

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

*Рассмотрены и представлены результаты лабораторных и промышленных испытаний работы газогенераторов, комбинированного типа действия, серии ГПП (газогенераторы постоянного типа действия), предназначенных для производства генераторного газа из твердых возобновляемых видов топлива. Такими видами топлива является биомасса разнообразного происхождения. В данной работе исследовалась работа газогенератора на двух видах биомассы: щепе древесины твердых пород и шелухи подсолнуха. Полученный генераторный газ применялся как вид альтернативного топлива на промышленном паровом котле ДЕ-25-14 ГМО. Соотношение природного и генераторного газов во время длительной работы котла, с переменными показателями по нагрузке, составило 70 к 30. Были сняты показатели работы комплекса газогенератор – паровой котел, по результатам, которых была составлена новая режимная карта и разработано руководство по эксплуатации комплекса. Также были оценены энергетические и экологические показатели работы котла работающего на смеси генераторного и природного газов.*

**Ключевые слова:** генераторный газ, газогенератор, замещение природного газа, газификация, биотопливо.

Потенциал биомассы в Украине составляет порядка 25 млн. тон условного топлива, что эквивалентно порядка 20 млрд. м<sup>3</sup> природного газа [1]. Стоит отметить, что не все количество биомассы пригодно к употреблению, как вид альтернативного топлива. Каждый вид биомассы требует индивидуального подхода к его использованию, как вида альтернативного топлива. Практически все виды можно применять для прямого сжигания, но многие можно газифицировать, с целью получения генераторного газа.

Генераторный газ может служить альтернативным видом газообразного топлива. Может применяться, в энергетическом и силовом оборудовании, не смотря на более низкую калорийность нежели у природного газа.

Одними из самых распространенных видов биомассы в Украине являются отходы деревообрабатывающей промышленности – как в виде щепы древесины и опилок, так и в виде пеллет, брикетов. Целесообразно использовать также отходы сельскохозяйственных зерновых культур – шелуха подсолнуха, риса, и солома зерновых культур.

Количество данной биомассы в Украине составляет порядка 15 – 20 % от общего количества биомассы в стране [2,3]. Что, в свою очередь, дает огромный потенциал как для применения данных продуктов в процессах прямого сжигания, а также в процессе газификации.

На данный момент, самым популярным процессом газификации биомассы является процесс воздушной газификации в силу своей простоты технологии и обслуживания, а также дешевизны оборудования. А для данного процесса газификации стремятся использовать наиболее дешевый вид биомассы, как правило, это не подготовленные виды биомассы в виде щепы, опилок и шелухи.

Для газификации вышеперечисленных видов сырья рекомендуется использовать двузонный газогенератор, с поэтапной газификацией биомассы, сначала в обращенном, а далее в прямом процессе газификации.

Более подробную картину процесса газификации в двузонном газогенераторе можно описать при помощи формул процессов, происходящих непосредственно внутри реакторов данного газогенератора. В зоне обращенного вида газификации, которая располагается в верхней части газогенератора, происходят следующие химические реакции [4]:



При этом выделяется большое количество теплоты. Побочными продуктами реакции окисления является образование смол и других продуктов, которые могут конденсироваться в нижней части газогенератора, где реализован прямой процесс газификации. Параллельно осуществляются неполные

процессы окисления углерода и ряд восстановительных процессов [4]:



Используя зависимости (3) – (7) можно описать процессы происходящие в зонах реакторов газогенератора.

Для оценки эффективности работы газогенератора, а также определения его КПД необходимо знать процессы термодинамики и кинетики. Что касается процессов термодинамики, то для полной картины необходимы представления о следующих видах балансов:

- баланс по углероду  $C$ ;
- баланс по водороду  $H_2$ ;
- баланс по кислороду  $O_2$ ;
- уравнения суммы молярных фракций по продуктам газа;
- тепловой баланс;
- константы протекающих реакций;
- баланс по сере  $S$ ;
- баланс по азоту  $N_2$ ;
- баланс по золе  $A^p$ ;
- баланс по аргону  $Ar$ .

Если рассматривать данный случай, с двузонным газогенератором, то для эффективной оценки термодинамики процесса достаточно нескольких балансов, которые являются наиболее определяющими.

Опытный образец экспериментального стенда представляет собой газогенераторную установку общей тепловой мощностью 3 МВт (рис.1 – 2) [5]. Тип газогенераторной установки - двузонный, который сочетает в себе два процесса газификации: обращенный и прямой соответственно. Данная газогенераторная установка представлена на рис.1 и рис.2.

