



СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АМОРФНОГО НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ ОТХОДОВ РИСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Нго Хонг Нгиа, Л.А. Зенитова, Ле Куанг Зиен, Дао Нгок Чуен

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Институт полимеров, Ханойский университет наук и технологий, Школа химической инженерии, Вьетнам, г. Ханой

Рассмотрен способ использования рисовой шелухи, являющейся отходом производства, в качестве сырья для получения диоксида кремния как альтернатива синтетическому диоксиду кремния – аэросилу. Предложен низкоэнергетический процесс извлечения диоксида кремния и целлюлозы из шелухи путем щелочной варки в среде раствора NaOH с последующей обработкой "черного щелока" раствором кислоты и прокаливанием осадка при температуре 575 °С в течение 5 ч. Выход неорганических продуктов из рисовой шелухи определяется исходя из зольности целлюлозы. Показано, что полученный продукт в основном состоит из диоксида кремния (SiO₂) аморфной структуры, имеет средний размер частиц менее 100 нм, что позволяет характеризовать его как наносилику. При этом, диоксид кремния состоит из 51,7 % кремния и 48,3 % кислорода против теоретических количеств 30,4 % кремния и 69,6 % кислорода соответственно. Выход диоксида кремния составляет 8,8 % массы рисовой шелухи. Одновременно процесс позволяет получать другой ценный продукт – наноцеллюлозу.

Ключевые слова: диоксид кремния, рисовая шелуха, наносилика

The Method of Obtaining Amorphous Nanosized Silicon Dioxide from Rice Production Waste

Ngo Hong Nghia, L.A. Zenitova, Le Quang Dien, Dao Ngoc Truyen

Kazan National Research Technological University, Institute of Polymers, 420015 Kazan, Russia, Hanoi University of Science and Technology, School of Chemical Engineering, Hanoi, Vietnam

The method of using rice husk, which is a rice production waste, as a raw material for the production of silicon dioxide as an alternative to synthetic silicon dioxide – aerosil is considered. A low-energy process for extracting silicon dioxide and cellulose from the husk by alkaline digestion in an NaOH solution was proposed, followed by treating the black liquor with an acid solution and calcining the precipitate at 575 °C during 5 hours. The yield of inorganic products from rice husk is determined based on the ash content of the pulp. It was shown that the product obtained mainly consists of silicon dioxide (SiO₂) of amorphous structure, has an average particle size of less than 100 nm, which makes it possible to characterize it as nanosilica. At the same time, silicon dioxide consists of 51.7 % silicon and 48.3 % oxygen against theoretical amounts of 30.4 % silicon and 69.6 % oxygen, respectively. The output of silicon dioxide is 8.8 % by weight of rice husk. At the same time, the process allows to obtain another valuable nanocellulose product.

Keywords: silicon dioxide, rice husk, nanosilica

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-04-30-35

Наноразмерный диоксид кремния аморфной структуры широко используется во многих композициях в качестве наполнителей [1, 2], препаратов [3], катализаторов [4]. Особое внимание уделяется диоксиду кремния органического происхождения, т.е. образованному из растительного сырья, в связи с возможностью его довольно простого получения в аморфной форме в виде наночастиц, которые могут быть ис-

пользованы в качестве наполнителя при получении полимерных композиционных материалов.

В настоящее время существует несколько способов получения органического диоксида кремния из лигноцеллюлозной биомассы (бамбук, рисовые шелуха и солома, опилки, кокосовое волокно) [5–7]. Обычно эти отходы подвергаются озолению, а затем диоксид кремния выделяется щелочной обработкой с последующим осаждением кис-

лотой [8]. Согласно этим способам получают диоксид кремния, но при этом теряются другие ценные компоненты биомассы, такие как целлюлоза и лигнин [9]. Поэтому необходим экологичный и энергоэффективный способ извлечения диоксида кремния из биомассы, включающий получение других ценных продуктов.

