

жизнеобеспечение населения. Рекомендуется все функции государственного экологического управления природными ресурсами в бассейне р. Припять сосредоточить в природоохранных ведомствах, тогда как задачи, связанные с эксплуатацией гидротехнических сооружений, управлением водными ресурсами, изымаемыми и сбрасываемыми в водные объекты, разработкой и реализацией мероприятий, связанных с противопожарной защитой территорий и эксплуатацией мелиоративных систем, сосредоточить в водохозяйственных ведомствах. Планирование управления бассейном р. Припять по бассейновому принципу предполагает создание новых бассейновых органов, предназначенных для реализации совместного общего руководства, которые не совпадают с административно-территориальными управлениями. Данная реорганизация должна быть проведена без дублирования существующих административных единиц и увеличения числа служащих. С целью успешной разработки, координации и реализации водохозяйственных и природоохранных мероприятий необходима эффективная деятельность рабочих групп при уполномоченных Правительствах двух стран по трансграничным водам. Для повышения эффективности планирования в бассейне р. Припять необходимо осуществлять совместные научные исследования и проектные разработки, касающиеся экологических, экономических и водохозяйственных проблем.

Управление биоразнообразием. Необходимо осознать, что сохранение и управление экосистемами в бассейне Припяти

УДК 662.76

Северянин В.С., Тимошук А.Л., Горбачева М.Г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЛОЕВОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ ГАЗА

Термин «слоевое горение» обычно применяют для твердых топлив. Его использование применительно и к жидким топливам в случае, когда выгорание происходит с поверхности слоя. Газообразные топлива, в силу своей физической природы, не могут образовывать слой, поэтому термин «слоевое горение газа» в некоторой степени условный, а «слой» представляет собой множество маленьких факелов, расположенных друг возле друга. Такой способ сжигания газообразного топлива еще называют «микрофакельным горением». Однако для устройств пульсирующего горения, работающих по принципу трубы Рийке [1], к которым относится рассматриваемая установка, более применим термин «слоевое горение», так как подача топлива осуществляется в определенном сечении равномерно по всему сечению.

Наиболее изучен процесс слоевого пульсирующего горения (СПГ) твердого топлива [2, 3], в меньшей степени исследовано слоевое пульсирующее горение жидких (конструкция горелки для СПГ жидкого топлива описана в [4]) и газообразных топлив.

Целью проведенного исследования было определение основных физических и теплотехнических параметров процесса слоевого пульсирующего горения газообразного топлива, а также состава продуктов сгорания. Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1.

На рис. 1 цифрами обозначены: 1 – штатив; 2 – резонансный канал (труба, внутренний \varnothing 100 мм); 3 – горелка; 4 –

является одной из важнейших экологических задач, которая в значительной степени определяется экономическими, социальными и технологическими условиями. Основные проблемы, связанные с сохранением биоразнообразия в бассейне р. Припять, могут быть решены при сохранении: – генетического фонда, как основы разнообразия видов и внутривидового разнообразия; – разнообразия сообществ (биоценозов), как основы устойчивости экосистем; – биотопического (ландшафтного, экосистемного) разнообразия, как основы сохранения разнообразия видовых популяций, сообществ, биоценозов. Указанные проблемы тесно связаны с гидробиологией рек в бассейне Припяти и требуют решения таких задач, как: – оценка состояния водных экосистем должна быть неотъемлемой частью оценки качества воды, водных ресурсов и морфологии русел рек; – гармонизация и стандартизация системы биологической оценки реки Припять и ее притоков между Украиной и Республикой Беларусь; – разработка и реализация системы гидробиологического мониторинга в бассейне р. Припять (в основном осуществляется в рамках реализации проекта ТАСИС); – систематическое проведение экологической образовательной деятельности среди населения, проживающего в бассейне.

СПИСОК ИПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять/ Под общей ред. М. Ю. Калинина, А. Г. Ободовского. – Мн.: Белэкс, 2003. – 269 с.