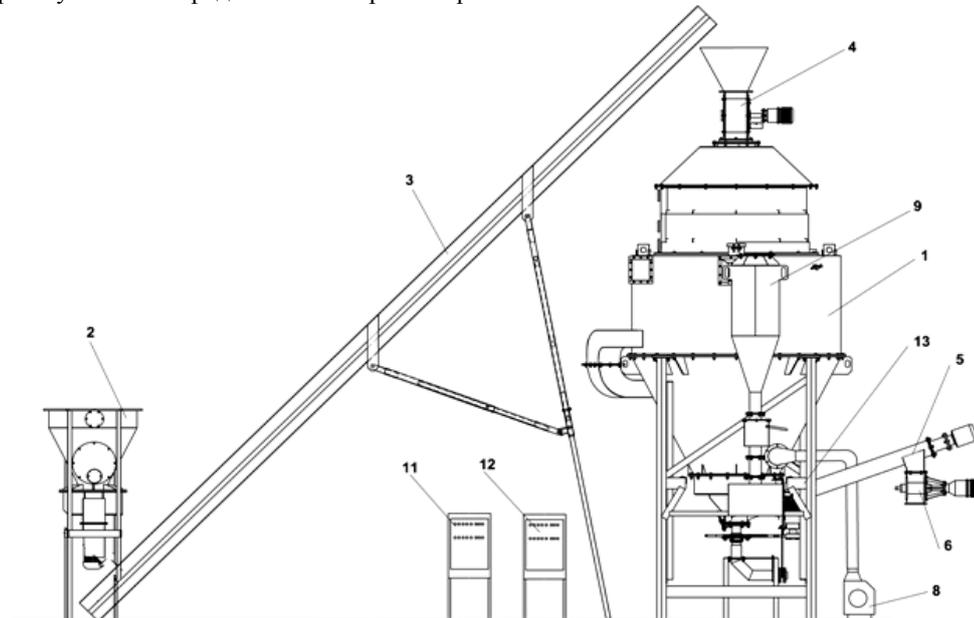


Рис.1. Общий схематический вид газогенератора серии ГТП мощностью 3 МВт.

- 1 – газогенератор комбинированного типа действия; 2 – бункер подачи твердого биотоплива;  
 3 – конвейер загрузочный; 4 – затвор шлюзовой подачи топлива в газогенератор;  
 5 – шнек выгрузки золы из газогенератора; 6 – затвор шлюзовой выгрузки золы;  
 7 – вентилятор подачи воздуха для процесса газификации; 8 – вентилятор подачи воздуха на охлаждение газогенератора; 9 – циклон; 10 – бункер золы; 11 – щит силовой; 12 – щит управления;  
 13 – рама газогенераторного комплекса.

Как видно из данной схемы топливо подается в газогенератор сверху, через шлюзовые питатели и затворы, далее биомасса попадает в зону обращенного процесса газификации, которая состоит из цилиндрической обечайки с конусообразным поясом, который предназначен для интенсификации процесса газификации и подачи воздуха в зону газификации при помощи встроенных фурм. Также процесс загрузки включает в себя загрузку зоны прямого процесса газификации, которая находится ниже зоны обращенного процесса, и представляет собой цилиндрическую обечайку, с вращающейся фрезой, которая размещена внутри обечайки по оси газогенератора. Фреза предназначена для перемешивания слоя биомассы в зоне прямого процесса газификации и для организации процесса выгрузки золы из рабочего объема газогенератора.

Данный газогенератор предназначен и рассчитан для работы на таких видах топлива, как древесная щепа, шелуха подсолнуха и пеллеты с древесины и шелухи подсолнуха. Также по расчетам данный газогенератор может работать с исходным топливом (биомассой) общая влажность которого составляет порядка 50%.

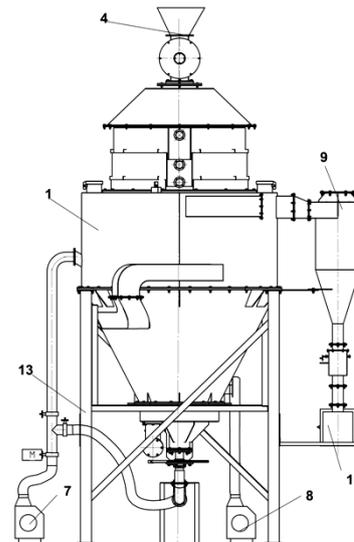


Рис.2. Фронтальной схематический вид газогенератора серии ГТП мощностью 3 МВт.

