

УДК 697.1(107,697.03:5(107)

**Мусаев А.М.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [posohin@kgasu.ru](mailto:posohin@kgasu.ru)

**Сафиуллин Р.Г.** – кандидат технических наук, доцент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## ПУТИ БЕЗДЫМНОГО СЖИГАНИЯ СБРОСНЫХ ГАЗОВ С ПЕРЕВОДОМ ЧАСТИ ФАКЕЛЬНОГО ТЕПЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются нововведения в систему бездымного факельного сжигания сбросных газов и возможности преобразования факельного тепла в электричество.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экология, энергосбережение, Бунзеновские факела, гетерогенные процессы, диффузное смешение, ЭДС, электричество.

**Musaev A.M.** – candidate of technical sciences, associate professor

**Safiullin R.G.** – candidate of technical sciences, associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## THE WAYS OF SMOKELESS FLARING OF WASTE GASES WITH TRANSFER OF TORCH HEAT INTO ELECTRICITY

### ABSTRACT

The innovations in the system of smokeless flaring of waste gases and the possibility of transforming the torch heat into electricity are considered.

**KEYWORDS:** ecology, energy saving, Bunsen flame, heterogeneous processes, diffuse mixing, EMF, electricity.

В нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической промышленности при аварийных сбросах и ремонте технологического оборудования выбор факельных установок осуществляется по отработанным десятилетиями каталогам, не учитывая современные требования по сокращению узлов выбросов и совершенствованию оставленных в эксплуатации [1]. В основном эксплуатируемые производствами факельные установки используют диффузионный режим с привлечением первичного объема воздуха ( $\alpha'$ ) эжекционными способами за счет кинетической энергии самого сбросного газа. Эти способы нашли применение в периоды 1970-1976 годы и по настоящее время [2, 3].

В последние годы появляются предложения по сжиганию сбросных газов спутного типа, делящих газовый поток на отдельные струи, в которые спутно подсасываются потоки воздуха из атмосферы и частично за счет рециркуляции путем установки плохообтекаемых тел [4]. Общим недостатком этих систем является то, что при залповых выбросах в среде плотной газовой струи процесс диффузии замедляется, выбросы сгорают в гетерогенном режиме.

Предлагаемое устройство является модульным и направлено на повышение эффективности сжигания сбросных газов в открытой атмосфере, снижение выбросов в атмосферу вредных продуктов неполного сгорания и преобразования факельного тепла в электричество.

Схема предлагаемого модуля показана на рис. 1. В устройстве для принудительного сжигания сбросных газов, содержащем трубу Вентури с установленной в ней соосно газоподводящей трубой с конусным выходом, согласно изобретения газоподводящая труба снабжена раструбом, перекрывающим горловину трубы Вентури, на раструб установлен конус с рассечками. Труба Вентури выполнена двустенной, полый, основанием установлена на вентиляционный тор-короб, соединенный с распределительными трубами вентиляционного коллектора. Внутренняя стенка трубы Вентури выполнена также с рассечками, смещенными относительно рассечек конуса газоподающей трубы по принципу гребенки [5]. Площадь рассечек на конусе равна площади сечения газоподающей трубы, а общая площадь рассечек на внутренней поверхности трубы Вентури должна быть достаточной для подачи расчетного объема воздуха.

На верхнем торце трубы Вентури установлено жаростойкое кольцо 5. По периметру трубы Вентури 4 расположены дежурные факелы 6. Труба Вентури в своей нижней части опирается основанием кольцевым зазором на вентиляционный тор-короб 7, соединенный с распределительными трубами 8, подающими воздух от вентиляционного коллектора 9 с нижней части установки.

