- энергосбережение и энергоэффективность;
- альтернативные и возобновляемые источники энергии;
- экология энергетики;
- отопление и строительная теплофизика;
- Энергетика, энерго и ресурсосбережение в технологиях.

Сборник предназначен для широкого круга научных и инженерных работников, а также аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Издание публикуется в авторской редакции.

Конференция организована при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 17-08-20566).

УДК 620.9(082)

ББК 3

ISBN 978-5-361-00545-1

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2017

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА СВАЛОЧНОГО ГАЗА С ТЕЛА ПОЛИГОНА ТБО\*

д-р. техн. наук, доц. **Трубаев П.А.**<sup>1</sup>

нач. отдела **Веревкин О.В.**<sup>2</sup>

ст. преп. **Гришко Б.М.**<sup>1</sup>

инженер **Тарасюк П.Н.**<sup>3</sup>

аспирант **Щекин И.И.**<sup>1</sup>

канд. техн. наук, доц. **Суслов Д.Ю.**<sup>1</sup>

аспирант **Рамазанов Р.С.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород

<sup>2</sup>ООО «ТК «Экотранс», г. Белгород

<sup>3</sup>ООО «Энергоэффективность и энергосбережение», г. Белгород

***Аннотация.** Целью работы является исследование выхода свалочного газа участка полигона ТКО, выведенного из эксплуатации 10 лет, назад для определения возможности его энергетического использования. Приведены результаты расчетов выхода свалочного газа с участка по двум методикам, результаты инструментальных замеров состава биогаза, проводимого в течении пяти месяцев. Серия измерений позволяет оценить состав выделяемого свалочного газа при отсутствии подсосов:  $CH_4$  – 30...32%;  $O_2$  – 0...2%;  $CO_2$  – 40-60%;  $N_2$  – 5...30%;  $H_2S$  – 0...30 мг/м<sup>3</sup>. Несмотря на более низкое содержание метана, чем в традиционном биогазе, по энергетическому потенциалу свалочный газ, выделяющийся на экспериментальном участке, позволяет его использовать при условии необходимой организации процесса сжигания.*

Полигоны, на которых в России размещаются около 95% всех твердых коммунальных отходов (ТКО), являются источниками загрязнения не только почвы и поверхностных вод, но и воздушного бассейна [1]. В теле полигона в анаэробных условиях в результате жизнедеятельности метаногенных бактерий образуется свалочный газ (биогаз), состоящий из метана, углекислого газа и азота [2]. Парниковый эффект метана сильнее, чем от углекислого газа, по разным оценкам на величину от 25 раз [3] до 84 раз [4]. Поэтому на полигонах ТКО в процессе эксплуатации и при их рекультивации должны предусматриваться мероприятия по их дегазации, которая заключается в сборе и утилизации свалочного газа путем сжигания [5].

---

\* Статья подготовлена в рамках Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

Целью работы является исследование выхода свалочного газа полигона ТКО г. Белгорода, эксплуатируемого ООО «ТК Экотранс», для определения возможности его энергетического использования. Так как проекты по дегазации полигонов характеризуются высокой стоимостью, с целью минимизации нагрузки на потребителей услуг по вывозу и захоронению ТКО работы предусматривались с максимальным использованием производственного потенциала ООО «ТК Экотранс».

### 1. Расчет выхода ТКО

Для проведения дегазации рассматривалась часть полигона ТКО, расположенного по ул. Зареченская, 85в, с. Стрелецкое, Белгородский р-н, Белгородская обл. (рис. 1) со следующими характеристиками:

- Год начала функционирования ..... 2001;
- Год окончания функционирования ..... 2006;
- Площадь полигона ..... 1,5 га;
- Глубина ..... 25 м;
- Средний объём вывозимых отходов ..... 62 500 м<sup>3</sup>/год.

