

Так как реологические свойства применяемых удобрений влияют на качество полива и подкормки сельскохозяйственных культур, в расчетах систем капельного орошения необходимо учитывать коэффициент, показывающий изменение плотности удобрения в зависимости от температуры окружающей среды.

25.08.2014

### Литература

1. Агродепартамент [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.agrodepartament.ru/drip.html>. – Дата доступа: 06.08.2008.
2. Национальный Интернет-портал Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sprinkler.narod.ru/oroshenie.htm>. – Дата доступа: 07.07.2008.
3. Григоров, М.С. Сравнительные достоинства различных способов полива / М.С. Григоров, В.А. Федосеева // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы: доклады Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 20–22 марта 2007 г. / Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию, Институт мелиорации. – Минск, 2007. – С. 109–112.
4. User Manual. Roberts Irrigation Products. – U.S.A., 2001. – 107 с.
5. Аутко, А.А. Овощеводство защищенного грунта / А.А. Аутко, Г.И. Гануш, Н.Н. Долбик. – Минск: Изд-во «ВЭВЭР», 2006. – 320 с.

УДК (631.95:573.6):631.147

**Э.К. Снежко, Н.Ф. Капустин,  
С.А. Абрамчук**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**УТИЛИЗИРУЮЩИЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ  
ФАКЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА  
БИОГАЗОВЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
УСТАНОВОК**

### Введение

Во многих развитых странах органические отходы сельскохозяйственного производства (навоз всех видов животных, помет птиц и отходы растениеводства) используются как возобновляемый источник энергии (ВИЭ) и для получения качественных органических удобрений.

В аграрном секторе Республики Беларусь имеется огромный потенциал для успешного внедрения биогазовых энергетических комплексов (БГЭК). Из отходов ферм крупного рогатого скота (КРС), свиноводческих и птицеводческих комплексов ежегодно можно производить по биогазовой технологии анаэробного сбраживания более полутора миллиардов кубических метров биогаза. Срок окупаемости БГЭК – от 2 до 5 лет [1].

При использовании такого количества биогаза на когенерационных газовых установках (КГУ) БГЭК можно будет вырабатывать порядка 3,4 млрд кВт·ч электрической энергии и 5,6 млн Гкал тепловой и получать качественные органические удобрения, повышающие урожайность сельскохозяйственных культур. Кроме того, использование БГЭК улучшит экологическую обстановку вблизи ферм и птицефабрик.

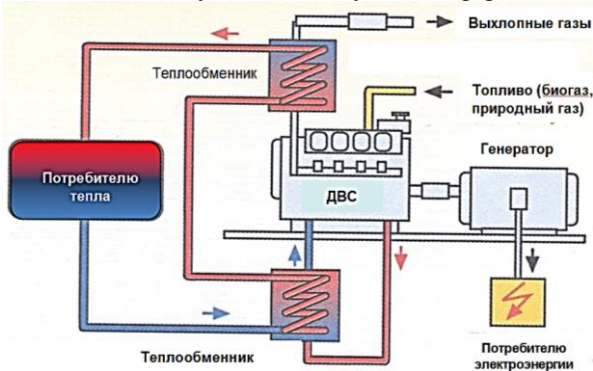


Рисунок 82 – Структурно-технологическая схема работы КГУ для БГЭК

Главным преимуществом когенерационных газовых установок (КГУ) БГЭК, схема работы которых показана на рисунке 82, является высокий коэффициент эффективности производства электрической и тепловой энергии, а также значительная эконо-

номия топлива по сравнению с отдельным производством каждой из них, что имеет немалое влияние на экологию и экономику производства.

Однако в процессе анаэробного сбраживания органических отходов в метантенках (биореакторах БГЭК) в зависимости от состава и качества исходного биологического сырья могут возникнуть излишки вырабатываемого биогаза в газгольдере метантенка, которые не смогут израсходовать энергетические КГУ из-за ограниченности своей мощности. Излишки биогаза могут возникнуть также в случаях профилактического обслуживания или возникшей аварийной ситуации с прекращением работы энергетических блоков установки.

В таких случаях через предохранительные клапаны метантенков (ферментеров) излишки биогаза должны быть выпущены в атмосферу, и количество таких вредных выбросов (даже если взять один процент этих выбросов от предполагаемого ежегодного производства в нашей стране биогаза) может составить около 25 млн м<sup>3</sup>. В этих выбросах, по оценкам специалистов, может содержаться до 18 млн м<sup>3</sup> метана, что по экологически причиняемому ущербу эквивалентно 378 млн м<sup>3</sup> углекислого газа. Если к этому добавить огромное количество биогаза, выпускаемого в атмосферу многочисленными полигонами твердых бытовых отходов (ТБО), то может получиться весьма внушительная цифра.