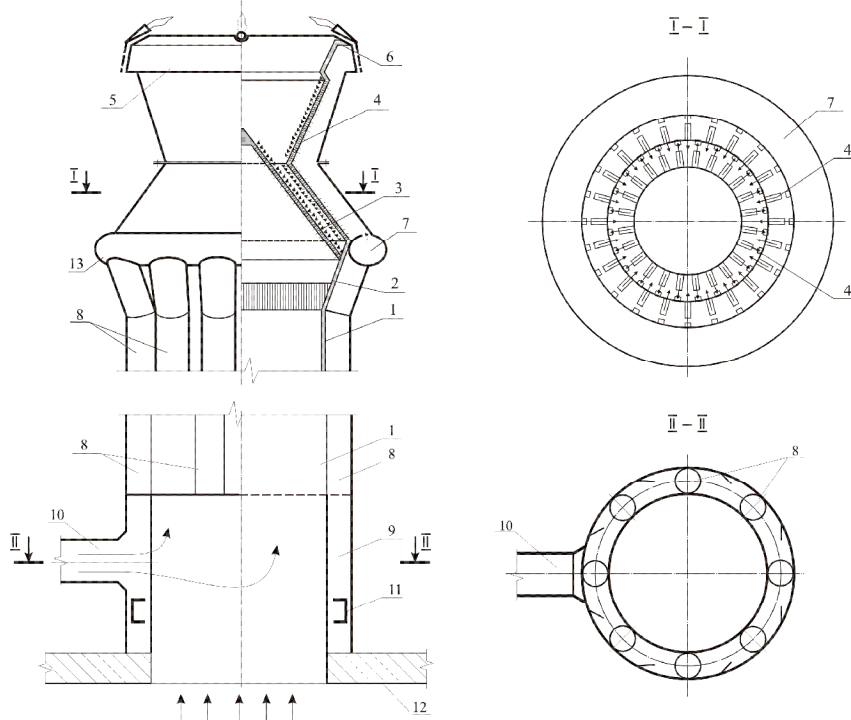


Рис. 1. Факельное устройство принудительного сжигания сбросных газов:

- 1 – газоподводящая труба; 2 – раструб; 3 – конус с рассечками;
- 4 – труба Вентури двустенная, внутренняя стенка с рассечками по образцу рассечек в конусе;
- 5 – жаростойкое кольцо; 6 – дежурные факелы; 7 – вентиляционный тор-короб;
- 8 – распределительные трубы воздуха; 9 – вентиляционный коллектор;
- 10 – патрубок подсоединения тягодутьевой установки; 11 – регулируемые створки;
- 12 – установочная платформа; 13 – огнепреградитель

Вентиляционный коллектор оснащен нормально открытыми створками и патрубком для подключения тягодутьевой установки. Створки 11 коллектора 9 предназначены для создания естественной тяги и при работе устройства в расчетном (штатном) режиме открыты. При включении тягодутьевой установки (аварийный случай) створки 11 под давлением воздуха закрываются, турбулизированный газозвушной поток выбрасывается в верхнюю часть трубы Вентури, где находятся дежурные факелы 6. Масса турбулизированной газозвушной смеси воспламеняется по всему объему и горит в начальном кинетическом режиме, так как отсутствует центральный жестко сформированный центр факела. Зная сочетание приблизительного состава газа и воздуха, можно регулировать первичный объем воздуха ( $\alpha'$ ) тягодутьевой установкой.

Таким образом создаются условия для регулирования подвода воздуха в основание газового факела и турбулирования его во всем объеме, не оставляя зон для гетерогенных процессов при сжигании большого объема газа в диффузионном режиме. Предлагаемое устройство позволяет в значительной мере повысить эффективность сжигания сбросных газов в режиме Бунзеновского факела и снизить выброс в атмосферу продуктов неполного сгорания и канцерогенов.

Дальнейшая модернизация факельного оголовка позволяет сочетать сжигание сбросных газов в открытой атмосфере с частичной утилизацией тепловой энергии путем преобразования ее в электричество. Этому способствовали некоторые особенности конструкции устройства факела, позволившие смонтировать в оголовке модернизированный термоэлектрический генератор. Тем не менее, первичным фактором являлась стабильность и полнота сжигания газовых выбросов в коротких факелах (рис. 2).

