

# Инновационный подход в использовании топлива, полученного из биогаза



**М. Ю. Зубкова,**  
к. х. н., доцент, кафедра  
гражданского строительства  
и прикладной экологии,  
Инженерно-строительный  
институт  
marina19zubkova@list.ru



**М. П. Федоров,**  
д. т. н., профессор,  
советник ректора,  
академик РАН  
m.fedorov@spbstu.ru



**А. Н. Чусов,**  
к. т. н., доцент, зав. кафедрой,  
кафедра гражданского  
строительства и прикладной  
экологии, Инженерно-  
строительный институт  
chusov17@mail.ru

**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет**

*В данной работе представлены результаты реализации подхода в использовании нестандартного водородсодержащего топлива с остаточным содержанием метана, полученного из биогаза. Подтверждена возможность работы топливной системы в эффективном режиме. Показана целесообразность использования в автономной энергетике значительного потенциала «слабых» биогазов с относительно невысокой концентрацией органосодержащей компоненты как энергетического ресурса. Энергетический потенциал потока неотреботанного топлива значительно возрастает с увеличением содержания метана в исходном топливе, что может увеличить общую эффективность использования нестандартной газовой смеси с остаточным содержанием метана. Топливный элемент при работе на нестандартном топливе играет роль разделительной системы, определяющей два потока энергии, что позволяет реализовать электрическую и тепловую составляющую в заданном режиме использования топлива. Использование относительно дешевого водородного топлива, полученного из биогаза местных возобновляемых ресурсов, может способствовать созданию автономных систем электроснабжения.*

**Ключевые слова:** отходы, биогаз, реформер, водородсодержащее топливо, топливный элемент, электрическая энергия, тепловая энергия, эффективность энергообеспечения.

## Введение

Создание экономичных систем энергообеспечения является одним из важнейших направлений в контексте задач автономного энергопотребления. Комплексный подход в решении этого вопроса предполагает получение электрической и тепловой энергии по месту ее потребления, что позволит снизить потери и повысить надежность процесса обеспечения энергией потребителя.

Природный газ является в настоящее время основным энергетическим ресурсом в глобальном смысле и наиболее дешевым источником для получения водорода [1]. Однако, ввиду ожидаемого удорожания в ближайшей перспективе [2], задача активного привлечения возобновляемых энергоресурсов, становится актуальной уже в настоящий момент [3, 4]. Биомасса является важнейшим искусственно возобновляемым энергетическим ресурсом ввиду значительного потенциала, доступности, эффективности преоб-

разования в тепловую и электрическую энергию [5]. Использование для этих целей топливных элементов, осуществляющих прямое преобразование энергии подаваемого топлива в электрическую энергию, является перспективным направлением для решения такого рода задач [6,7].

Использование энергетического потенциала отходов в задачах энергетики с использованием водородных технологий позволит обеспечить местных потребителей относительно дешевым энергоресурсом и попутно решить задачи охраны окружающей среды [5–7]. Особенно это актуально для России, где образуется значительный объем отходов [8], основная часть которых остается в местах их образования. Данные о стоимости производства водорода из биогаза на ближайшую перспективу [2] указывают на то, что комплексные энергетические технологии с использованием вторичных источников для получения водорода являются наиболее привлекательными [1, 6].

Особый интерес представляет получение водорода для низкотемпературных топливных элементов, так как они в наибольшей степени подходят для автономных потребителей в широком диапазоне нагрузок [7, 9]. Важной технической характеристикой для такого типа топливных элементов является чистота топлива из-за содержания в нем остаточных количеств CO и CO<sub>2</sub> [10, 11], являющихся ядами для каталитической поверхности электрода. Эффективное проведение реформинга метановой составляющей биогаза оценивается в том числе содержанием остаточного CH<sub>4</sub> в реформате. Недостатком большинства установок по конверсии метана является низкое содержание водорода (70–80% об.) на выходе, что требует обязательной стадии очистки перед подачей такого топлива в низкотемпературный топливный элемент, что приводит к увеличению энергоемкости процесса и снижению эффективности [10].

В Санкт-Петербургском политехническом университете создан экспериментальный комплекс для исследования процессов получения и использования биогаза как перспективного энергетического ресурса [12]. Проведение исследований в широком диапазоне нагрузок реформера (30–100% от номинальной) [11, 13] позволило реализовать стабильное получение водорода высокой чистоты (93–98% об.) при подаче биометана (95% об.) [5, 11]. Процесс двухстадийной равнотемпературной конверсии топлива, включающей стадию доокисления монооксида углерода, с внутренней утилизацией диоксида углерода позволяет получать водородсодержащее топливо с концентрацией CO и CO<sub>2</sub> менее 10 ppm [11]. Проведенные эксперименты по использованию «слабого» биогаза, содержащего метан (30–45% об.), показали высокую концентрацию водорода в реформате (более 93% об.) [5, 10]. Это расширяет возможности использования в автономной энергетике значительно потенциала «слабых» биогазов с относительно невысокой концентрацией органосодержащей компоненты для получения электрической и тепловой энергии. Низкое содержание остаточного метана открывает возможность прямого использования реформата в топливном элементе без использования дорогостоящих технологий его очистки [5].

