УДК 628.49

Г.В. Жук*, А.И. Пятничко, В.Е. Баннов
Институт газа НАН Украины, ул. Дегтярёвская, 39, г. Киев, Украина, 03113
**e-mail: hen_zhuk@ukr.net*

СИСТЕМА СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ БИОГАЗА ПОЛИГОНА ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Во многих странах в больших объёмах ведётся сбор биогаза с полигонов твёрдых бытовых отходов. Начали этим заниматься и в Украине. Специалисты Института газа Национальной академии наук разработали основные аспекты системы сбора и утилизации биогаза этого происхождения с применением надёжных методов расчёта, эффективных технических решений и материалов. Сообщается о создании такой системы на полигоне в Киевской области, состоящей из 44 скважин, каждая из которых имеет производительность около 20 м³/ч. Математическое моделирование и расчёты системы проводились с использованием программного комплекса «ГазКонд-Нефть». Добываемый на полигоне биогаз используется в пяти газопоршневых двигателях с электрогенераторами производства компании «TEDOM» (Чешская республика) модели «Cento T180». Общая электрическая мощность двигателей — 925 кВт. Электроэнергия передаётся в централизованную сеть. Дальнейшее освоение полигона позволит увеличить сбор биогаза и довести мощность установленного оборудования для производства электроэнергии до 4,5 МВт.
Ключевые слова: *Биогаз. Альтернативная энергетика. Полигон твердых бытовых отходов. Газопоршневой двигатель. Генерация электроэнергии.*

H.V. Zhuk, A.I. Pyatnichko, V.E. Bannov

SYSTEM OF BIOGAS COLLECTION AND UTILIZATION OF LANDFILL SOLID DOMESTIC WASTES

Many countries in large volumes of biogas are collected from the solid waste landfills. The same were started to do in Ukraine. Specialists of the gas Institute National Academy of Sciences developed the main aspects of the system collection and utilization of biogas from this source using reliable methods of the calculation of effective technical solutions and materials. At the landfill in the Kiev region is reported about the creation such a system, consisting of the 44 boreholes, each of which has a capacity near 20 m³/h. Mathematical modeling and calculations of the system were performed using the program complex «GazKondNeft». The biogas produced at the landfill is used in the five gas-piston engines with electric generators of production company «TEDOM» (Czech Republic) the model «Cento T180». General electrical engines power is 925 kVt. Electricity is transmitted into a centralized network. Further development of the landfill will allow to increase collection of biogas and to bring the power of installed equipment for the production of electricity up to 4,5 MWt.
Keywords: Biogas. Alternative energy. Solid domestic waste landfill. Gas-piston engine. Generation of electricity.

1. ВВЕДЕНИЕ

В большинстве развитых стран мира (США, страны Западной Европы) активно ведётся сбор биогаза (свалочный биогаз — БГС; landfill gas — LFG) с мест захоронения твердых бытовых отходов. В частности, в США проводится ряд мероприятий в рамках программы Глобальной метановой инициативы (GMI) правительственного Агентства по защите окружающей среды (EPA) [2]. Мероприятия направлены на снижение выбросов метана в атмосферу. Так как его парниковый эффект превышает действие углекислого газа в 21 раз, сбор и утилизация свалочного газа позволяет не только улучшить экологическую ситуацию, но и вырабатывать электроэнергию и тепло, частично заменяя ископаемые топлива.

В последнее время проекты сбора и утилизации БГС активно развиваются в Украине. Проведены исследования ряда полигонов твердых бытовых отходов (ТБО). В результате определены составы свалочных газов, продуктивность скважин, установлен потенциал добычи БГС [3]. Реализация проектов сдерживается, в основном, затягиванием с принятием закона, устанавливающего «зеленый тариф» на электроэнер-

© Г.В. Жук, А.И. Пятничко, В.Е. Баннов

гию, полученную путем утилизации свалочного газа. Также далеки от совершенства Государственные строительные нормы, определяющие порядок сооружения систем сбора биогаза полигонов ТБО и его использования потребителем.

2. ОСОБЕННОСТИ СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ БИОГАЗА

В Институте газа НАН Украины разработана собственная система сбора и утилизации свалочного газа с применением современных методов расчета, технических решений и материалов. Система адаптирована к условиям полигона ТБО № 5 (Киевская обл., Обуховский р-н), где намечена утилизация 600...800 м^3/ч БГС с выработкой около 1 МВт электроэнергии.

