

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 1, Number 421 (2017), 226 – 235

O. V. Zhirnova³, B. A. Suleimenov³, A. Zh. Toigozhinova¹, W. T. Wojcik²

¹Almaty University of Energy and svyazi, Kazakhstan,

²Lublin University of Technology, Poland,

³Kazahsky National Research Technical University after named K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: oxana_fedoseyeva@mail.ru

**CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL
THE COMBUSTION OF BIOGAS
TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

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, and 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. It was found that all sources participate 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 were made. 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 was determined. It is shown that co-combustion of natural gas and biogas will reduce the emission of gases by 10%.

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

УДК 658.52.011

О. В. Жирнова³, Б. А. Сулейменов³, А. Ж. Тойгожинова¹, W. T. Wojcik²

¹Алматинский университет энергетики и связи, Казахстан,

²Люблинский политехнический университет, Польша,

³Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ БИОГАЗА
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, компьютерное моделирование.

Введение. Повышение эффективности работы источников тепла является одним из основных приоритетов при разработке новых и модернизации существующих теплогенерирующих устройств. Ухудшающаяся экология, а также мировой кризис приводит к поискам новых методов управления теплоснабжением, которые могли бы обеспечить экологичность и экономичность теплоснабжения. Для разработки новых, экологически чистых технологий получения и переработки биомассы нужно сначала разработать основы этих процессов. Хотя биогаз в качестве источника энергии известен на протяжении многих веков, он по-прежнему вызывает интерес инженеров и учёных в области как экспериментальных [1-3], так и теоретических исследований. Поэтому разработка математических моделей и процесса сжигания биогаза является интересной задачей, которая часто проводится исследователями. Численное моделирование является привлекающим внимание, недорогим и быстрым методом анализа проблем и приводит к пониманию механизмов, управляющих данным процессом. Но численное моделирование должно предшествовать созданию математической модели, описывающей изучаемые явления. В зависимости от сложности рассматриваемых задач, математическая модель может описывать исследуемый процесс с различной степенью достоверности. Таким образом, численное моделирование следует сочетать с экспериментальными исследованиями, чтобы сравнить и оценить обоснованность модели. Ниже будет представлена математическая модель процесса сжигания биогаза. Затем, на основании результатов экспериментальных исследований с целью проверки правильности разработанной математической модели будет проведено численное моделирование процесса сжигания биогаза. Процесс сжигания биогаза является сложным процессом гетерогенного и гомогенного сгорания. Горючие газы - в основном CO , H_2 , CH_4 - которые, наряду с другими негорючими газами, такими как CO_2 , H_2O , N_2 , выделяются в окружающее газовое оточение частицы во время дегазации, - подвержены гомогенному сгоранию. Горючие компоненты твёрдого материала, в основном уголь, оставшийся в частице, так званый карбонизат, после процесса дегазации подвержены гетерогенному сгоранию. Из-за сложности процессов, происходящих в процессе гомогенно-гетерогенного сгорания, принято, что математическая модель процесса сжигания биогаза будет описывать процесс в упрощённом виде, то есть с помощью метода Эйлера-Лагранжа, который в настоящее время является стандартным методом, используемым для численного моделирования процессов сжигания биогаза и частиц или капель горючего материала [2-5]. В модели предполагается, что частица биомассы будет рассматриваться как дискретная лагранжиан частица, которая своим присутствием создаёт граничные условия для газообразной среды, рассматриваемой как среда Эйлера. По аналогии с газообразной средой, эволюция частицы описывается уравнениями сохранения массы, импульса и энергии. Таким образом, целью данной работы стала адаптация математической модели процесса сгорания топлива, основанной на теории И. И. Вибе, к процессу сгорания биогаза.

Методы исследования. Мониторинг и регулирование эффективности и выброса загрязняющих веществ в сфере промышленного сжигания биогаза является одним из серьезнейших проблем с которыми сталкивается общество из-за использования органического топлива и соответственно, изменения климата.

