

References

1. Sanner B. Oberflaechennahe Geothermie – Waerme- und Kaelteversorgung aus dem Untergrund, *BBR : Brunnenbau, Bau Wasserwerk, Rohrleitugsbau*, 1998 (10), pp. 34–40. (De)
2. Zabarnij G.M., Kudrja S.O., Masljukova Z.V., Primak A.I. Sezone akumuljuvannja teploti v pidzemnih akumuljatorah. Kiev : VIOL-PRINT, 2009, 278 p. (Ukr.)
3. Klymenko V.V., Kornienko V.N. Racional'noe ispol'zovanie termicheskoj neravnovesnosti naruzhnogo vozduha, *Holodil'naja tehnika*, 1989 (6), pp. 25–30. (Rus.)
4. Vadjunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovanija fizicheskikh svojstv pochv, Moscow : Agropromizdat, 1986, 416 p. (Rus.)
5. Chudnovskij A.F. Teploobmen v dispersnyh sredah, Moscow : Nedra, 1976, 349 p. (Rus.)
6. Pat. 33302 Ukraini., IPC F 24 J 3/08. Geotermal'nij akumuljator teploti / Yu.P.Morozov, V.G.Olijničenko, A.O.Aleksandrov, V.V. Velichko. – Publ. 10.06.2008, Bul. № 11. (Ukr.)
7. Lykov A.V. Teorija teploprovodnosti, Moscow : Vyshaja hkola, 1967, 599 p. (Rus.)
8. Pat. UA 97104 U, IPC F 24 J 3/08. Gruntovij teploakumuljator / V.V. Klymenko, V.I.Kravčenko, M.L.Zocenko, V.P.Soldatenko, M.V.Kubkin. – Publ. 25.02.2015, Bul. № 4. (Ukr.)
9. Zocenko M.L., Velikodnij Yu.J., Klymenko V.V. Gruntocementni protyfil'tracijni zavisj dlja gidrotehničnih sporud, *Materiali Mizhnarodnoj naukoivo-praktičnoi konferencij «Problemi rozvitku dorozhn'o-transportnogo budivel'nogo kompleksiv»* (Kirovograd, 3–5 zhovtnja 2013). Kirovograd : Kirovograd National Technical University, 2013, pp. 305–308. (Ukr.)
10. Fedorov P.O., Fedorova A.P. Tehniko-ekonomičeskie harakteristiki sistemy teplosnabzhenija na baze vozobnovljaemyh istočnikov jenergii v realijah pridneprovskogo regiona, *Jenergosbereženie. Jenergetika. Jenergoaudit*, 2013 (7), pp. 29–36.
11. Daniel Pahud. The design of a borehole thermal energy storage requires dynamic system simulation, especially for a system without heat pump, *SUPSI-DCT-LEE Laboratoria di Energia, Ecologia ed Economia*, 12/05/2002, pp. 66–81.

Received January 12, 2015

УДК 66.096.5

Семейко К.В., канд. техн. наук**Институт газа НАН Украины, Киев**

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: k_simeyko@ukr.net

Использование электротермического псевдооживленного слоя в качестве внешнего нагревательного элемента реактора

Перспективными устройствами для проведения высокотемпературных процессов являются реакторы с электротермическим псевдооживленным слоем. Одним из таких реакторов является разработанный в Институте газа НАН Украины лабораторный реактор, где в качестве внешнего нагревательного элемента используется кольцевой электротермический псевдооживленный слой. В данном реакторе проводился пиролиз смеси углеводородных газов на основе пропана с целью получения капсулированного пироуглеродом кварцевого песка, который используется как модель микросферического ядерного топлива (микротвэла). Также полученный материал планируется использовать для дальнейшего карботермического восстановления кремния. Приведены схема реактора и принцип работы, принципиальная технологическая схема, результаты проведенных опытов, расчеты тепловых характеристик, основные расходные показатели реактора. Дана оценка эффективности реактора при осуществлении пиролиза смеси углеводородных газов на основе пропана. Разработанный реактор возможно использовать для термической обработки материалов, которые не проводят электрический ток (диэлектриков). *Библ. 10, рис. 5, табл. 1.*

Ключевые слова: электротермический псевдооживленный слой, высокотемпературная обработка, пиролиз, пироуглерод, пропан.