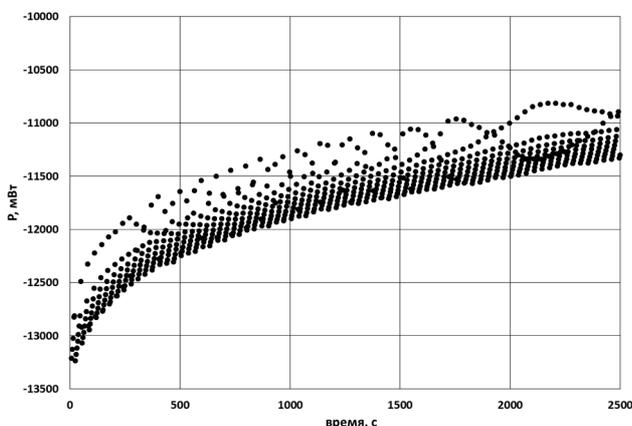


Рис. 1. Зависимость мощности от времени ( $E=6,5$  В) в системе водородсодержащая смесь с остаточным содержанием метана (2% об.) /воздух (dead end)

Нами была поставлена задача — на основании результатов проведенных электрохимических экспериментов, газоаналитических исследований водородсодержащего топлива с остаточным содержанием метана, оценить вклад электрической компоненты и энергетическую эффективность метановодородной газовой смеси в сбросе, сопоставить данные термодинамических расчетов и данные по материальному балансу для оценки электрической и тепловой компонент в рассматриваемых способах использования водородсодержащего топлива, полученного из биогаза.

Из-за термодинамического ограничения метан не окисляется на аноде низкотемпературного топливного элемента [10]. Присутствие CH<sub>4</sub> в газовой водородсодержащей смеси создает эффект экранирования при прямой подаче водородсодержащей газовой смеси в топливный элемент и, следовательно, замедлит стадию массопереноса молекул H<sub>2</sub> и затруднит кинетику окисления водорода [10, 14, 15]. Для проведения комплексных исследований был создан специальный стенд [10, 14], на котором при прямой подаче водородной газовой смеси с остаточным содержанием метана в топливный элемент реализовывался режим заданного автоматического сброса, накапливающегося в анодном пространстве неотработанного нестандартного топлива [7].

Исследования топливного модуля проводились в потенциостатических и ступенчатых потенциостатических режимами «с замкнутым концом» (dead end), верхний и нижний пределы избыточного давления ( $P_{изб}$ ) топлива, подаваемого на ячейку, составляли 0,9 и 0,3 бар, соответственно, что позволяло поддерживать рабочие характеристики исследуемой системы на верхнем и нижнем допустимых пределах, в качестве окислителя во всех случаях использовался кислород воздуха с необходимым избыточным расходом [10, 13–15].

На рис. 1 и 2 представлены типичные экспериментальные зависимости, отражающие выход электрической составляющей на нестандартном топливе и диапазон колебаний в моменты сбросов неотработанного топлива с анода.

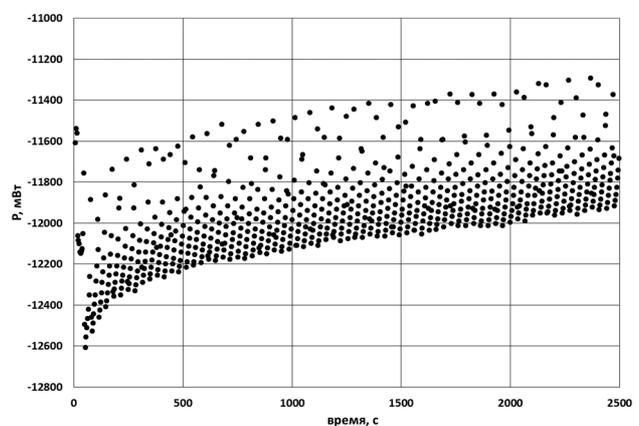


Рис. 2. Зависимость мощности от времени ( $E=6,5$  В) в системе водородсодержащая смесь с остаточным содержанием метана (7% об.) /воздух (dead end)