Существуют разные методы регулировки сжигания биогаза:

- предварительное определение теплоемкости химического состава биогаза и соотношения воздух-топливо;
- мониторинг сжигания биогаза на месте с использованием оптических сенсоров и своевременное регулирование соотношения воздух-топливо;
- измерение концентрации таких газов как кислород, монооксид углерода или диоксид углерода на выхлопе и выполнение регулирования.

Среди этих газов, измерение концентрации кислорода наиболее подходит для испытания эффективности процесса сжигания биогаза, поскольку кислород и избыточный воздух являются почти независимыми от вида топлива. Метод регулирования сжигания биогаза путем измерения концентрации газов на выхлопе является целесообразным в основном из-за разработки современных датчиков. Изначально разные виды датчиков были разработаны для управления эффективностью сжигания биогаза и относительно недавно данные технологии были адаптированы для промышленных печей, котлов и газотурбинных установок. Организация процесса сжигания биогаза связана с непрерывным его контролем. Это обусловлено тем, что сжигание топлив с большим избытком воздуха приводит к неоправданным потерям тепла, расходуемого на нагрев избыточного воздуха и выбрасывание его в атмосферу. Сжигание топлива с недостатком воздуха также вызывает повышенные потери энергии из-за химического недожога топлива, о чем свидетельствует появление СО в дымовых газах. Оптимальные условия сжигания топлива достигаются при некотором содержании в дымовых газах неиспользованного кислорода и наличии некоторых количеств СО. Для одной и той же печи в зависимости от ее нагрузки минимум может быть разным. Как показали исследования и расчеты, оптимальным является содержание в дымовых газах 5-25% СО и 2-3% кислорода. Содержание СО характеризует качество горения топлива, а содержание O_2 – эффективность работы печи.

Большую роль в поддержании оптимального режима в топке играют автоматические приборы, поддерживающие постоянное соотношение количества поступающего воздуха и топлива. А при сжигании биогаза контроль процесса горения и поддержание заданного режима в большой степени облегчаются при использовании горелок, обладающих важным свойством автоматической регулировки, т.е. поддержания постоянства состава газозооной смеси при изменении нагрузки горелок (рисунок 1).

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, 3).

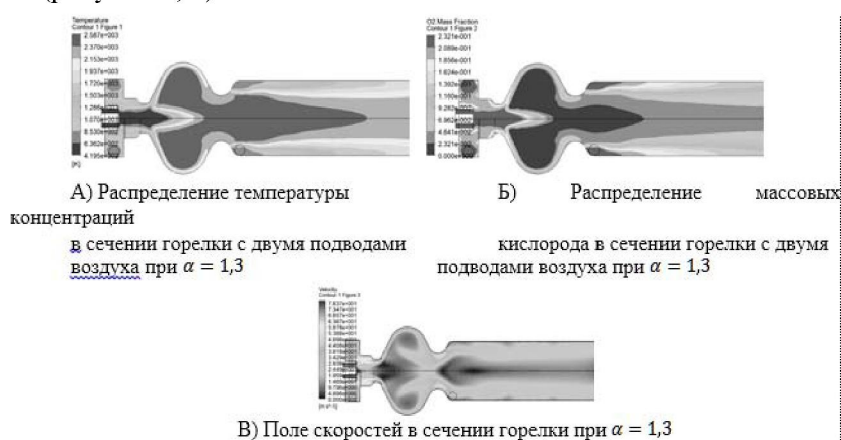


Рисунок 1 – Распределение температуры в сечении горелки
 Figure 1 – Temperature distribution in the cross section of the burner



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

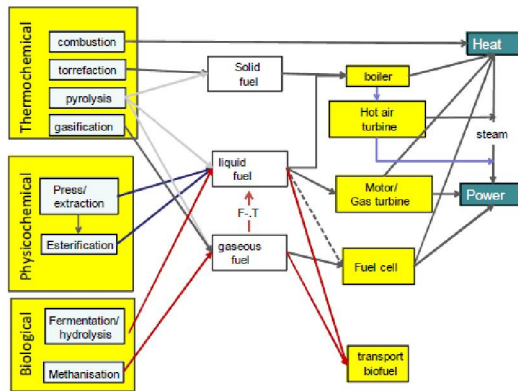


Рисунок 3 – Различные пути для превращения биогаза в энергию
 Figure 3 – Different ways to transform the energy of the biogas