Для проведения высокотемпературных процессов (которые не предусматривают взаимодействия с воздухом) в основном используют следующие устройства: печи сопротивления, индукционные печи, электродуговые плазмотроны. Основная проблема печей сопротивления — окисление нагревательного элемента. К недостаткам индукционных печей относятся большие размеры добавочного оборудования, необходимость высокочастотного тока, а также сложность изготовления индуктора. Современные генераторы плазмы, плазмотроны, позволяют любой газ нагреть до температуры от 3000 до 10000–15000 К [1], однако их эксплуатация требует большого потребления электроэнергии.

Одним из перспективных устройств для проведения высокотемпературных процессов являются реакторы с электротермическим псевдооживленным слоем (ЭТПС). Значительным преимуществом псевдооживленных систем является высокая интенсивность переноса тепла от слоя к поверхности теплообмена (или в обратном направлении), что дает возможность применять аппараты с псевдооживленным слоем в процессах, где необходима высокая интенсивность теплообмена между реагентами.

В большинстве реакторов с электротермическим псевдооживленным слоем применяется установка электродов в реакционную зону реактора [2–6]. В этом случае определенное влияние на проведение высокотемпературных процессов оказывает плазма микроразряда [4, 7], которая наблюдается при прохождении электрического тока через слой псевдооживленных частиц. Однако обязательным условием нагревания частиц является их электропроводность. Поэтому данный тип реактора нельзя применить к материалам-диэлектрикам, особенно в процессах, где исключается добавление других сыпучих электропроводных материалов (например, дробленого электродного графита) и диэлектрические свойства частиц псевдооживленного слоя будут оставаться стабильными, а также где влияние прохождения электрического тока через частицы является нежелательным. Как вариант высокотемпературной обработки диэлектрических материалов является внешний нагрев реакционной зоны. В качестве внешнего нагревателя в Институте газа НАН Украины

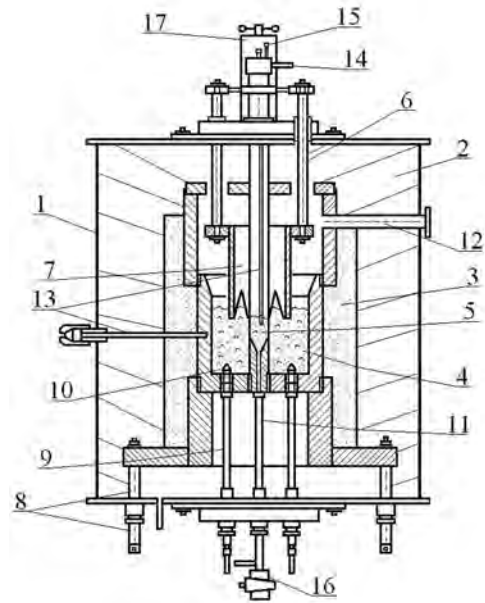


Рис.1. Схема реактора с электротермическим псевдооживленным слоем: 1 — внешний корпус; 2, 3 — теплоизоляция; 4 — нагревательная камера с кольцевым электротермическим псевдооживленным слоем; 5 — рабочая зона; 6 — верхний электрод; 7 — корона верхнего электрода; 8 — нижние электроды; 9 — газопроводные трубки; 10 — газораспределительные колпачки; 11 — центральная газопроводная трубка; 12 — патрубок отходящих газов; 13 — термометр; 14 — штуцер для выхода газа; 15 — трубка для загрузки материала; 16 — кран для выгрузки материала; 17 — механизм регулировки высоты электрода.

