

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.

В настоящее время все комплектующие БГЭК закупаются за рубежом у ведущих фирм-производителей данного вида продукции. Однако с ростом количества вводимых в эксплуатацию комплексов с целью снижения стоимости оборудования и поддержки отечественных производителей Правительством Республики Беларусь поставлена задача: максимально использовать импортозамещающее оборудование, в частности разработать отечественные аналоги энергетических, дозировочно-загрузочных, программно-аппаратных, технико-диагностических, клапанно-предохранительных, газоочищающих, газоосушающих и газутилизирующих средств для БГЭУ. Детально рассмотрим эти средства (виды импортозамещающего оборудования).

### **Энергетические средства.**

#### **Когенерационные установки КГУ-250 для БГЭК**

Ограниченное количество природных запасов первичных энергоносителей и необходимость охраны окружающей среды заставляют энергетиков применять все более экономичные и экологичные технологии. В процессах электро- и теплообеспечения все шире используется комплексный метод одновременной трансформации энергии теплоносителя в электричество и тепло с помощью когенерационных установок.

Сегодня когенерационные системы занимают все более активные позиции в производстве электроэнергии и тепла. В отличие от отдельно используемых электрических установок и тепловых котлов номинальный КПД лучших образцов когенерационных установок может достигать 80–90 %. Использование когенерационных установок при производстве энергии и тепла дает экономию топлива до 40 %. Это означает, что за такое же количество энергии потребитель заплатит только 60 % средств или из такого же количества топлива получит почти в два раза больше энергии, часть которой он может продавать, чем дополнительно снизит собственные затраты. В зависимости от мощности установки и способа ее эксплуатации окупаемость когенерационных установок составляет около 2–4 лет при сроке работы до капитального ремонта 60 000 часов (приблизительно 7,5 лет). Таким образом, когенерационные установки являются новым этапом в развитии электро- и теплоэнергетики. На рисунке 85 показана структурно-технологическая схема получения биогаза на БГЭК с выработкой энергии на когенерационной газовой установке (КГУ) в п. Зазерье.

Нами совместно с головным исполнителем (ОАО «Витязь») была разработана с целью постановки на производство когенерационная газовая установка КГУ-250 мощностью 250 кВт (рисунок 86) для децентрализованного обеспечения электрической и тепловой энергией сельскохозяйственных и других потребителей, позволяющая значительно снизить стоимость тепловой и электрической энергии по сравнению

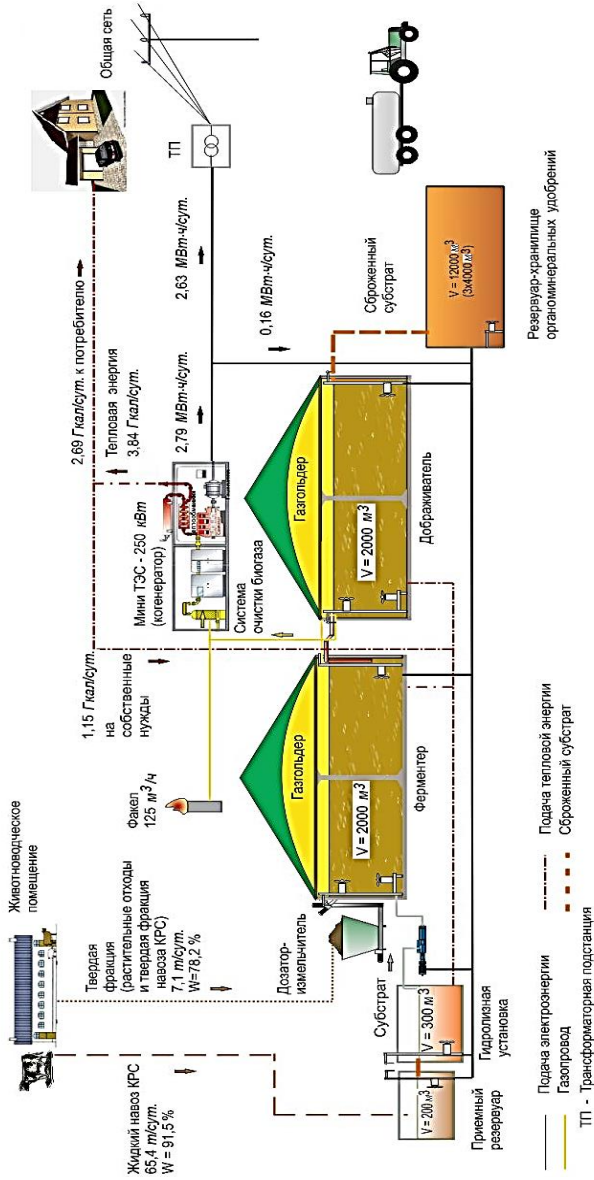


Рисунок 85 – Плотный проект БГЭК «Зазерье» мощностью 250 кВт

с их стоимостью при централизованном производстве. Выполнение задания было определено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 декабря 2010 г. № 1793 «Об утверждении плана мероприятий по разработке и освоению производства оборудования и комплектов для биогазовых комплексов».

Впервые в нашей стране создан отечественный модуль – когенерационная установка мощностью  $250 \text{ кВт}$ , работающая на разнообразном по химическому составу газообразном топливе (биогаз, природный газ) и являющаяся надежной автономной системой электро- и теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей. При этом обеспечивается экологичность и экономичность за счет оптимального преобразования энергии. Для БГЭК с большей выработкой биогаза (например,  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) можно задействовать 2 модуля КГУ-250.

Техническая характеристика когенерационной газовой установки КГУ-250:

- номинальная мощность: электрическая –  $250 \text{ кВт}$ , тепловая –  $280 \text{ кВт}$ ;
- коэффициент полезного действия: электрический –  $36,8 \%$ , тепловой –  $45,0 \%$ ; суммарный –  $81,8 \%$ ;
- расход топлива при номинальной мощности: при теплоте сгорания  $25 \text{ МДж/кг}$  (биогаз) –  $125 \text{ м}^3/\text{ч}$ , при теплоте сгорания  $35 \text{ МДж/кг}$  (природный газ) –  $65 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- максимальный расход масла –  $0,4 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ .



Рисунок 86 – Когенерационная газовая установка КГУ-250 (вид сбоку)

КГУ-250 разработана в рамках задания ГНТП «Машиностроение». К этой же программе относится и дозатор-загрузчик для БГЭК (рисунок 87а).

#### **Дозатор-загрузчик и комплект программно-аппаратных средств систем автоматического управления биогазовыми установками КоПАС САУБУ**

Для обеспечения бесперебойной работы БГЭК планируется разработка и освоение производства в ОАО «Бобруйскагромаш» отечественных дозаторов-загрузчиков твердого сырья в ферментеры БГЭК стационарного типа с электрическим приводом (объем бункера –  $8 \text{ м}^3$ , потребляемая мощность –  $15 \text{ кВт}$ ).

Дозатор-загрузчик (рисунок 87а) имеет производительность не менее 16 т/ч основного времени и потребляемую мощность 2х4,0 кВт.



а)



б)

Рисунок 87 – Дозатор-загрузчик (а) и шкаф управления КоПАС САУБУ (б)

Совместно с ОАО «Измеритель» (головная организация) и ОАО «Рамтэкс» по заданию ГНТП «Радиоэлектроника-2» (подпрограмма «Радиоэлектронная аппаратура общепромышленного назначения») завершается разработка и идет подготовка производства комплекса программно-аппаратных средств системы автоматического управления биогазовыми установками КоПАС САУБУ. На рисунке 87б изображен шкаф управления комплексом. Этот комплекс позволяет управлять биогазовой установкой с момента загрузки сырья до получения биогаза, его хранения и передачи в когенерационную установку для децентрализованного обеспечения электрической и тепловой энергией сельскохозяйственных и других потребителей. Впервые создана комплексная отечественная система управления БГЭУ для использования на современных сельскохозяйственных животноводческих объектах. При этом обеспечивается экологичность и экономичность БГЭУ за счет оптимального преобразования энергии и получения чистого удобрения.

Разработанный комплекс позволяет выполнять на основе анализа информации, получаемой от различных датчиков (температуры, уровня, давления, влажности и др.), управление в автоматическом режиме несколькими системами БГЭУ. К ним относятся система подготовки сырья, управление реактором (ферментером), система подогрева реактора, система перемешивания массы в реакторе, управление газгольдером (емкостью для накопления и временного хранения биогаза), система подачи и аварийного поджига биогаза и система слива переработанного сырья.

Для бесперебойного функционирования БГЭУ автоматика комплекса под управлением промышленного контроллера или ПЭВМ контролирует основные параметры и поддерживает заданную температуру и интенсивность реакции. На основании показаний датчиков (по определенному алгоритму для конкретного вида сырья) обеспечивается автоматическое включение и выключение следующих систем: системы подогрева, системы перемешивания, сигнализации о начале и конце залива и слива сырья и других необходимых регуляторов технологических процессов. Для упрощения мониторинга за работой всей БГЭК организовано дистанционное управление по каналам GPRS-связи.

### **Мобильная лаборатория для диагностики БГЭК**

По программе ГНТП «Агропромкомплекс – устойчивое развитие» на 2011–2015 годы нами разработана мобильная лаборатория с комплектом оборудования по технологическому, техническому обслуживанию и диагностике БГЭК (рисунок 88а).



а)



б)

*Рисунок 88 – Мобильная лаборатория с комплектом оборудования по технологическому, техническому обслуживанию и диагностике БГЭК (а) и вид в плане на предохранительные клапаны для ферментеров БГЭК (б)*

Мобильная лаборатория позволит обеспечить определение состава биогаза, влажности, зольности и кислотности исходного и сброживаемого в метантенках субстрата, герметичности газопроводов, метантенков и системы их отопления, состояния перемешивающих устройств, а также проведение работ по техническому и технологическому обслуживанию БГЭК.

Соисполнителями данного задания выступили РО «Белагросервис» и УО «БГАТУ».

Мобильная лаборатория успешно прошла приемочные испытания и подготавливается к освоению в производстве.

### **Предохранительный клапан для ферментера (метантенка) БГЭК**

Для защиты оборудования ферментеров (метантенков) от избыточного и вакуумметрического давления необходимо устанавливать на них предохранительные клапаны (см. рисунок 88б), которые в автоматическом режиме обеспечат выпуск излишков биогаза с давлением сверх установленного и впуск атмосферного воздуха в ферментер при образовании давления ниже установленного. Использование предохранительного клапана позволит поддерживать давление в ферментере в рабочих пределах.

Разработка и освоение производства предохранительных клапанов планируется в рамках задания ОНТП «Импортозамещающая продукция». Впервые будет создан отечественный предохранительный клапан для использования на БГЭК с производительностью каждого ферментера до  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$  биогаза. Устройство будет надежно работать в любых погодных и климатических условиях Республики Беларусь. Будет также разработана методика проведения испытания предохранительного клапана для ферментера БГЭК.

Техническая характеристика предохранительного клапана (см. рисунок 88б):

- регулируемый диапазон срабатывания клапана: при избыточном давлении в газгольдере от 0,5 до 5 мбар; при вакуумметрическом давлении от 0,5 до 1,0 мбар;
- пропускная способность предохранительного клапана: при избыточном давлении – до  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; при вакуумметрическом – до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### **Средства для очистки биогаза от сероводорода, для его осушки и утилизации в штатной ситуации при возникновении излишков**



*Рисунок 89 – Общий вид десульфуризатора для очистки биогаза от сероводорода*

В рамках задания ОНТП «Импортозамещающая продукция» планируется разработка трех заданий (третье уже выполняется) по очистке, осушке и утилизации биогаза на БГЭК и освоение производства следующих изделий:

- 1) десульфуризатора (рисунок 89), предназначенного для очистки биогаза от сероводорода перед его подачей в

когенерационный блок БГЭК;



2) установки для осушки биогаза (рисунок 90а) перед его подачей в КГУ-250 или другое газоиспользующее оборудование.



**Рисунок 90 – Общий вид установки для осушки биогаза (а) и устройства автоматизированного факельного (б) для утилизации излишков биогаза в нештатной ситуации**

Техническая характеристика установки:

- объемный расход биогаза – до  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- температура воздуха на входе – макс.  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- температура газа на выходе –  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- потери давления,  $\Delta p$ , –  $10 \text{ mbar}$ ;
- количество конденсата –  $26,2 \text{ л/ч}$ ;

3) устройства автоматизированного факельного УАФ-1 (рисунок 90б).

Устройство автоматизированное факельное позволяет предотвратить выбросы парникового газа (метана) в окружающую среду при эксплуатации биогазовых комплексов и полигонов твердых бытовых отходов за счет автоматизированного дожигания метаносодержащих выбросов биогаза.

Техническая характеристика УАФ-1:

- мощность БГЭК, обслуживаемого одним модулем УАФ-1 – до  $500 \text{ кВт}$ ;
- расход дожигаемого биогаза – до  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- давление биогаза перед горелкой –  $0,05 \text{ атм.}$ ;
- высота мачты УАФ-1 – до  $4 \text{ м}$ ;
- содержание веществ в продуктах сгорания биогаза:  $\text{NO}_x$  – до  $100 \text{ мг/м}^3$ ;  $\text{CO}$  – до  $50 \text{ мг/м}^3$ .



## Выводы

Рассмотренный в статье ряд позиций импортозамещающего оборудования для комплектации биогазовых энергетических комплексов установками и устройствами отечественного производства предназначен уменьшить импортосодержащую составляющую закупаемых за рубежом комплектов биогазового энергетического оборудования и стимулировать отечественного производителя продукции для нужд сельского хозяйства в нашей стране и в странах СНГ. К такому оборудованию относятся: когенерационная биогазовая установка КГУ-250, мобильная лаборатория с комплектом оборудования по технологическому, техническому обслуживанию и диагностике БГЭК, комплекс программно-аппаратных средств системы автоматического управления биогазовыми установками (КоПАС САУБУ), устройство автоматизированное факельное для утилизации излишков биогаза УАФ-1, дозатор-загрузчик производительностью не менее 16 т/ч основного времени, предохранительный клапан для ферментеров БГЭК, десульфуризатор для очистки биогаза от сероводорода и установка для осушки биогаза.

18.08.2014

## 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-kompaai/novosti-kompaai/article\\_20\\_27-1\\_3](http://zorgbiogas.ru/o-kompaai/novosti-kompaai/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 663/664:641

**Н.П. Луговая, И.В. Требухин,  
Т.А. Лапко**

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

**ХРАНЕНИЕ  
ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ  
В ВАКУУМНОЙ УПАКОВКЕ**

## Введение

Стратегия развития индустрии продовольствия республики на современном этапе ставит принципиально новые задачи перед промышленностью и наукой. Главная задача на ближайшую перспективу – обес-