

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 420 (2016), 123 – 135

**O. V. Zhirnova, A. Zh. Toigozhinova, B. Imanbek, S. Zhumabek,
A. Zhakhanov, N. A. Sommer, E. A. Kulakova, B. A. Suleimenov**

Kazakh National Research Technical University after named K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan.
E-mail: oxana_fedoseyeva@mail.ru

DIAGNOSIS OF COMBUSTION PROCESS BIOGAS AND GAS POWER PLANTS TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Keywords: the bioreactor, biogas, bacteria, adjusting, mathematical model, distributed system, optimal control, integration, aggregation.

Abstract. This paper shows the environmental and economic efficiency of biogas. An analysis of the prospects for world energy development shows a marked shift of priority issues in a comprehensive assessment of the possible side effects of the impact of major sectors of energy on the environment, the life and health of the population. Energy conservation measures and environmental security are aimed at increasing the use of CHP and renewable energy sources. The main advantages of CHP are: low cost of energy, low return on investment, the ability to quickly build, reducing environmental pollution. The main advantage of renewable energy sources is the use of the inexhaustible source of energy, such as solar, wind and biofuels. The paper discusses the various sources of energy capacity of 1 MW mini-thermal power station with diesel, gas piston and turbine engines, as well as renewable energy-generation plant with a gas-piston engines running on biogas, solar and wind power. Found that all sources participating in the emission of greenhouse gases. Gas turbine engines emit more greenhouse gases than other motors. The most environmentally friendly way to produce electricity is solar panels. This paper shows the environmental and economic efficiency of biogas in the brewery. The article used the standard method for determination of greenhouse gas emissions through the levels. Calculations for natural gas and biogas. The results of the calculations showed that the amount of greenhouse gas emissions from the combustion of natural gas and biogas in the boilers reduced. The efficiency of co-combustion of these fuels. It is shown that co-combustion of natural gas and biogas will reduce the emission of emission gases by 10%.

УДК 658.52.011

**О. В. Жирнова, А. Ж. Тойгожинова, Б. Иманбек, С. Жумабек,
А. Жаханов, Н. А. Соммер, Е. А. Кулакова, Б. А. Сулейменов**

Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА СОВМЕСТНОГО СЖИГАНИЯ БИОГАЗА И ГАЗА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Аннотация. В работе показана экологическая и экономическая эффективность использования биогаза. Анализ перспектив развития мировой энергетики свидетельствует о заметном смещении приоритетных проблем в сторону всесторонней оценки возможных последствий влияния основных отраслей энергетики на окружающую среду, жизнь и здоровье населения. Мероприятия по энергосбережению и экологической безопасности направлены на увеличение использования мини-ТЭЦ и возобновляемых источников энергии.

Основными достоинствами мини-ТЭЦ являются: низкая стоимость вырабатываемой энергии, низкая окупаемость, возможность быстрого строительства, снижение уровня загрязнения окружающей среды. Основным преимуществом возобновляемых источников энергии является использование неисчерпаемых источников энергии, таких как солнечная энергия, ветер и биотопливо. В работе рассмотрены различные источники энергии мощностью 1 МВт: мини-ТЭЦ с дизельными, газопоршневыми и газотурбинными двигателями, а также возобновляемые источники энергии мини-ТЭЦ с газопоршневыми двигателями, работающими на биогазе, солнечные и ветровые электростанции. Установлено, что все источники принимают участие в эмиссии парниковых газов. Газотурбинные двигатели выбрасывают парниковых газов больше, чем остальные двигатели. Самым экологичным способом производства электроэнергии являются солнечные батареи. В работе показана экологическая и экономическая эффективность использования биогаза на пивоваренном предприятии. В статье использована стандартная методика определения эмиссии парниковых газов по уровням. Выполнены расчеты для природного газа и биогаза. Полученные результаты показали, что количество выбросов парниковых газов от сжигания природного газа и биогаза на котлах уменьшаются. Доказана эффективность совместного сжигания данных видов топлива. Показано, что совместное сжигание природного газа и биогаза позволит снизить выбросы эмиссионных газов на 10%.

Ключевые слова: биореактор, биогаз, бактерии, регулирование, математическая модель, распределенная система, оптимальное управление, интеграция, агрегирование.