зальник (электрическая свеча); 5 – дутьевой вентилятор (осевого типа); 6 – микрофонный датчик (конденсаторный); 7 – газоотборный зонд; 8 – осциллограф; 9 – газоанализатор; 10 – измеритель шума ИШВ-1; 11 – баллон со сжиженным газом; 12 – газопровод; 13 – счетчик газа; 14 – регулировочный вентиль, 15 – U-образный манометр.

Для получения режима слоевого пульсирующего горения газа в исследуемой установке была использована горелка нового типа [5] (рис. 2). Диаметр 68 мм и толщиной 20 мм.

Горелка состоит из сердечника 1 (рис. 3), вокруг которого располагаются трубки 2, имеющие наружный диаметр на торцах больше, чем посередине и стянутые кольцом 3 с требуемым натягом. Трубки контактируют друг с другом, с сердечником и кольцом по торцам большего диаметра, благодаря чему между ними образуется полость 4 и отверстия 5, образованные за счет неплотностей контакта трубок. Сварные и паяные соединения отсутствуют, что упрощает изготовление и сборку горелки.

Задача равномерного распределения газообразного топлива по сечению резонансного канала и его смешения с топочным воздухом решается в предложенной конструкции следующим образом. Газ подается по топливопроводу (на рисунке не показан) в сердечник горелки 1, далее через отверстия в сердечнике поступает в полость 4 между трубками 2 и через отверстия 5 выходит в зону горения. Необходимый для горения воздух поступает сквозь трубки.

Северянин Виталий Степанович, профессор, д.т.н., профессор каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Тимошук Александр Леонидович, аспирант каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Горбачева Мария Григорьевна, доцент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика

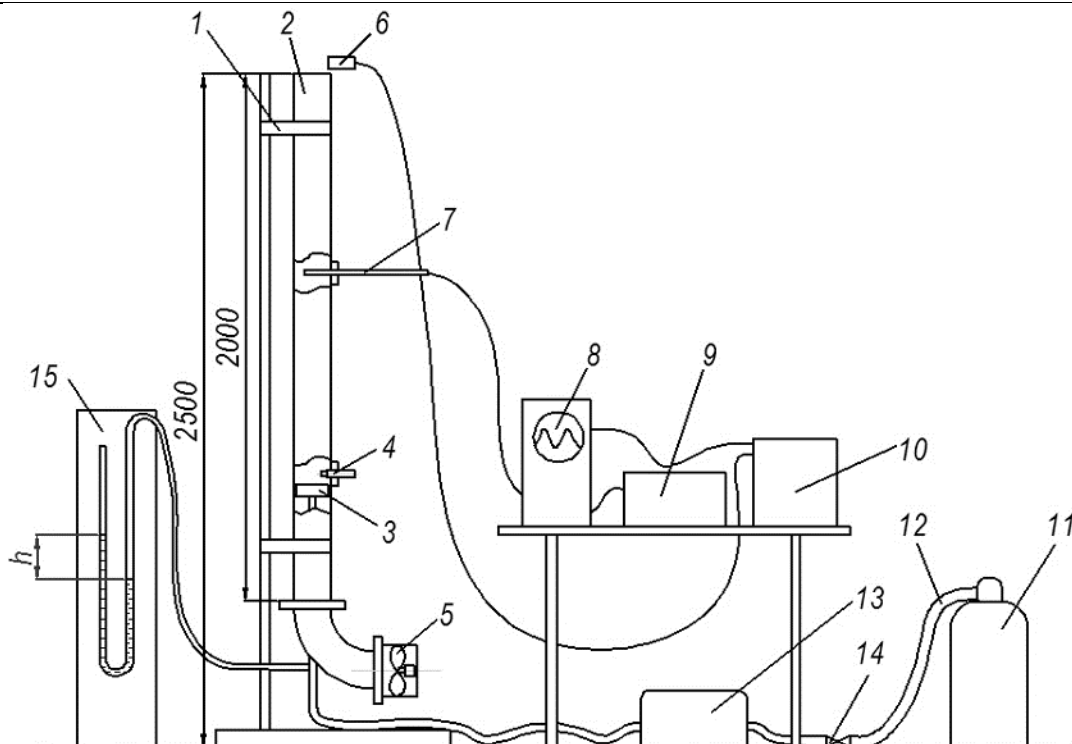


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.