## Автоматизированное факельное устройство УАФ-1 как утилизатор вредных выбросов метансодержащих газов в атмосферу

Таким образом, обязательным элементом в обслуживании БГЭУ, как показал мировой опыт их эксплуатации, является наличие устройства автоматизированного факельного (УАФ), позволяющего производить экологически чистую утилизацию излишков вырабатываемого БГЭУ биогаза путем его полного сжигания [1–2].



*Рисунок 83 – Общий вид автоматизированного факельного устройства*

На рисунке 83 изображен типичный модуль автоматизированного факельного устройства с расходом биогаза порядка  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Мировая практика показала экономическую нецелесообразность оснащения УАФ котлами для выработки тепловой энергии, поскольку такое оборудование будет использоваться периодически и не сможет окупить расходов на его изготовление и установку.

В то же время не так давно в Российской Федерации появился ряд патентов и статей о путях бездымного сжигания сбросных газов с переводом части факельного тепла в электричество путем использования эффекта возникновения напряжения на стыке двух различных металлов при разных температурах – «эффекта Зеебека» [3].

Простота и относительно небольшая стоимость таких встроенных в УАФ термических преобразователей сопротивления позволяют говорить о том, что в недалеком будущем даже периодическое получение электроэнергии с помощью УАФ позволит сократить сроки их окупаемости, рассчитываемые в настоящее время лишь по критериям экологического характера. Это касается также постоянно действующих УАФ, обслуживающих свалки твердых бытовых отходов (ТБО).

Как уже отмечалось, при сжигании (утилизации) биогаза его отрицательное влияние на экологическое состояние нашей планеты, в частности парниковый эффект, резко снижается на порядок по сравнению с прямым выбросом биогаза (метана) в атмосферу. Свеча УАФ обеспечивает почти полное сжигание биогаза, при этом содержание веществ в продуктах его сгорания соответствует европейским нормам:  $\text{NO}_x \leq 100 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{CO} \leq 50 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{C}_n\text{H}_m \leq 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Согласно заданию отраслевой программы ОНТП «Импортозамещающая продукция», нами совместно со специалистами ОДО «МИГ» разработан и испытан опытный образец устройства автоматизированного факельного УАФ-1 для БГЭУ. УАФ-1 надежно работает при давлении биогаза в системе от 100 до 10000 мм в.ст. и обеспечивает расход временно сжигаемого биогаза до 250 м<sup>3</sup>/ч с минимальным выбросом токсичных веществ в атмосферу.

В настоящее время на большинстве действующих импортных БГЭК, расположенных на территории Республики Беларусь, нет УАФ с автоматизированным поджигом биогаза, надежно работающих в пределах всего диапазона изменений химического состава биогаза. Исследовав данную проблему, наши специалисты разработали опытный образец УАФ-1, который изготавливается в виде отдельной конструкции, вынесенной за пределы ферментеров на взрывобезопасное расстояние. УАФ-1 включает в себя специальное стабилизирующее устройство, предотвращающее возможный отрыв пламени свечи в случае снижения скорости распространения пламени; огнепреградитель (отсекатель пламени), предотвращающий проскок пламени при случайном увеличении содержания кислорода; напорный вентилятор и автоматизированную систему поджига биогаза. На рисунке 84 показана схема расположения основных элементов УАФ-1.

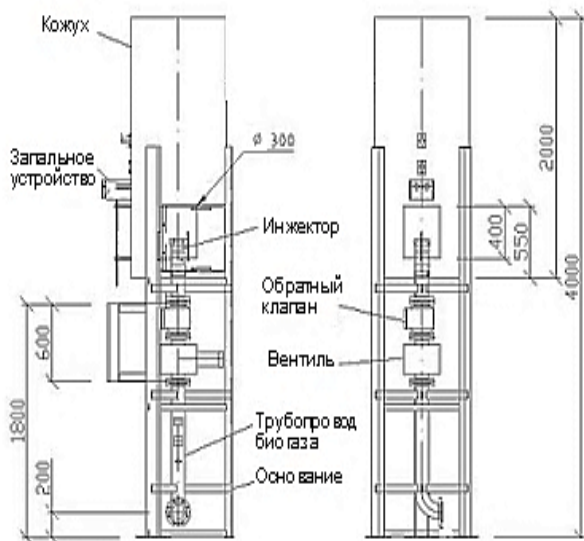


Рисунок 84 – Схема расположения сборочных единиц автоматизированного факельного устройства

Проблема эффективного сжигания биогаза в настоящее время весьма актуальна. Например, учеными из Института газа НАН Украины в результате экспериментальных исследований горения биогаза при различных режимах были сделаны следующие основные выводы [4]:

1. В связи со склонностью к отрыву пламени биогаз имеет меньший диапазон регулирования горелочного устройства, чем при сжигании природного газа.