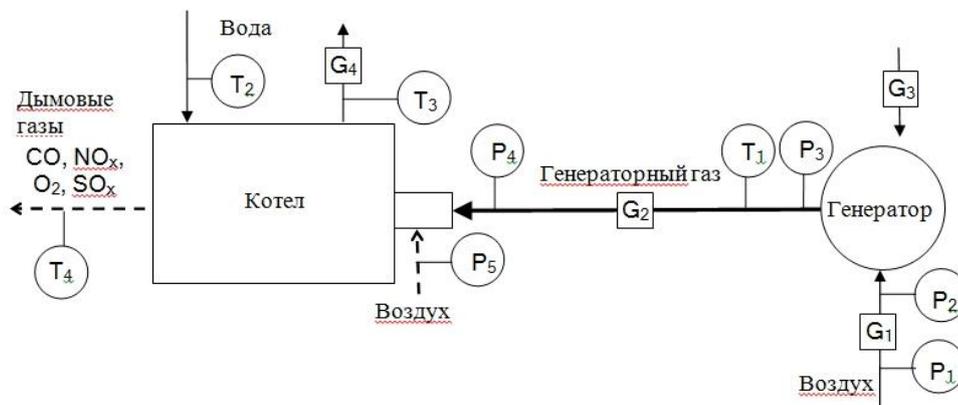


Рис.3. Схема экспериментального участка комплекса газогенератор –котел.

Из рисунка 3 можно представить схему размещения приборов контроля.

На газогенераторе установлены термопары по зонам процессов газификации, а также термопары контролирующие температуры входящего воздуха и полученного генераторного газа. Давление воздуха подаваемого в газогенератор непосредственно в зоны газификации, а также давление генераторного газа после газогенератора фиксируются при помощи мановакууметров.

Вращение фрезы газогенератора контролируется электронным частотным преобразователем, который настроен на привод вращения с определенными расчетным путем промежутками времени.

Зоны газификации газогенератора оснащены термостойкими уровнемерами, которые контролируют уровень загрузки зон газогенератора биомассой. Падение уровня топлива ниже условной нижней отметки формирует сигнал на подачу топлива. Подача завершается тогда, когда уровень превышает условную верхнюю отметку.

Двухзонный газогенератор имеет систему воздушного охлаждения корпуса, для этого используется отдельный вентилятор, на котором контролируется расход воздуха и давление. При работе газогенератора с влажным исходным топливом (биомассой), воздух нагретый после охлаждения газогенератора может подаваться в зоны газификации для соблюдения теплового баланса по утилизации теплоты газогенераторной установки.

Розжиг газогенератора проводится в ручном режиме по зонам. Остановка работы происходит при помощи отключения вентиляторов подачи воздуха.

Методика проведения эксперимента заключалась в проверке возможности работы данного газогенераторного комплекса в непрерывном режиме на таких видах альтернативного топлива, как древесная щепа и шелуха подсолнуха, с разной влажностью исходного топлива и на разных режимах работы газогенератора.

В процессе исследования контролировались температуры в зонах газификации газогенератора, также температуры воздуха подаваемого в каждую из зон, температура воздуха после охлаждения газогенератора, температура и давление генераторного газа после газогенератора и системы очистки.

Учет генераторного газа проводился используя расходомерную шайбу, а также с помощью системы автоматического пересчета количества генераторного газа на природный. Данная операция производилась для стабилизации параметров, процесса замещения природного газа генераторным.

В результате испытаний, было установлено, что оптимальные показатели работы газогенератора соблюдаются при рабочей мощности порядка 2 – 2,5 МВт, с влажностью исходного твердого биотоплива, которая не превышает 25 – 30%. При таких режимах были получены лучшие показатели составов генераторного газа, произведенного из древесной щепы твердых пород и шелухи подсолнуха, которые представлены в табл. 1 и табл. 2 [6].