Шелуха риса представляет собой грубую внешнюю оболочку зерна, на долю которой прихо-

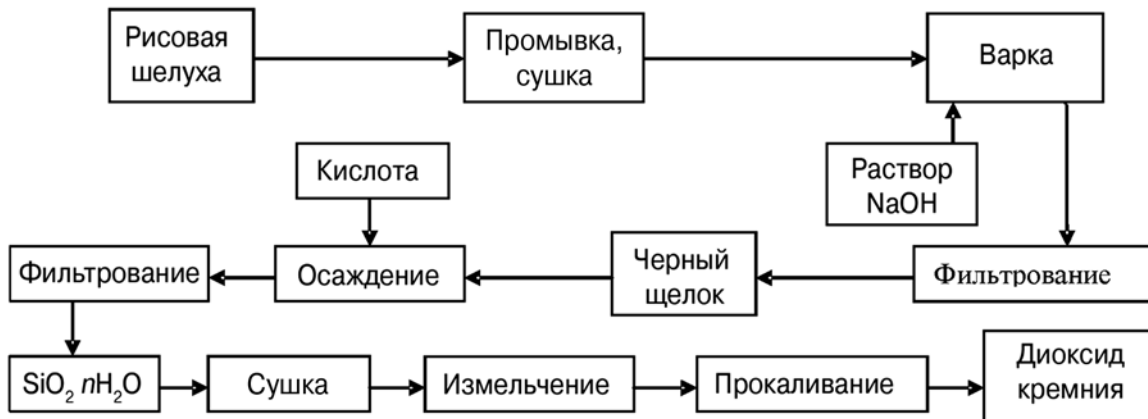


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения диоксида кремния из рисовой шелухи

Fig. 1. Schematic diagram of obtaining silicon dioxide from rice husk

дится около 20 % массы [10, 11]. При мировом производстве риса в размере 503,8 млн т в 2017 г. количество рисовой шелухи составило около 100 млн т [12]. Причем до сих пор во многих сельских районах различных стран рисовая шелуха используется как источник твердого топлива [13, 14]. В зависимости от природы, происхождения, климата и географического района, рисовая шелуха может содержать до 15–28 % кремния, 35–40 % целлюлозы, 15–20 % гемицеллюлозы и 20–25 % лигнина [15]. Поэтому комплексная переработка рисовой шелухи с извлечением максимально возможного числа составляющих ее компонентов приносит и экономическую и экологическую выгоду.

В данной статье представлена технология получения из рисовой шелухи наноразмерного диоксида кремния и исследованы его характеристики.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовалась шелуха риса провинции Тхай Бинь, Вьетнам. Содержание основных компонентов: 30,3 % целлюлозы; 33,4 % лигнина. Зольность 15,7 %.

Для выделения диоксида кремния и других компонентов шелуха обрабатывалась раствором гидроксида натрия с гидромодулем 1:10 при 80–100 °С в течение 1–3 ч. Схема получения диоксида кремния из рисовой шелухи приведена на рис. 1.

Проводилась обработка 10 г сухой шелухи в емкостях с электрообогревом объемом

250 мл, снабженных обратным холодильником. По окончании процесса варки полученную жидкость (черный щелок) отфильтровывали от твердого остатка и использовали для дальнейших исследований с целью получения наноцеллюлозы. В отдельных случаях варка проводилась с использованием ультразвука в установке Zenith Lab ZPS-10A.

Для осаждения диоксида кремния черный щелок обрабатывали растворами соляной или серной кислот до pH 8,5, осадок отфильтровывали, а затем проводили обработку теми же кислотами до pH 3,0 для осаждения лигнина. Гелеобразный продукт, содержащий диоксид кремния, несколько раз промывали горячей водой до нейтральной реакции, затем высушивали до 75–80 % влажности, после

чего измельчали и прокаливали при 575 °С в течение 5–6 ч до постоянной массы.

Зольность рисовой шелухи определяли методом TAPPIT211 от-93. Оценка показателей диоксида кремния проводилась методами сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа FESEMJEOLJSM-7600F, рентгеновской дифрактометрии XRD и ИК-спектроскопии в институте Передовых наук и технологий при Ханойском университете наук и технологий.

Результаты и их обсуждение

Влияние условий щелочной обработки на выход диоксида кремния. Рисовая шелуха, используемая для данной работы, представляет собой смесь неоргани-

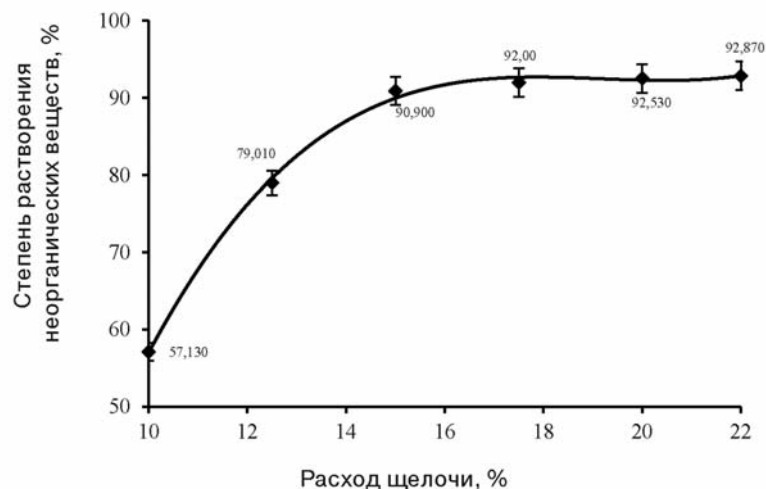


Рис. 2. Зависимость степени растворения неорганических веществ от расхода щелочи (температура обработки 100 °С, продолжительность 3 ч)

Fig. 2. The dependence of the degree of dissolution of inorganic substances on alkali consumption (treatment temperature 100 °С, duration 3 hours)

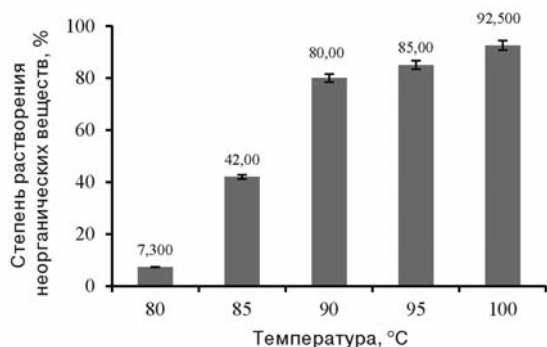


Рис. 3. Зависимость степени растворения неорганических веществ от температуры щелочной варки шелухи риса (расход щелочи 17,5 %, продолжительность 3 ч)

Fig. 3. The dependence of the degree of dissolution of inorganic substances on the temperature of alkaline cooking rice husk (alkali consumption 17.5 %, duration 3 hours)

ческих веществ различного состава, в том числе диоксида кремния, который, как было установлено, хорошо растворяется в щелочных растворах. При обработке шелухи раствором гидроксида натрия кроме диоксида кремния могут растворяться и другие компоненты.

С целью получения из шелухи одновременно целлюлозы, лигнина и диоксида кремния шелуху обрабатывали раствором NaOH (с расходом от 10 до 22 % массы шелухи риса). По предварительным результатам такое соотношение достаточно для растворения компонентов. Задача заключалась в максимально возможном извлечении из шелухи неорганических веществ. Степень растворения неорганических веществ определяли по значению зольности исходного образца шелухи и

твердого остатка после щелочной варки.

Как показывают данные, представленные на рис. 2, с повышением расхода щелочи увеличивается степень растворения, и, соответственно, выход органических веществ. Наибольшая степень растворения наблюдалась при расходе щелочи до 17,5 %. Дальнейшее увеличение расхода щелочи практически не приводило к повышению выхода неорганических веществ. Максимальная степень растворения неорганических веществ достигалась около 93 % всего их содержания в шелухе при расходе щелочи 22,5 % массы шелухи. Можно сказать, что при данных температуре и продолжительности обработки расход щелочи 17,5 % считается оптимальным. При этом растворялось 92 % присутствующих в шелухе неорганических веществ, соответственно выход составил 14,4 % массы шелухи.

Данный расход также достаточен для растворения лигнина с получением целлюлозы с выходом 53 % массы шелухи. Необходимо подчеркнуть, что даже при увеличении расхода щелочи до 25 % выход целлюлозы оставался практически неизменным, что говорило о том, что лигнин и другие компоненты шелухи (гемицеллюлоза, экстрактивные вещества, и т.д.) подвергались деградации и также растворялись до максимально возможной степени.

Следующая серия экспериментов была проведена для

оценки влияния температуры щелочной варки на растворение неорганических веществ. Из рис. 3 видно, что неорганические вещества начали хорошо растворяться только при температуре свыше 85 °C, т.е. при температурах, близких к температуре кипения. В зависимости от цели извлечения неорганических веществ можно проводить процесс при температуре 90–100 °C. Однако, как оказалось, при температуре 90 °C лигнин плохо растворяется и выход твердого остатка довольно высок (58 %).

Очевидно, кипячение суспензии при варке не только вызывает набухание и разрушение прочной клеточной стенки шелухи, что облегчает удаление соединений кремния, но и способствует диффузии их в раствор. Поэтому варку целесообразно проводить при температуре кипения.

Для оптимизации времени обработки щелочную варку проводили при расходе щелочи 17,5 % и температуре 100 °C. Время варьировали от 60 до 180 мин. Полученные результаты (рис. 4) показали, что уже за первые 30 мин процесса растворилось 24 % неорганических веществ. Однако наибольшее растворение началось при времени обработки 60 мин, а при времени 90 мин, когда осталось лишь около 20 % не переходящих в раствор веществ, процесс замедлился. Для растворения около 90 % неорганических веществ шелухи, а это практически предел извлечения, необходимо время обработки порядка 150–180 мин.

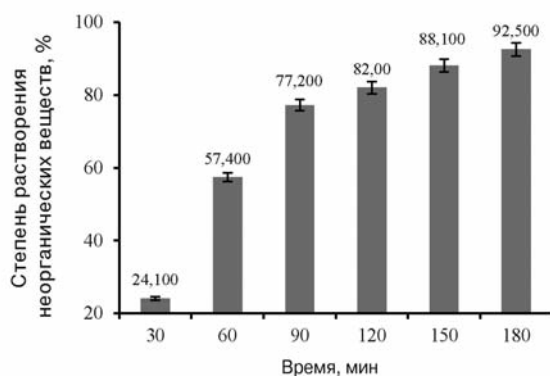


Рис. 4. Зависимость степени растворения неорганических веществ от времени щелочной варки (расход щелочи 17,5 %, температура обработки 100 °C)

Fig. 4. Dependence of the degree of dissolution of inorganic substances on the alkaline cooking time (alkali consumption 17.5%, treatment temperature 100 °C)

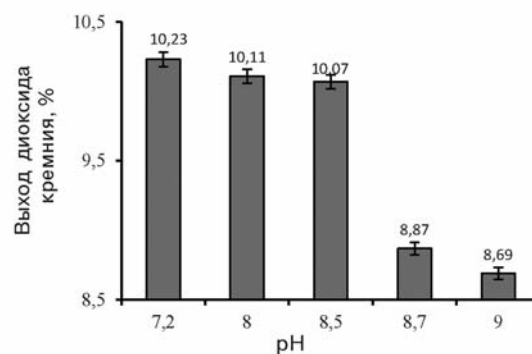


Рис. 5. Зависимость выхода диоксида кремния из щелочного раствора от pH при обработке 15 %-ной серной кислотой

Fig. 5. Dependence of the yield of silicon dioxide from an alkaline solution on the pH when processing with 15 % sulfuric acid

Таким образом, оптимальными условиями щелочной варки шелухи риса для эффективного извлечения неорганических веществ следует считать: расход NaOH 17,5 % массы шелухи, температуру варки 100 °С и время обработки 150 мин.