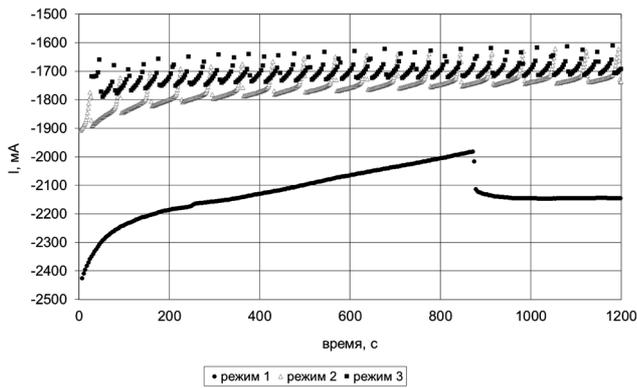


Рис. 3. Изменение тока во времени при задаваемом потенциале  $E=6$  В:

режим 1 —  $H_2$ /воздух,  $P_{изб}=0,9$  бар;  
 режим 2 —  $98\%H_2+2\%CH_4$ /воздух,  $P_{изб}=0,9$  бар;  
 режим 3 —  $93\%H_2+7\%CH_4$ /воздух,  $P_{изб}=0,9$  бар

Качественные закономерности соблюдаются для всех представленных условий эксперимента — с ростом задаваемого потенциала уменьшается токовый потенциал и потенциал по мощности. Для исследуемых газовых смесей наблюдается симметричное количество сбросов топлива при одинаковых величинах задаваемых потенциалов. Количество сбросов уменьшается с ростом величины задаваемого потенциала, т. е. для реализации малых токов незначительные количества неокисляющейся составляющей топлива ( $CH_4$ ) в меньшей степени препятствуют процессу доступа и окисления водорода на аноде. Сравнение полученных результатов на топливе, содержащем 93%  $H_2$  и 7%  $CH_4$  (рис. 1) с данными эксперимента на газовой смеси ( $98\%H_2+2\%CH_4$ ) (рис. 2) [16], выделенной из биогаза, показало наличие аналогичных качественных закономерностей по влиянию избыточного давления

подачи топлива при проведении испытаний в потенциостатических и ступенчатых потенциостатических условиях. В результате исследований было установлено увеличение временного участка токовой стабилизации (и, соответственно, стабилизации по мощности) при увеличении задаваемого потенциала. При этом абсолютная величина реализуемой мощности уменьшается.

На рис. 3 показана зависимость изменения тока во времени при заданном потенциале при работе с водородом, полученным путем электролиза (режим 1), для водородной смеси с содержанием остаточного метана 2% (режим 2) и 7% (режим 3) на выделенном временном интервале (400–1200 с). Работа в режиме 1 (на водороде) рассматривается в качестве эталона, и ход процессов на нестандартном топливе рассматривался по отношению к характеристикам, достигнутым при работе на электролизном водороде.

Увеличение компоненты метана в газовой смеси до 7% не показало критического ухудшения характеристик тока по сравнению с результатами, полученными на газовой смеси с меньшим содержанием метана (2%), однако следует отметить увеличение количества и частоты сбросов топлива и, соответственно, объема газа, содержащего метан, и водорода, увлекаемого с ним в поток сброса [17].

В табл. 1 представлены основные промежуточные и итоговые контролируемые параметры работы топливной системы, позволяющие провести сравнительную оценку по эффективности использования нестандартного топлива по отношению к водородному эталону.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что продолжительность участка каждого единичного цикла «работа–сброс» уменьшается с ростом содержания остаточного метана в составе топлива.

Характеристики работы топливной системы на топливах разного состава

Таблица 1

Параметр	Обозначение	Размерность	Режим 1 ( $H_2$ )	Режим 2 ( $98\% H_2 + 2\% CH_4$ )	Режим 3 ( $93\% H_2 + 7\% CH_4$ )
Ток	$I$	А	2,0–2,16	1,8–1,85	1,7–1,74
Отклонение по току на рабочем участке	$\Delta I$	%	7	3	3
Мощность	$P$	Вт	12,5	10,9	10,3
Отклонение по мощности на рабочем участке	$\Delta P$	%	7	5	6,4
Количество сбросов	$n$	–	1	12	23
Реализуемая мощность	$P_r$	Вт·ч	2,75	2,40	2,30
Временной интервал по сбросу	$\Delta t$	с	480	67	34
Расход газа в момент сброса	$G_s$	мл/с	12,0	12,0	12,0
Объем сброшенного газа	$V_s$	мл	12,0	144,0	276,0
Расход газа на работу топливной ячейки	$G_r$	мл/с	2,5	2,7	2,8
Объем газа на работу ячейки	$V_r$	мл	2000	2160	2240
Суммарный объем израсходованного газа	$V$	мл	2012	2304	2516
Суммарный заряд на выделенном участке	$Q$	Кл	1664	1460	1376
Количество израсходованного газа на 1 Кл	$N_q$	мл газа/Кл	1,21	1,58	1,82
Количество израсходованного газа на 1 Вт·ч	$N_p$	л газа/Вт·ч	731	960	1093
Полученная энергия	$E$	кДж	10,0	8,8	8,2
Эффективность полученной энергии по отношению к режиму 1	$\epsilon$	%	100	88	82
Расход топлива по отношению к режиму 1	$\kappa$	–	1,0	1,14	1,22