Решить эту достаточно сложную задачу можно методами математического моделирования. В качестве исходных уравнений исследования принимаются следующие:

$$\left. \begin{aligned}
 U_2 &= r_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} \\
 M_2 &= \operatorname{Re} j(\psi_2 i_2) + J \frac{d\Omega}{dt} \\
 U_f(t) &= k_u U_2 + k_i i_2 \\
 n &= f[\omega(t)] \\
 M_m &= f[\omega(t), \partial B] \\
 Z_3 &= \frac{Z_n(2^N - 1)}{2^N + Z_n(n-1)/n = 0 + (2^N - 1)} \\
 U_2 &= (R_3 + j X_3) i_2 + x_2 \frac{d i_2}{dt}
 \end{aligned} \right\}$$

В предлагаемой математической модели процесса сгорания предполагаются следующие допущения:

- топливовоздушная смесь делится бесконечно тонким фронтом пламени на зону сгоревшей смеси и на зону несгоревшей смеси;
- рабочее тело в обеих зонах является идеальным газом;
- химический состав рабочего тела в зонах отличается, поэтому отличаются и его теплофизические характеристики;
- давление в обеих зонах одинаково;
- в пределах каждой зоны отсутствуют градиенты параметров рабочего тела по координатам, однако температуры между зонами отличаются;

- характеристика тепловыделения рассчитывается с использованием зависимости И. И. Вибе;
- индикаторные и эффективные показатели двигателя определяются по методике И. И. Вибе с учетом переменного показателя характера сгорания и продолжительности сгорания топлива;
- показатели токсичности рассчитываются с помощью методики В. А. Звонова [5, 6].

Одной из наиболее распространённых и наиболее точно описывающих характеристику тепловыделения математических моделей является модель процесса сгорания И. И. Вибе, которая получила наибольшее распространение.

Основным допущением, на котором построена математическая модель процесса сгорания И. И. Вибе, является усреднение температур в цилиндре двигателя, что, в свою очередь, снижает точность расчета показателей токсичности. Повысить точность и эффективность использования данного математического инструмента возможно за счет внедрения двухзонной модели расчета процесса сгорания, которая позволяет достаточно точно оценить показатели токсичности ОГ [23, 24].

В работе используется двухзонная модель процесса сгорания, в которой для определения характеристики тепловыделения и продолжительности сгорания используется модель И. И. Вибе. Также выполняется адаптация данных моделей расчета для исследования процесса сгорания в биогазовом двигателе с искровым зажиганием на дизельном двигателе.

Расчетная схема используемой двухзонной математической модели процесса сгорания представлена на рисунке 4.

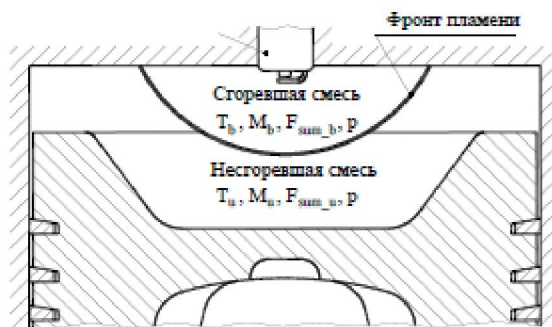


Рисунок 4 – Схема двухзонной математической модели процесса сгорания

Figure 4 – Driving two-zone mathematical model of the combustion process

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 (г.Люблин, Польша), которые сделаны своими руками, на них были сделаны сотни экспериментов по исследованию биогазовых процессов. Фактические же данные по концентрации газов, контролингу, 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 (рисунок 5).