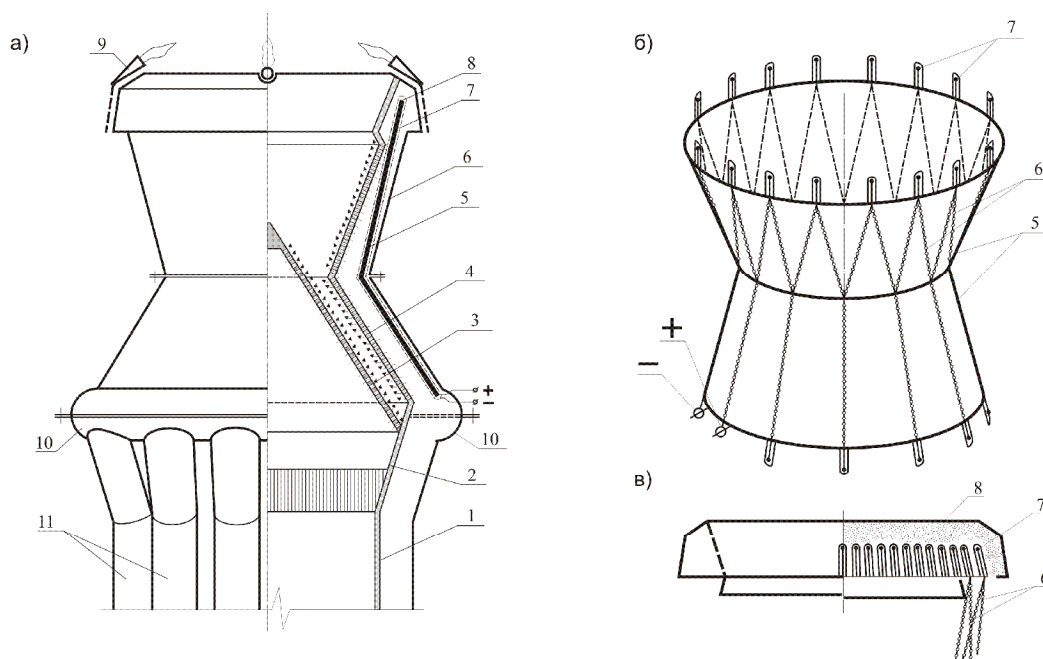


Рис. 2. Модуль преобразования факельного тепла в электричество:

- 1 – труба сбросного газа; 2 – раструб, перекрывающий основание трубы Вентури;  
 3 – конус с рассечками; 4 – труба Вентури с рассечками; 5 – корзина из пористого вспененного стекла;  
 6 – проводники термопар; 7 – изолированные горячие спаи; 8 – жаростойкое полое кольцо;  
 9 – дежурные факелы; 10 – вентиляционный тор-короб; 11 – распределительные вентиляционные трубы

Предлагаемая модель имеет целью утилизацию тепловой энергии с преобразованием ее в электричество [6]. Наиболее близкими к ней по технической сущности и достигаемому эффекту являются устройства на основе термоэлектрических преобразователей тепла в электричество, использующих эффект возникновения напряжения на стыке двух различных металлов – «эффект Зеебека». Напряжение в этом случае пропорционально разности температур между горячими и холодными спаями «термопары». Массив последовательно соединенных термопар известен как «термобатарея».

Однако опыт использования термобатарей для выработки электроэнергии на промышленных объектах до сих пор практически отсутствует, хотя термопары широко используются для измерения неэлектрических величин в устройствах автоматического контроля. Это можно объяснить тем, что «эффект Зеебека» при преобразовании тепла в электричество требует значительных затрат тепловой энергии при весьма низкой эффективности работы отдельно взятых стыков двух различных металлов. При вынужденном сжигании сбросных газов тепло, выбрасываемое в открытую атмосферу, неисчерпаемо велико. Его количество не может быть критерием, ограничивающим любые опытные работы по возврату хотя бы части этих колоссальных тепловых потерь.

В настоящее время существует достаточное число апробированных систем термопар, и их использование определяется производственной необходимостью и заявленной нагрузкой потребления [7]. На рис. 2 б показана схема расположения на монтажной корзине одной из термобатарей с выводом полюсов на сборные шины. Верхние спаи выводятся в зону высоких температур в термостойкое кольцо, нижние холодные спаи опускаются в зону интенсивного обдувания воздухом из тора-короба.