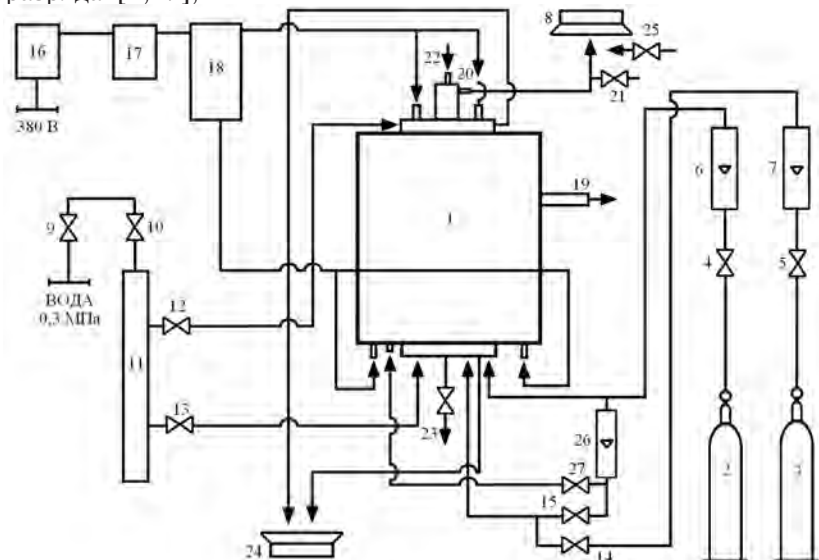


Рис.2. Принципиальная технологическая схема работы реактора: 1 — реактор; 2 — баллон с инертным газом; 3 — баллон с реакционным газом; 4, 5, 14, 15, 27 — вентили; 6, 7, 26 — ротаметры; 8 — вытяжка; 9, 10, 12, 13 — вентили для воды; 11 — распределитель воды; 16, 17 — автоматические выключатели; 18 — силовой трансформатор; 19 — патрубок для выхода инертного газа; 20 — патрубок для выхода газов из рабочей зоны; 21 — вентиль для выхода газа на анализ; 23 — канал для выгрузки материала; 24 — слив; 25 — горелка.

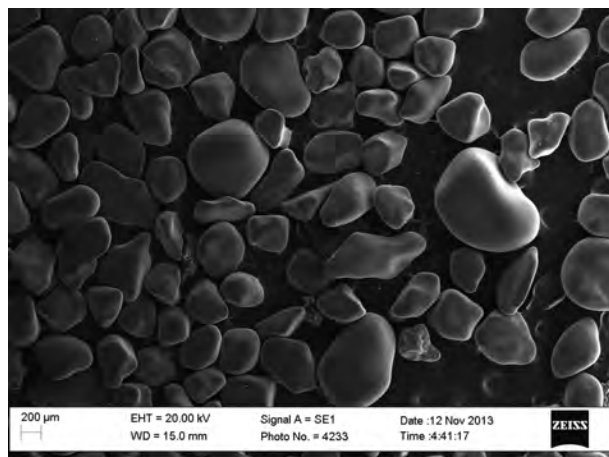


Рис.3. Капсулированный пироуглеродом кварцевый песок (увеличение в 50 раз, полученное на растровом электронном микроскопе ZEISS EVO SO).

предложено использовать кольцевой ЭТПС. На основе этого технологического решения разработан и сконструирован лабораторный реактор (рис.1) [8].

Основной целью разработанного реактора является проведение пиролиза углеводородных газов для получения капсулированного пироуглеродом кварцевого песка, который используется как модель микросферического ядерного топлива (микротвела). Также данный материал планируется использовать для дальнейшего карботермического восстановления кремния.

Кратко о принципе работы реактора: в нагревательную кольцевую камеру загружают слой электропроводящих частиц, который ожигают инертным газом (азот), через верхний электрод подают ток, который разогревает реактор до 800–1200 °С. В реакционную камеру подают реакционный газ (смесь углеводородов на основе пропана) и загружают кварцевый пе-



Рис.4. Пироуглерод, осажденный на термопаре (увеличение в 100 раз, полученное растровым электронным микроскопом ZEISS EVO SO).

