

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

УДК 669.782.053-172  
МРНТИ 53.07.05  
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.22>

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2018.

А. А. ЖАРМЕНОВ, Ю. И. СУХАРНИКОВ\*, С. В. ЕФРЕМОВА, Б. И. ДИХАНБАЕВ

Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан,  
Алматы, Казахстан, \*e-mail: scc04@mail.ru

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА РИСОВОЙ ШЕЛУХИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Received: 02 May 2018 / Peer reviewed: 27 June 2018 / Accepted: 31 July 2018

**Резюме:** Предложено новое техническое решение ведения процесса термической переработки рисовой шелухи. Суть его заключается в использовании пиролизного газа в качестве энергетического топлива для радиационного нагрева растительного сырья в реакторе пиролиза. Расчетным путем доказано, что нагрев рисовой шелухи теплом от сжигания пиролизного газа реально выполним в реакторе с внутренним диаметром 1,5 м и длиной 3,5 м при внутреннем диаметре и длине радиантной трубы 0,5 м и 4,0 м, соответственно. Избыток образующегося тепла может быть направлен на бытовые нужды. Определена возможность управлять режимом работы установки пиролиза, увеличивая её производительность посредством регулировки числа оборотов и угла наклона реактора. Разработана соответствующая технологическая схема переработки рисовой шелухи с получением кремнеуглерода. Показано, что производимый кремнеуглерод представляет собой гомогенную смесь углерода и диоксида кремния, которые находятся в аморфной форме. Гомогенность материала обеспечивается присутствием составляющих компонентов в виде тонкодисперсных частиц размером 10-50 нм. По составу и свойствам кремнеуглерод выступает в качестве высококачественного наполнителя эластомеров и углеродных конструкционных материалов. Себестоимость кремнеуглерода на 15-20 % ниже аналогичного материала, получаемого по разработанной ранее технологии. Сокращение эксплуатационных затрат достигается посредством отказа от электрического нагрева реактора пиролиза в пользу радиационного.

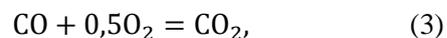
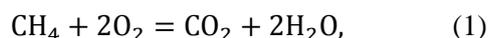
**Ключевые слова:** рисовая шелуха, пиролиз, пиролизный газ, энергетическое топливо, радиационный нагрев, кремнеуглерод

**Введение.** Ежегодно в мире при переработке риса образуется до 200 млн т рисовой шелухи (РШ), большая часть которой не находит применения и направляется в отвалы, хотя многочисленными исследованиями доказана перспективность использования данного отхода в качестве возобновляемого сырьевого ресурса [1-6].

В РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» на основе разработанной технологии [7] создано опытное производство востребованных углерод- и кремнийсодержащих материалов. В их числе наполнители эластомеров и углеродных конструкционных материалов, сорбенты и кормовая добавка для сельскохозяйственной птицы, чистый кремний и кремниевые сплавы, флотореагент, стимулятор роста растений, дезинфектант [8]. Процесс осуществляется в аппарате с электрическим

нагревом [9], соответственно, расходы на электроэнергию образуют основную затратную составляющую рассматриваемого производства. При этом в результате термодеструкции рисовой шелухи образуется 65-67 % (от массы исходного сырья) или 580 м<sup>3</sup> в расчете на 1 т РШ пиролизных газов (ПГ) следующего состава, % об.: CH<sub>4</sub> – 34, CO – 20, H<sub>2</sub> – 5, CO<sub>2</sub> – 29, H<sub>2</sub>O – 11.

При сжигании горючих компонентов пиролизного газа протекают следующие реакции:



Следовательно, пиролизный газ обладает высокой теплотворной способностью (низшая

теплота сгорания  $\sim 15000$  кДж/м<sup>3</sup>) и потенциально может выступать в качестве энергетического топлива. Известные же способы термической переработки рисовой шелухи [10-13] основаны на использовании электрического нагрева, что снижает их экономическую привлекательность.

В связи с этим целью настоящей работы явился поиск технического решения и разработка технологической схемы энергоэффективного способа термической переработки рисовой шелухи с использованием пиролизного газа в качестве энергетического топлива.