В верхней части трубы Вентури установлено полое термостойкое кольцо, внутренняя полость которого заполнена шамотной глиной, в которую затоплены фарфоровые «пробирки» с изолированными горячими спаями. Вывод разнородных проводников осуществляется раздельно по отдельным батареям на нижнюю монтажную корзину.

Внутри трубы Вентури 4 в двустенной зоне смонтирована корзина 5 из пористого вспененного стекла, на внешней поверхности которой смонтированы изолированные проводники термопар 6 (рис. 2 в). Холодные спаи опускаются до внутренней полости вентиляционного тор-короба 10 и постоянно обдуваются подаваемым воздухом, что обеспечивает высокую разность

температур между горячими и холодными узлами и, соответственно, пропорциональное ей высокое напряжение и электродвижущую силу (ЭДС) установки.

По мере установления устойчивого горения факела термостойкое кольцо 7 нагревается до высоких температур ( $> 800$  °С), так же, как и горячие спаи термопар, находящиеся в фарфоровых изоляторах и защитном слое шамотной глины. Проводники разной полярности, последовательно собранные в цепь каждой термобатареи, передают ЭДС от холодных спаев на сборные шины. Таким образом, предлагаемое устройство – модуль преобразования выбрасываемого в атмосферу факельного тепла в электричество – позволяет частично утилизировать и возвращать в производство в виде электричества тепловую энергию от сжигания сбросных газов в открытой атмосфере. При этом повышается эффективность сжигания и снижаются выбросы в атмосферу продуктов неполного сгорания.

### Заключение

Предложено техническое решение по бездымному сжиганию углеводородных и сбросных газов в режиме принудительного бунзеновского факела, решающее вопросы экологии и сокращения выбросов и эмиссии парниковых газов. Конструктивные особенности разработанного факельного оголовка позволяют монтировать термоэлектрические генераторы, позволяющие преобразовывать факельное тепло в электричество.

На основе модульных факельных установок могут формироваться инновационные проекты по использованию сбросного факельного тепла с переводом их в категорию возобновляемых источников энергии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ООО Нефтехиммаш – ТТО (каталог факелов). <http://tto.webzone.ru/ranalog-fakelow>.
2. Изобретение Франция № 2304856, кл. F23G7/00, 1976.
3. Патент США № 3954386, Кл. 431/285, МПК F23G9/00, 1976.
4. <http://www.technotecs.ru/fakel-tech>.
5. Патент РФ № 2387927. Мусаев А.М., Немов В.Г. Устройство для принудительного сжигания сбросных газов. 27.04.2010.
6. Заявка № 2010140779/07 (058464) от 05.10.2010. Мусаев А.М. Модуль преобразования выбрасываемого в атмосферу факельного тепла в электричество.
7. Термопреобразователи сопротивления. ГОСТ 6651-94. Общие технические требования и методы испытаний; ГОСТ 6616-94. Общие технические условия, а также рекомендации по правильному выбору термопреобразователей, их установке, подключению и обслуживанию.

### REFERENCES

1. Neftehimmmash Ltd. - TTO (torches catalogue). <http://tto.webzone.ru/ranalog-fakelow>.
2. Invention France № 2304856, cl. F23G7/00, 1976.
3. U.S. patent number 3954386, Cl. 431/285, IPC F23G9/00, 1976.
4. <http://www.technotecs.ru/fakel-tech>.
5. Patent RF № 2387927. Musaev A.M., Nemov V.G. A device for the forced combustion of waste gases. 04/27/2010.
6. Application № 2010140779/07 (058464) on 5/10/2010. Musaev A.M. A module for converting emitted into the atmosphere torch heat into electricity
7. Resistance thermometers. GOST 6651-94. General technical requirements and test methods; GOST 6616-94. General specifications. Recommendations for proper selection of thermocouples, their installation, connection and maintenance.