Термодинамические и энергетические показатели комплексной оценки эффективности использования топлива

Параметр	Обозначение	Размерность	Режим 1 (Н <sup>2</sup> )	Режим 2 (98% Н <sub>2</sub> + 2% СН <sub>4</sub> )	Режим 3 (93% Н <sub>2</sub> + 7% СН <sub>4</sub> )
Энергетический потенциал топлива	$E_p$	кДж	1088	1127	1250
Затраты на получение электрической составляющей	$E_{эл}$	кДж	495	321	243
Электрический коэффициент полезного действия (КПД)	$\eta_{эл}$	%	45,4	28,5	19,4
Энергетические затраты топлива на 1 Вт·ч	$E_{р/Вт·ч}$	кДж/Вт·ч	7,9	10,8	13,7
Энергетический запас топлива в сбросе	$E_c$	кДж	5,5	135	410
Тепловой КПД	$\eta_{тепл}^*$	%	~ 0	9,6	26,2
Суммарный эффективный КПД	$\eta_{\Sigma эф}$	%	45,4	36,8	42,0

\* — КПД по тепловой составляющей рассчитан с учетом коэффициента использования сброшенного топлива  $k=0,7$ .

Это подтверждает ранее сделанный вывод [10, 16], что использование нестандартного топлива требует частого обновления поверхности для удаления с анода не участвующих в электрохимическом процессе молекул метана, вместе с которыми удаляются и не разрядившиеся молекулы водорода. Эффективность электрохимических процессов, определяющих получение электрической составляющей, проводимых на нестандартном топливе снижается на 12–18% по отношению к показателям режима на водороде. Соответственно, общее количество израсходованного газа на единицу установленной мощности (или произведенного количества электричества) по нестандартному топливу пропорционально увеличивается по сравнению с расходом водорода, оставаясь при этом в пределах соизмеримых соотношений.

Возможность эффективной работы топливной ячейки на водородсодержащем топливе с остаточным метаном может быть решена на основании комплексного подхода по использованию той части топлива, которая попадает в сброс [17]. В случае работы на водороде количество сброшенного газа незначительно, и вряд ли может идти речь об эффективном накоплении и утилизации таких небольших количеств. Расход нестандартных видов топлива (2% и 7% СН<sub>4</sub>) увеличивается на 14–22%, соответственно, по отношению к взятому за единичный эталон электролизному водороду. Газоаналитический анализ показал, что сбросы представляют собой очень калорийную газовую смесь, по массовому содержанию состоящую из примерно равных долей Н<sub>2</sub> и СН<sub>4</sub>.

Для оценки термодинамической эффективности комплексного использования рассматриваемого топлива для получения электрической составляющей, реализуемой в топливном элементе, и тепловой составляющей при соответствующей утилизации сброшенного топлива, были рассчитаны эффективные энергетические показатели (табл. 2) [16]. Расчет производился для каждого из трех режимов на 100 л исходной рабочей газовой смеси, что обеспечивает работу рассматриваемой топливной системы в течение порядка 10 часов.

Следует отметить, что суммарный эффективный КПД для водородсодержащей смеси с 7% остаточного метана по величине больше, чем для смеси с 2% не

окисленного компонента, не свидетельствует о лучшей комплексной реализации топлива с большим содержанием метана, так как получение электрической составляющей в этом случае достигается в менее устойчивых условиях работы топливного элемента.

Диаграмма распределения электрической и тепловой составляющих, а также энергетических затрат на получение единицы установленной мощности, полученные на основании данных табл. 2 для трех рассматриваемых газовых смесей, представлена на рис. 4

При анализе термодинамических и энергетических показателей [16], представленных в табл. 2 и на рис. 4, следует отметить следующее:

- энергетический потенциал исходной газовой смеси с ростом содержания метановой составляющей увеличивается ввиду высокой теплотворной способности СН<sub>4</sub>, существенно превышающей теплотворную способность Н<sub>2</sub>;
- энергетический потенциальный запас сброшенного топлива заметно возрастает с увеличением содержания в нем остаточного метана;
- использование энергетического потенциала сброшенного топлива позволяет повысить суммарный эффективный КПД использования нестандартной газовой смеси с остаточным содержанием метана;

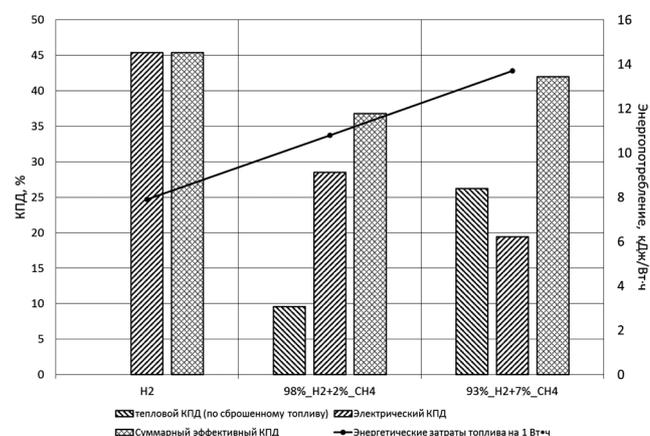


Рис. 4. Диаграмма характеристик эффективности использования рассматриваемых видов топлива и энергетических затрат на получение 1 Вт·ч установленной мощности

Таблица 3

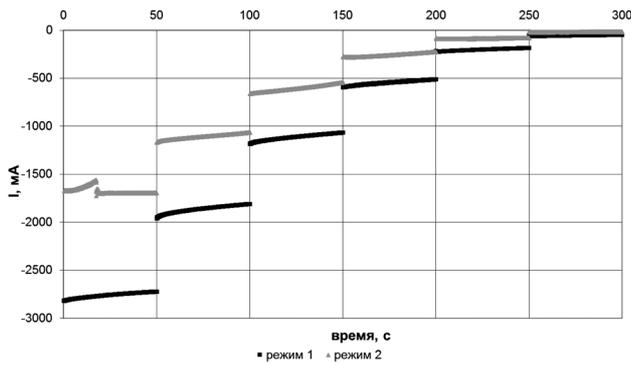


Рис. 5. Изменение тока во времени при ступенчатом изменении потенциала:  
режим 1 –  $H_2$ /воздух,  $P_{изб} = 0,9$  бар; режим 2 – водородсодержащее топливо/воздух,  $P_{изб} = 0,9$  бар

- топливный элемент при работе на нестандартном топливе играет роль разделительной системы, выделяющей два энергетических потока, позволяющих реализовать электрическую и тепловую составляющую в заданных режимах использования топлива.

Анализ экспериментальных зависимостей при ступенчатом изменении потенциала (рис. 5) показывает, что при работе на электролизном водороде нет сброса топлива на рассматриваемом интервале. Следовательно, скорость подачи топлива и образующееся количество протонов на аноде достаточны для стабильного поддержания электрохимических процессов в топливной ячейке.

Для водородсодержащей газовой смеси сбросы топлива имеют место при высоких токах (или мощностях), так как не разряжающиеся молекулы  $CH_4$  препятствуют доступу необходимого количества водорода к каталитической поверхности анода. Экспериментальные количественные характеристики режимов ступенчатого потенциостатирования приведены в табл. 3.

Следует отметить, что количество израсходованного газа на единицу произведенного электричества и мощности соизмеримы для исследуемых режимов. Это подтверждает возможность эффективной работы

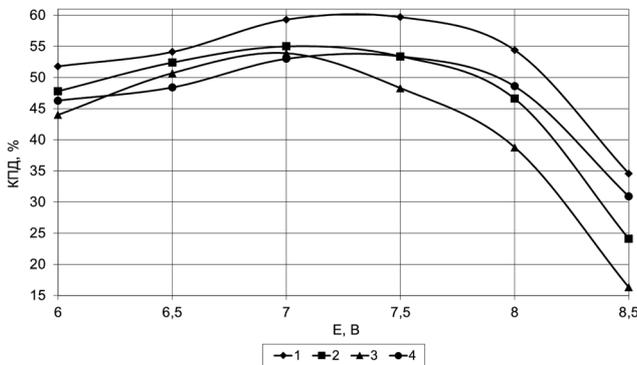


Рис. 6. Зависимость КПД от величины задаваемого потенциала в исследуемых режимах:  
1 –  $(H_2 (P_{изб} = 0,3 \text{ атм}) / \text{воздух})$ ;  
2 –  $(H_2 + CH_4 (P_{изб} = 0,3 \text{ атм}) / \text{воздух})$ ;  
3 –  $(H_2 + CH_4 (P_{изб} = 0,9 \text{ атм}) / \text{воздух})$ ;  
4 –  $(H_2 (P_{изб} = 0,3 \text{ атм}) / \text{воздух})$