Ускорение извлечения неорганических веществ с использованием ультразвука. Из полученных результатов видно, что процесс извлечения неорганических веществ щелочной обработкой требует повышенной температуры и длительного времени, что увеличивает энергопотребление процесса. Известно, что ультразвук широко применяется на практике для перевода в растворы многих даже труднорастворимых веществ в различных средах.

Нами были проведены эксперименты по щелочной обработке шелухи с помощью ультразвука для ускорения растворения неорганических веществ, а также экономии времени обработки. С этой целью варка проводилась при пониженной температуре и с меньшей продолжительностью обработки ультразвуком — при 80 °С и частоте 40 кГц.

При проведении щелочной варки при расходе NaOH 17,5 % массы шелухи, при температуре варки 80 °С и времени обработки 180 мин (с перерывом на 15 мин через 30 мин работы) растворилось 28,4 % неорганических веществ, что на 21 % выше, чем в случае варки без использования ультразвука.

Результаты экспериментов (см. таблицу) показали, что использование ультразвука суще-

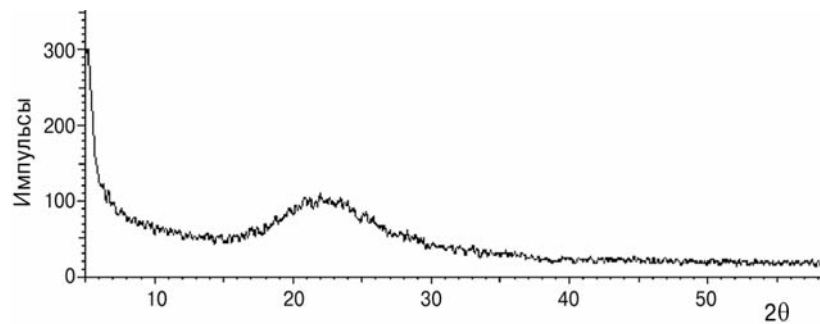


Рис. 6. Рентгеновская дифрактограмма диоксида кремния, полученного из рисовой шелухи

Fig. 6. X-ray diffraction pattern of silicon dioxide obtained from rice husk

Степень растворения неорганических веществ при различном времени обработки ультразвуком (расход щелочи 17,5 %)

The degree of dissolution of inorganic substances at different times of ultrasonic treatment (consumption of alkali 17.5%)

| Общее время щелочной варки без ультразвука при 100 °С, мин | Время обработки ультразвуком при 80 °С | Общее время щелочной варки с ультразвуком при 80 °С, мин | Степень растворения неорганических веществ, % |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 150 | 50 | 30 (трижды по 10 мин) | 95,7 |
| 120 | 40 | 15 (трижды по 5 мин) | 93,2 |
| 90 | 30 | 30 (трижды по 10 мин) | 89,6 |

ственно сказывается на степени растворения неорганических веществ. Применение ультразвука позволяет не только извлекать большее количество неорганических веществ, но и существенно сокращать продолжительность щелочной обработки.

Далее была проведена варка 300 г шелухи при расходе щелочи 17,5 %, температуре 100 °С в течение 150 мин в 5 л емкости. В результате было получено 2,4 л черного щелока.

Выделение диоксида кремния из щелочного раствора (черного щелока). Выделение диоксида

кремния из щелочного раствора осуществили кислотным осаждением. Щелочной раствор обрабатывали 12 %-ной соляной или 15 %-ной серной кислотами до достижения pH = 7,2. Осадок отфильтровывали, промывали до нейтральной реакции, сушили, а затем подвергли озонлению при 575 °С. В результате получили диоксид кремния с выходом 10,02 и 10,23 % массы шелухи соответственно. Оценивая стоимость, эффективность и сложность использования кислот, выбрали 15 %-ную серную кислоту для дальнейших исследований.