Значение температуры от времени нагрева и результаты расчета погрешностей

Время, мин	t, °С	Q-критерий	β-критерий
0	20	–	–
10	341	0,160	0,727
15	490	0,673077	1,032
20	670	0,091	0,531
25	762	0,290	1,835
30	836	0,516	1,647
35	897	0,136	1,499

сок. Принципиальная технологическая схема приведена на рис.2.

На описанном выше реакторе проведена серия опытов по получению капсулированного пироуглеродом кварцевого песка. В результате нагрева через графитовую стенку рабочей зоны создаются условия для проведения пиролиза углеводородных газов. При этом пироуглерод осаждается на частицах кварцевого песка (рис.3), на термопаре, размещенной в рабочей зоне (рис.4), а также на стенках внутренней части реактора.

При температуре 1000 °С, согласно данным хроматографического анализа, выделяется около 63 % (об.) водорода, который может иметь широкую область применения. Согласно термодинамическим расчетам, с увеличением температуры выход водорода будет увеличиваться.

Для построения графика динамики нагрева реактора на основе экспериментальных данных рассчитано значение температуры с учетом погрешностей [9] с помощью программы Microsoft Office Excel. Данные для построения графика и критерии погрешности приведены в таблице.

График зависимости температуры от времени нагрева приведен на рис.5. Выход на режим более 900 °С проходит примерно за 35 мин.

С целью оценки теплового КПД, определения структуры и характера распределения электрической мощности, определения путей для оптимизации тепловой работы реактора был рассчитан тепловой баланс реактора. Тепловой баланс рассчитывался при следующих условиях:

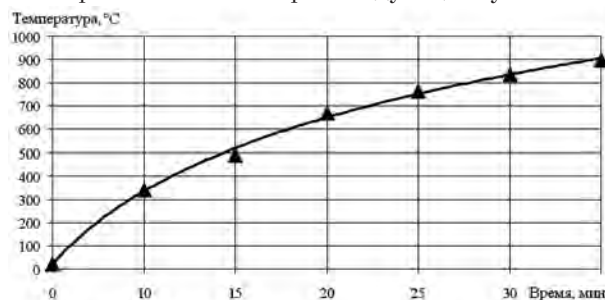


Рис.5. Динамика нагрева реактора.

$T = 960$ °С, $p = 0,1$ МПа, расход азота — $2,5$ $m^3/ч$, расход реакционного газа — $0,84$ $m^3/ч$.

Уравнение теплового баланса реактора с ЭТПС выглядит следующим образом [10]:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \pm \Delta Q. \quad (1)$$

Обозначения приведены ниже:

- Q_0 — количество введенной теплоты
- Потеря теплоты:
- Q_1 — на нагрев реакционного газа
- Q_2 — на нагрев азота
- Q_3 — на покрытие эндотермических эффектов реакций
- Q_4 — на нагрев загружаемого кварцевого песка
- Q_5 — с охлаждающей водой
- Q_6 — через теплоизоляцию реактора
- Q_7 — с газами, покидающими реактор
- Q_8 — с песком, который выгружается
- ΔQ — дисбаланс

Количество введенной теплоты — электрическая мощность, которая подводится в реактор, — определяется по вольтамперной характеристике:

$$Q_0 = U I; \quad (2)$$

$$Q_1 = G_r C_r (T_2 - T_1), \quad (3)$$

где G_r — расход реакционного газа, $m^3/ч$; C_r — теплоемкость реакционного газа, $ккал/(m^3 \cdot K)$, теплоемкость реального газа; T_2 — температура процесса, К; T_1 — температура реакционного газа перед подачей в реактор, К.

$$Q_2 = G_a C_a (T_2 - T_1), \quad (4)$$

где G_a — расход азота, $m^3/ч$; C_a — теплоемкость азота, $ккал/(m^3 \cdot K)$; T_2 — температура процесса К; T_1 — температура азота перед подачей в реактор, К.