Для расчета состав ТКО принимался следующим:

- Содержание органической составляющей в отходах ..... 55%
- Содержание в органике отходов:.....
  - жироподобных веществ ..... 2%
  - углеводородных веществ ..... 83%
  - белковых веществ ..... 15%
- Средняя влажность отходов ..... 47%

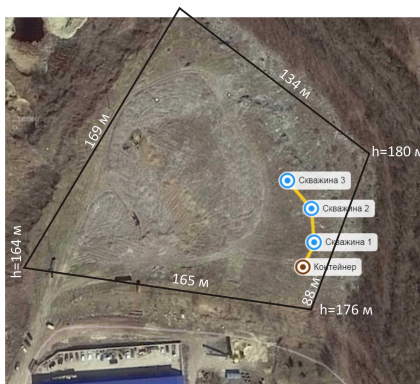


Рис. 1. Участок полигона для дегазации с экспериментальной линией из трех скважин

Для участка был определен теоретический выход свалочного газа согласно работам [6] (методика 1) и [7] (методика 2), результаты представлены на рис. 2. Расчет выхода биогаза по каждой методике произведен для теплого периода и в среднем за год, полученные результаты согласуются с другими расчетами, приведенными в работах [8, 9]. Был получен период активного выделения биогаза 17 лет.

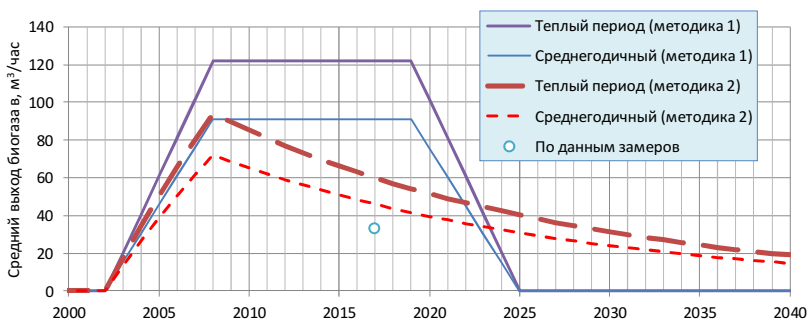


Рис. 2. Прогноз выхода биогаза

## 2. Исследование выхода и состава биогаза на экспериментальной линии

Для исследования на участке были оборудованы три скважины глубиной 12 м (рис. 3), в которые были опущены полиэтиленовые перфорированные трубы диаметром 50 мм, произведенные на ООО «ТК Экотранс» из полимерных отходов (рис. 4).



Рис. 3. Экспериментальная скважина



Рис. 4. Полиэтиленовые перфорированные трубы производства ООО «ТК Экотранс»

Для замеров состава газа использовался газоанализатор ФАРМЭК ФП34 с датчиками  $\text{CH}_4$  (0–100%),  $\text{CO}_2$  (0–2.5%),  $\text{O}_2$  (0–30%),  $\text{H}_2\text{S}$  (0–100 мг/м<sup>3</sup>).

Замеры состава биогаза первоначально производились в устье каждой скважины, при этом на результаты замеров значительное влияние оказывали погодные условия – при усилении ветра выход газа из скважин значительно увеличивался. В период с 20 июня по 2 июля была выполнена герметизация места расположения скважин путем отсыпки глиной и три скважины были объединены газосборной линией. Для отбора газа в конце линии в специально оборудованном контейнере был установлен безмасляный пластинчато-роторный вакуумный насос Busch Seco SV 1005 D (расход 4,8 м<sup>3</sup>/ч; остаточное давление 15 кПа).

Результаты мониторинга состава свалочного газа приведены на рис. 5 и табл. 1. Состав газа стабильный, после отсыпки содержание кислорода не превышает 5-10%, что показывает, что в газе подсосы кислорода составляют не более 25-50%. При содержании кислорода близком к его теоретическому содержанию в свалочном газе (0–2%) содержание метана составляет около 35% (рис. 6) Полученные значения оказались меньше теоретических (см. рис. 1), что может быть вызвано или переходом участка полигона в стадию стабильного метано-генеза, или отличием состава ТКО от принятого.

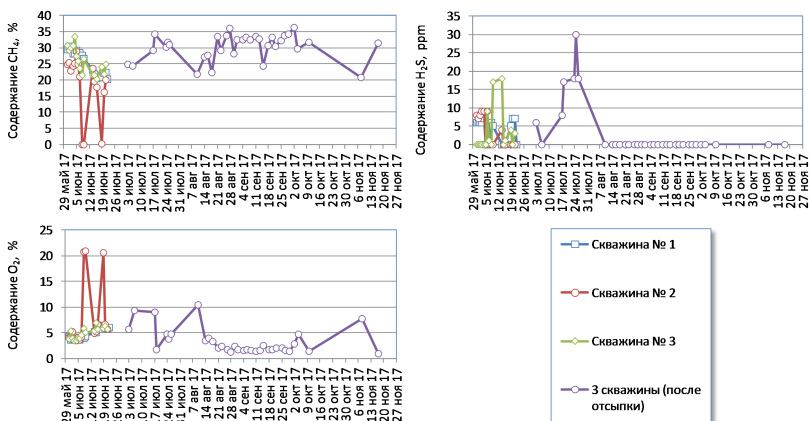


Рис. 5. Мониторинг состава газа на экспериментальной линии

Таблица 1

Средний состав свалочного газа после объединения трех скважин в одну и отсыпки грунтом (31.05-17.11.2017 г., 51 замер)