Экспериментальные данные ступенчатого изменения потенциала

E, В	t, с	Режим 1 – $H_2$ /воздух, $P=0,9$ бар		Режим 2 – водородсодержащее топливо/воздух, $P=0,9$ бар	
		$V_1$ , мл	$V_2$ , мл	$V_1$ , мл	$V_2$ , мл
6,0	50	148,3	0	99,2	8,0
6,5	100	103,3		65,8	
7,0	150	60,8		36,7	
7,5	200	31,7		17,5	
8,0	250	13,8		8,3	
8,5	300	6,2		4,6	
		$\Sigma = 364,1$	сбросов не было	$\Sigma = 232,1$	1 сброс
		$\Sigma = 364,1$		$\Sigma = 240,1$	

Обозначения: E – потенциал; t – временной промежуток потенциостатирования;  $V_1$  – рабочий объем израсходованного газа;  $V_2$  – объем сброшенного газа.

модуля на водородсодержащем топливе, полученным из биогазов, и достижения режимов эффективного использования топлива. По результатам эксперимента рассчитаны величины КПД работы модуля с учетом количества сбрасываемого топлива для рассмотренных режимов (рис. 6).

Полученные зависимости имеют максимальное значение КПД в области 7–7,5 В. С учетом затрат на электролиз при небольших величинах потенциостатирования КПД системы «электролизер–топливная ячейка», работающей на водороде, сопоставим с величиной КПД топливной ячейки при работе на водородсодержащей смеси с остаточным содержанием метана [15, 17].

Представленные результаты положены в основу расчетов по оценке эффективности работы топливного модуля мощностью 500 Вт, который может

Таблица 4

Расчетные параметры необходимых затрат энергоносителей для работы энергетической установки мощностью 500 Вт в течение  $t=2000$  ч/год

Название показателей	КПД	Номинальная мощность энергетической системы	Масса газа	Мощность, создаваемая расходуемым газом	Выработка электроэнергии	Приведенная масса газа
Обозначение, размерность	$\eta$ , %	P, кВт	$m_{газ}$ , кг/ч	$P_{газ}$ , кВт	W, кВт·ч/год	$m_g$ , кг/год
Электролизный водород	46,3	0,5	0,009	1,08	2160	64,85
Водородсодержащая смесь с остаточным содержанием метана (2% об.)	44	0,5	0,01 0,0086*	1,14	2280	75,5 64,93*

\* – без учета содержания метана в смеси.

Таблица 5

Расчетные параметры топливопотребления реформера для работы энергетической установки мощностью 500 Вт в течение  $t=2000$  ч/год

Название показателей	Масса метана	Объем метана	Объем биогаза
Обозначение, размерность	$m_{\text{CH}_4}$ , кг/год	$V_{\text{CH}_4}$ , м <sup>3</sup> /год	$V_{\text{биогаз}}$ , м <sup>3</sup> /год
Значения	142,0	197,9	328,0

рассматриваться в качестве базового элемента для автономного потребителя. Результаты оценочных расчетов необходимого количества энергоносителей (электролизного водорода и водородосодержащей смеси с остаточным метаном (2% об.)) при работе модуля мощностью 500 Вт в течение 2000 ч/год представлены в табл. 4.

Сопоставление полученных значений приведенной массы топлива для обеспечения стабильной работы рассматриваемой установки в течение указанного периода времени показывает, что расход водородосодержащей смеси с остаточным содержанием метана (2% об.) сопоставим с необходимым расходом электролизного водорода.

В табл. 5 приведен расчетный объем биогаза, необходимый для получения водородосодержащей смеси в количестве, обеспечивающем работу энергетической установки мощностью 500 Вт.

Эффективность тандемной системы «реформер–топливный энергетический блок» определялась по уравнению 1 [18]. В качестве исходных данных использовались нормированные значения параметров тандемной системы и рабочих процессов.

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{ref}} [2 - u + (1 - 1/\lambda_{\text{H}_2}) \eta_{\text{ref}}] 1/\lambda_{\text{H}_2} U/u_{\text{ref}} \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{ref}}=0,7$  – КПД реформера;  $u=0,95$  – коэффициент метанизации;  $\lambda_{\text{H}_2}=1,25$  – коэффициент реального выхода водорода на один моль метана;  $U=0,720$  В – напряжение на единичной ячейке;  $u_{\text{ref}}=1,25$  В – опорное напряжение.

Расчетный КПД тандемной системы « $\eta_{\text{ref}}$ » на основе реформера с паровой конверсией метана и энергетической установки мощностью 500 Вт составил 38,4%. Это подтверждает достаточно высокую эффективность использования водородосодержащего топлива с метановой составляющей.