где $Q_3 = G_r \Delta b_i c_i \Delta H_{i298}, \quad (5)$

$$\Delta b_i = b_{in} - b_{ik}, \quad (6)$$

где b_{in} — начальная доля реакционного газа, % (об.); b_{ik} — конечная доля реакционного газа, % (об.); ρ_i — плотность реакционного газа, $кг/м^3$; ΔH_{i298} — теплота образования компонента, $ккал/кг$.

$$Q_4 = G_{зп} C_{кп} (T_2 - T_1), \quad (7)$$

где $G_{зп}$ — скорость загрузки кварцевого песка, $кг/ч$; $C_{кп}$ — теплоемкость кварцевого песка, $ккал/(кг \cdot K)$; T_1 — температура загружаемого песка, К; T_2 — температура процесса, К.

$$Q_5 = G_v C_v (T_2 - T_1), \quad (8)$$

где G_v — расход воды, $m^3/ч$; C_v — теплоемкость воды, $ккал/(m^3 \cdot K)$; T_1 — начальная температура воды, К; T_2 — конечная температура воды, К;

$$Q_6 = (T_2 - T_1) / \Sigma(L_i / \lambda_i F_i), \quad (9)$$

где T_1 — температура внешней стенки реактора, К; T_2 — температура процесса, К; L_i — толщина слоя теплоизоляции, м; λ_i — теплопроводность материала теплоизоляции, $Вт/(m \cdot ^\circ C)$; F_i — площадь поверхности слоя теплоизоляции, m^2 ,

$$F_i = (F_{зш} + F_{вш}) / 2, \quad (10)$$

где $F_{зш}$ — площадь поверхности внешнего слоя теплоизоляции; $F_{вш}$ — площадь поверхности внутреннего слоя теплоизоляции.

Соответственно конструкции реактора для расчета разделим реактор на три зоны: Q_6^1 , Q_6^2 , Q_6^3 :

$$Q_6 = Q_6^1 + Q_6^2 + Q_6^3; \quad (11)$$

$$Q_7 = G_i C_i (T_2 - T_1), \quad (12)$$

где G_i — расход газа ($m^3/ч$); C_i — теплоемкость газа, $ккал/(m^3 \cdot K)$; T_2 — температура газа на выходе из реактора, К; T_1 — начальная температура газа, К.

$$Q_8 = G_{вп} C_{кп} (T_2 - T_1), \quad (13)$$

где $G_{вп}$ — скорость выгрузки песка, $кг/ч$; T_2 — температура выгруженного песка, К; T_1 — температура внешней среды, К.

Из расчета теплового баланса при следующих условиях: $T = 960$ °С, $p = 0,1$ МПа, расход азота — $2,5$ $m^3/ч$, расход реакционного газа — $0,84$ $m^3/ч$ — получены такие результаты:

$$Q_0 = 9000 \text{ Вт};$$

$$Q_1 = 547 \text{ ккал/ч} = 636 \text{ Вт};$$

$$Q_2 = 589 \text{ ккал/ч} = 685 \text{ Вт};$$

$$Q_3 = 1843 \text{ ккал/ч} = 2141 \text{ Вт};$$

$$Q_4 = 73 \text{ ккал/ч} = 85 \text{ Вт};$$

$$Q_5 = 2173 \text{ ккал/ч} = 2525 \text{ Вт};$$

$$Q_6 = 2041 \text{ Вт};$$

$$Q_7 = 701 \text{ ккал/ч} = 815 \text{ Вт};$$

$$Q_8 = 3 \text{ ккал/ч} = 4 \text{ Вт};$$

$$\Delta Q = 68 \text{ Вт}.$$

Можно отметить значительную потерю теплоты с охлаждающей водой и через теплоизоляцию реактора.