Рисунок 5 –
Внешний вид установки для сжигания биогаза

Figure 5 –
The appearance of the installation for the combustion of biogas

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. Получение откорректированных уравнений переменного показателя характера сгорания биогаза m_{var} и продолжительности сгорания φ_z основывалось на результатах предварительно проведенных экспериментальных исследований. Исследования проводились во всем диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов работы объекта, а также при разных составах биогаза. Верификация разработанной математической модели процесса сгорания биогаза осуществлялась сравнением расчетных и экспериментальных характеристик тепловыделения и графиков зависимостей переменного показателя характера сгорания от относительной продолжительности процесса сгорания. Проверка математической модели осуществлялась на двадцати режимах работы объекта по скоростной и нагрузочной характеристикам в диапазоне изменения воздействующих параметров. При этом оценивались индикаторные показатели рабочего цикла и эффективные показатели исследуемого объекта управления. Математическая точность модели позволяет использовать полученные на ее основе данные для оценки чувствительности результатов расчетов с учетом погрешностей измерительных каналов: температуры продуктов сгорания и расходов горючего и окислителя (рисунок 6).

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

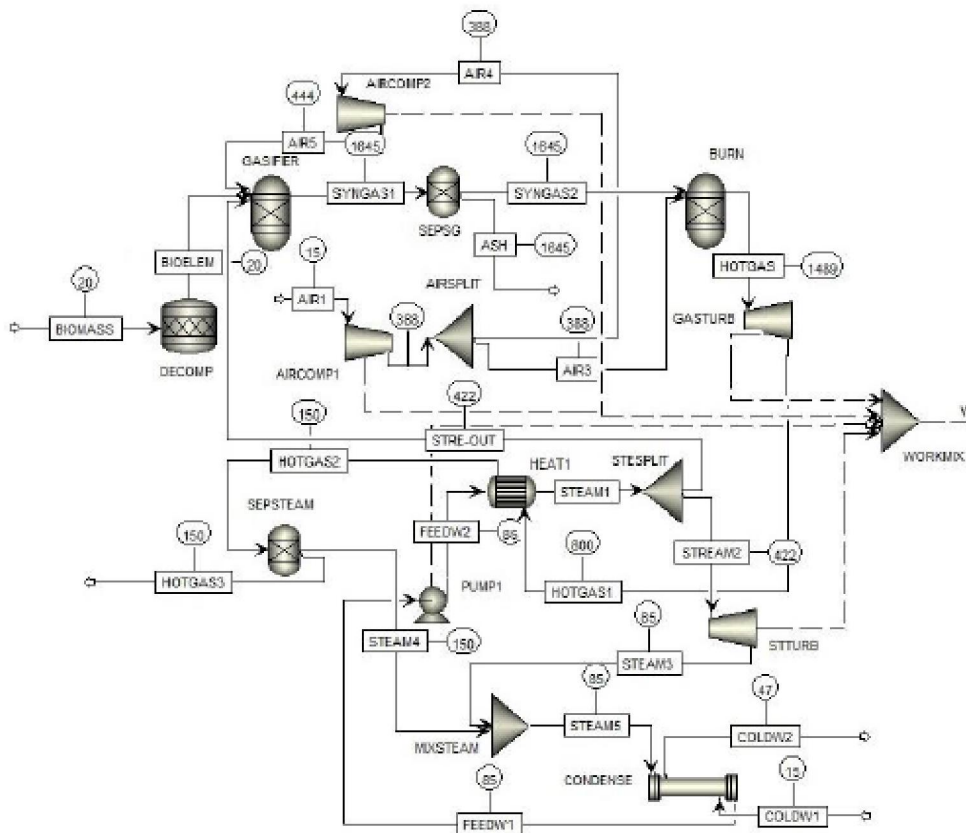


Рисунок 6 – Моделирование схемы управления в программе Aspen Plus

Figure 6 – Simulation of the scheme of control in a program Aspen Plus

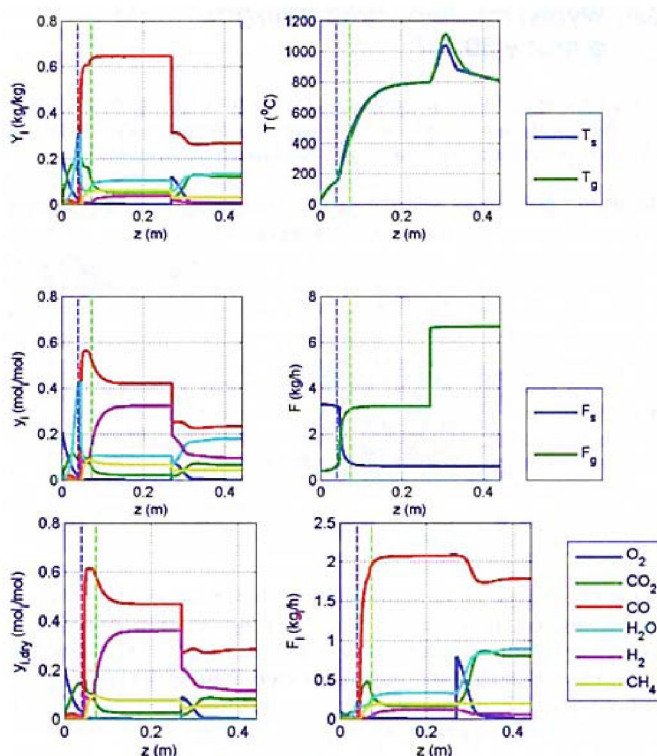


Рисунок 7 – Расчетные кривые, характеризующие стационарное состояние процесса газификации: а - температурные профили, б - состав газа (% об.), в - степень конверсии топлива, г - источники теплоты (в % от теплотворной способности топлива).

По оси абсцисс - расстояние от фурм.

Figure 7 – The calculated curves showing steady state process of gasification:

а – temperature profiles, б – gas composition (% by volume), в – degree, fuel conversion, г – sources of warmth (in % of the calorific value of the fuel).

Abscissa - distance from tuyeres.

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, 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.

Обсуждение результатов. 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 разработаны и 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”).

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 раздельной 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 удастся 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, 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.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Большаков Н.Ю. Оптимизация технологического процесса в системе азротенк – 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 дефосфатации в системе азротенк – 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. ... канд. техн. 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. 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 (P. 98161X-98161X). International Society for Optics and Photonics. – 2015, December.
- [9] Kvyetnyy R.N., Sofina O.Y., Lozun A.V., Smolarz A., Zhimova O. Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (P. 98161R-98161R). International Society for Optics and Photonics. – 2015, December.
- [10] Amaziane B., Jurak M., Keko A. Modeling compositional compressible two-phase flow in porous media by the concept of the global pressure // *Computational Geoscience.* – 2014. – Vol. 18, Issue 3-4. – P. 297-309.
- [11] Chen Z. Reservoir Simulation: Mathematical Techniques in Oil Recovery. – SIAM, Philadelphia, 2007. – 214 p.