Значение	CH <sub>4</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %
Минимальное	20,8	0,9	0	–	–
Максимальное	36,2	10,5	30	–	–
<b>Среднее</b>	<b>30,3</b>	<b>3,2</b>	<b>2,9</b>	–	–
Работа [7]					
чистый биогаз	55	0	0–20	45	0
биогаз с подсосами воздуха	35–45	1–6		30–35	18–30
Состав биогаза полигона г. Самара (данные газоанализаторов)	60,6	0,2	93	–	–

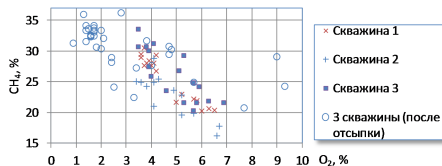


Рис. 6. Влияние подсосов на содержание метана

### 3. Определение энергетического потенциала биогаза

Утилизация биогаза будет производиться методом сжигания. Поэтому по полученным данным был произведен расчет горения (табл. 2).

Таблица 2

Расчет горения газа ( $\alpha = 1,2$ )

Показатели	Биогаз полигона Эжотранса	Природный газ	Свалочный газ полигона г. Самара
Теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	10 740	36 322	21 695
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	3,31	11,63	6,91
Состав продуктов горения, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>			
RO <sub>2</sub>	0,80	1,03	0,90
H <sub>2</sub> O	0,60	2,00	1,21
N <sub>2</sub>	2,80	9,19	5,56
O <sub>2</sub>	0,14	0,49	0,29
Сумма	4,34	12,70	7,96
Адиабатическая температура горения, °С	1487	1763	1666



Результаты показывают, что для биогаза с экспериментального участка теплота сгорания и объем воздуха, необходимый для сжигания, в два раза ниже, чем у газа полигона г. Самары и в три раза ниже, чем у природного газа. При этом температура горения этих газов отличается не более чем на 20%. Это показывает, что свалочный газ с экспериментального участка может быть как просто сжигаться в атмосфере (для преобразования метана в значительно менее вредный  $\text{CO}_2$ ) [10], так и использован в теплогенерации при условии обеспечения подачи необходимого количества воздуха, не превышающего объем, необходимый для горения.

По данным работы [11] при использовании биогаза в качестве топлива приходится сталкиваться со следующими основными трудностями:

а) из-за высокого содержания  $\text{CO}_2$  снижается нормальная скорость распространения пламени и его устойчивость, сужаются пределы регулирования горелок;

б) из-за содержания сероводорода возникает проблема коррозии горелок, фронтowych плит котлов и т. д. (уменьшается срок службы оборудования).

Поэтому для низкокалорийного топлива необходимо обеспечить хорошее смешение с воздухом, что делается с помощью завихрителей или многоканальных горелок [12].

#### 4. Исследование выхода биогаза из технологической линии

После подтверждения возможности сжигания биогаза на части участка, предварительно отсыпанного глиной, была обустроена линия по сбору биогаза из 44 скважин, расположенных на расстоянии 4 метра друг от друга (рис. 7). Скважины были оборудованы перфорированными трубами диаметром 50 мм, коллекторы для сбора биогаза выполнены из труб диаметром 65 мм. После сбора линий был произведен анализ газов с использованием газоанализатора MRU Vario Plus, оборудованного датчиками для определения содержания  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  (табл. 3).

Таблица 3

Состав биогаза, % (17.11.2017 г.)