Термический КПД рассчитан как отношение полезно затраченной теплоты к общему объему тепла:

$$\text{КПД} = (Q_1 + Q_3 + Q_4) / Q_0 \approx 31,8 \%. \quad (14)$$

Основные расходные характеристики установки: инертный газ (азот) $\approx 2,08 \text{ м}^3/\text{ч}$, мощность $\approx 9 \text{ кВт}$, вода для охлаждения $\approx 0,10 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Выводы

Высокотемпературный ЭТПС можно использовать в качестве источника теплоты для получения достаточно высокого температурного уровня в отделенной от него реакционной камере (максимальная температура $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, полученная экспериментально, — далеко не предел). Динамика нагрева показывает относительно быстрый выход на режим, однако, согласно данным теплового баланса, основной расход теплоты приходится на нагрев охлаждающей воды и теплоизоляции — потери, присущие всем тепловым аппаратам. Следовательно, данный реактор имеет невысокую эффективность (термический КПД $\approx 31,8 \%$) при его использовании для процессов получения капсулированного пироуглеродом кварцевого песка. Применение его может быть оправданным, если при этом учитывать дополнительное получение водородсодержащего газа. Одним из преимуществ данного реактора, является возможность высокотемпературной обработки диэлектрических материалов.

Список литературы

1. Шаповалов В.О., Шейко І.В., Ремізов Г.О. / За редакцією академіка Б.Є. Патона / Плазмові процеси та устаткування в металургії. — Київ : Хімджест, 2012. — 384 с.

2. Махорин К.Е., Карп И.Н., Кожан А.П. Высокотемпературная печь с электротермическим кипящим слоем для нагрева водорода // Информационное письмо Института газа АН УССР. — 1970. — № 15. — 32 с.
3. Pat. 4543240 A USA, В 01 J 12/00, Fluidized beds, silicon carbide production // William M. Goldberger // Applicant and patent holder: Superior Graphite Co. — № 06/691,076; applic. date: 14.01.1985; publ. date: 24.09.1985.
4. Бородуля В.А., Виноградов Л.М., Гребеньков А.Ж., Михайлов А.А., Рабинович О.С. Синтез мелкозернистого карбида кремния методом карботермического восстановления кремнезема в электротермическом кипящем слое // Тез. докл. IX Междунар. конф. «Кремний-2012», №1 êò-Ī áðáðáóðã, 9–13 èð èŸ 2012 ã. — СПб. : Õèç-ðãóĪ. èĪ-ð. èĪ. Æ.Õ.ÉĪððã ÆĀĪ, 2012. — С. 280.
5. Богомолов В.А., Кожан А.П., Бондаренко Б.И., Ховавко А.И., Семейко К.В. Капсулирование кварцевого песка пироуглеродом в электротермическом псевдооживленном слое // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2013. — № 5. — С. 36–40.
6. Gubynskiy M.V., Barsukov I.V., Fedorov S.S., Livitan M.V., Gogotsi O.G., Upendra S. Rohatgi Study of aerodynamic properties of continuous high temperature reactors // Conference ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting, Incline Village, NV, July 2013. — 7 p.
7. Simeyko K. Thermal influence of microdischarge plasma on the process of receiving of quartz sand encapsulated by pyrocarbon // Proceedings of the National Aviation University. — 2014. — № 2. — P. 131–135.
8. Пат. 86131 Укр., МПК (2013.01) В 01 J 8/18 (2006.01), В 01 J 12/00. Реактор для высокотемпературних процесів / В.О.Богомолов, Б.І.Бондаренко, О.П.Кожан, К.В.Сімейко; заявник і патентовласник: Інститут газу НАН України. — № u201309320; заявл. 25.07.2013. — Опубл. 10.12.13, Бюл. № 23.
9. Чумак В.Л., Иванов С.В., Максимюк М.Р. Основи наукових досліджень. — Киев : Нац. авіац. ун-т, 2009. — 304 с.
10. Богомолов В.А. Исследование процесса и разработка технологии пиролиза природного газа в дисперсных средах : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1982. — 21 с.