**Экспериментальная часть.**  
Разработанная технологическая схема

термической переработки рисовой шелухи приведена на рисунке 1.

Для обеспечения непрерывного процесса суточный запас рисовой шелухи составляет 17 т или 135 м<sup>3</sup>. РШ для отсева инородных включений подается в количестве 0,7 т/ч на грохот с вытяжным вентилятором и циклоном пылеулавливания. Очищенная РШ загружается в два питательных бункера объемом по 2,7 м<sup>3</sup>, из которых поочередно с помощью шнекового питателя направляется во вращающуюся реактор пиролиза. Внутри реактора расположена радиантная труба. Реактор и радиантная труба выполнены из жаропрочной стали толщиной 8 мм.

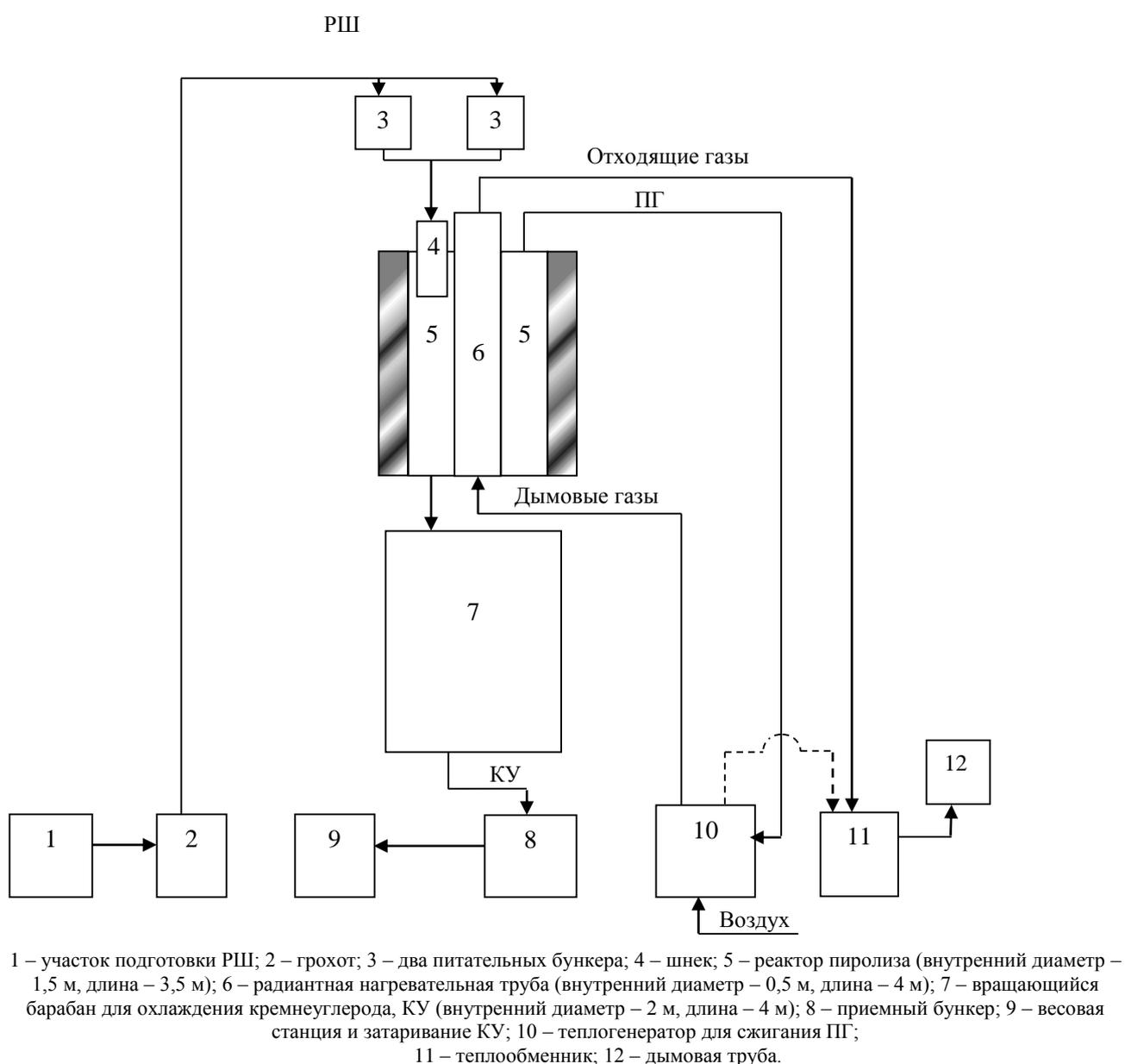


Рисунок 1 – Технологическая схема термической переработки рисовой шелухи

Нагрев реактора осуществляется дымовыми газами от сжигания пиролизного газа в теплогенераторе путем их прохождения через радиантную трубу. Газ в радиантную трубу подается в необходимом количестве для поддержания в зоне реактора температуры 600-650 °С. Избыточное количество газа отводится в теплообменник для использования тепла на бытовые нужды.

Полученный кремнеуглерод (КУ) из реактора поступает во вращающийся барабан для охлаждения до температуры ниже 50 °С. Охлажденный КУ сыпается в приемный бункер объемом 2,7 м<sup>3</sup>, откуда подается на весовую станцию для расфасовки.

Указанные выше характеристики технологического оборудования принимаем за основу для дальнейших расчетов параметров процесса термической переработки рисовой шелухи, которые позволят оценить техническую возможность реализации радиационного нагрева РШ дымовыми газами от сжигания ПГ и условия его проведения.