Рис. 2. Горелка для СПГ газа.

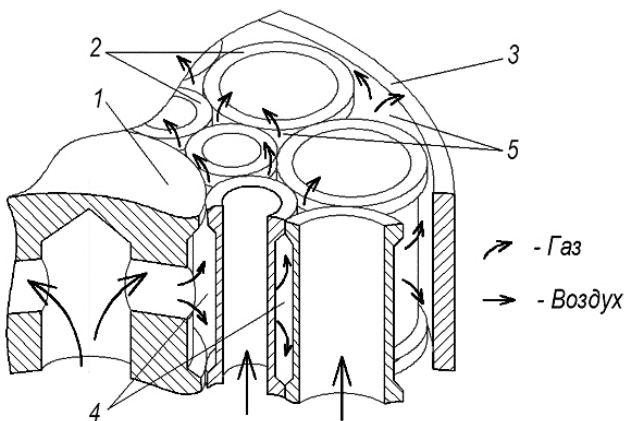


Рис. 3. Устройство и принцип действия горелки.

В качестве топлива в проведенных экспериментах использовалась пропанбутановая смесь с теплотой сгорания $Q_p^0 = 112 \pm 5$ МДж/м³. Для определения значения мгновенных расходов газа была построена экспериментальная зависимость расхода газа от избыточного давления перед горелкой (представлена на рис. 4). Измерение количества сгоревшего газа производилось при помощи счетчика газа Г-6 за определенный интервал времени. Измерение избыточного давления газа перед горелкой производилось при помощи U-образного манометра.

Зависимость расхода газа B от избыточного давления ΔP в диапазоне от 0 до 1 м³/ч с достаточной точностью может быть представлена в виде:

$$B = 0,0143 \Delta P^{0,6},$$

где B – расход газа через горелку, м³/с; ΔP – избыточное давление перед горелкой, Па. Расход газа в процессе эксперимента колебался в диапазоне от 0,1 до 1 м³/ч.

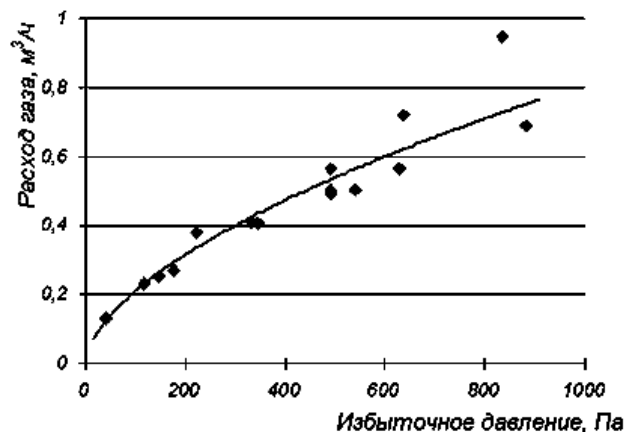


Рис. 4. Зависимость расхода газа от избыточного давления перед горелкой.