Поступила в редакцию 17.02.15

Сімейко К.В., канд. техн. наук
Інститут газу НАН України, Київ
вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: k_simeyko@ukr.net

Використання електротермічного псевдозрідженого шару як зовнішнього нагрівального елемента реактора

Перспективними пристроями для проведення високотемпературних процесів є реактори з електротермічним псевдозрідженим шаром. Одним з таких реакторів, є розроблений в Інституті газу НАН України лабораторний реактор, де у якості зовнішнього нагрівального елемента використовується кільцевий електротермічний псевдозріджений шар. У даному реакторі проводився піроліз суміші вуглеводневих газів на основі пропану. Метою проведення даного процесу є одержання капсульованого піровуглецем кварцевого піску, який використовується як модель мікросферичного ядерного палива (мікротвела). Також даний матеріал планується використовувати для подальшого карботермічного відновлювання кремнію. У статті наведені: схема реактору і принцип роботи, принципова технологічна схема, результати проведених дослідів, розрахунки теплових характеристик, основні витратні показники реактору. Дана оцінка ефективності реактору при проведенні піролізу суміші вуглеводневих газів на основі пропану. Серед можливих варіантів використання розробленого реактора є термічна обробка матеріалів, які не проводять електричний струм (діелектриків). *Бібл. 10, рис. 5, табл. 1.*

Ключові слова: електротермічний псевдозріджений шар, високотемпературна обробка, піроліз, піровуглець, пропан.

Simeiko K.V., Candidate of Technical Sciences
The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: k_simeyko@ukr.net

Applying of Electrothermal Fluidized Bed as the Outer Heating Element of Reactor

Promising of high-temperature devices is the reactors with electrothermal fluidized bed. One of such reactors was developed at the Gas Institute of NAS of Ukraine. It is the laboratory reactor applying circular electrothermal fluidized bed as the external heating element. Pyrolysis of mixture of hydrocarbon gases on the basis of propane was carried out in this reactor. The purpose of this process is to obtain quartz sand encapsulated with pyrolytic carbon, which is used as the model of microspherical nuclear fuel (coated particle fuel). Besides, this material is planned to be used for further carbothermic reduction of silicon. The article presents the scheme of the reactor and its operational principle, process flow diagram, the experimental result, the calculations of the thermal characteristics, the basic consumption parameters of the reactor. The efficiency of the reactor while carrying out the pyrolysis of mixture of hydrocarbon gases on the basis of propane. Thermal processing of materials that do not conduct the current (dielectric materials) is one of the possible kinds of application of developed reactor. *Bibl. 10, Fig. 5, Table 1.*

Key words: electrothermal fluidized bed, high temperature processing, pyrolysis, pyrocarbon, propane.

References

1. Shapovalov V.O., Shejko I.V., Remizov G.O. / Ed. by academician B.E.Paton, Plazmovi procesi ta ustatkuvannja v metalurgii [Plasma processes and equipment in metallurgy]. Kiev: Himdzhest, 2012, 384 p. (Ukr.)
2. Makhorin K.E., Karp I.M., Kozhan A.P. Vysokotemperaturnaja peč' s jelektrotermicheskim kipjashhem sloem dlja nagreva vodoroda [High-temperature furnace with electrothermal fluidized bed for hydrogen heating], *Informacionnoe pis'mo Instituta gaza AN USSR* [Information Letter of Gas Institute of Academy of Sciences of Ukrainian