Важным показателем рассматриваемого процесса выступает поступательная скорость движения рисовой шелухи в реакторе ( $\omega$ ), оказывающая влияние на время пребывания РШ в печи и, в конечном итоге, производительность процесса. Поступательная скорость, в свою очередь, определяется внутренним диаметром реактора, углом его наклона и числом оборотов, с которыми связана следующим равенством [14]:

$$\omega = 5,78 \times D_{\text{вн}} \times \alpha \times n = 5,78 \times 1,5 \times 2 \times 3 = 52,02 \text{ м/ч}, \quad (4)$$

где 5,78 – эмпирический коэффициент;  
 $D_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр реактора, м;  
 $\alpha$  – угол наклона реактора, град;  
 $n$  – число оборотов реактора, об/мин.

Время пребывания ( $\tau_{\text{проб}}$ ) рисовой шелухи в реакторе пиролиза рассчитывается по формуле [15]:

$$\tau_{\text{проб}} = \frac{L}{\omega} = \frac{3,5}{52,02} = 0,067 \text{ часа} = 4,0 \text{ мин}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина ректора, м;  
 $\omega$  – поступательная скорость движения рисовой шелухи в реакторе, м/ч.

Теоретическое время ( $\tau_{\text{теор}}$ ) нагрева одиночной частицы рисовой шелухи на поверхности слоя вычисляется из уравнения [15]:

$$\tau_{\text{теор}} = \frac{\rho_{\text{ч}} \cdot c_{\text{ч}} \left(1 + \frac{Bi}{5}\right) d_{\text{ч}}}{6 \alpha_{\text{изл}}} \cdot \ln \frac{T_{\text{р}} - T'_{\text{ч}}}{T_{\text{р}} - T''_{\text{ч}}}, \quad (6)$$

где  $\rho_{\text{ч}}$  – объемный вес РШ, 125 кг/м<sup>3</sup>;  
 $c_{\text{ч}}$  – удельная теплоемкость РШ, 1966 кДж/кг·°С;  
 $Bi$  – критерий Био, число подобия стационарного теплообмена между твердым телом и окружающей его средой;  
 $d_{\text{ч}}$  – размер частицы РШ, 0,005 м;  
 $\alpha_{\text{изл}}$  – коэффициент теплоотдачи излучением от радиантной трубы к стене реактора, Вт/м<sup>2</sup>·г;  
 $T_{\text{р}}$  – температура газа в реакторе, °К;  
 $T'_{\text{ч}}$  и  $T''_{\text{ч}}$  – температура частиц РШ в слое на выходе из реактора и средняя, соответственно, °К.