Возможность производства электроэнергии на основе комплексного использования водородосодержащего топлива, полученного из биогаза, при создании объектов распределительных систем энергоснабжения приблизит источники энергии к потребителю, повысив энергоэкономичность и эффективность использования топлива [10, 17, 19, 20].

## Выводы

1. Использование относительно дешевого водородного топлива, полученного из биогаза местных вторичных возобновляемых ресурсов, может способствовать созданию автономных экономических систем электроснабжения.

2. Показана возможность использования в автономной энергетике значительного потенциала «слабых» биогазов с относительно невысокой концентрацией органосодержащей компоненты для получения электрической и тепловой энергии.
3. Исследования по прямой подаче водородосодержащего топлива с остаточным содержанием метана (2–7%) подтверждают возможность работы топливной системы в эффективном режиме.
4. Топливный элемент при работе на нестандартном топливе играет роль разделительной системы, выделяющей два энергетических потока, позволяющих реализовать электрическую и тепловую составляющую в заданных режимах использования топлива.
5. Энергетический потенциальный запас сброшенного топлива заметно увеличивается с ростом содержания метана в исходном топливе и приводит к возрастанию роли тепловой составляющей разделенного энергетического потока до 20–26%.
6. Комплексное использование энергетического потенциала топлива с остаточным содержанием метана позволяет обеспечить суммарный эффективный КПД тандемной топливной системы до 40%.

### Список использованных источников

1. С. П. Малышенко, О. В. Назарова, Ю. А. Сарумов. Некоторые термодинамические и технико-экономические аспекты применения водорода как энергоносителя в энергетике // Атомно-водородная энергетика и технология. № 7. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Wasserstoff – Der neue Energieträger, 2009. <http://www.dwv-info.de/publikationen/2009/etraeger3.pdf>.
3. R. Chaubey, S. Sahu, O. O. James, S. Maity. A review on development of industrial processes and emerging techniques for production of hydrogen from renewable and sustainable sources // Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 23. 2013.
4. J. Havukainen, V. Uusitalo, A. Niskanen, V. Kapustina, M. Horttanainen. Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production // Renewable Energy, Vol. 66. 2014.
5. М. П. Федоров, В. И. Масликов, А. Н. Чусов, Д. В. Молодцов. Экспериментальный комплекс для производства водорода из органосодержащих отходов для применения в топливных элементах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 4. 2011.
6. Н. J. Alves, C. Bley Junior, R. R. Niklevic, E. P. Frigo, M. S. Frigo, C. H. Coimbra-Araújo. Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells // International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 38 (13). 2013.
7. Д. О. Дуников, В. И. Борзенко, С. П. Малышенко, Д. В. Блинов, А. Н. Казаков. Перспективные технологии использования биоводорода в энергоустановках на базе топливных элементов (обзор) // Теплоэнергетика. № 3. 2013.
8. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатели по территориям) / Под ред. П. П. Безруких. М.: «ИАЦ Энергия», 2007.
9. А. С. Коротеев, В. А. Смоляров. Водород энергоноситель XXI века // Военный парад. № 2. 2005.
10. А. Н. Чусов, М. Ю. Зубкова, В. В. Кораблев, В. И. Масликов, Д. В. Молодцов. Технология использования в топливных элементах водородосодержащей смеси на основе биогазов для энергообеспечения автономных потребителей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 4-1 (183). 2013.
11. A. I. Lysikov, A. G. Okunev, D. V. Molodtsov, V. I. Maslikov. Novel approach for municipal solid waste biogas reforming into hydrogen for fuel cell powered generators // XIX International Conference of Chemical Reactors «Chemreactor-19». Vienne, Austria, 5-9 September 2010.