- [12] Adenekan A.E., Patzek T.W., Pruess K. Modeling of Multiphase Transport of Multicomponent Organic Contaminants and Heat in the Subsurface: Numerical Model Formulation // *Water Resources Research*. – 1993. – Vol. 29, Issue 11. – P. 3727-3740.
- [13] Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Реконструкция обыкновенных дифференциальных уравнений по временным рядам: учеб. для вузов. – Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. – 46 с.
- [14] Бибиков Ю.Н. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений: учеб. для вузов. – М.: Лань, 2011. – 304 с.
- [15] Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 382 с.
- [16] Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Учеб. для вузов. – М.: Физматлит, 2010. – 368 с.
- [17] Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. – 128 с.
- [18] Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Муратова Е.И., Ермаков А.А. Компьютерное моделирование биотехнологических процессов и систем. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2005. – 80 с.
- [19] Дмитриев С.В. Разработка гибридных генетических алгоритмов для решения задач оптимального управления динамическими системами: дис... канд. техн. наук. – Ижевск, 2007. – 125 с.
- [20] Свалова М.В. Математическая модель процесса получения биогаза из отходов продукции птицеводства // *Вестник Ижевского государственного технического университета*. – 2008. – № 3. – С. 145-146.
- [21] Тененев В.А., Якимович Б.А. Генетические алгоритмы в моделировании систем: монография. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2010. – 308 с.
- [22] Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие [Электронный ресурс] // Сайт компании «Зорг». – 2008. – URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf.
- [23] Abdullahi I., Isma'il A., Galadima A. Effect of Kinetic Parameters on Biogas Production from Local Substrate using a Batch Feeding Digester [Электронный ресурс] // *European Journal of Scientific Research*. – 2011. – Vol. 57, N 4. – P. 626-634. – URL: http://www.eurojournals.com/EJSR_57_4_13.pdf.
- [24] Budiyo I.N., Widiya S.J. Increasing Biogas Production Rate from Cattle Manure Using Rumen Fluid as Inoculums [Электронный ресурс] // *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*. – 2010. – Vol. 10, N 1. – P. 68-74. – URL: <http://www.ijens.org/101501-8282%20IJBAS-IJENS.pdf>.
- [25] Gerber M. An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas [Электронный ресурс] // *Ruhr-Universitat Bochum*. – 2008. – URL: http://www.ruhr-uni-bochum.de/thermo/Forschung/pdf/IGRC_Full_Paper_Paris.pdf.
- [26] Ntengwe F.W., Njovu L., Kasali G. Biogas production in cone-closed floatingdome batch digester under tropical conditions [Электронный ресурс] // *International Journal of ChemTech Research*. – 2010. – Vol. 2, N 1. – P. 483-492. – URL: [http://sphinxsai.com/sphinxssaiVol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1PDF/CT=78%20\(483-492\).pdf](http://sphinxsai.com/sphinxssaiVol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1PDF/CT=78%20(483-492).pdf).

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 metalurgiyana akademiya Ukraine. Usenko A.Yu. Udoshkonalennya processes okislyuvalnogo pirolyzu biomasi s metoyu znizhennya emisii greenhouse gaziv. Abstract. Disertatsii on zdobuttyanaukovogostupenya candidate tehniknih 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 V.N., Smorodin S.N., Lakomkin V.Y. 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., Zhirmova O., Gromaszek K. 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 (P. 98161X-98161X). International Society for Optics and Photonics. 2015, December.
- [9] Kvyetnyy R.N., Sofina O.Y., Lozun A.V., Smolarz A., Zhirmova O. Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations. In 16th Conference on Optical Fibers and Their Applications (P. 98161R-98161R). International Society for Optics and Photonics. 2015, December.
- [10] Amaziane B., Jurak M., Keko A. Modeling compositional compressible two-phase flow in porous media by the concept of the global pressure // *Computational Geoscience*. 2014. Vol. 18, Issue 3-4. P. 297-309.
- [11] Chen Z. Reservoir Simulation: Mathematical Techniques in Oil Recovery. SIAM, Philadelphia, 2007. 214 p.
- [12] Adenekan A.E., Patzek T.W., Pruess K. Modeling of Multiphase Transport of Multicomponent Organic Contaminants and Heat in the Subsurface: Numerical Model Formulation // *Water Resources Research*. 1993. Vol. 29, Issue 11. P. 3727-3740.
- [13] Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Реконструкция обыкновенных дифференциальных уравнений по временным рядам: учеб. для вузов. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2000. 46 p.
- [14] Бибиков Ю.Н. Курс обыкновенных дифференциальных уравнений: учеб. для вузов. М.: Лань, 2011. 304 p.
- [15] Вержбицкий В.М. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 2001. 382 p.