Для расчета  $\tau_{\text{теор}}$  необходимо вычислить теплотехническую характеристику обрабатываемого материала – критерий  $Bi$ , который находим по формуле [15]:

$$Bi = \frac{\alpha_{\text{изл}} \cdot d_{\text{ч}}}{\lambda_{\text{ч}}} = \frac{109 \cdot 0,005}{0,06} = 9,084; \quad (7)$$

где  $\alpha_{\text{изл}}$  – коэффициент теплоотдачи излучением от радиантной трубы к стене реактора, Вт/м<sup>2</sup>·г;  
 $d_{\text{ч}}$  – размер частицы РШ, 0,005 м;  
 $\lambda_{\text{ч}}$  – коэффициент теплопроводности частиц РШ, кДж/м·г·с.

С учетом полученных значений теоретическое время ( $\tau_{\text{теор}}$ ) нагрева одиночной частицы рисовой шелухи составит:

$$\tau_{\text{теор}} = \frac{125 \cdot 1,966 \left(1 + \frac{9,084}{5}\right) \cdot 0,005}{6 \cdot 109 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \frac{1273 - 273}{1273 - 598} = 2,08 \text{ сек} = 0,034 \text{ мин}. \quad (8)$$

Действительное время ( $t_{\text{д}}$ ) нагрева частиц РШ в реакторе определяется по формуле [15]:

$$t_{\text{д}} = \tau_{\text{теор}} \cdot K_{\text{г}}, \quad (9)$$

где  $\tau_{\text{теор}}$  – теоретическое время нагрева одиночной частицы РШ, мин;  
 $K_{\text{г}}$  – коэффициент, отвечающий за однородность тепловой обработки частиц в слое трубчатой печи, равный 80.

Соответственно, действительное время нагрева частиц РШ в реакторе составит 2,77 мин.

Нагрев РШ в реакторе до нужной температуры будет осуществим только при превышении фактического времени пребывания РШ в реакторе ( $\tau_{\text{проб}}$ ) над расчетным значением действительного времени нагрева ( $t_{\text{д}}$ ), то есть при  $\tau_{\text{проб}} > t_{\text{д}}$ . В нашем случае данное условие выдерживается, поскольку  $\tau_{\text{проб}} = 4,0 \text{ мин} > t_{\text{д}} = 2,77 \text{ мин}$ .

Для определения коэффициента заполнения печи материалом ( $\Psi$ ) воспользуемся формулой [14]:

$$\Psi = \frac{P}{\omega \cdot F \cdot \rho} = \frac{700}{52,02 \cdot 1,77 \cdot 125} = 0,061; \quad (10)$$

где  $P$  – расход РШ, кг/ч;  
 $\omega$  – поступательная скорость движения РШ, м/ч;  
 $F$  – площадь внутреннего сечения реактора, м<sup>2</sup>;  
 $\rho$  – объемный вес РШ, кг/м<sup>3</sup>.

Согласно закону радиационного теплообмена [16], нагрев материала в печи будет достигнут в том случае, если расстояние от радиантной трубы до стенки реактора будет больше высоты слоя материала в печи ( $h > h_{\text{мат}}$ ). Для расчета высоты рисовой шелухи в печи необходимо определить центральный угол ( $\varphi$ ) слоя материала в реакторе (рисунок 2), который связан с коэффициентом заполнения печи ( $\Psi$ ) уравнением [14]:

$$\Psi = \left( \frac{\varphi}{360} - \frac{\sin \varphi}{2\pi} \right). \quad (11)$$

Принимая во внимание значение  $\Psi$ , получим искомое значение  $\varphi = 78^\circ$ .

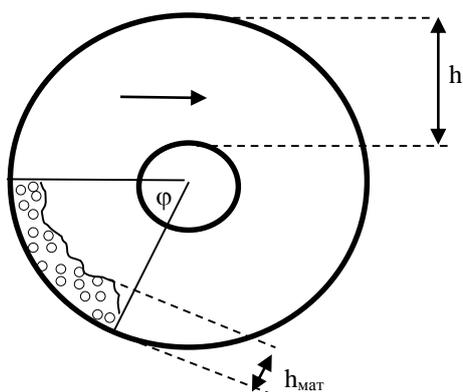


Рисунок 2 – Схема движения частиц РШ в реакторе пиролиза [16]

При заданных параметрах высота РШ в печи составит:

$$h_{\text{мат}} = R_{\text{вн}} \left( 1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1,5}{2} \left( 1 - \cos \frac{78}{2} \right) = \frac{1,5}{2} (1 - 0,777) = 0,167 \text{ м}, \quad (12)$$

где  $R_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр реактора, м;  
 $\varphi$  – центральный угол слоя РШ в реакторе.

Чтобы оценить возможность нагрева рисовой шелухи предлагаемым способом, т.е. используя тепло горячих газов от сжигания пиролизного газа, рассчитаем расстояние от радиантной трубы до стенки реактора:

$$h = \frac{D_{\text{вн}}}{2} - \frac{d_p}{2} = \frac{1,5}{2} - \frac{0,5}{2} = 0,5 \text{ м}, \quad (13)$$

где  $D_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр реактора, м;  
 $d_p$  – диаметр радиантной трубы, м.

Получаем, что  $h = 0,5 \text{ м} > h_{\text{мат}} = 0,167 \text{ м}$ . Следовательно, радиационный нагрев РШ горячим газом от сжигания ПГ теоретически возможен.

**Обсуждение результатов.** Предложенное технологическое решение исключает конденсацию образующегося по известной технологии термической переработки рисовой шелухи [7] пиролизного газа с получением органического продукта. Предусматривается использование пиролизного газа как энергетического топлива для нагрева рисовой шелухи в реакторе пиролиза. На основании выполненных расчетов и полученных данных, можно говорить о том, что, нагрев рисовой шелухи горячими газами от сжигания пиролизного газа при параметрах установки, описанных выше, вполне осуществим. На практике, изменяя число оборотов и угол наклона реактора, можно управлять технологическим режимом работы установки пиролиза, в том числе регулировать и её производительность. Так, при числе оборотов реактора  $n=2$  и коэффициенте заполнения  $0,091$  поступательная скорость движения материала составит  $34,68 \text{ м/ч}$ , и время пребывания рисовой шелухи в зоне нагрева –  $6,06 \text{ мин}$ . Получаемый при этом кремнеуглерод представляет собой гомогенную смесь аморфных тонкодисперсных частиц ( $10\text{--}50 \text{ нм}$ ) углерода и диоксида кремния. По своему составу и свойствам (йодное число  $54\text{--}58 \text{ г/кг}$ , абсорбция дибутилфталата  $100\text{--}110 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ , плотность  $0,42 \text{ г/см}^3$ ) он отвечает основным требованиям, предъявляемым к наполнителям эластомеров и углеродных конструкционных материалов.

Техническое решение по использованию пиролизного газа в качестве энергетического топлива в процессе термической переработки рисовой шелухи позволяет существенно сократить потребление электрической энергии. При этом достигается снижение себестоимости получаемого кремнеуглерода на  $15\text{--}20 \%$ .

**Выводы.** Предложен энергоэффективный способ термической переработки рисовой шелухи с получением кремнеуглеродного продукта. Разработана технологическая схема, определены основные узлы установки пиролиза, выполнен расчет параметров процесса

термической переработки РШ в реакторе с радиационным нагревом. Установлена возможность применения пиролизного газа с высокой теплотворной способностью как энергетического топлива для обеспечения радиационного нагрева рисовой шелухи. Рекомендованы размеры реактора и технологические режимы работы установки. Дана характеристика кремнеуглерода как наполнителя композиционных материалов различного назначения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке МИР РК (Программа № 0066/ПЦФ-17).*

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ефремова С.В., Бунчук Л.В., Ли Э.М., Ниязов А.А., Сухарников Ю.И. Полупромышленные испытания флотореагента из рисовой шелухи в качестве собирателя // Комплексное использование минерального сырья. – 2017. – 4. – С. 5-11.
- 2 Genieva S., Turmanova S., Dimitrov A., Petkov P., Vlaev L. Thermal degradation of rice husks on a pilot plant utilization of the products as adsorbents for oil spill cleanup // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2012. – 110(1). – P. 111-118. DOI 10.1007/s10973-012-2282-x.
- 3 Lattuada R. M., Peralba M. C. R., Dos Santos J. H. Z., Fisch A. G. Peat, Rice Husk and Rice Husk Carbon as Low-Cost Adsorbents for Metals from Acidic Aqueous Solutions // *Separation Science and Technology*. – 2014. – 49(1). – P. 101-111. DOI 10.1080/01496395.2013.815476.
- 4 Na Chun Ki. Preparation of Biosorbent using Rice Husk: Introduce Anion-sorption Functional Group by Copolymerization with GMA and Subsequent Amination // *Journal of Korea Society of Waste Management*. – 2014. – 31(7). – P. 725-733. DOI 10.9786/kswm.2014.31.7.725.
- 5 Chen H., Zhao L., Wang X., He X., Fang W., Wang X., Wang F. Hybrid one-dimensional nanostructure based on biomorphic porous SiO<sub>2</sub> through in-situ catalytic pyrolysis of rice husk // *Ceramics International*. – 2015. – 41(4). – P. 6089-6097. DOI 10.1016/j.ceramint.2014.12.115.
- 6 Singh S.K., Mohanty B.C., Basu S. Synthesis of SiC from rice husk in a plasma reactor // *Bulletin of Materials Science*. – 2002. – 25(6). – P. 561-563. DOI 10.1007/BF02710551.
- 7 Пат. 26642 РК. Способ комплексной переработки рисовой шелухи // Сухарников Ю.И., Жарменов А.А., Бунчук Л.В., Ефремова С.В., Савченко А.М., Джусупов С.А.; опубл. 25.12.2012. Бюл. № 12.
- 8 Ефремова С.В. Физико-химические основы и технология термической переработки рисовой шелухи. – Алматы: Полиграфсервис, 2011. – 150 с.

9 Пат. 27369 РК. Аппарат для переработки сыпучих материалов // Сухарников Ю.И., Жарменов А.А.; опубл. 16.09.13. Бюл. № 9.

10 Muhammad S. Abu Bakar, James O. Titiloye. Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oil production // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. – 2013. – 103, – P. 362-368. DOI 10.1016/j.jaap.2012.09.005.

11 Gao X.Y., Zhang Y.N., Li B.X., Zhao Y.J., Jiang B.C. Determination of the intrinsic reactivities for carbon dioxide gasification of rice husk chars through using random pore model // *Bioresource Technology*. – 2016. – 218. – P. 1073-1081. DOI 10.1016/j.biortech.2016.07.057.

12 Peng Liu, Yijun Zhao, Yangzhou Guo, Dongdong Feng, Jiangquan Wu, Pengxiang Wang, Shaozeng Sun. Effects of volatile-char interactions on char during pyrolysis of rice husk at mild temperatures // *Bioresource Technology*. – 2016. – 219. – P. 702-709. DOI 10.1016/j.biortech.2016.08.029.

13 Jin Woo Kook, Hee Mang Choi, Bo Hwa Kim, Ho Won Ra, Sang Jun Yoon, Tae Young Mun, Jae Ho Kim, Yong Ku Kim, Jae Goo Lee, Myung Won Seo. Gasification and tar removal characteristics of rice husk in a bubbling fluidized bed reactor // *Fuel*. – 2016. – 181. – P. 942-950. DOI 10.1016/j.fuel.2016.05.027.

14 Диомидовский Д.А. Металлургические печи цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1970. – 701 с.

15 Ключников А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей. – М.: Энергия, 1994. – 230 с.

16 Горяйнов К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. – М: Стройиздат, 1982. – С. 271-283.

### REFERENCES

- 1 Yefremova S.V., Bunchuk L.V., Li Eh.M., Niyazov A.A., Sukharnikov Yu.I. *Polupromyshlennye ispytaniya flotoreagenta iz risovoy sheluhi v kachestve sobiratelya* (Semi-industrial tests of flotation reagent from rice husk as collector). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. **2017**. 4, 5-11 (in Russ).
- 2 Genieva S., Turmanova S., Dimitrov A., Petkov P., Vlaev L. Thermal degradation of rice husks on a pilot plant Utilization of the products as adsorbents for oil spill cleanup. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. **2012**. 110(1), 111-118. DOI 10.1007/s10973-012-2282-x. (in Eng.)
- 3 Lattuada R. M., Peralba M. C. R., Dos Santos J. H. Z., Fisch A. G. Peat, Rice Husk and Rice Husk Carbon as Low-Cost Adsorbents for Metals from Acidic Aqueous Solutions. *Separation Science and Technology*. **2014**. 49(1), 101-111. DOI 10.1080/01496395.2013.815476. (in Eng.)
- 4 Na Chun Ki. Preparation of Biosorbent using Rice Husk: Introduce Anion-sorption Functional Group by Copolymerization with GMA and Subsequent Amination

*Journal of Korea Society of Waste Management.* **2014.** 31(7), 725-733. DOI 10.9786/kswm.2014.31.7.725. (in Eng.)

5 Chen H., Zhao L., Wang X., He X., Fang W., Wang X., Wang F. Hybrid one-dimensional nanostructure based on biomorphic porous SiO<sub>2</sub> through in-situ catalytic pyrolysis of rice husk. *Ceramics International.* **2015.** 41(4), 6089-6097. DOI 10.1016/j.ceramint.2014.12.115. (in Eng.)

6 Singh S.K., Mohanty B.C., Basu S. Synthesis of SiC from rice husk in a plasma reactor. *Bulletin of Materials Science.* **2002.** 25(6), 561-563. DOI 10.1007/BF02710551. (in Eng.)

7 Pat. 26642 RK. *Sposob kompleksnoj pererabotki risovoj shelukhi* (Rice husk complex processing method). Sukharnikov Yu.I., Zharmenov A.A., Bunchuk L.V., Yefremova S.V., Savchenko A.M., Dzhusupov S.A. Opubl. 25.12.2012, 12. (in Russ.)

8 Yefremova S.V. *Fiziko-khimicheskie osnovy i tekhnologiya termicheskoy pererabotki risovoj shelukhi* (Physical-chemical bases and technology of rice husk thermal processing). Almaty: Poligrafserve, **2011**, 150. (in Russ.)

9 Pat. 27369 RK. *Apparat dlya pererabotki sypuchikh materialov* (Plant for processing of free-flowing materials). Sukharnikov Yu.I., Zharmenov A.A. Opubl. 16.09.2013, 9. (in Russ.)

10 Muhammad S. Abu Bakar, James O. Titiloye. Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oil production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* **2013.** 103, 362-368. DOI 10.1016/j.jaap.2012.09.005. (in Eng.)

11 Gao X.Y., Zhang Y.N., Li B.X., Zhao Y.J., Jiang B.C. Determination of the intrinsic reactivities for carbon dioxide gasification of rice husk chars through using random pore model. *Bioresource Technology.* **2016.** 218, 1073-1081. DOI 10.1016/j.biortech.2016.07.057. (in Eng.)

12 Peng Liu, Yijun Zhao, Yangzhou Guo, Dongdong Feng, Jiangquan Wu, Pengxiang Wang, Shaozeng Sun. Effects of volatile-char interactions on char during pyrolysis of rice husk at mild temperatures. *Bioresource Technology.* **2016.** 219, 702-709. DOI 10.1016/j.biortech.2016.08.029. (in Eng.)

13 Jin Woo Kook, Hee Mang Choi, Bo Hwa Kim, Ho Won Ra, Sang Jun Yoon, Tae Young Mun, Jae Ho Kim, Yong Ku Kim, Jae Goo Lee, Myung Won Seo. Gasification and tar removal characteristics of rice husk in a bubbling fluidized bed reactor. *Fuel.* **2016.** 181, 942-950. DOI 10.1016/j.fuel.2016.05.027. (in Eng.)

14 Diomidovskij D.A. *Metallurgicheskie pechi cvetnoj metallurgii* (Metallurgical furnaces of non-ferrous metallurgy). Moscow: Metallurgy, **1970**, 701. (in Russ.)

15 Klyuchnikov A.D. *Teplotekhnicheskaya optimizaciya toplivnikh pechej* (Thermotechnical optimization of fuel furnaces). Moscow: Energy, **1994**, 230 (in Russ.)

16 Goryajnov K.Eh. *Tekhnologiya teploizolyacionnykh materialov i izdelij* (Technology of heat-insulating materials and products). Moscow: Strojizdat, **1982**, 271-283. (in Russ.)

#### ТҮЙІНДЕМЕ

Күріш қыпығының термикалық өңдеу процесін ендірудің жаңа технологиялық режимі ұсынылды. Оның маңыздылығы пиролиз реакторында өсімдіктекті шикізатты радиациялық қыздыру үшін энергетикалық отын ретінде пиролизді газды пайдалануында. Пиролизді газды жағудан бөлінетін жылумен ішкі диаметрі – 1,5 және ұзындығы – 3,5 м, радиантты құбырдың ішкі диаметрі – 0,5 м, ал оның ұзындығы – 4,0 м болатын реакторда күріш қыпығын тиісті қыздыруға болатындығы есептеу жолдармен дәлелденген. Артық жылуды тұрмыстық қажеттілікке пайдалануға болады. Реактордың бұрыштық көлеулігі мен жылдамдық санын мүмкіндігіне қарай реттеп, оның өнімділігін арттыра отырып пиролизді қондырғының жұмыс режимін басқару мүмкіндігі бар екендігі анықталды. Кремнийкөміртегін ала отырып күріш қыпығын өңдеудің сәйкес технологиялық жүйесі дайындалды. Өндірілетін кремнийкөміртегі аморфты формада болатын көміртегі мен кремний диоксидінің гомогенді (біртекті) қоспаларынан тұратыны көрсетілді. Материалдардың біртекті болуын жұқадисперсті бөлшектері түріндегі мөлшері 10-50 нм болатын құраушы компоненттердің болуымен байланысты. Кремнийкөміртегі құрамы мен қасиеттері бойынша эластомерлер мен көміртекті құрылымдық материалдардың жоғары сапалы толтырғышы ретінде қолданылады. Кремнийкөміртегінің өзіндік құны бұрын дайындалған технология бойынша алынатын ұқсас материалдарға қарағанда 15-20 % -ға арзан. Іске қосу шығындарын қысқартуға радиациялық есебінен электрлі қыздырудан бас барту нәтижесінде қол жеткізуге болады.

**Түйінді сөздер:** күріш қыпығы, пиролиз, пиролизды газ, энергетикалық газ, радиациялық қыздыру, кремнийкөміртегі, энергетикалық отын.

#### ABSTRACT

The innovative technology was proposed for conducting the process of the rice husk thermal treatment. The principle of this technology involves using the pyrolysis gas as the energy-generating fuel for the radiation heating of the plant raw material in the pyrolysis reactor. By calculation, it was proved that the warming-up of the rice husk with the heat from the pyrolysis gas burning was really feasible in the reactor with the internal diameter 1.5 m, length of the reactor 3.5 m, internal diameter of a radiant tube 0.5 m, and length of the radiant tube 4.0 m. The resulting excessive heat can be used for domestic needs. The capability was determined to manage the operation mode of the pyrolysis installation increasing its efficiency through regulating the number of rotations and angle of the reactor's incline. The appropriate process scheme for the rice husk treatment with production of silica-carbon was developed. It testifies that the produced silica-carbon represents a homogeneous mixture of carbon and silicon dioxide those were in the amorphous form. The presence of the component ingredients in the form of finely dispersed particles with the size of 10-50 nm provides homogeneity of the material. According to its structure and features, the silica-carbon acts as a high-grade filling compound of elastomers and carbon constructional materials. The production cost of silica-carbon is 15-20 % less than the similar material obtained according to the pre-developed technology. Use of the radiation heating instead of the electric heating of the pyrolysis reactor allows reducing the operational costs.

**Key words:** rice husk, pyrolysis, pyrolysis gas, energy-generating fuel, radiation heating, silica-carbon

Поступила 02.05.2018.