Введение. В современных условиях истощения традиционных энергетических ресурсов и напряженной экологической обстановки крайне важно использовать возобновляемые источники энергии. Непрерывный рост потребностей современного общества в энергии приводит к увеличению потребления ископаемых топливно-энергетических ресурсов и, соответственно, к увеличению выброса в атмосферу продуктов сгорания, в том числе, парниковых газов, повышение концентрации которых в атмосфере является одной из вероятных причин безвозвратного изменения климата [1]. Одним из основных путей снижения объема выбросов парниковых газов и экономии традиционных видов топлива является замена ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии. Одним из таких источников может быть биогаз [2]. Основными критериями при выборе технологии энергетического использования биогаза являются экономические показатели и величина снижения эмиссии парниковых газов при допустимой величине выбросов загрязняющих веществ. Если экономические критерии известны и достаточно эффективно используются на практике, то существующие экологические критерии не позволяют объективно сравнивать различные технологии и оборудование, использующие различные виды биотоплива, а также полностью учесть влияние вида и качества заменяемого топлива [3]. Альтернативные виды газа – это все виды газов, кроме природного (пропан, биогаз, древесный газ, газ мусорных свалок и многие другие). Эти газы довольно часто обладают практически противоположными характеристиками. Это могут быть как газы с низкой теплотворной способностью (газы химической промышленности от $0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{Нм}^3$), малым содержанием метана и низкой степенью детонации, так и газы с очень большой теплотворной способностью (бутан – до $34 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{Нм}^3$). Энергия, получаемая из биомассы, может внести значительный вклад в экологически чистое энергоснабжение. На данный момент биогаз отличается наибольшей эффективностью использования и обеспечивает наиболее полную реализацию энергетического потенциала биомассы. Самое слабое место в биогазовом процессе – низкая скорость переработки биомассы и качество получаемого биогаза. Процесс на самом деле неустойчивый и капризный. Из-за низкой скорости переработки требуются огромные ферментеры. Это приводит к существенным капитальным затратам на строительство станций по переработке отходов и, как следствие, такие проекты долго окупаются и требуют государственных дотаций. По пути господдержки производителей биогаза пошли все ведущие страны этой отрасли, такие, как Германия и большинство европейских стран. Форма такой поддержки реализована в «зеленом» тарифе – т.е. покупке электрической и тепловой энергии по завышенным ценам. Этот важный механизм государственной поддержки стимулировал производителей на первоначальном этапе, но позднее привел к стагнации отрасли с технической точки зрения, так как фирмы производители биогазового оборудования не особо заботились о качестве и новых технологиях. И так все покупали. Но времена меняются. Кризис отрасли будет огромен, как только меры господдержки будут свернуты, о чем уже заявили многие европейские страны, что привело к появлению множества судебных исков инвесторов [2]. Поэтому в ближайшее время ожидается бум предложений по продаже устаревших биогазовых технологий в Казахстане, где эта отрасль развита слабо, а госу-

дарственные дотации будут в нее огромны. Это очень опасная тенденция, которую нельзя допустить. Рынок биогаза в Казахстане может остаться за национальными компаниями, но эти компании должны поддержать научные разработки с целью получить опережающий технический задел в биогазовой технологии. И это, в первую очередь, связано со значительным ускорением биогазового процесса. Также в Казахстане должна быть климатически адаптированная технология, которую можно использовать по всей территории республики.

Методы исследования. Биогаз образуется в ходе анаэробного сбраживания органических материалов в ферментере биогазовой установки. Биогаз, состоящий преимущественно из метана и углекислого газа, образуется при анаэробном разложении органических отходов. Содержание метана (CH_4) в этом газе составляет от 45 до 70 процентов. При его горении выделяется столько CO_2 , сколько было поглощено растением во время роста. Блочно-модульные энергоблоки, работающие на биогазе, позволяют экономить выбросы, которые образовались бы при сжигании невозобновляемых энергоносителей. Вместо неконтролируемого разложения этих отходов и высвобождения газов в атмосферу отходы помещаются в среду с пониженным содержанием кислорода, например в закрытый отстойник или надземный стальной резервуар. Метан, отбираемый оттуда, используется для производства электроэнергии или тепла. В связи с наличием загрязнений и неоднородностью биогаза, как правило, требуется предварительная подготовка. Однако использование газового двигателя, созданного специально для работы на биогазе, позволяет снизить затраты на предварительную подготовку. В подавляющем числе случаев, наиболее эффективным вариантом первичного двигателя, работающего на спецгазах, являются газопоршневые двигатели с зажиганием от искры. Биогаз (альтернативный газ) – это газ, получаемый метановым брожением биомассы. Биогаз представляет собой смесь метана и углекислого газа, образующаяся в процессе анаэробного (происходящего без доступа воздуха) сбраживания в специальных реакторах, устроенных таким образом, чтобы обеспечить максимальное возможное выделение метана. Теплотворная способность биогаза порядка $5,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$, что является хорошей альтернативой традиционным видам топлива (рисунок 1).

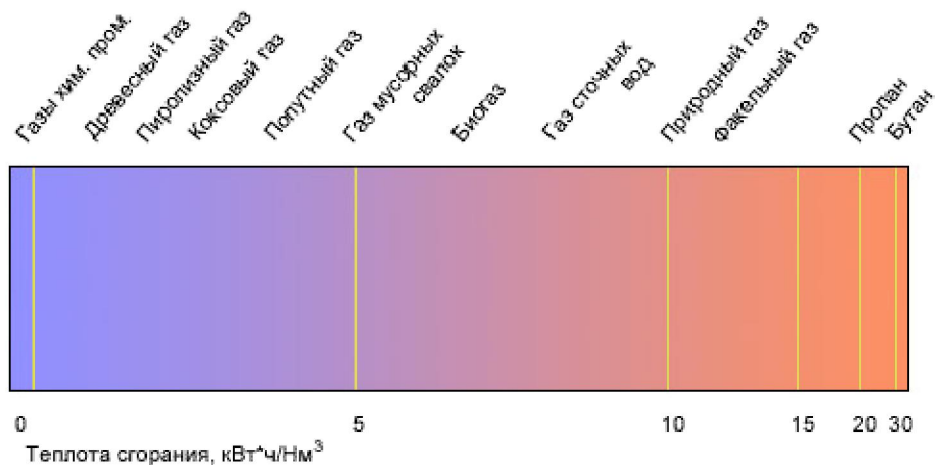


Рисунок 1 – Распределение теплоты сгорания от вида газа
Figure 1 – Distribution of combustion heat from a type of gas

Энергия, получаемая в процессе сжигания биогаза, может быть использована для подогрева воды, выработки тепла для технологических нужд и отопления, для обеспечения автономного электроснабжения. Переработанная биомасса может быть использована в качестве экологически чистого удобрения (рисунок 2).