12. М. П. Федоров, М. Ю. Зубкова, В. В. Кораблев, В. И. Масликов, Д. В. Молодцов, А. Н. Чусов, Е. И. Теруков, А. Г. Окунев, А. И. Лысыков. Разработка и создание экспериментального комплекса по оптимизации конверторных процессов получения водорода из биогазов органосодержащих отходов//Физические проблемы водородной энергетики: тезисы докладов шестой российской конференции. СПб., 2010.
13. М. П. Федоров, А. Н. Чусов, В. И. Масликов, М. Ю. Зубкова, Д. В. Молодцов. Исследования процессов прямой подачи конверторного биоводорода в низкотемпературный топливный элемент/Под ред. И. А. Казаринова//Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики: Сборник материалов VIII Междунар. конф. Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 2011.
14. М. П. Федоров, М. Ю. Зубкова, А. А. Томасов, Д. В. Молодцов, Н. К. Зеленина. Исследование процессов прямой подачи конверторного биоводорода с остаточным содержанием метана в топливный элемент//Физические проблемы водородной энергетики: тезисы докладов седьмой российской конференции. СПб., 2011.
15. М. Ю. Зубкова, В. И. Масликов, Д. В. Молодцов, А. А. Томасов. Оценка эффективности работы топливной системы при использовании реформата с остаточным содержанием метана//Физические проблемы водородной энергетики: тезисы докладов восьмой российской конференции. СПб., 2012.
16. M. Yu. Zubkova, V. I. Maslikov, D. V. Molodtsov, A. N. Chusov. The ways assessment of direct production electricity and heat from hydrogenous fuel based on biogas for autonomous consumers// Applied Mechanics and Materials. Vol. 587-589. 2014. <http://www.scientific.net/AMM.587-589.330>.
17. M. Yu. Zubkova, V. I. Maslikov, D. V. Molodtsov, A. N. Chusov. Experimental research of hydrogenous fuel production from biogas for usage in fuel cells of autonomous power supply systems// Advanced Materials Research. Vol. 941-944. 2014. <http://www.scientific.net/AMR.941-944.2107>.
18. R. Schmersahl. «Dampfreformierung von biogas für PEM-brennstoffzellen», Freiburger Forschungsforum – 58, TU Bergakademie Freiberg, 13-15 Juni 2007.
19. G. Gahleitner. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications//International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 38 (5). 2013.
20. F. Bauer, T. Persson, C. Hulteberg, D. Tamm. Biogas upgrading – technology overview, comparison and perspectives for the future// Biofuels, Bioproducts and Biorefining. Vol. 7 (5). 2013.

## **Innovative approach in use of the fuel obtained from biogas**

**M. Yu. Zubkova**, PhD, associate professor, Department of Civil Engineering and Applied Ecology, Institute of Civil Engineering, SPbPU.

**M. P. Fedorov**, Dr. Sc., professor, academician of Russian Academy of Science, Advisor to The Rector, SPbPU.

**A. N. Chusov**, PhD, associate professor, head of department, Department of Civil Engineering and Applied Ecology, Institute of Civil Engineering, SPbPU.

This paper presents the approach implementation results in the use of non-standard hydrogenous fuel with a residual content of methane obtained from biogas. The possibility of the fuel system operation in an efficient mode is confirmed. The advisability of using a considerable potential «weak» biogas with a relatively low concentration of organic components as a potential energy resource is shown. The energetic potential of purge fuel flow considerably increases with increase in the content of methane in initial fuel that can increase the total effective efficiency of use of non-standard gas mixture with residual methane content. Fuel cell at operation on non-standard fuel plays the role of the separation system, identifies two streams of energy, allowing to realize the electrical and thermal component in the specified mode of fuel use. The use of relatively cheap hydrogen-fuel derived from biogas from local secondary renewable resources can contribute to the creation of autonomous systems of power supply.

**Keywords:** waste, biogas, reformer, hydrogenous fuel, fuel cell, electric energy, heat energy, energy efficiency.

## *Технологические компании представят свои проекты российским и международным инвесторам в Казани*

Презентации проектов пройдут в 23–24 апреля 2015 года в рамках юбилейной X Казанской венчурной ярмарки, которая в этом году пройдет совместно с юбилейной XV Российской венчурной ярмаркой.

«По оценкам венчурного сообщества лучшей Региональной площадкой является Казанская венчурная ярмарка, которая проводится в Республике Татарстан уже 10-й раз. За годы своей работы Казанская венчурная ярмарка по праву получила статус главного инвестиционного события России, признанного российскими деловыми кругами. Именно поэтому РАВИ решила придать ей статус «Российской венчурной ярмарки» – современной площадки для конструктивного диалога бизнеса, инвесторов и власти, развития инвестиционного и инновационного сектора экономики нашей страны», – отметила в своем письме Президенту Республики Татарстан исполнительный директор Российской ассоциации венчурного инвестирования (РАВИ) Альбина Никконен.

Отличительной особенностью Казанской венчурной ярмарки является обучение эффективной презентации своего бизнеса, базовым правилам принятия инвестиционных решений и необходимым навыкам работы с венчурным инвестором.

К участию в ярмарках приглашаются компании, заинтересованные в привлечении венчурных и прямых инвестиций для развития своего бизнеса: разрабатывающие продукцию/услуги с высокой добавленной стоимостью и обладающие высокими темпами роста. Объем продаж и возраст компании не имеет значения, главное – заинтересованность в инвестициях для развития компании.

Сбор заявок на участие ведется до конца февраля на официальном сайте мероприятия – <http://www.kazanventurefair.com>. Компаниям необходимо заполнить заявку на сайте в разделе «Регистрация для экспонентов». Компаниям, проекты которых получают положительное решение Экспертной комиссии, представится возможность презентовать свой бизнес перед российскими и международными инвесторами.