2. При сжигании биогаза выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) уменьшаются в среднем в два раза.

3. Использование биогаза при наличии в нем сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) требует применения коррозионно-устойчивых материалов для изготовления деталей горелочного устройства.

Разработанное нами УАФ-1 состоит из следующих конструктивных узлов (сборочных единиц): узла подачи биогаза, устройства розжига биогаза, вентилятора напорного, запорной арматуры, основания устройства и камеры сгорания.

УАФ-1 укомплектован также шкафом управления, обеспечивающим контроль параметров безопасности (давление мин./макс. газа, контроль наличия пламени, контроль герметичности), контроль технологических параметров и управление процессом сжигания биогаза.

Автомат контроля герметичности ТС 410-1Т установлен для определения герметичности газовых клапанов и обеспечения безопасности розжига. Автомат контроля герметичности ТС в соответствии с сигналом датчика-реле давления DG определяет наличие или отсутствие газа в области между двумя запорными клапанами и в зависимости от этого выдает сигнал разрешения / запрета на работу всей установки в целом до начала или после окончания работы УАФ.

Принцип работы УАФ следующий: излишки биогаза поступают по наружному газопроводу к входу в напорный вентилятор. Шаровой кран перед вентилятором должен быть открыт. При достижении установленного минимума давления рабочей среды замыкаются контакты датчика-реле давления газа, и таким образом дается команда автомату контроля герметичности ТС на начало тестирования. Алгоритм тестирования жестко запрограммирован в автомате ТС и изменению обслуживающим персоналом не подлежит. После окончания тестирования автомат контроля герметичности выдает автомату управления горением сигнал на начало работы. При условии соответствия давления газа установленным параметрам ( $\pm 10\%$  от номинального значения) автомат управления горением обеспечивает последовательность, взаимосвязь и контроль работы всех автоматизированных элементов технологической цепи УАФ. Вентилятор под давлением подает биогаз через электромагнитные клапаны, компенсатор и систему трубопроводов к горелочному устройству.

С помощью электродов розжига и трансформатора розжига происходит воспламенение биогаза в горелочном устройстве.

В УАФ пуск не может быть осуществлен в следующих случаях:

- при отсутствии электроэнергии;
- при отклонении величины давления газа за основным запорным органом на  $\pm 10\%$  от номинального значения;
- при нарушении герметичности быстродействующего запорного топливного органа горелки.

При отказе запального устройства во время пуска обеспечивается защитное выключение горелки.

В УАФ не допускается подача биогаза в горелку, пока не включено запальное устройство, обеспечивающее надежное зажигание основной горелки.

Устойчивость пламени обеспечивается конструкцией горелки. Наличие пламени в горелке контролируется с помощью автомата управления горением, который функционирует при любой тепловой мощности горелки в пределах диапазона регулирования.

Автоматика УАФ обеспечивает защитное выключение горелки, если при ее розжиге не произойдет воспламенения топлива в течение не более 3 с.

При работе УАФ защитное выключение горелки обеспечивается в следующих случаях:

- при погасании контролируемого пламени;
- при прекращении подачи электроэнергии;
- при повышении или понижении давления газа на входе более чем на  $\pm 10\%$  относительно номинального значения.

После устранения причины аварии запуск горелки осуществляется оператором по программе автомата управления горением (функция самопроизвольного повторного пуска не предусмотрена).

Автоматикой УАФ-1 предусмотрено, что при защитном выключении УАФ из-за прекращения подачи электроэнергии самопроизвольного возобновления подачи энергии к УАФ не произойдет.

Автомат управления горением реагирует только на пламя контролируемой им горелки и не реагирует на посторонние источники света или тепла.

При пропадании пламени происходит защитное выключение горелки в течение не более двух секунд.

К тому же система контроля пламени обеспечивает защитное выключение горелки, если происходит срыв контролируемого пламени. При этом время защитного отключения подачи газа составляет не более двух секунд.

Важным условием работы УАФ является то, что прекращение подачи электроэнергии к газовому автоматическому запорному органу от

внешнего источника вызывает его закрытие. Он закрывается без дополнительного подвода энергии от внешнего источника.

Время закрытия электромагнитных клапанов при отключении электропитания должно быть менее одной секунды.