Когенерационные установки вырабатывают электроэнергию, тепловую энергию, снижают выбросы парниковых газов в окружающую среду. Благодаря использованию прогрессивных технологий по выработке биогаза из отходов органического происхождения возможно минимизировать затраты по утилизации данных отходов. В зависимости от полноты информации возможна оценка выбросов парниковых газов на трех уровнях. Чем больше информации о применяемой технологии

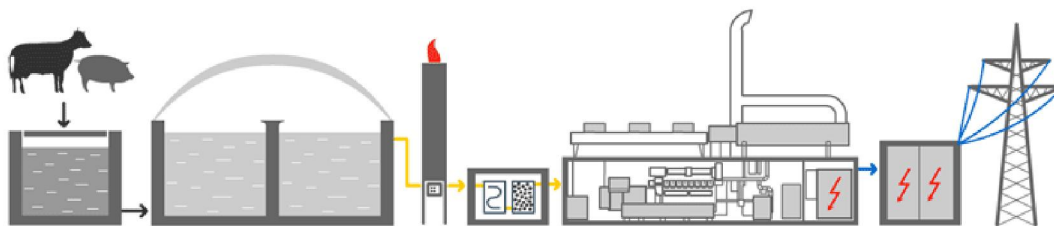


Рисунок 2 – Система получения и сжигания биогаза
Figure 2 – System of receiving and combustion of biogas

сжигания топлива, тем выше может быть уровень оценки. Так, если известны только данные о количестве сожженного топлива в год, то расчеты возможны только на уровне 1 [4]. Если же есть национальные данные об удельных коэффициентах выбросов для этих источников выбросов и типа топлива и, кроме того, известен содержание углерода в используемых видах топлива, то расчеты можно выполнить на уровне 2.

В простейшем случае при расчетах на уровне 1 выбросы любого парникового газа $M_{пр}$ в первую очередь CO_2 определяются формулой (1)

$$M_{пр} = \sum m * k * k_{пр} * \Phi, \quad (1)$$

где m – количество сожженного топлива этого типа, в т; k – коэффициент для пересчета топлива из тыс. т в тераДжоули, $k_{пр}$ – удельный коэффициент эмиссии углерода. для CO_2 $k_{пр} = V_{CO_2} * 44 / 15 \Phi$ – фракция окисления. Принимается, что $\Phi = 1$. Этот коэффициент необходим для лучшего согласования с теорией и понимания физической сути вычислений; n – число видов топлива, которые были использованы.

Для каждого вида расчеты выполняются не независимо, а суммы той или иной парниковых газов затем складываются [5].

По вышеуказанной методике была проведена оценка выбросов парниковых газов на предприятии ТЭЦ (г. Люблин, Польша). В 2009–2010 годах компанией была проведена реконструкция парового котла с модернизацией горелок для работы как на природном газе, так и на смеси из биогаза. От очистных сооружений в котельную был проведен газопровод для транспортировки биогаза и последующего его сжигания в котельной. В котельной за год сжигается около 3 606 000 м³ природного газа и 470 000 м³ биогаза.

Рассмотрим выбросы парниковых газов CO_2 , CH_4 и N_2O . Поскольку никаких данных о режиме сжигания топлива нет кроме его количества, то расчеты придется выполнять для CO_2 на уровне 2, а для CH_4 и N_2O на уровне 1. Оценим сначала выбросы CO_2 от сжигания природного газа, на основе формулы 1.

Предполагается что для технологических нужд сжигается только природный газ. Результаты расчетов, по выбросам CO_2 размещены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов выбросов CO_2 от сжигания природного газа
Table 1 – Results of calculations of bursts of CO_2 from combustion of natural gas

Топливо	Количество, тыс.нм ³ /год	Коэффициент пересчета, ТДж	Количество, ТДж	Удельный коэффициент выбросов, т/ТДж	Выбросы CO_2 , т
Природный газ	4 076 000	34,08	138 910,0		7 726 641,6

Таким образом, выбросы CO_2 от сжигания природного газа составили 7 726 641,68 тонн в год. Оценим выбросы CO_2 в случае, когда часть природного газа замещается биогаза. Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов выбросов CO_2 от сжигания биогаза
Table 2 – Results of calculations of bursts of CO_2 from combustion of biogas

Топливо	Количество, тыс. нм ³ /год	Коэффициент пересчета, ТДж	Количество, ТДж	Удельный коэффициент выбросов, т/ТДж	Выбросы CO_2 , т
Природный газ	3 606 000	34,08	122 892,48		6 835 689,4
Биогаз	470 000	5,61	2636,7		90 008,2

Суммарные выбросы CO_2 котельной при сжигании природного газа и биогаза составили 6 925 697,53 т в год. Выбросы CH_4 и N_2O рассчитываются от того же количества природного газа, и для CO_2 . Результаты расчетов выбросов CH_4 и N_2O показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Величина выбросов CH_4 и N_2O от сжигания природного газа
Table 3 – Value of bursts of CH_4 and N_2O from combustion of natural gas

Топливо	Количество, тыс. $\text{nm}^3/\text{год}$	Удельный коэффициент выбросов CH_4 , т/ТДж	Выбросы CH_4 , т	Удельный коэффициент выбросов N_2O , т/ТДж	Выбросы N_2O , т
Природный газ	138910,09	0,001	138,91	0,001	138,91

Коэффициенты выбросов CH_4 , данные в таблице 3 в кг/ТДж, представленные нами для удобства в тонах/ТерраДжоуль. Для коэффициента N_2O расчеты выполнены аналогично.

Общие выбросы по котельной при сжигании природного газа составили:

- а) CO_2 – 7 726 641,68 т;
- б) CH_4 – 138,91 т;
- в) N_2O – 138,1 т.