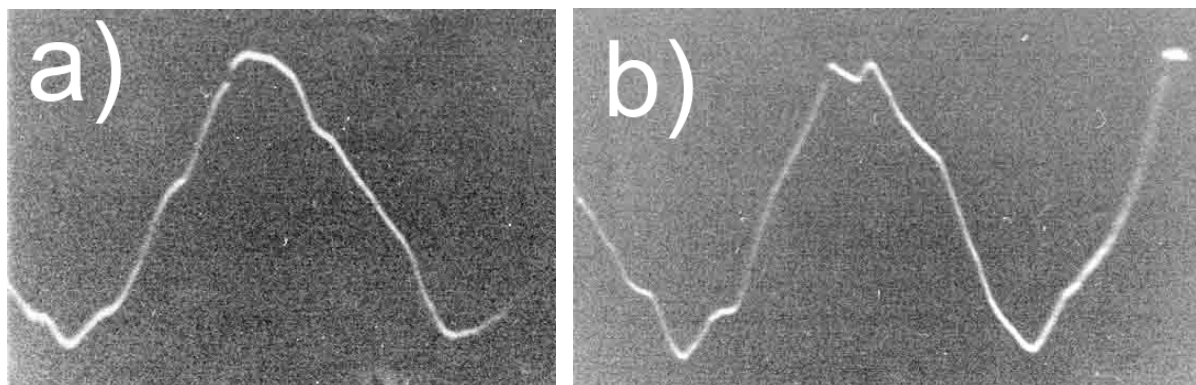


Рис. 5. Осциллограммы колебаний давления: а) – горение без дутья; б) – горение с дутьем.

Одним из отличительных признаков пульсирующего горения являются колебания давления и скорости потока газов. Возникающий при этом шум является недостатком исследуемого явления. Однако данный недостаток может быть обращен в достоинство при использовании переменного электрического сигнала от акустического датчика для управления процессом горения, в частности, для отключения подачи газа в случае затухания пламени. Особенно актуально это при горении водорода, так как водородное пламя бесцветное и для его контроля не могут быть применены фотодатчики.

В процессе эксперимента проведено измерение акустических характеристик шума при работе установки СПГ. Форма колебаний давления регистрировалась осциллографом. В качестве преобразователя акустических колебаний в электрические использовался конденсаторный микрофонный датчик. Анализ осциллограмм на рис. 4 позволяет сделать следующие выводы:

- колебания давления при СПГ по форме близки к гармоническим и могут быть с высокой точностью описаны известным уравнением: $P = P_0 + P_a \sin 2\pi f t$;
- наряду с основным тоном трубы возбуждаются и колебания высших гармоник, которые накладываются на основной тон;
- амплитуды колебаний высших гармоник существенно меньше амплитуды основного тона;
- амплитуды высших гармоник при наличии дутья больше, чем при горении без дутья;
- наличие дутья не влияет на частоты колебаний давления при СПГ газообразного топлива.

Измеренные значения уровня шума при СПГ газа представлены в таблице 1. Измерения производились на расстоянии 1 м от работающей установки (дополнительные меры для глушения шума не принимались). Тепловая мощность в момент измерений составляла 12 кВт.

Таблица 1. Уровень шума при СПГ газа

Измеряемый параметр	Шкала прибора			
	Лин	A	B	C
Уровень звуковой мощности, L (дБ)	107	87	100	107

Измеренные непосредственно у горелки значения уровня звуковой мощности составили 140 – 150 дБ. Соответствующие этим значениям амплитуды давления можно определить из соотношения:

$$P_a = 10^{\left(\frac{L}{20} + \lg P_0\right)} = 10^{\left(\frac{140}{20} + \lg(2 \cdot 10^{-5})\right)} = 200 \text{ Па},$$

что на порядок меньше амплитуд давления при факельном пульсирующем горении [2].

Для оценки влияния шума на организм человека используют характеристику «А», учитывающую неравномерную чувствительность человеческого уха к колебаниям различной частоты. С учетом данной неравномерности уровень звукового давления при работе установки СПГ составил 87 дБА, что превышает предельно допустимые уровни звука на рабочих местах [6, с.143–156] (80 дБА при средней физической нагрузке и 75 дБА в случае тяжелых нагрузок). Необходимо применение дополнительных мер по глушению шума. В качестве таких мер можно предложить:

- в конструкции следует избегать движущихся частей, а также частей с низкой жесткостью;
- использование кожуха-глушителя, работающего по принципу резонатора Гельмгольца;
- нанесение на внутренние поверхности кожуха в местах максимального излучения шума звукопоглощающего материала;

Анализируя спектр излучаемого установкой шума (на расстоянии 1 м от работающей установки) (рис. 6), можно видеть, что максимальный уровень звукового давления соответствует частоте октавного фильтра, равной 63 Гц. Теоретически частоту первой гармоники собственных колебаний газа для трубы, открытой с обоих концов, можно рассчитать из соотношения: $f = c/2l$. Для трубы длиной $l = 2,3$ м (скорость звука $c = 340$ м/с) $f = 73$ Гц.