Система сбора и первичной подготовки свалочного газа к утилизации в двигателях внутреннего сгорания с генерацией электроэнергии состоит из следующих компонентов: скважины, шлейфовые трубопроводы, коллекторы шлейфов, магистральный трубопровод, сепаратор.

В скважины вводятся перфорированные пластиковые трубы, обсыпанные дренажным щебнем фракции 20...40 мм. Трубы из полиэтилена стойки к любым грунтовым условиям и не нуждаются в антикоррозионной защите. На поверхности скважина герметизируется вокруг пластиковой трубы слоем глины или бетона толщиной 300...500 мм. Скважины бурят по поверхности полигона, размеченной сеткой из трех систем параллельных прямых, расположенных под углом 60° друг к другу, образующих непрерывную систему из правильных треугольников со стороной 30 м. Скважины расположены в вершинах треугольников, что обеспечивает равномерность отбора газа из массива полигона. Каждая скважина оснащена шлейфовым трубопроводом, соединяющим ее с коллектором.

Коллекторы (рис.1) в сети трубопроводов системы сбора и утилизации свалочного газа на полигоне ТБО объединяют потоки биогаза в единую линию их сбора — магистральный трубопровод. Коллектор изготовляется из полиэтиленовой или металлической трубы диаметром 110 мм, в которую вварены входные патрубки под шлейфовые трубы и выходной патрубок, на котором установлен вентиль регулирования потока с возможностью отбора проб газа. Входные патрубки оборудованы индивидуальными регулировочными вентилями. Регулировка производится с целью предотвращения попадания атмосферного кислорода в биогаз (при разрежении в сети), отбираемый из скважин. Допустимое содержание кислорода в биогазе не более 3 %. Все коллекторы через выходные патрубки подключены к магистральному трубопроводу.

Сепаратор размещён на выходе из магистрального трубопровода и предназначен для сбора жидкой фазы, которая накапливается в системе трубопроводов в процессе охлаждения биогаза. Сепаратор оснащен гидрозатвором, после которого жидкая фаза отбирается погружным насосом и транспортируется в отстойник фильтрата или в тело полигона (рис. 2). В процессе работы сепаратора его объём постепенно заполняется конденсатом.

Разработанная система сбора и коллектирования биогаза полигона ТБО № 5 состоит из продукционных скважин (44 шт.); шлейфовых трубопроводов (44 шт.); коллекторов-гребенок (7 шт.), объединяющих по 6 шлейфовых трубопроводов; магистральной трубы, состоящей из нескольких частей, соединенных в виде ломаной линии, и сепаратора, отделяющего жидкую фазу от газовой.

Фото 1. *Коллектор в бетонном колодце*

При достижении верхнего уровня жидкости в сепараторе срабатывает датчик максимального уровня и включается насос. Насос откачивает жидкость до снижения уровня жидкости ниже нижнего уровня, после чего размыкается датчик нижнего уровня, и насос выключается.

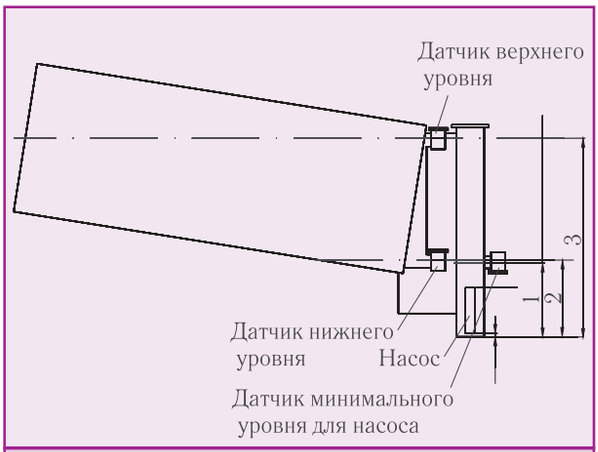

Рис. 2. *Общая схема сепаратора с размещением датчиков уровня жидкости: 1 —минимальный уровень в камере насоса; 2, 3 — нижний и верхний уровень в сепараторе соответственно*

Математическое моделирование системы было проведено с использованием программного комплекса (ПК) «ГазКондНефть» [4,5]. ПК «ГазКондНефть» представляет собой интеллектуальный продукт, созданный на базе надёжных термодинамических моделей с применением банка экспериментальных данных

о фазовых превращениях, свойствах и технологических процессах добычи, подготовки и переработки природного газа и нефти. ПК предназначен для проектирования и модернизации обустройства газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений, подземных хранилищ газа, установок по переработке газа, конденсата и нефти, а также нахождения наиболее эффективных технологических решений.

В ходе расчётов найдены диаметры шлейфовых и коллекторных газопроводов с учётом допустимых в них потерь давления согласно СП 42-101-2003. При выполнении гидравлического расчёта газопроводов, проведенного по формулам (5)-(14) из СП 42-101-2003, расчётные внутренние диаметры газопровода предварительно определяли с помощью ПК «ГазКондНефть». Разница в результатах расчётов не превышала 10 %, что является вполне допустимым.

Проектное разрежение 0,015 МПа, поддерживаемое на выходе коллекторного газопровода газодувкой, моделировалось его созданием на выходе из сепаратора. На схеме системы сбора БГС (рис. 3) цифрами обозначены номера потоков.

Химический состав и термодинамические характеристики потоков газа из скважин были приняты

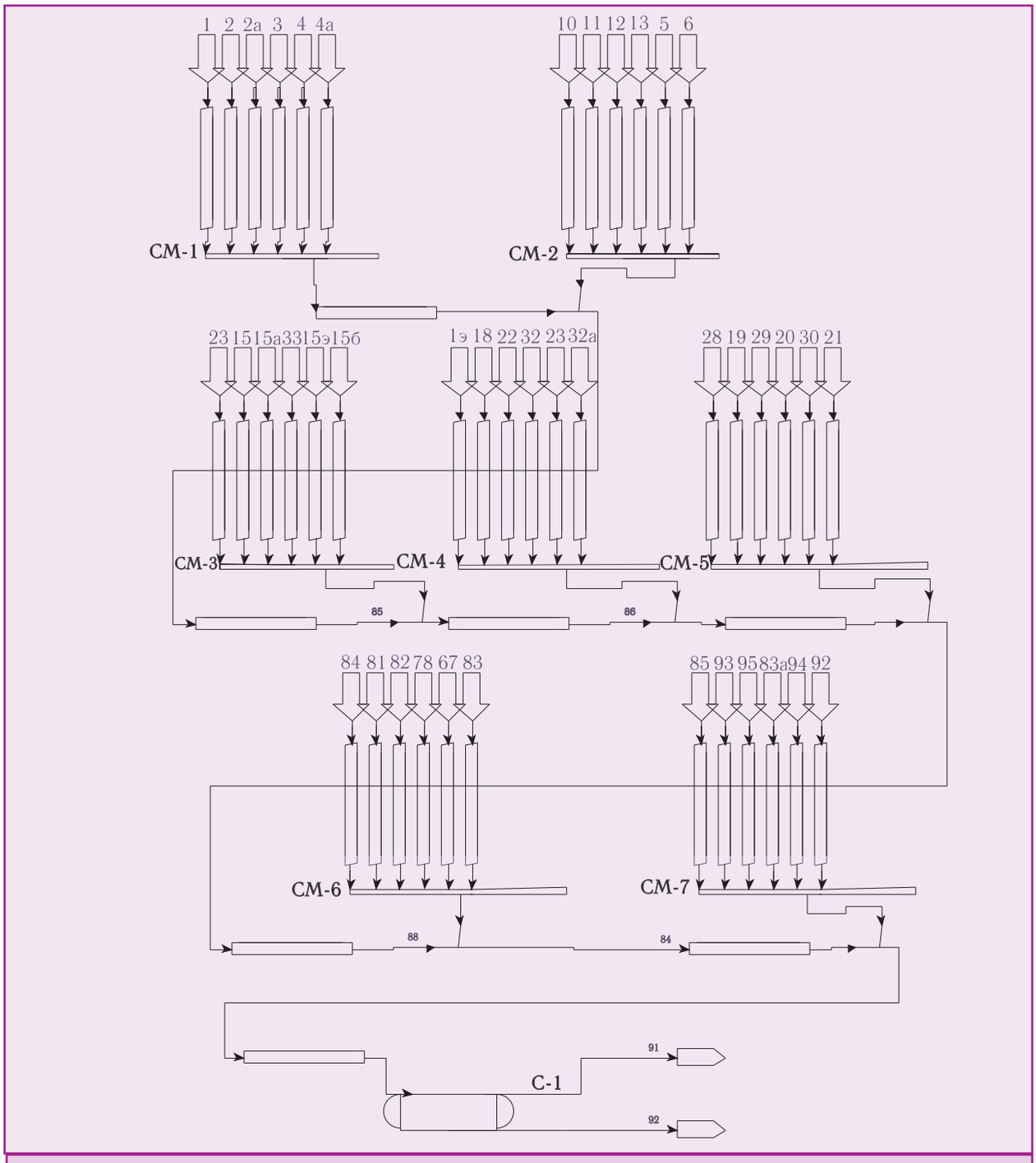

Рис. 3. *Принципиальная расчётная схема системы сбора БГС*

одинаковыми. Их значения приведены в таблице. Производительность каждой скважины составила 20 м³/ч. Биогаз состоит, в основном, из метана и диоксида углерода при влажности 100 % и температуре 30 °С (см. в таблице потоки 1 и 39).

От каждой скважины отходит шлейфовый трубопровод, длина которого соответствует расстоянию от неё до коллектора. Коллекторы передают собранный газ в магистральный трубопровод, по которому газ доставляется через сепаратор к технологической площадке.

Характеристики потоков

Поток	1	2	26	39
Давление, МПа	0,096	0,096	0,0965	0,096
Температура, °С	30,00	2,00	1,98	30,00
Доля фазы (мольн.): — газ	1,000000	0,964121	0,964162	1,000000
— водный раствор	0,000000	0,035879	0,35838	0,000000
Состав	мольн. доля	мольн. доля	мольн. доля	мольн. доля
Азот	0,0394633	0,0394633	0,0394633	0,0394633
Метан	0,6314114	0,6314114	0,6314114	0,6314114
Диоксид углерода	0,2861083	0,2861083	0,2861083	0,2861083
Вода	0,0430171	0,0430171	0,0430171	0,0430171
Расход, ст. м³/ч	19,47	19,47	116,83	19,47
Поток	40	90	91	92
Давление, МПа	0,094	0,094	0,094	0,094
Температура, °С	2,00	1,98	1,98	1,98
Доля фазы (мольн.): — газ (пар)	0,964229	0,944263	1,000000	0,000000
— водный раствор	0,035771	0,035737	0,000000	1,000000
Состав	мольн. доля	мольн. доля	мольн. доля	мольн. доля
Азот	0,0394633	0,0394633	0,0409258	0,0000005
Метан	0,6314114	0,6314114	0,6548109	0,0000295
Диоксид углерода	0,2861083	0,2861083	0,2967077	0,0001087
Вода	0,0430171	0,0430171	0,0075556	0,9998613
Расход, ст. м³/ч	19,47	817,84	788,61	

На первом этапе на основе моделирования схем с одиночным трубопроводом были определены оптимальные диаметры шлейфовых и коллекторных трубопроводов. Установлено, что при длине трубы до 283 м для достижения скорости газа по длине трубы 1...8 м/с необходимо применять трубы с внутренними диаметрами: шлейфовая — ∅44,2 мм, магистральная — ∅200 мм. При этом падение давления составляет в трубе ∅44,2 мм — 0,02 ата, что подтверждается результатами натурных испытаний. Падение давления в трубе ∅200 мм составило 0,01 ата.

На основании данных линейного расчёта разработана программная схема комплексного расчёта системы сбора и коллектирования биогаза полигона ТБО (см. рис. 3). Система объединяет 42 входных потока (по количеству скважин), соответственно 42 шлейфовых трубопровода длиной от 65 до 283 м; 7 шт. 10-ти входных смесителей (с задействованными 6-ю входами); 6 шт. 2-х входных смесителей; 9 участков коллекторной трубы и сепаратор, т.е. всего — 113 потоков. Учтены реальные перепады высот по длине всех труб, которые составили от 1 до 18 м. Расчёты были проведены для наиболее жесткого из допустимых температурного режима, когда на внешней стенке трубы температура +2 °С.

В результате расчётов получены основные характеристики системы: материальный баланс биогаза в системе, разности давлений (вход-выход) на всех участках трубопроводов, скорости потоков газа, фазовые составы потоков.

Анализ системы подтвердил невозможность её выхода за допустимые пределы указанных ранее параметров.

В качестве примеров в таблице приведены данные по наиболее характерным потокам и участкам труб:

— самый короткий шлейф № 1 (поток на входе 1 и выходе из него 2);

— самый длинный шлейф № 15 Б (поток на входе 39 и выходе из него 40);

— первый участок коллекторной трубы после пе-рвого (коллектора поток на выходе из него 26);

— участок коллекторной трубы после последнего коллектора (поток на выходе из него 90);

— выходные потоки из сепаратора перед входом на технологическую площадку (газовый 91 и жидкостный 92).

Теплофизические расчеты показали, что падение температуры от 30 °С до температуры внешней стенки трубы 2 °С происходит очень быстро — на расстоянии всего 10-20 м (рис.4). Поэтому вся избыточная вода (0,5 кг со скважины) выделяется уже в шлейфовых трубопроводах и в дальнейшем стекает по трубам благодаря перепаду высот.

Из моделирования установлено, что спроектированная и созданная система трубопроводов работает в пределах допустимых технологических параметров. Диаметры труб — 44,2 мм для шлейфа и 200 мм для коллектора полностью соответствуют технологическим требованиям.

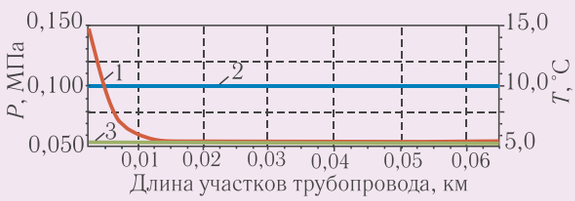

Рис. 4. *Изменения давления (1) и температуры (2) потока по длине трубопровода относительно температуры окружающей среды (3)*

Производительность системы — 800 м³/ч, общая длина шлейфовых трубопроводов составляет 6997 м, магистрального трубопровода — 258 м. Перепад давления во всей системе достигает 0,004 МПа. На выходе из системы газ имеет следующие параметры: давление (разрежение) — 0,004 МПа; водная фракция — 21,9 кг/ч.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель системы сбора и коллектирования биогаза полигона ТБО № 5 позволяет в дальнейшем оперативно производить необходимые расчёты при изменении проектных параметров.

Технологические разработки Института газа НАН Украины были успешно внедрены на полигоне ТБО № 5 компанией ЛНК, являющейся одной из ведущих в области утилизации БГС на полигонах Украины.

Рис. 5. *Станция переработки свалочного биогаза в электроэнергию мощностью 1 МВт*

Рис. 6. *Газопоршневая машина в контейнере*

Создана станция по переработке БГС в электро-энергию мощностью 925 кВт (рис. 5), включающая систему сбора и подготовки биогаза, описанную выше, а также блок из 5 газопоршневих двигателей с генераторами компании «TEDOM» (Чехия) марки «Cento T180» (рис. 6) с трансформаторной подстанцией. Производимую электроэнергию передают в централизованную сеть на постоянной основе. Станция является первой очередью комплекса, рассчитанного после его создания на производство 4,5 МВт электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Крушневич Т.К., Пятничко А.И.** Извлечение метана из биогаза полигонов и подача его в магистральный газопровод// Технические газы. — 2006. — № 3. — С. 41-43.

2. http://www.epa.gov/globalmethane/index.htm.

3. **Пятничко А.И., Жук Г.В., Баннов В.Е.** Результаты обследования полигонов ТБО Украины для установления объемов добычи и состава биогаза// Технические газы. 2010. — № 2. — С. 63-66.

4. **Калашников О.В., Иванов Ю.В.** Инженерные расчетные модели технологических сред газопереработки. 1. Фазовое состояние жидкость — пар// Химическая технология. — 1990. — № 6. — С. 28-36.

5. **Калашников О.В., Иванов Ю.В., Будняк С.В.** Вопросы адекватности теплофизической базы программных систем HYSYS, PRO-2 и ГазКондНефть. 2. Смеси углеводородов, воды, метанола и гликолей// Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2000. — № 1. — С. 31-35.