- [16] Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. Geneticheskie algoritmy: ucheb. dlja vuzov. M.: Fizmatlit, 2010. 368 p.
- [17] Gjunter L.I., Gol'dfarb L.L. Metantenki. M.: Strojizdat, 1991. 128 p.
- [18] Dvoreckij D.S., Dvoreckij S.I., Muratova E.I., Ermakov A.A. Komp'juternoe modelirovanie biotehnologicheskikh processov i sistem. Tambov: Izd-vo TGTU, 2005. 80 p.
- [19] Dmitriev S.V. Razrabotka gibridnyh geneticheskikh algoritmov dlja reshenija zadach optimal'nogo upravlenija dinamičeskimi sistemami: Dis. ... kand. tehn. nauk. Izhevsk, 2007. 125 p.
- [20] Svalova M.V. Matematičeskaja model' processa poluchenija biogaza iz othodov produkcii pticevodstva // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2008. N 3. P. 145-146.
- [21] Tenenev V.A., Jakimovich B.A. Geneticheskie algoritmy v modelirovanii sistem: monografija. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2010. 308 p.
- [22] Jeder B., Shul'c H. Biogazovye ustanovki. Praktičeskoe posobie [Jelektronnyj resurs] // Sajt kompanii «Zorg». 2008. URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf.
- [23] Abdullahi I., Isma'il A., Galadima A. Effect of Kinetic Parameters on Biogas Production from Local Substrate using a Batch Feeding Digester [Электронный ресурс] // European Journal of Scientific Research. 2011. Vol. 57, N 4. P. 626-634. URL: http://www.eurojournals.com/EJSR_57_4_13.pdf.
- [24] Budiyo I.N., Widiasa S.J. Increasing Biogas Production Rate from Cattle Manure Using Rumen Fluid as Inoculums [Электронный ресурс] // International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS. 2010. Vol. 10, N 1. P. 68-74. URL: <http://www.ijens.org/101501-8282%20IJBAS-IJENS.pdf>.
- [25] Gerber M. An Analysis of Available Mathematical Models for Anaerobic Digestion of Organic Substances for Production of Biogas [Электронный ресурс] // Ruhr-Universität Bochum. 2008. URL: http://www.ruhr-uni-bochum.de/thermo/Forschung/pdf/IGRC_Full_Paper_Paris.pdf.
- [26] Ntengwe F.W., Njovu L., Kasali G. Biogas production in cone-closed floatingdome batch digester under tropical conditions [Электронный ресурс] // International Journal of ChemTech Research. 2010. Vol. 2, N 1. P. 483-492. URL: [http://sphinxssai.com/sphinxssaiVol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1PDF/CT=78%20\(483-492\).pdf](http://sphinxssai.com/sphinxssaiVol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1/ChemTech_Vol_2No.1PDF/CT=78%20(483-492).pdf).

О. В. Жирнова³, Б. А. Сулейменов³, А. Ж. Тойгожинова¹, W. T. Wojcik²

¹Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан,

²Люблин техникалық университеті, Польша,

³Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

ПАРНИКТИК ГАЗДАР ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН АЗАЙТУ БИОГАЗДЫ ЖАҒУ ҮШІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аннотация. Қағаз биогаз экологиялық және экономикалық тиімділігін көрсетеді. Өлемдік 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 қазандық төмендеді, деп көрсетті. Осы отынның тең жану тиімділігі. Ол табиғи газ және биогаз тең жану 10%-ға газдар шығарындыларының шығарылуын азайтуға болады деп көрсетілген.

Түйін сөздер: биореактор, биогаз, бактериялар, реттеу, компьютерлік модельдеу, таратылған жүйесі, оңтайлы басқару, интеграция, біріктіру.

Information about authors:

Master of Engineering, Doctoral, Oxana Zhirnova, e-mail: oxana_fedoseyeva@mail.ru

Prof., Suleimenov Batyrbek Aytbaevich, Doctor of technical sciences, professor of the Kazakh name K. I. Satpayev National Technical University, Kazakhstan, Almaty, e-mail: batr_sul@mail.ru

Doctoral, Aynur Toigozhinova, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev Institute of Information and Telecommunication Technologies, e-mail: aynur_t@mail.ru

Prof. Waldemar Wójcik, Prof. Waldemar Wójcik - Director of Institute of Electronics and Information Technology at Lublin University of Technology, e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl