

References

1. Piore L.S., Olabin V.M. About ignition of combustible mixture with is blowing into melt. *Teorija i praktika szhiganiya gaza*, 1975, (4), pp. 187–192. (Rus.)
2. Pat.1148 Ukr., МПК⁵ S 03 V 5/16. The method of heating of bubbling furnaces for producing of mineral meet and submerged combustion burner. Olabin V.M., Maksymuk O.B., Piore L.S. Publ. 1993, Bul. № 3. (Ukr.)
3. Olabin V.M. Investigation, design and industrial use of burners for burn off gas fuel into melt : Avtoreferat dissertacii, Kiev, 1973, 166 p. (Rus.)
4. Olabin V.M. Investigation of gas dynamics slit burning camera with two opposite accommodate jets. *Ispol'zovanie prirodnogo gaza v promyshlennosti*. Kiev : Naukova Dumka Publ., 1976, pp. 9–15. (Rus.)
5. Lefebvre A.H. Factors affecting mixture entrainment in bluffbody atabilized flame. *Combustion and Flame*, 1966, (10), pp. 231–239.
6. Maksymuk A.B., Olabin V.M. The investigation hydraulic operation stability of multi-nozzle submerged combustion burner in bubbling regime. *Energotekhnologii i Resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2012, (1) pp. 59–63. (Rus.)

Received July 1, 2013

УДК 666.09.4

Торчинский А.И., канд. техн. наук, Ляшко А.Ю.

Институт газа НАН Украины, Киев

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

**Перевод туннельной печи для термоиспытаний
стеклянных изделий с электрического обогрева
на обогрев природным газом**

Рассмотрены основные особенности конструкции печей для термических испытаний стеклянных изделий. Приведено технико-экономическое обоснование перевода печи с электрического нагрева изделий на нагрев природным газом. Рассмотрены две схемы установки газогорелочных устройств на печи, а также основные отличия предложенных схем работы агрегата на природном газе. Выполнены технические мероприятия для улучшения технико-экономических показателей работы рассматриваемого агрегата. Установленный комплекс оборудования предусматривает безопасную эксплуатацию и полностью автоматическое регулирование теплового процесса. Предлагаемые технические решения дают возможность улучшить равномерность термической обработки продукции. *Библ. 6, рис. 2, табл. 1.*

Ключові слова: печь, термические испытания стеклянных изделий, скоростное газогорелочное устройство серии ГС, равномерность нагрева.

Печь термических испытаний является ключевым агрегатом в технологической линии производства стеклянных изделий. В печи создаются условия, в которых тепловой удар приводит к разрушению бракованных деталей.

В современных печах этого типа используются следующие типы нагрева изделий.

1. Электрическое нагревание.

Печь термоиспытаний состоит из секций нагрева и охлаждения. В секциях нагрева устанавливаются панели с электрическими трехфа-

зовыми реостатами высокой эффективности. Нагревательные элементы обдуваются воздухом для гарантии максимального теплообмена.

2. Непрямое нагревание.

Средством нагревания являются радиационные трубы, расположенные в зонах печи, которые используются в качестве теплообменников. Они состоят из трубы, согнутой в виде буквы U, из жаропрочной стали и имеют на одном конце горелку, которая их питает, а на другом — трубу выброса дымовых газов. С по-

мощью системы непрямого нагревания можно использовать разные виды горючего: любой тип газа или газойля. Трубы выбрасывают дымовые газы через верхнюю часть печи, где они собираются двумя коллекторами.

3. Прямое нагревание.

Данная система задействована почти на всех печах нагрева и отжига, так как с ее помощью достигается лучшее соотношение «производительность — потребление топлива». В зависимости от давления газа в цехе можно устанавливать такие горелки: среднего давления инжекционные, крайне простые по причине отсутствия вентилятора для производства воздуха на горение; низкого и среднего давления двухпроводные (с вентилятором).

4. Смешанное нагревание.

Секции в состоянии функционировать в комбинированных условиях работы «газ — электроэнергия».

На сегодняшний день разработки такого типа имеют следующие ведущие предприятия: Antonini (Италия), Weishaupt (Германия), ООО «Стекломаш Орел» (Российская Федерация).

Стремление ООО «Львовская изоляторная компания» к всесторонней экономии финансовых ресурсов стимулировало (до начала реконструкции) изучение эффективности применения природного газа вместо электроэнергии для нагрева стеклянных изоляторов.

Значительная часть вырабатываемой в Украине электроэнергии используется в промышленных печах производства «чистой» продукции (фарфоровые и фаянсовые изделия, стеклянные изделия и т.д.). Это исключает попадание на изделия каких-либо загрязнений, которые могут быть в продуктах сгорания твердого топлива, мазута, сернистого газа и т.д. Применение электроэнергии в процессах нагрева изделий обусловлено следующими основными преимуществами: возможностью достижения достаточно высоких температур; отсутствием загрязнения нагреваемого изделия; легкостью и точностью регулирования теплового процесса.

Если сравнивать электрические печи с печами, работающими на твердом топливе или на мазуте, то указанные преимущества справедливы. Однако если сравнивать электрические печи с печами, работающими на природном газе, то все вышеуказанные преимущества нивелируются: при сжигании природного газа достигаются высокие температуры; в продуктах сгорания отсутствуют какие-либо загрязнения, которые могут испортить внешний вид изделий; процессы нагрева изделий в настоящее время полно-

стью автоматизированы, поэтому обеспечивается значительная точность регулирования теплового процесса.

Стоимость ремонта газовых печей в 2 раза меньше, чем электрических [1], а затраты на строительство электропечей в 2 раза превышают затраты на строительство газовых печей [2].

Качественные показатели процесса нагрева с использованием природного газа не уступают таковым с использованием электронагрева. Однако вопрос об экономической эффективности использования указанных энергоносителей требует особого рассмотрения.

Минимальная стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, поставляемой на предприятия Украины, составляет 0,87 грн. Стоимость 1 кВт·ч природного газа составляет:

$$1 \cdot q / Q_{\text{P}_H} \cdot \text{Ц} = 1 \cdot 860 / 8000 \cdot 4 = 0,43 \text{ грн},$$

где q — тепловой эквивалент 1 кВт·ч электроэнергии, $q = 860$ ккал; Q_{P_H} — низшая теплота сгорания природного газа, $Q_{\text{P}_H} = 8000$ ккал/м³; Ц — стоимость 1 м³ природного газа в Украине, $\text{Ц} = 4$ грн.

То есть стоимость 1 кВт·ч электроэнергии выше стоимости 1 кВт·ч природного газа в $0,87 / 0,43 = 2,02$ раза.

В России (в частности, для Москвы и Московской обл.) стоимость 1 кВт·ч поставляемой электроэнергии составляет 3,37 руб. Стоимость 1 кВт·ч природного газа составляет:

$$1 \cdot q / Q_{\text{P}_H} \cdot \text{Ц} = 1 \cdot 860 / 8000 \cdot 4 = 0,43 \text{ грн},$$

где q — тепловой эквивалент 1 кВт·ч электроэнергии, $q = 860$ ккал; Q_{P_H} — низшая теплота сгорания природного газа, $Q_{\text{P}_H} = 8000$ ккал/м³; Ц — стоимость 1 м³ природного газа для региона Москвы, $\text{Ц} = 4$ руб.

То есть в России (для Москвы и Московской обл.) стоимость 1 кВт·ч электроэнергии выше стоимости 1 кВт·ч природного газа в $3,37 / 0,43 = 7,8$ раза.

Поэтому очевидно следующее: если принять коэффициент использования топлива печи с электронагревом за 100 %, тогда в случае, если коэффициент использования топлива печи на природном газе будет больше величины $(0,43 / 0,87) \cdot 100 \% = 49,5 \%$, то газовая печь экономически эффективнее электрической (для предприятий Украины).

Для предприятий России подобные расчеты дают следующее: если коэффициент использования топлива печи на природном газе будет больше величины $(0,43 / 3,37) \cdot 100 \% = 12,75 \%$,

то газовая печь экономически более эффективна, чем электрическая.

Таким образом, следует очевидный вывод, что для предприятий России перевод печей с электронагрева на нагрев природным газом более выгоден, чем для предприятий Украины (выгоднее примерно в 4 раза, а именно: на величину $49,5/12,75 = 3,88$).

Определим коэффициент использования топлива (КИТ) в печи для термоиспытаний стеклянных изоляторов, работающей на природном газе, на предприятии ООО «Львовская изоляторная компания».

При работе хорошо налаженных печей, использующих в качестве топлива природный газ, коэффициент использования топлива определяется в основном величиной потерь теплоты с уходящими продуктами сгорания по формуле, %:

$$\text{КИТ} = (100 - q_{\text{уг}}), \quad (1)$$

где $q_{\text{уг}}$ — потери теплоты с уходящими продуктами сгорания;

$$q_{\text{уг}} = V_{\text{ух}} \cdot C_{\text{уг}} \cdot (T_{\text{ух}}/Q_{\text{пн}}) \cdot V_{\text{г}} \cdot 100, \quad (2)$$

где $V_{\text{уг}}$ — объем уходящих продуктов сгорания, $\text{м}^3/\text{ч}$, $V_{\text{уг}} = \alpha \Theta V_{\text{г}}$.

Тогда

$$q_{\text{уг}} = \alpha \Theta C_{\text{уг}} (T_{\text{ух}}/Q_{\text{пн}}) \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где α — коэффициент избытка воздуха, для печи для термоиспытаний, $\alpha = 2,5$; Θ — теоретический объем продуктов сгорания при сжигании 1 м^3 природного газа, $\Theta = 9,92$ [3]; $C_{\text{уг}}$ — средняя теплоемкость продуктов сгорания, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, $C_{\text{уг}} = 0,34$ [4]; $T_{\text{ух}}$ — температура уходящих из печи продуктов сгорания, $^\circ\text{C}$, для печи термоиспытаний $T_{\text{ух}} = 200$; $Q_{\text{пн}}$ — низшая теплота сгорания природного газа, $\text{ккал}/\text{м}^3$, $Q_{\text{пн}} = 8000$ $\text{ккал}/\text{м}^3$ [4].

Подставляя все вышеуказанные значения в формулу (3), получаем $q_{\text{уг}} = 20,8 \%$. Тогда по формуле (1) $\text{КИТ} = 79,2 \%$.

Таким образом, перевод печи для термоиспытаний стеклянных изоляторов на ООО «Львовская изоляторная компания» с электронагрева на нагрев природным газом даст значительную экономию, исчисляемую величиной $79,2 - 49,5 = 29,7 \%$.

Из нескольких схем замены электронагрева стеклянных изоляторов на нагрев природным газом сотрудниками ООО «Львовская изоляторная компания» были выбраны две схемы, предлагаемые разными фирмами: «Weishaupt»

(рис.1, а); Институтом газа НАН Украины совместно с ООО «НПП «ПРОМГАЗТЕХНО» (рис.1, б).

Печь для термоиспытаний стеклянных изоляторов на ООО «Львовская изоляторная компания» состоит из таких секций: 1 — охлаждения (примерно 5,5 м длиной) с устройствами принудительной подачи воздуха на изделия для охлаждения их от $300 \text{ }^\circ\text{C}$ до комнатной температуры; 2–5 — нагрева для нагревания изделий до $420 \text{ }^\circ\text{C}$; 6 — охлаждения с охлаждающим устройством для уменьшения температуры изделий до $100 \text{ }^\circ\text{C}$; 7–8 — нагрева для гомогенизации изделий при $200 \text{ }^\circ\text{C}$; за 8-й секцией находятся две секции водяной ванны для погружения горячих изделий в воду; в ванне смонтирован конвейер для транспортировки стеклоизделий.

Движение потоков по сечению канала печи и способы установки газогорелочных устройств в двух сопоставляемых схемах показаны на рис.2.

На рис.2 показано, как установлены газогорелочные устройства в поперечном сечении печи термоиспытаний, а на рис.1 — в продольном сечении, поэтому анализировать аэродинамику в печи необходимо из совместного рассмотрения рис.1 и рис.2. Из них видно, что по схеме, предлагаемой фирмой «Weishaupt», продукты сгорания из камер газогорелочных устройств подаются на рециркуляцию перед перемешивающим вентилятором с одной стороны (правой или левой в шахматном порядке по длине печи). Поэтому очевиден перекося распределения теплового потока по поперечному сечению печи, так как если продукты сгорания поступают на перемешивающий вентилятор с правой стороны, то с этой стороны печи будет выше температура в рабочем канале печи.

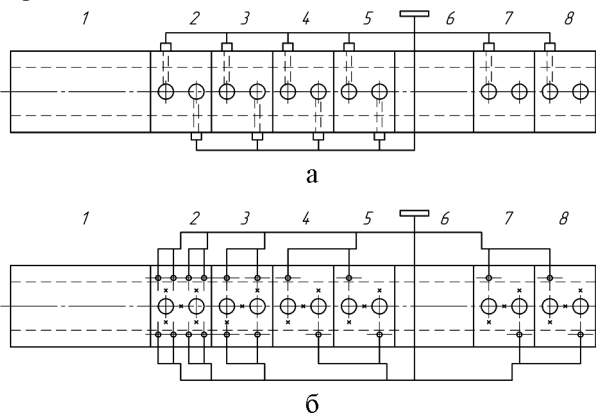


Рис.1. Принципиальные схемы печи термоиспытаний, предлагаемые фирмой «Weishaupt» (а) и Институтом газа НАН Украины (б).

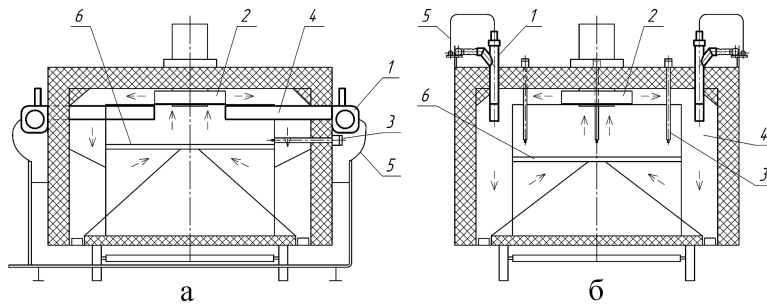


Рис.2. Схемы установки горелок на печах для термоиспытаний, предлагаемые фирмой «Weishaupt» (а) и Институтом газа НАН Украины (б): 1 — газогорелочное устройство; 2 — перемешивающее устройство; 3 — термопара; 4 — камера сгорания; 5 — газопровод $D_y = 15$ мм; 6 — конвейерная лента с изоляторами.

По схеме, предлагаемой Институтом газа НАН Украины, продукты сгорания из газогорелочных устройств подаются на рециркуляцию перед перемешивающим вентилятором равномерно с разных сторон, поэтому тепловой поток равномерно распределен по поперечному сечению печи термоиспытаний, а распределение температуры в рабочем канале печи является «идеальным» по равномерности.

Вывод из анализа сопоставляемых схем очевиден: аэродинамика этих двух схем тождественна, но равномерность, симметричность и отсутствие перекоса поля температур присущи второй схеме. Поэтому окончательно была выбрана вторая схема, так как здесь более равномерно распределялись тепловой поток, температура по поперечному и продольному сечению печи, а также более точно и детально регулировалась температурная кривая нагрева стеклянных изоляторов.

Сотрудниками Института газа НАН Украины в мае 2012 г. на предприятии ООО «Львовская изоляторная компания» выполнен проект перевода печи термоиспытаний стеклянных изоляторов с электрического нагрева изделий на нагрев природным газом с использованием газогорелочных устройств серии ГС собственного производства [5]. При этом был реализован способ прямого нагревания. Проект перевода печи на природный газ включал в себя подвод газа к печи и систему газопроводов подачи газа к горелкам, систему удаления продуктов сгорания из печи при помощи двух дымососов, систему воздухопроводов подачи воздуха к горелкам при помощи вентиляторов (один основной, один резервный). При переоборудовании агрегата было уделено особое внимание вопросу тепловой изоляции печи и уплотнению всех зазоров в ее конструкции. Установка системы подачи в печь продуктов горения при помощи системы газогорелочных устройств и установка

удаления продуктов сгорания из печи при помощи дымососов кардинально меняет распределение аэродинамических потоков по поперечному сечению и длине печи. Установка системы вторичного использования дымовых газов в секциях 7, 8 и тепловая изоляция позволили более эффективно использовать теплоту сгорания природного газа.

В период работ по монтажу автоматизированной системы термоиспытаний стеклянных

изоляторов на печи были выполнены следующие технические мероприятия для того, чтобы печь эксплуатировалась с наилучшими технико-экономическими показателями.

1. Для стабилизации параметров газовой системы печи термоконтроля стеклянных изоляторов на газопроводе установлен стабилизатор газа, а на воздухопроводе установлен частотный преобразователь управления вентилятором (с целью повышения устойчивости системы регулирования, снижения до минимума возможных отказов этой системы).

2. Установлены напоромеры на коллекторе подачи воздуха 0–6 кПа и на коллекторе подачи газа 0–6 кПа (с целью повышения устойчивости системы регулирования, исключения возможных отказов системы регулирования).

3. Установлены форкамеры на входе во вторую секцию (с целью снижения теплотерь с выбивающимися продуктами сгорания), на входе в 7-ю секцию и на выходе из 8-й секции (с целью снижения расхода теплоты на нагрев подсосываемого избыточного воздуха и на нагрев изоляторов, охлаждаемых этим холодным воздухом).

4. Усилена герметизация и теплоизоляция свода на секциях, где установлены горелки (с целью снижения тепловых потерь в окружающую среду).

5. На боковых стенах секций выполнена герметизация внутренних стен печи, заменена и усилена теплоизоляция (с целью снижения тепловых потерь в окружающую среду и выравнивания перепада температур между правой и левой сторонами печи).

Газогорелочные устройства, применяемые на печи термоиспытаний стеклянных изоляторов, предварительно прошли испытания. Целью этих испытаний было определение максимально эффективных режимов работы газогорелочного устройства при стабильном факеле и минималь-

Параметры испытания горелки

Режим	P_r , кПа	P_v , кПа	$V_{г\text{,}} \text{ м}^3/\text{ч}$	α	$\text{CO}_2 \text{ млн}^{-1}$ (%)
1	1,4	0,4	3,5	2,40	115 (0,0115)
2	0,5	0,3	2,2	3	100 (0,01)
3	0,1	0,05	1,3	3,25	100 (0,01)

Примечание. P_r , P_v — давление газа и воздуха, подаваемых в горелку; $V_{г\text{,}}$ — расход природного газа; α — коэффициент избытка воздуха; CO_2 — содержание оксида углерода в продуктах сгорания.

ных значения вредных выбросов [6]. Параметры испытаний приведены в таблице.

На данном агрегате была установлена система автоматического регулирования тепловым процессом и автоматики безопасности. Система автоматического регулирования на печи термоиспытаний стеклянных изоляторов выполняла следующие функции.:

1. Информационные функции (полный мониторинг технологического процесса):

- индикация работы датчиков температуры и давления/разрежения;

- визуализация численных значений измеряемых и заданных параметров (температур и давлений/разрежений по регулируемым и контролируемым областям печи);

- визуализация температурного профиля нагрева печи (кривая нагрева стеклянных изоляторов);

- электронные самописцы измеряемых и заданных температур и давлений/разрежений;

- визуализация положения регулирующих органов (заслонки с электроприводами);

- визуализация состояния факела на каждой горелке (короткий или длинный факел);

- визуализация состояния регуляторов температуры (АВТ./РУЧ.);

- визуализация состояния автоматики безопасности по всем контролируемым параметрам;

- аварийная сигнализация при срабатывании автоматики безопасности;

- визуализация текущего рецепта (таблица заданных параметров);

- хранение и редактирование рецептов.

2. Управляющие функции:

- автоматическое отключение подачи газа при срабатывании автоматики безопасности;

- автоматическое поддержание заданного температурного профиля печи (двухпозиционное регулирование по регулируемым областям печи).

Благодаря системе автоматического регулирования была обеспечена точность поддержания заданной температуры в зонах температурной обработки стеклянных изделий в пределах ± 2 °С.

Указанный набор функций является минимально необходимым для достижения главной цели: стабильного получения технологических параметров для испытаний стеклянных изоляторов при минимальном потреблении природного газа.

Более чем полугодовой опыт эксплуатации печи для термоиспытаний стеклянных изоляторов на ООО «Львовская изоляторная компания», работающей с использованием природного газа, показал, что разработанные в Институте газа НАН Украины схема нагрева, системы автоматического регулирования, газогорелочные устройства работают надежно и эффективно. Экономический эффект от перевода туннельной печи для термоиспытаний стеклянных изоляторов с электрического нагрева на нагрев природным газом составляет 20 %.