Таблица 1

Состав генераторного газа

№	Компоненты	Образец – шелуха подсолнуха	Образец – щепа древесины
1	H <sub>2</sub>	9,1	7,74
2	O <sub>2</sub>	0	0
3	N <sub>2</sub>	55,85	51,96
4	CH <sub>4</sub>	2,90	3,07
5	CO	13,0	23,76
6	CO <sub>2</sub>	11,96	9,70
7	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,83	0,89
8	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,26	0,21
9	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,59	0,04
10	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,30	0,18
11	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,03	0,06
12	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,05	0
13	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,17	0,13
12	H <sub>2</sub> O	1,96	2,26
	Σ	100	100

Таблица 2

Энергетические показатели генераторного газа

Параметры	Образец – шелуха подсолнуха	Образец – щепа древесины
Низшая теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	6779,4	5949,8
Стехеометрический коэффициент	1,49	1,29
Теоретическая температура горения, К	1979,7	1921,5

Основным критерием работоспособности комплекса газогенератор – котел, является бесперебойная эксплуатация парового котла ДЕ-25-14 ГМО, которая должна соответствовать технологическому процессу предприятия, на котором он установлен. Экспериментальным путем было установлено наилучшее соотношение смеси природного и генераторного газа, которое составило величину 70 к 30 % по объемному расходу, необходимому для поддержания стабильно работы котла. Для реализации сжигания смеси природного и генераторного газов, а также отдельного их сжигания было разработано горелочное устройство [7]. По результатам испытаний была разработана новая режимная карта котла ДЕ-25-14 ГМО при работе двух газов (табл.3.)

Режимная карта парового котла ДЕ-25-14 ГМО

№	Обозначение	Символ	Единица измерения	Нагрузка			
				23 %	33 %	39 %	50 %
1	Расход пара	$D_{\text{пара}}$	т/час	5,7	8,3	9,7	12,4
2	Давление пара	$P_{\text{пара}}$	МПа	1,2	1,2	1,2	1,2
3	Расход природного газа	$V_{\text{п.газ}}$	м <sup>3</sup> /час	320	510	616	814
4	Расход генераторного газа	$V_{\text{г.газ}}$	м <sup>3</sup> /час	800	800	800	800
5	Низшая теплота сгорания природного газа	$Q_{\text{п.газ}}$	кДж/м <sup>3</sup>	33855,2	33855,2	33855,2	33855,2
6	Низшая теплота сгорания генераторного газа	$Q_{\text{г.газ}}$	кДж/м <sup>3</sup>	5078,3	5078,3	5078,3	5078,3
7	Коэффициент избытка воздуха	$\alpha$		1,76	1,61	1,53	1,5
8	Содержание оксида углерода	СО	мг/м <sup>3</sup>	80	62	56	50
9	Содержание оксида азота	NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	120	132	140	148
10	Коэффициент полезного действия котла	$\eta$	%	90,2	91,7	92,3	92,7

Оценка влияния частичного замещения природного газа генераторным, в рамках опытно-промышленной эксплуатации котла ДЕ 25 – 14 ГМО, показала, что при нагрузках ниже номинальных подача генераторного газа практически не влияет на КПД котла (рис.4.) [8]. Полученный результат подтверждает возможность эффективного замещения природного газа биотопливом путем газификации.

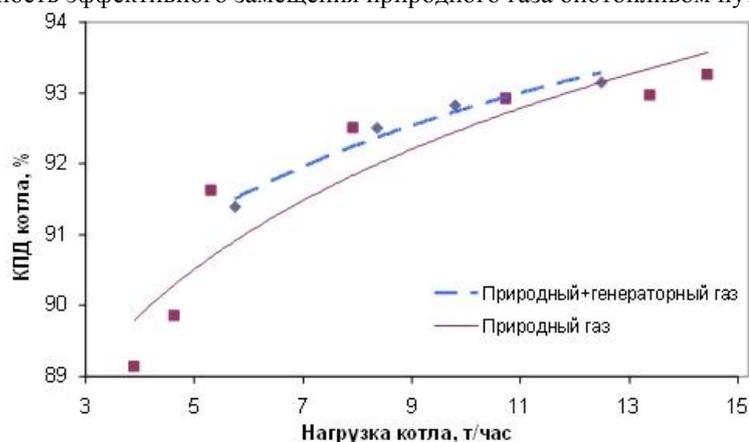


Рис.5. Показатели КПД котла в зависимости от общей нагрузки при работе на природном газе и на смеси природного и генераторного газов

Полученные опытным путем результаты показали, что работа котла на смеси природного и генераторного газов не ухудшает экологические показатели данного котла и не превышает разрешенные нормативами величины выбросов (табл.4, табл.5.) [8].