Место отбора проб	$\text{O}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$
Технологическая линия (44 скважины), при отсутствии подсосов	5,25	23,8	26,4
	0,99	38,3	32,8
	1,42	38,3	32,8
Экспериментальная линии (3 скважины)	0,85	57,8	32,8

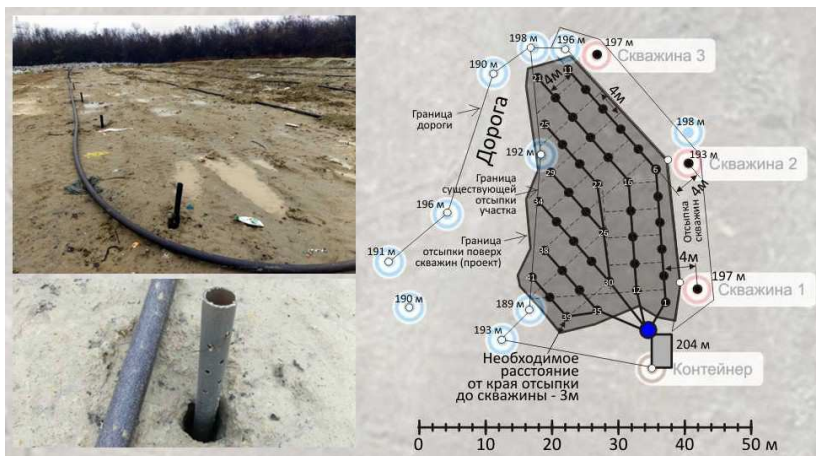


Рис. 7. Линия по сбору биогаза

Результаты замеров позволили определить содержание  $\text{CO}_2$  в свалочном газе. Таким образом оставшаяся часть в свалочном газе, составляющая от 5 до 30% в разных измерениях, и не определённая инструментальным путем, состоит скорее всего из азота  $\text{N}_2$ .

### Выводы

1. Серия измерений состава биогаза экспериментального участка, выведенного из эксплуатации 10 лет назад, позволяет оценить состав выделяемого свалочного газа при отсутствии подсосов:  $\text{CH}_4$  – 30...32%;  $\text{O}_2$  – 0...2%;  $\text{CO}_2$  – 40-60%;  $\text{H}_2\text{S}$  – 0...30  $\text{мг/м}^3$ . Предположительно оставшаяся часть в газе, не определенная приборным путем,  $\text{N}_2$  – 5...30%.

2. По энергетическому потенциалу свалочный газ, выделяющийся на экспериментальном участке, не уступает природному газу или свалочному газу традиционного состава, с большим содержанием метана. Но для устойчивого горения газа необходимо обеспечить подачу соответствующего количества воздуха, в три раза меньше, чем при сжигании природного газа, и интенсивное смешение газа с воздухом.

### Библиографический список

1. Концепция управления твердыми бытовыми отходами / Л.Я. Шубов, А.К. Голубин, В.В. Девяткин, С.В. Погадаев. М.: ГУ НИЦПУРО, 2000. 72 с.

2. **Кушев Л.А., Суслов Д.Ю.** Теоретическое описание процесса анаэробной ферментации в биогазовых установках // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С.227–230.

3. Балахчина Т.К. Оценка воздействия свалочного газа с полигонов твердых бытовых отходов на человека // Физиология. Медицина. Экология человека. 2012. № 2. С. 41–57.

4. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2015. 151 pp. URL: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf).

5. **Кожевников В.П., Токач Ю.Е., Огнев М.Н.** Современные решения по переработке твердых бытовых отходов в БГТУ им. В.Г. Шухова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 1. С. 172-174.

6. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (изд. доп. и перер.) / Н.Ф. Абрамов, Э.С. Санников, Н.В. Русаков и др. М., 2004. 20 с.

7. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации на полигонах захоронения твердых бытовых отходов / Н.Ф. Абрамов, Я.И. Вайсман, С.В. Максимова и др. М.: ФГУП Федерального центра благоустройства и обращения с отходами, 2003. 27 с.

8. **Беспалов В.И., Адамян Р.Г.** Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. Определение количества биогаза, образующегося на полигоне твердых отходов потребления [Электронный ресурс] // Наукосведение. 2013. № 3. 6 с. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/02trgsu313.pdf>.

9. **Горбовская А.Д., Хмиш В.Х.Х.** Расчет образования биогаза при утилизации отходов на полигонах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 7-4. С.20-24.

10. **Кожевников В.П., Шириме К.Ж.** Экологический аспект в промышленной теплоэнергетике // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 95-103.

11. Особенности сжигания биогаза полигонов в котлах / И.Я. Сигал, А.В. Марковский, Э.П. Домбровская, Е.С. Кернажицкая [Электронный документ]. URL: <http://teplo-faq.net/katalog/88/6291>.

12. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. М.: Энергия, 1976. 487 с.