Список литературы

1. Павлюк К.А. Применение газовых нагревательных и термических печей взамен электрических // Газовая пром-сть. — 1966. — № 11. — С. 32–36.
2. Хромченко А.И., Волков В.М. Экономическая эффективность использования газа при выплавке алюминиевых сплавов // Газовая пром-сть. — 1974. — № 6. — С. 50–51.
3. Казанцев Е.И. Промышленные печи. — М.: Металлургия, 1975. — 367 с.
4. Равич М.Б. Газ и его применение в народном хозяйстве. — М.: Наука, 1974. — 367 с.
5. Пат. 28025 Укр., МПК⁶ С 2 F 23D 14/00. Газовая горелка / А.И.Торчинский, Г.Н. Павловский. — Оpubл. 2000, Бюл. № 5.
6. ГОСТ 21204-97. Горелки газовые промышленные. Общие технические требования. Межгосударственный стандарт (с изменениями от 9 марта 2004 г.). — Введ. 01.01.97.

Поступила в редакцию 02.09.13

Торчинський А.І., канд. техн. наук, Ляшко О.Ю.

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

Перевод тунельної печі для термовипробувань скляних виробів з електричного обігріву на обігрів природним газом

Розглянуто основні особливості конструкції печей для термічних випробувань скляних виробів. Наведено техніко-економічне обґрунтування переведення печі з електричного нагріву виробів на нагрів природним газом. Розглянуто дві схеми установки газопальникових пристроїв на печі, а також основні відмінності запропонованих схем роботи агрегату на природному газі. Виконано технічні заходи для поліпшення техніко-економічних показників роботи даного агрегату. Встановлений комплекс устаткування передбачає безпечну експлуатацію та повністю автоматичне регулювання теплового процесу. Встановлений комплекс устаткування передбачає безпечну експлуатацію та повністю автоматичне регулювання теплового процесу. Запропоновані технічні рішення дають можливість покращити рівномірність термічної обробки продукції. *Бібл. 5, рис. 2, табл. 1.*

Ключові слова: піч, термічні випробування скляних виробів, швидкісний газопальниковий пристрій серії ГС, рівномірність нагріву.

Torchinskiy A.I., Candidate of Technical Science, Lyashko A.Yu.

The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev

39, Degtjariivska St., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: tor_ingaz@mail.ru

Conversion of a Tunnel Stove for Thermal Tests of Glass Products from an Electric Heating into a Heating by Natural Gas

The basic features of stove construction for thermal tests of glass products are considered. Technical and economic justification about conversion of a stove from the wares electric heating of goods into heating by natural gas is done. Two schemes of gas-burning devices setting onto stoves are considered and also the basic differences of the offered schemes of aggregate work on natural gas. The series of technical measures is executed for the improvement of technical and economic indexes of the given aggregate work. Installed complex of equipment envisages safe exploitation and fully automatic control of thermal process. The offered technical solutions give an opportunity to improve evenness of products heat treatment. *Bibl. 5, Fig. 2, Table 1.*

Key words: hsubmerged combustion burner, melt, combustion stabilization, stable operation region.

References

1. Pavljuk K.A. (1966). Application of heater and thermal gas-furnaces instead of electric. *Gazovaja promyshlennost'*, (11), pp. 32–26. (Rus).
2. Hromchenko A.I., Volkov V.M. (1974). Economic efficiency of the use of gas at smelting of aluminium alloys. *Gazovaja promyshlennost'*, (6), pp. 50–51. (Rus).
3. Kazancev E.I. (1975). Industrial stoves. Moscow: Metallurgija, 367 p.
4. Ravich M.B. (1974). Gas and his application are in a national economy. Moscow: Nauka, 367 p.
5. Pat. 28025 Ukr., МПК⁶ С 2 F 23D 14/00. Gas Burner / A.I. Torchinskiy, G.N. Pavlovskij. — Publ. 2000, Bul. 5.
6. GOST 21204-97. Gas-rings gas industrial. General technical requirements. Intergovernmental standard (with changes from March, 9 2004).

Received September 2, 2013