Таблица 4

Экологические показатели работы парового котла ДЕ-25-14 ГМО на природном газе

Нагрузка котла, т/час	Коэффициент избытка воздуха	СО, мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	СО приведенное, мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> приведенное, мг/м <sup>3</sup>
4,64	1,76	56	136	85,7	208,13
5,32	1,71	50	142	74,3	211,14
7,93	1,61	46	148	64,4	207,2
10,73	1,53	41	151	54,5	200,9
13,78	1,5	38	154	49,56	200,86
14,45	1,5	30	158	39,13	206,1

Экологические показатели работы котла ДЕ-25-16 ГМО на смеси природного и генераторного газов

Нагрузка котла, т/час	Коэффициент избытка воздуха	CO, мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> , мг/м <sup>3</sup>	CO приведенное, мг/м <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> приведенное, мг/м <sup>3</sup>
5,75	1,76	80	120	122,4	183,65
8,34	1,61	62	132	86,8	184,8
9,8	1,53	56	140	74,5	186,26
12,49	1,5	50	148	65,2	193,04

#### Выводы.

Замещение природного газа генераторным, возможно в разного рода энергетическом агрегате. При этом необходимо провести реконструкцию горелочного устройства, разработать систему подачи генераторного газа и автоматику.

Промышленные показатели объектов, на которых осуществлена реконструкция, подтверждают значительное снижение потребления природного газа за счет замещения его генераторным, выработанным из местных видов топлива. Получен опыт замещения углеводородного топлива генераторным газом в промышленном котле. Внедренная технология позволила сократить потребление природного газа на данном котле до 60 тыс. м<sup>3</sup>/месяц и производить древесный уголь в объеме до 20 т/месяц.

#### Список литературы.

1. Карп І.М. Можливі обсяги економії та заміщення природного газу в Україні/ Карп І.М., П'яних К.Є. // *Енерготехнології и ресурсосбережение*, научно-технический журнал – 2012 - №1 – с. 16-22.
2. Гелетуха Г.Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса./ Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.І.// *Пром. Теплотехника* – 2010 – т.32, №6 – с.58-65.
3. Гелетуха Г.Г. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз./ Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.І.// *Пром. Теплотехника* – 2011 – т.33, №3 – с.57-64.
4. Дешалит Г.И. Расчеты процессов газификации топлива./ Дешалит Г.И. – Харьков.: Издательство Харьковского Ордена Трудового Красного Знамени Государственного университета им. А.М. Горького, 1959.
5. Пат. 34150 Україна, МПК(2006) С 10 J 3/00, С 10 В 53/00. Газифікатор твердого палива комбінований/ Луцик О.О., П'яних К.Є., Дятченко В.М., Цимбаленко В.М., Цимбаленко М.В.; заявник і власник – Луцик О.О., П'яних К.Є., Дятченко В.М., Цимбаленко В.М., Цимбаленко М.В. – опубл. 25.07.2008, Бюл.№14.
6. Сравнение технологических характеристик газогенераторов воздушной газификации по результатам промышленной эксплуатации./ Тез. докл. Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность – 2013» // Антошук Т.А., Пьяных К.Е. – 14-16 октября 2013 г, Киев, Украина – с. 76
7. Пат. 106333 Україна, МПК F 23 D 14/02. Пальниковий пристрій для спалювання природного та генераторного газів / Карп І.М., П'яних К.Є., Антошук Т.О., Лисенко А.А. ; заявник і власник – Інститут газу Національної академії наук України – опубл. 11.08.14, Бюл. №15.
8. Опыт использования генераторного газа из биотоплива в промышленном котле ДЕ-25-14 ГМО. / Тез. докл. Международной научно-технической конференции «Энергоэффективность – 2013» // Антошук Т.А., Пьяных К.К., Лысенко А.А. – 14-16 октября 2013 г, Киев, Украина – с.73-75.

**Т.А. Antoshchuk, К.Е. Pyanykh**

**The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine**

#### **THE ANALYSIS OF RESULTS OF INDUSTRIAL OPERATION OF COMBINED TYPE GASIFIER**

*There are considered and presented the results of laboratory and industrial tests of functioning of gasifiers of combined type – GTP series (gasifiers of permanent type of action), intended for production of producer gas from solid renewable fuels. Such biomass is received from different origin. In this work was investigated operation of gasifier working on two types of biomass: chips of solid wood and sunflower husk. The*

received producer gas was used as alternative fuel in industrial steam boiler DE-25-14 GMO. The ratio of natural and producer gases during continuous operation of the boiler with variable exponents of the load, was 70 to 30.. There were taken all operational parameters of complex 'gasifier - steam boiler', according to the results there was drawn up new regime chart for boiler and set up the basic operation mode for the complex management. There were also evaluated energy and environmental indexes of boiler operation on producer and natural gas, the received results satisfy all the operation requirements for the given boiler.