- Soviet Socialist Republic]. Kiev: Naukova Dumka, 1970, (15), 32 p. (Rus.)
3. Pat. 4543240 A USA, B 01 J 12/00. Fluidized beds, silicon carbide production / William M. Goldberger // Applicant and patent holder: Superior Graphite Co. — № 06/691,076; applic. date: 14.01.1985; publ. date: 24.09.1985.
 4. Borodulya V.A., Vinogradov L.M., Grebenkov A.G., Mikhailov A.A., Rabinovich O.S. Sintez melkozernistogo karbida kremnija metodom karbotermicheskogo vosstanovlenija kremnezjoma v jelektrotermicheskom kipjashhem sloe [Synthesis of fine silicon carbide by carbothermal reduction of silica in the electrothermal fluidized bed]. *Tezisy dokladov IX Mezhdunarodnaja konferencija «Kremnij-2012»* [IX International Conference «Silicon-2012». Book of abstracts]. St.Petersburg, 9–13 July 2012. St.Petersburg : Fiziko-tehnicheskij institut [Ioffe Institute], 2012, p. 280 (Rus.)
 5. Bogomolov V.O. Kozhan A.P., Bondarenko B.I., Khovavko O.I., Simeyko K.V. Kapsulirovanie kvarcevego peska pirouglerodom v jelektrotermicheskom psevdoozhizhenom sloe [Research of the process of quartz sand encapsulation by pyrolytic carbon]. *Jenergotehnologii i resursozberezenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2013, (5), pp. 36–40. (Rus.)
 16. Gubynskiy M.V., Barsukov I. V., Fedorov S.S., Livitan M. V., Gogotsi O.G., Upendra S. Rohatgi Study of aerodynamic properties of continuous high temperature reactors // *Conference ASME 2013 Fluids Engineering Division Summer Meeting*, Incline Village, NV, July 2013, 7 p.
 7. Simeyko K. Thermal influence of microdischarge plasma on the process of receiving of quartz sand encapsulated by pyrocarbon. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014, (2), pp. 131–135. (Eng.)
 8. Pat. 86131 Ukraine, B 01 J 8/18 (2006.01), B 01 J 12/00. Reaktor dlja visokotemperaturnih procesiv [Reactor for high temperature processes] / V.O. Bogomolov O.P. Kozhan, B.I. Bondarenko, K.V. Simeyko; Applicant and patent holder: Gas institute of National academy of science of Ukraine. — № u201309320; applic. date: 25.07.2013; publ. date: 10.12.2013. — Bull № 23. (Ukr.)
 9. Chumak V.L. Ivanov S.V., Maksimjuk M.R. Osnovi naukovih doslidzhen' [Bases of scientific researches]. Kiev : Nacionalnyi aviacionnyi universitet, 2009, 304 p. (Ukr.)
 10. Bogomolov V.A. Issledovanie processa i razrabotka tehnologii piroliza prirodnogo gaza v dispersnyh sredah [Research of process and technology development of pyrolysis of natural gas in dispersion phases] : dissertation of the candidate of technical sciences. Kiev, 1982, 211 p. (Rus.)

Received February 17, 2015

УДК 621.184.4/.5

**Галянчук І.Р., Мисак Й.С., докт. техн. наук., проф.,
Кузнецова М.Я., канд. техн. наук**

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: kuznetsovam83@gmail.com

Визначення наслідків режимних змін повітропідігрівача котла ТП-100

Розглянуто основні проблеми, які виникають під час вирішення задачі оптимізації роботи теплотехнічного устаткування, коли в умовах експлуатації фактичний стан його істотно відрізняється від проектного. Застосовано метод режимних розрахунків, який дає змогу визначити наслідки внесених змін у теплопередавальну систему на основі відомих тільки вхідних та вихідних температур теплоносіїв у початковому режимі. Котел ТП-100 зображено у вигляді поєднання конвективних поверхонь нагріву (повітропідігрівач, економайзер, первинний пароперегрівач та проміжний пароперегрівач), які розглядаються як конвективна теплопередавальна система котла. Розроблено спеціальну структурну схему та відповідну математичну модель повітропідігрівача котла ТП-100 як системи взаємозв'язаних теплообмінників. Отримані результати можна використати як новий методичний апарат розрахунків повітропідігрівачів, а також як апарат для виявлення можливих удосконалень об'єкту. *Бібл. 7, рис. 3, табл. 2.*

Ключові слова: теплопередавальна система, поверхні нагріву, режимні розрахунки, температура теплоносіїв, повітропідігрівач.