Вместе с явно выраженной первой гармоникой, видно наличие обертонов с частотами 500 Гц и 2000 Гц, однако их амплитуды на несколько порядков меньше амплитуды первой гармоники и при технических расчетах ими можно пренебречь.

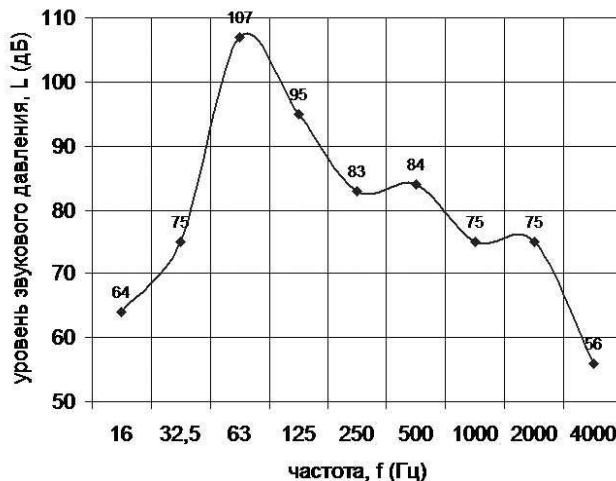


Рис. 6. Анализ шума при СПГ газа.

Таблица 2. Основные характеристики продуктов сгорания при СПГ пропан-бутановой смеси.

Режим	коэффициент избытка воздуха, α (alpha)	температура газов на выходе Тг, °С	Концентрации газов						
			O ₂ , %	CO, ppm	NO, ppm	NO _x , ppm	NO ₂ , ppm	CO ₂ , %	H ₂ , ppm
1	1,14	612,07	2,36	335,14	96,00	97,29	1,33	10,38	259,67
2	1,08	906,37	1,42	1433,50	94,83	95,83	0,98	11,14	546,75
3	1,17	256,41	3,07	106,63	58,13	58,15	0,025	10,16	81,88
4	1,11	372,54	2,12	394,56	54,56	54,56	0,000	10,70	134,67
5	1,13	101,90	2,42	107,25	60,25	60,25	0,000	10,53	38,50
6	1,16	98,69	2,84	36,29	67,57	67,57	0,000	10,29	15,29
7	1,09	101,33	1,75	602,45	69,0	69,04	0,036	10,90	400,09
8	1,23	349,76	3,90	55,00	54,00	54,16	0,16	9,68	34,80

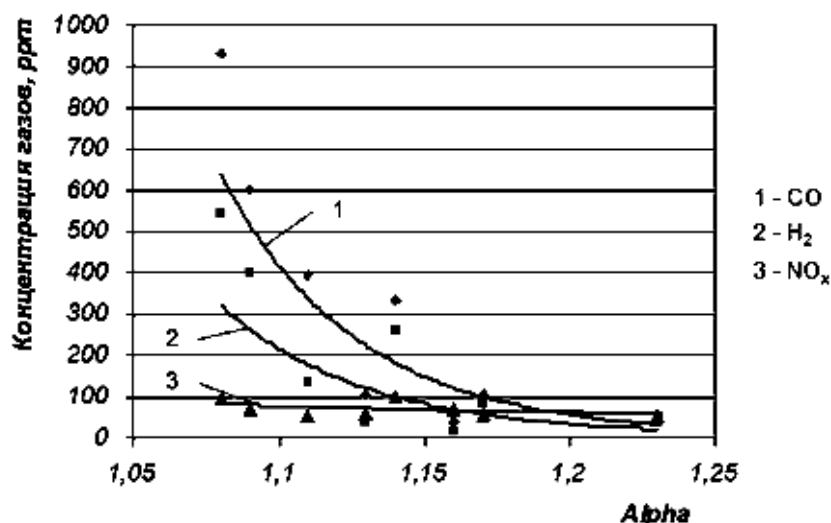


Рис. 7. Зависимость концентрации газов при СПГ газа от коэффициента избытка воздуха.