Для получения результата в CO_2 -эквиваленте умножаем выбросы метана потенциал глобального потепления метана – 21, а выбросы закиси азота на потенциал глобального потепления 310. Таким образом, получено суммарные выбросы в количестве 7 772 621 т CO_2 -эквивалента.

При сжигании природного газа и биогаза величины выбросов CH_4 и N_2O показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Величина выбросов CH_4 и N_2O от сжигания совместно природного газа и биогаза
Table 4 – Value of bursts of CH_4 and N_2O from burning jointly natural gas and biogas

Топливо	Количество, тыс. $\text{nm}^3/\text{год}$	Удельный коэффициент выбросов CH_4 , т/ТДж	Выбросы CH_4 , т	Удельный коэффициент выбросов N_2O , т/ТДж	Выбросы N_2O , т
Природный газ	122892,48	0,001	122,9	0,001	122,9
Биогаз	2636,7	0,06	158,2	0,015	39,55

Общие выбросы по котельной одновременном сжигании природного газа и биогаза составили:

- а) CO_2 – 6 925 697,53 т;
- б) CH_4 – 281,1 т;
- в) N_2O – 162,45 т.

Получены суммарные выбросы в количестве 6 981 960 т CO_2 -эквивалента.

Уменьшение выбросов при одновременном сжигании природного газа и биогаза на котельной составляет 79 0661 т CO_2 -эквивалента в год.

В статье показана эффективность использования биогаза. Это обеспечит очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности, сократит потерю площадей, занимаемых стоками предприятия. Расчеты показали, что сжигание совместно природного газа и биогаза позволит снизить выбросы эмиссионных газов на 790 661 т CO_2 -эквивалента в год, что улучшит экологическую ситуацию в регионе. Существенное снижение выбросов в атмосферу парниковых газов позволит привлечь дополнительные средства.

Чтобы действительно иметь существенные конкурентные преимущества над существующими европейскими технологиями в Казахстане необходимо создать биогазовую технологию, которая:

1. На 50% увеличит скорость переработки биомассы в биогаз.
2. Минимум на 15% увеличит концентрацию метана в биогазе непосредственно в ферментере вне зависимости от вида и качества сырья по сравнению с классическими технологиями.
3. Как минимум не приведет к увеличению стоимости, а как максимум сократит капитальные затраты при масштабировании технологии до промышленного масштаба.
4. Технология должна быть устойчива к климатическим особенностям по всему региону.

Это те минимальные требования, которые позволят снизить риски инвесторов и повысить конкурентоспособность и экономическую эффективность промышленных биогазовых объектов. При этом эффективную биогазовую технологию должны сопровождать технологии:

1. Пробоподготовки сырья (системы перемещения, ультразвукового обеззараживания, стерилизации и т.п.).
2. Контролинга процесса (промышленные контроллеры, адаптированные к таким задачам, СКАДА системы и т.п.).
3. Системам и технологиям контроля состава биогаза (современные газоанализаторы, сенсоры, датчики).
4. Системы и технологии утилизации низкокалорийного биогаза (эффективные газовые котлы, бойлеры, генераторы электричества).
5. Системы экологического мониторинга.
6. Системы очистки биогаза до биометана.
7. Исследования и технологии использования биогазового удобрения для сельского хозяйства.

В течение четырех последних лет ведутся исследования биогазовых технологий с целью получения скоростной технологии переработки биомассы в биогаз. При этом неожиданно быстро были получены результаты, которые были высоко оценены польскими экспертами из научного сообщества. Не смотря на кажущуюся простоту установок в польской лаборатории ЛПУ 9г. Люблин, Польша), которые сделаны своими руками, на них были сделаны сотни экспериментов по исследованию биогазовых процессов. Фактические же данные по концентрации газов, контролю, логгированию были получены на самом современном оборудовании, к примеру, с использованием СКР-газоанализа.

Результаты исследования. С целью исследования производимого биогаза в качестве топлива для производства электрической энергии использовался лабораторный стенд, закупленный нашим Вузом партнером – Институт электроники и информационных технологий, Люблинский технический университет г. Люблин, Польша (рисунки 3, 4).



Рисунок 3 – Внешний вид установки метантенка
Figure 3 – Appearance of metantenka

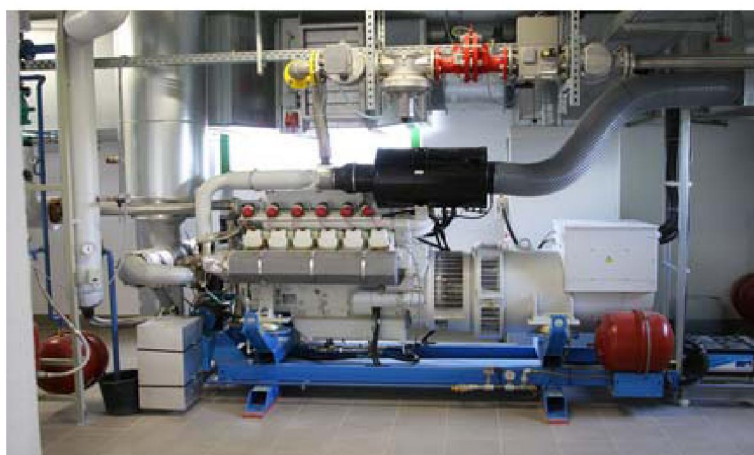


Рисунок 4 – Когенерационная установка
Figure 4 – The Cogeneration equipment

В любом случае рассмотрение общей технологической цепочки и оптимального взаимодействия между всеми ее элементами следует проводить, начиная с этапа проектирования биогазовой установки. Это связано с тем, что эффективная работа биогазовой установки является следствием слаженной работы всего оборудования, составляющего технологическую цепочку. Поэтому одно должно полностью подходить по заданным рабочим параметрам, а не представлять собой случайный набор элементов, исполняющих определенные рабочие функции. Для того, чтобы оптимизировать работу биогазовой установки, необходимо также проследить течение ее материальных потоков для того, чтобы определить ту стадию ее работы, которая тормозит течение всего технологического процесса.