В перспективе, с ростом в нашей республике количества БГЭК и их мощностей, подобно уже созданной отечественной мобильной диагностической лаборатории для обслуживания БГЭК, планируется разработка мобильной факельной установки (на базе имеющегося модуля УАФ) для оперативного обслуживания всех БГЭК.

### **Выводы**

Обязательным элементом в обслуживании БГЭУ, как показал мировой опыт их эксплуатации, является наличие устройства автоматизированного факельного (УАФ), позволяющего производить экологически чистую утилизацию излишков вырабатываемого БГЭУ биогаза путем его полного сжигания.

Мировая практика показала экономическую нецелесообразность оснащения УАФ котлами для выработки тепловой энергии, поскольку такое оборудование будет использоваться периодически и не сможет окупить расходов на изготовление и установку такого теплотехнического оборудования. При сжигании (утилизации) биогаза его отрицательное влияние на экологическое состояние нашей планеты резко снижается, в частности по парниковому эффекту снижается на порядок по сравнению с прямым выбросом биогаза (метана) в атмосферу. Свеча УАФ обеспечивает полное сжигание биогаза, при этом содержание веществ в продуктах сгорания биогаза соответствует европейским нормам.

Разработанное нами УАФ-1 состоит из следующих конструктивных узлов (сборочных единиц): шкафа управления, узла подачи биогаза, устройства розжига биогаза, вентилятора напорного, запорной арматуры, основания устройства и камеры сгорания.

Автоматика УАФ обеспечивает защитное выключение горелки, если при ее розжиге не произойдет воспламенения топлива в течение более 3 с, а также выполняет целый ряд других защитных функций.

В перспективе, с ростом в нашей республике количества БГЭК и их мощностей, для обслуживания БГЭК планируется разработка мобильной факельной установки (на базе имеющегося модуля УАФ) для оперативного обслуживания всех БГЭК.

25.08.2014

### **Литература**

1. Сигал, И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И.Я. Сигал. – Л.: Недра, 1988. – С. 313.
2. Зорг Биогаз [Электронный ресурс]. – Киев, 2014. – Режим доступа: [http://zorgbiogas.ru/o-kompaii/novosti-kompaii/article\\_20\\_27-1\\_3](http://zorgbiogas.ru/o-kompaii/novosti-kompaii/article_20_27-1_3). – Дата доступа: 18.07.2014.

3. Мусаев, А.М. Пути бездымного сжигания сбросных газов с переводом части факельного тепла в электричество / А.М. Мусаев, Р.Г. Сафиуллин // Известия КазГАСУ. – 2011. – № 2 (16). – С. 157–161.
4. Экспериментальное исследование горения биогаза и его использование в промышленных котлах / И.Я. Сигал [и др.] // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – 2013. – № 17 (139). – С. 84–89.

УДК (631.95:573.6):631.147

**Н.Ф. Капустин, Э.К. Снежко**  
(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

## **ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ БИОГАЗОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

### **Введение**

В настоящее время в Республике Беларусь эксплуатируется 15 биогазовых энергетических комплексов (БГЭК), при этом, в соответствии с постановлением Совета Министров РБ от 9 июня 2010 г. № 885, к 2015 году в республике должно быть сдано в эксплуатацию 39 БГЭК. Так что в будущем ежегодно будет происходить только наращивание мощностей этих энергоэффективных установок, использующих биогаз как возобновляемый источник энергии (ВИЭ).

Во многих высокоразвитых странах органические отходы сельскохозяйственного производства (навоз всех видов животных, помет птиц и отходы растениеводства) рассматриваются как исходный продукт для выработки биогаза (перспективного и постоянно возобновляемого источника электроэнергии и тепла) и сырьевая база для получения высококачественных органических удобрений [1–4].

В масштабах РБ насчитывается свыше 6300 комплексов крупного рогатого скота (КРС), свыше 100 свиноводческих комплексов и 48 птицеводческих комплексов. Из отходов этих хозяйств ежегодно можно производить по биогазовой технологии анаэробного сбраживания как минимум 1700 млн  $m^3$  биогаза в течение года переработки только навозных стоков ферм и куриного помета птицефабрик.

При получении такого количества биогаза можно будет вырабатывать на когенерационных установках БГЭК порядка 3 млн  $MВт\cdot ч$  электрической энергии и 5 млн  $Gкал$  тепловой, что будет способствовать ежегодной экономии около 1 млн  $t$  условного топлива.

Дополнительный экономический и экологический эффект от применения данной технологии – повышение урожайности сельскохозяйственных культур на 20 % (по сравнению с использованием несброженного навоза) в результате внесения качественных органических удобрений и улучшение экологической обстановки в местах работы ферм, птицефабрик и в целом по стране.