**Keywords:** producer gas, gasifier, natural gas substitution, gasification, biofuels.

1. Karp I.M. Mozhlyvi obsyagy ekonomii ta zamishchennya pryrodnoho gazu v Ukraini / Karp I.M., Pyanykh K.E.//Energotehnologii i resursosberezenie – 2012 - №1 – p. 16-22.
2. Geletukha G.G. Otsinka energetychnogo potentsialu biomasy v Ukraini. Chastyna 1. Vidkhody silskogo gospodarstva ta derevna biomasa/ Geletukha G.G., Zhelyezna T.A., Zhovmir M.M., Matveev Yu.B. and Drozdova E.I. // Prom Teplotekhnika – 2010 – V. 32, № 6 – p.58-65.
3. Geletukha G.G. Otsinka energetychnogo potentsialu biomasy v Ukraini. Chastyna 2: Energetychni kultury, ridki biopalyva, biogaz. / Geletukha G.G., Zhelyezna T.A., Zhovmir M.M., Matveev Yu.B. and Drozdova E.I // Prom Teplotekhnika – 2011 – V. 33, № 1 – p. 57-64.
4. Deshalit G.I. Raschety protsessov gazifikatsii topliva / Deshalit G.I. – Kharkiv.: Izdatelstvo Kharkovskogo Ordena Trudovogo Krasnogo Znameni Gosudarstvennogo Universiteta im. A.M. Gorkogo, 1959.
5. Patent 34150 Ukraine, IPC (2006) C 10 J 3/00, C 10 B 53/00. Gasifikator tverdogo palyva kombinovany/ Lutsyk O.O., Pyanykh K.Ye. Diatchenko V.M., Tsymbalenko V.M., Tsymbalenko M.V.; applicant and owner – Lutsyk O.O., Pyanykh K.Ye. Diatchenko V.M., Tsymbalenko V.M., Tsymbalenko M.V. – Publ. 25.07.2008, Bul.№14.
6. Sravnenie tekhnologicheskikh kharakteristik gazogeneratorov vozduшной gazifikatsii po rezul'tatam promyshlennoy ekspluatatsii./ Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Energoeffektivnost – 2013" // Antoshchuk T.O., Pyanykh K.E. – 14-16 October 2013, Kyiv, Ukraine – p. 76
7. Patent 106333 Ukraine, IPC F 23 D 14/02. Palnykovyy prystriy dlya spaluyvannya pryrodnoho ta generatornogo gaziv / Karp I.M., Pyanykh K.Ye., Antoshchuk T.O., Lysenko A.A.; applicant and owner – The Gas Institute of National Fcdfemy of Sciences of Ukraine – Publ. 11.08.14, Bul. №15.
8. Opyt ispolzovaniya generatornogo gaza iz biotopliva v promyshlennom kotle DE-25-14 GMO. / Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Energoeffektivnost – 2013" // Antoshchuk T.O., Pyanykh K.K., Lysenko A.A. – 14-16 October 2013, Kyiv, Ukraine – p.73-75.

УДК 662.76, 662.61.004

Т.О. Антошук; К.Є. П'яних, канд. техн. наук

Інститут газу Національної академії наук України

#### АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОМИСЛОВОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОГЕНЕРАТОРА КОМБІНОВАНОГО ТИПУ

*Розглянуті та представлені результати лабораторних і промислових випробувань роботи газогенераторів, комбінованого типу дії, серії ГТП (газогенератор постійного типу дії), призначених для виробництва генераторного газу з твердих відновлювальних видів палива. Такими видами палива є біомаса різноманітного походження. В даній роботі досліджувалась робота газогенератора на двох видах біомаси: трісці деревини твердих порід та лушпинні соняшника. Отриманий генераторний газ застосовувався як вид альтернативного палива на промисловому паровому котлі ДЕ-25-14 ГМО. Співвідношення природного та генераторного газів під час довготривалої роботи котла, з перемінними показниками за навантаженням, склали 70 до 30. Були зняті показники роботи комплексу газогенератор-паровий котел, за результатами котрих була розроблена нова режимна карта котла і створені керівництва з експлуатації комплексу. Також були оцінені енергетичні та екологічні показники роботи котла, працюючого на суміші природного та генераторного газів.*

**Ключові слова:** генераторний газ, газогенератор, заміщення природного газу, газифікація, біопаливо.

Надійшла 01.12.2014

Received 01.12.2014