С помощью термоселективного метода утилизируются самые разнообразные отходы, такие, как бытовой и промышленный мусор, легкие фракции, получающиеся при дроблении материалов, крупногабаритный мусор, шламовые массы, получающиеся при очистке сточных вод, зараженная земля, а также вновь поступающий на свалку мусор (рисунок 5).

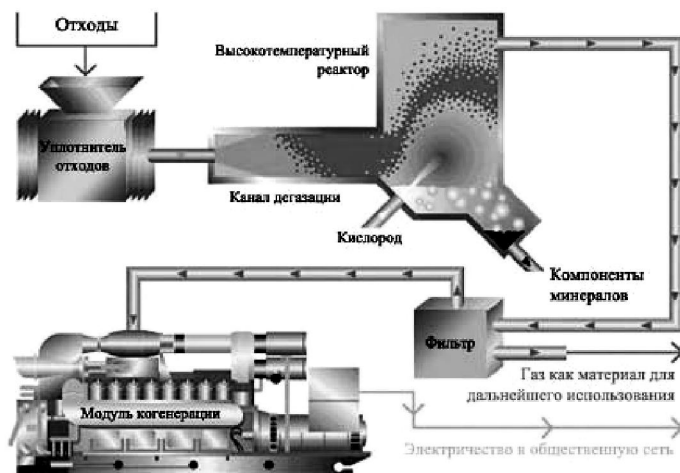


Рисунок 5 – Схема термоселективного метода
Figure 5 – Diagram of a thermoselective method

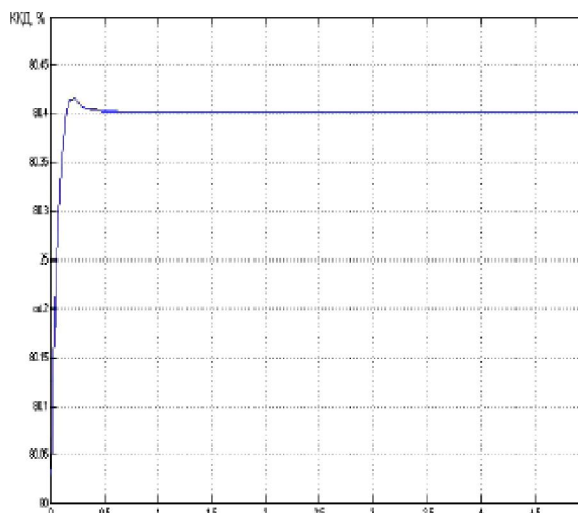
С помощью уплотнения мусора, удаления воздуха, гомогенизации и дегазации при температуре в канале удаления газов более 600 °С, добавления чистого кислорода, а также расплавления минеральных и металлических включений эта технология представляет собой замкнутую систему утилизации отходов.

Установка работает по независимой схеме энергоснабжения. Вырабатываемый в высокотемпературном реакторе синтетический газ, который подвергается шоковому охлаждению и многоступенчатой очистке, снабжает, с одной стороны, установку необходимой энергией, с другой стороны, газ с помощью газового двигателя преобразуется непосредственно в электрическую энергию.

Система сконструирована таким образом, что в целом достигается высокий коэффициент полезного действия. Реализованное в ней сочетание электроэнергии, тепла и холода обеспечивает высокий выход электрической энергии в то время, как остаточное тепло используется для всего технологического процесса. Тепловая энергия отработанных газов двигателя используется для получения перегретой воды, а отходящее тепло двигателя – для получения горячей воды. Энергия отработанных газов из системы обогрева канала удаления газов отбирается через теплообменник и используется для предварительного подогрева воздуха, участвующего в процессе горения. Отводимое тепло, кроме этого, в зависимости от места расположения установки, может использоваться и другими потребителями.

В настоящее время в развитых зарубежных странах большой популярностью пользуется идея когенерации – одновременной (комбинированной) генерации электричества и тепла на основе биотоплива и/или биомассы, – находящая все большее практическое применение. В отличие от традиционных электростанций (ТЭЦ), где побочно производимое тепло теряется, выбрасываясь в окружающую среду, в тепловых электростанциях с использованием когенерационных технологий

Рисунок 7 – Переходной процесс системы при экстремальном регулировании КПД
Figure 7 – Transition process of system in case of extremal regulation of efficiency



Результаты моделирования системы автоматического регулирования работы агрегата подтвердили работоспособность разработанной модели. Полученная модель экстремального регулирования процесса горения в топке позволяет улучшить энергетические показатели работы путем поддержания оптимального значения КПД (рисунок 7). Доказано работоспособность разработанной имитационной модели экстремального регулирования при изменении сигнала задания, то есть поддержание КПД котла на одном уровне с заданной точностью. Современная технология очистки городских сточных вод связана с потреблением значительных количеств электрической и тепловой энергии. В условиях острого энергетического кризиса проблема снижения указанных энергозатрат за счет использования нетрадиционных источников энергии, имеющих на самих очистных сооружениях и постоянно возобновляющихся, является остро актуальной. В статье как объект управления рассматривалась установка по совместному сжиганию биогаза и природного газа. Предложены математическая модель и метод, позволяющие в процессе сжигания такого топлива определить его состав и обеспечить оптимальные параметры процесса горения. Разработаны математические модели процесса адсорбции биогаза и природного газа.

Обсуждение результатов. Ключевыми для решения проблемы автономного энергоснабжения являются технологии получения биогаза путем анаэробной биохимической конверсии влажной/жидкой биомассы с одновременным решением проблемы утилизации отходов животноводства, птицеводства, растениеводства и др., наносящих значительный ущерб экологии и требующих финансовых ресурсов для уничтожения. При переработке отходов выход биогаза составляет около $0,3 \text{ м}^3$ на 1 кг сухого вещества. Теплота сгорания 1 м^3 биогаза составляет 22 МДж, что эквивалентно сжиганию 0,6 л бензина, или 0,85 л этанола, или 1,75 кг древесины. Биогазовые технологии основаны на анаэробном сбраживании органических отходов (с влажностью выше 75%) с получением горючего газа, содержащего до 60% метана и калорийностью 5–6 тыс. ккал/ м^3 . При анаэробном сбраживании органические вещества разлагаются в три стадии с участием двух различных групп бактерий. На 1-й стадии сложные органические соединения (протеины, углеводы, жирные кислоты) превращаются в более простые соединения в результате ферментационного гидролиза. На 2-й стадии они подвергаются воздействию группы анаэробных (кислотообразующих) бактерий, что приводит к образованию летучих жирных кислот, которые на 3-й стадии под действием строго анаэробных (метанообразующих) бактерий превращаются в диоксид углерода и метан. Метановое брожение проходит в специальных реакторах-метантенках, конструкция которых обеспечивает максимальное выделение метана. Метантенки эксплуатируют как в периодическом, так и в непрерывном режимах. Особенно важным в процессе анаэробного сбраживания является создание оптимальных технологических условий в метантенке: температуры, доступа кислорода, достаточной концентрации питательных веществ, требуемого значения pH, отсутствия или низкой концентрации токсичных веществ. В метантенках поддерживают температурный режим 0–25 °С (психрофильное брожение), 25–40 °С (мезофильное брожение) или 40–60 °С (термофильное брожение) (рисунок 8).



Рисунок 7 – Виды биогазовых технологий
 Figure 8 – Types of biogas technologies

Потери тепла при ферментации лимитируют степень эффективности всего процесса, КПД которого составляет 50–60%. Наибольшее практическое применение нашли два температурных режима, при которых обычно осуществляется процесс сбраживания: мезофильный и термофильный. За рубежом, в основном, применяется менее энергоемкий мезофильный режим, хотя термофильный выглядит предпочтительнее с точки зрения скорости прохождения процесса и гигиенических свойств сброженного остатка – эффлюента (отсутствия контаминирующих и токсичных веществ), который может использоваться для получения фосфорных и азотных биоудобрений. В настоящее время находят все более широкое применение специально разработанные биореакторы для вторичной переработки метанобразующими бактериями отработанных технологических растворов и сточных вод (так называемые “биореакторы для анаэробной биологической очистки сточных вод”). Разработка технологии стала возможной после открытия «эффекта Леттинга» – способности метанобразующих бактерий к самогрануляции – образованию плотных, легко оседающих гранул размером 1–3 мм. Биореакторы данного вида имеют исключительно высокую производительность – время прохождения среды через них сокращается с 192–240 часов (традиционные метантенки) до 2–3 часов (UASB – реакторы с восходящим потоком жидкости через слой гранул), 1–2 часов (EGSB – реакторы с расширенным и взвешенным слоем гранулированного ила) и даже до 0,5 часа (реакторы с псевдооживленным слоем). Чтобы исключить потери тепловой энергии современные биогазовые энергоустановки часто выполняются в когенерационном варианте. Большая доля тепла используется на технологические процессы (главным образом, подогрев подаваемой биомассы и самих метантенков). В зимний период – часть тепла идет на отопление близлежащих производств и жилья. При очистке биогаза от углекислого газа и других примесей получают биометан, который в сжатом или сжиженном виде может успешно использоваться вместо бензина как экологически более чистое топливо с большей теплотой сгорания и октановым числом. Заправка автотранспорта биометаном может производиться на действующих газозаправочных станциях. В большинстве стран мира производство биогаза поставлено на промышленную основу. Наиболее активно промышленные биогазовые технологии используются в Европе для выработки электроэнергии из аграрных и животноводческих отходов, отходов пищевой промышленности, отсортированных бытовых отходов, из энергетических травянистых растений (кукуруза, разнотравье и т.д.). В силу неотработанности системы устойчивого обеспечения производства биогаза сырьем, оптимальными для использования считаются установки малого и среднего масштаба, в отличие от получения синтез-газа термохимической конверсией, ориентированного в основном на крупномасштабное производство в связи с широкой и разнообразной ресурсной базой. Как показывают результаты опубликованных исследований в области разработки биогазовых технологий, подходы, применяемые для снижения себестоимости энергии, получаемой на основе биогаза (использование современных утеплителей для сокращения тепловых потерь, сбросной теплоты когенерационных установок и т.д.), не обеспечивают в должной мере требуемой энергоэффективности, а применяемые в установках газо-поршневые генераторы имеют низкий ресурс и КПД, требуют постоянного обслуживания и загрязняют воздух оксидами азота и серы. Известно, что по показателю эффективности среди энергогенерирующих установок (различные двигатели, турбогенераторы и т.д.) наиболее высоким КПД обладают топливные элементы. На сегодняшний день уже существует целый

класс подобных устройств – твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), которые генерируют электроэнергию на основе использования метана и кислорода вместо водорода и кислорода (применяемых в классических топливных элементах). Сравнение электрического КПД различных энергоустановок в зависимости от их установленной мощности. Замена традиционных газопоршневых двигателей на ТОТЭ в качестве генератора, работающего на биогазе может обеспечить повышение тепло- и электрогенерации биогазовой электростанции как минимум в полтора-два раза. Продуктами окисления топлива в ТОТЭ являются углекислый газ и водяной пар, тепло которых возможно частично использовать в технологической схеме, а излишки направлять потребителям. При этом все технологические решения могут быть разработаны с учетом климатических и географических условий и адаптированы под особенности эксплуатации оборудования в удаленных поселениях и предприятиях АПК. В качестве одной из мировых тенденции технологического развития биогазового направления можно отметить разработку технологий выращивания и использования в метантенках водной растительной биомассы для получения биогаза. Одним из наиболее продуктивных источников биомассы является бурая водоросль макроцистис, которая распространена в прибрежной зоне морей и океанов, ее урожайность составляет 450–1200 т сырой массы с 1 га. При культивировании широко известной хлореллы с каждой тонны можно получить 22 млн кДж энергии. Высокой урожайностью характеризуются также морские водоросли дуналиэла, водяной гиацинт, красная водоросль и др. Выводы: Биогазовые технологии имеют особое значение для автономного энергообеспечения и находятся на стадии широкого коммерческого использования. Важнейшим аспектом их применения является высокий экологический и экономический эффект для сельхозпроизводителей (полезная утилизация отходов), а также возможность получения качественных биоудобрений. Дальнейшее совершенствование технологий идут по пути расширения возможностей ресурсной базы и повышения эффективности конверсии. Важнейшим направлением разработок является совершенствование оборудования для применения современных конверсионных технологий.

Создана мобильная лаборатория с комплектом оборудования по технологическому, техническому обслуживанию и диагностике биогазовых установок, которая предназначена для проведения комплекса организационно-технических мероприятий по поддержанию биогазовых установок в работоспособном состоянии на основе периодического контроля параметров технического и технологического состояния и прогнозирования остаточного ресурса и упреждающего выполнения профилактических и ремонтно-восстановительных работ.

В статье предложен новый тип высокоэффективных экологически чистых энергоустановок небольшой мощности, использующих в качестве топлива сочетание таких возобновляемых видов энергоносителей, как биогаз и природный газ. Этот подход базируется на эффективном методе сжигания биогаза с использованием технологии «быстрого реактора», а также новой технологии экологически чистого сжигания низкокалорийных видов топлива в объемных матричных горелочных устройствах.

Окисление в суспензии происходит в волне горения в высокотемпературном реакторе при давлениях до 100 атм и температурах 2500–3000 °С с отдельной генерацией водорода и энергетического пара. На первой стадии происходит горение суспензии стехиометрического состава с образованием водорода. На второй стадии после отбора водорода в реактор подается дополнительное количество воды, превращающейся при взаимодействии с газом в высокопотенциальный пар. После удаления оксида газа процесс может быть повторен. При этом удается избежать попадания мелкодисперсных частиц в энергоустановку. В качестве устройства для сжигания низкокалорийного биотоплива используется объемная матричная горелка. Возможность устойчивого горения низкокалорийного биогаза в такой гибридной энергоустановке обеспечивается как особенностями горелочного устройства на основе объемной матрицы, так и подачей в него водорода, генерируемого при горении суспензии. Таким образом, данная комбинированная энергоустановка позволяет совместить процессы горения двух различных типов возобновляемых энергоносителей в единый энергетический процесс, в котором образующийся при окислении водород поддерживает устойчивое горение в матричном горелочном устройстве низкокалорийного биогаза, обеспечивая тем самым экологически чистое производство энергии из возобновляемых энергоносителей для распределенной энергетики.

Выводы. Современная технология связана с потреблением значительных количеств электрической и тепловой энергии. В условиях острого энергетического кризиса проблема снижения указанных энергозатрат за счет использования нетрадиционных источников энергии, имеющихся на самих очистных сооружениях и постоянно возобновляющихся, является остро актуальной. В статье как объект управления рассматривалась установка по совместному сжиганию биогаза и природного газа. Предложены математическая модель и метод, позволяющие в процессе сжигания такого топлива определить его состав и обеспечить оптимальные параметры процесса горения. Разработаны математические модели процесса адсорбции биогаза и природного газа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Большаков Н.Ю. Оптимизация технологического процесса в системе аэротенк – отстойник для минимизации сброса органических и биогенных элементов: Автореф. дис. ... к.т.н. – СПб., 2005.
- [2] Николаев А.Н., Большаков Н.Ю., Фетюлина И.А. Исследование влияния возраста активного ила на эффективность биологической дефосфотации в системе аэротенк – вторичный отстойник // Вода и экология: проблемы и решения. – 2002. – № 2.
- [3] Губинский М.В., Усенко А.Ю., Шевченко Г.Л., Шипко Ю.В. Оценка эмиссии парниковых газов при использовании топлив и биомассы // Щоквартальний науково-практичний журнал. – 2007. – № 2.
- [4] Національна металургійна академія України / Усенко А. Ю. Удосконалення процесу окислювального піролізу біомаси з метою зниження емісії парникових газів: Автореф. дис. ... кандидата технічних наук. – Дніпропетровськ, 2006.
- [5] A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.3.2011 COM (2011) 112 final) // Official website of the European Union. [Electronic resource] / Mode of access: http://ec.europa.eu/clima/documentation/roadmap/docs/com_2011_112_en.pdf. – Date of access: 09.03.2011.
- [6] Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Лакомкин В.Ю. Энергосбережение и выбросы парниковых газов (CO₂): Учебное пособие. – СПб., 2014.
- [7] Методические указания. По расчету выбросов парниковых газов. – Астана, 2010.
- [8] Moskvina S.M., Yukhymchuk M.S., Zhimova O., Gromaszek K. (2015, December). Evaluation of the impact of uncontrolled parametric perturbations on stability of automatic systems with logical control units. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161X-98161X). International Society for Optics and Photonics.
- [9] Kvyetnyy R.N., Sofina O.Y., Lozun A.V., Smolarz A., Zhimova O. (2015, December). Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161R-98161R). International Society for Optics and Photonics.