В процессе эксперимента проводилось определение концентрации в продуктах сгорания оксидов азота, углерода и серы, а также кислорода. Измерялась температура газов и коэффициент избытка воздуха. Тепловая мощность изменялась в диапазоне от 3,5 до 25,9 кВт. Устойчивый режим СПГ существовал во всем указанном диапазоне изменения тепловой мощности. Значения коэффициента избытка воздуха устанавливались изменением расхода топлива и воздуха и находились в диапазоне $\alpha = 1,05 \dots 1,25$

Газовый анализ, измерение температуры газов и коэффициента избытка воздуха производилось при помощи многофункционального прибора Testo 350 XL. Основные характеристики продуктов сгорания при СПГ приведены в таблице 2.

Режимы 3 – 8 получены при подаче воды в зону горения при помощи специального пластинчатого контактного теплообменника. Подача воды в зону горения осуществлялась для выявления возможности контактного нагрева воды при СПГ и влияния на режим горения пластинчатого теплообменника. Опыт показал, что при СПГ газа может быть осуществлен контактный нагрев воды, а пластинчатый теплообменник не оказывает отрицательного влияния на процесс СПГ, что указывает на возможность введения в резонансный канал развитых поверхностей теплообмена. При этом наблюдается значительное понижение температуры газов за теплообменником и концентрации оксидов азота в продуктах сгорания. На полноту сгорания топлива и устойчивость режима СПГ подача воды влияния не оказывала.

Влияние коэффициента избытка воздуха на концентрацию оксида углерода, водорода и оксидов азота при СПГ газа показано на рис. 7.

Из графика (рис. 6) видно, что при значениях коэффициента избытка воздуха $\alpha \leq 1,1$ значительно возрастает концентрация оксида углерода и водорода в продуктах сгорания,

что свидетельствует о неполном сгорании топлива. Однако при значениях коэффициента избытка воздуха $1,15 \geq \alpha \geq 1,2$ химический недожог резко снижается (менее 100 ppm (0,01%)), а при увеличении коэффициента избытка воздуха $\alpha \geq 1,2$ составляет лишь десятки ppm (тысячные доли процента). Видно, что концентрация NO_x практически не зависит от α и составляет 50 – 96 ppm.

Полученные экспериментальные данные позволяют приступить к проектированию различных огневых аппаратов для систем отопления и горячего водоснабжения, обладающих рядом преимуществ перед традиционными устройствами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Б.В. Раушенбах. Вибрационное горение. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961
2. В.А. Попов, В.С. Северянин, А.М. Авакумов и др. Технологическое пульсационное горение. – М.: Энергоатомиздат, 1993
3. Северянин В.С. Исследование пульсирующего горения как способа интенсификации теплотехнических процессов: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.04.— Брест, 1981.— 316 с.
4. Новосельцев В.Г. Разработка корректирующего водонагревателя со слоевым пульсирующим горением в системах теплоснабжения: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04.— Минск, 2003.— 19 с.
5. Патент ВУ 1469U, F 23D 14/00. Горелка/Северянин В.С., Тимошук А.Л.— заявл. 08.12.2003, опубл. 30.09.2004.
6. СН 9-86 РБ 98. Шум на рабочих местах. Предельно допустимые уровни // Сборник официальных документов по медицине труда и производственной санитарии: СН 9-89 РБ 98 и др.: Введ. 31.12.98 / Под общ. ред. В.С.Голуба, С.М.Соколова. Ч. VI.— Мн.: МЗ РБ, 1999 г.— 243 с.