REFERENCES

- [1] Bolshakov N.Y. Process optimization in the aeration tank – septic tank to minimize the discharge of organic and nutrient: Author. Dis. Ph.D. SPb., 2005.
- [2] Nikolaev A.N., Bolshakov N.Y., Fetyulina I.A. Investigation of the effect of age on the efficacy of activated sludge biological defosfotatsii in the aeration tank – secondary settling tank // Water and Environment: Challenges and resheniya. 2002. N 2.
- [3] Guba M.V., Usenko A., Shevchenko G.L., Szyszko Y. Estimation of greenhouse gas emissions by using fuels and biomass // Schokvartalny NAUKOVO-practicality magazine. 2007. N 2.
- [4] Natsionalna metalurgiyna akademiya Ukraine / Usenko A. Yu Udoskonalennya processes okislyuvalnogo pirolizu biomasii s metoyu znizhennya emisii greenhouse gaziv: Abst. dis. candidate tehnicnih Sciences Dnipropetrovs'k, 2006.
- [5] A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels, 8.3.2011 COM (2011) 112 final). // Official website of the European Union. [Electronic resource] / Mode of access: http://ec.europa.eu/clima/documentation/roadmap/docs/com_2011_112_en.pdf. - Date of access: 09.03.2011.
- [6] Belousov VN Smorodin SN, Lakomkin VY, energy saving and greenhouse gas emissions (CO₂). Tutorial. St. Petersburg, 2014.
- [7] Guidelines. In the calculation of greenhouse gas emissions. Astana, 2010.
- [8] Moskvina S.M., Yukhymchuk M.S., Zhimova O., Gromaszek K. (2015, December). Evaluation of the impact of uncontrolled parametric perturbations on stability of automatic systems with logical control units. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161X-98161X). International Society for Optics and Photonics.
- [9] Kvyetnyy R.N., Sofina O.Y., Lozun A.V., Smolarz A., Zhimova O. (2015, December). Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (pp. 98161R-98161R). International Society for Optics and Photonics.

**О. В. Жирнова, А. Ж. Тойгожинова, Б. Иманбек, С. Жумабек,
А. Жаханов, Н. А. Соммер, Е. А. Кулакова, Б. А. Сулейменов**

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университетінің, Алматы, Қазақстан

ПАРНИКТІК ГАЗДАР ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН АЗАЙТУ БИОГАЗДЫ ЖАҒУ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙ ДИАГНОЗ

Түйін сөздер: биореактор, биогаз, бактериялар, реттеу, математикалық модель, таратылған жүйесі, онтайлы басқару, интеграция, біріктіру.

Аннотация. Қағаз биогаз экологиялық және экономикалық тиімділігін көрсетеді. Әлемдік энергетиканы дамыту перспективалары талдау басымдық бағытта айтарлықтай ауысым халықтың қоршаған ортаға ірі энергетикалық саласының әсер, өмірі мен денсаулығына ықтимал салдарын жан-жақты бағалауды шығарады көрсетеді. Энергия үнемдеу және экологиялық қауіпсіздік қызметі жылу электр станциялары және жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды арттыру үшін бағытталған. Жылу электр станциялары негізгі артықшылықтары: өндірілген энергия құны төмен, төмен қайтару, тез салу мүмкіндігі, қоршаған ортаны ластау деңгейін төмендету. Жаңартылатын энергия көздерін басты артықшылығы, мысалы, күн, жел және биоотын ретінде энергия көзі сарқылмас пайдалану болып табылады. Қағаз 1 МВт жылу электр станциялары дизель, газ поршенді және турбиналық қозғалтқыштар мен биогаз жұмыс істейтін газ қозғалтқышы, күн және жел электр қуатымен жаңартылатын энергия жылу электр станциялары энергетикалық қуаты әртүрлі көздерін талқылайды. Ол барлық көздері Парниктік газдардың шығарындыларын тартылған деп табылды. Парниктік газ турбиналық қозғағыштар басқа қозғалтқыштар астам шығаратын. Электр энергиясын өндіру үшін ең экологиялық таза жолы күн батареялары бар. Қағаз зауытында биогаз пайдалану экологиялық және экономикалық тиімділігін көрсетеді. Мақала деңгейдегі арқылы парниктік газдар шығарындыларының анықтау үшін стандартты әдісі пайдаланылады. Табиғи газ және биогаз бойынша есептеу. Нәтижелері табиғи газды жағу және биогаз өндіру бастап парниктік газдар шығарындыларының көлемі қазандыққа төмендеді, деп көрсетті. Осы отынның тең жану тиімділігі. Ол табиғи газ және биогаз тең жану 10%-ға газдар шығарындыларының шығарылуын азайтуға болады деп көрсетілген.