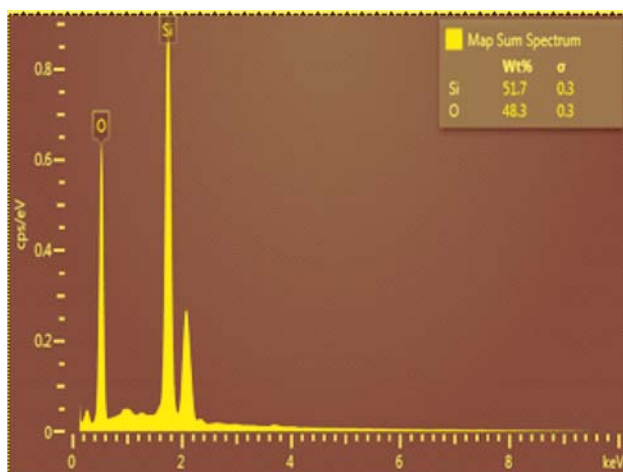


Рис. 7. Спектрограмма диоксида кремния
Fig. 7. Spectrogram of silicon dioxide

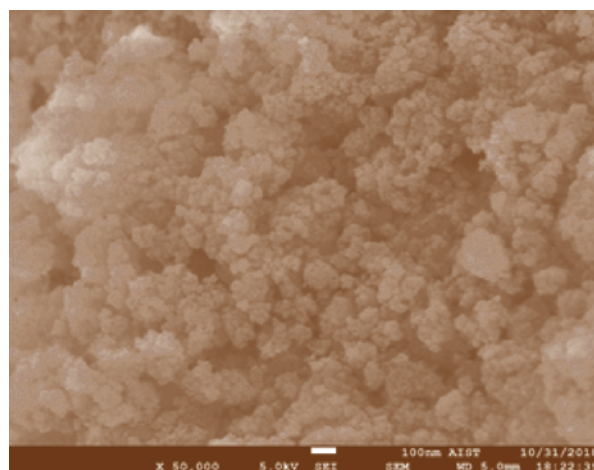


Рис. 8. SEM-изображение частиц диоксида кремния
Fig. 8. SEM image of silica particles

При кислотной обработке щелочного раствора осаждается диоксид кремния и лигнин. Поэтому следующая задача исследования заключалась в оптимизации рН обработанного раствора, при котором можно было выделить максимально возможное количество диоксида кремния, не осажая лигнин.

Было установлено, что при обработке серной кислотой до значения $\text{pH} \geq 9,0$ лигнин еще не выпал в осадок, и при этом диоксид кремния осадился не полностью (судя по зольности полученного осажденного лигнина при обработке до $\text{pH} = 3,0$). Дальнейшее снижение рН приводило к частичному осаждению лигнина, который полностью осаждается при $\text{pH} \leq 3,0$. В пределе при $\text{pH} \leq 7,2$ в растворе остался практически только лигнин. Исходя из этой особенности процесса осаждения, были проведены эксперименты по изучению влияния значения рН на эффективность выделения диоксида кремния из щелочного раствора при обработке его

15 %-ной серной кислотой. Результаты (рис. 5) показали, что значение $\text{pH} = 8,5$ оптимальное, при этом выход диоксида кремния был около 10 % массы рисовой шелухи.

Характеристика полученного диоксида кремния. Рентгеновская дифрактограмма образца диоксида кремния, приведенная на рис. 6, характеризуется широким полуспектральным дифракционным пиком с углом 2θ , что указывает на то, что полученный диоксид кремния существует в аморфной форме.

Анализ элементного состава методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (рис. 7) показал, что полученный препарат диоксида кремния состоит из 51,7 % кремния и 48,3 % кислорода против теоретических количеств 30,4 % кремния и 69,6 % кислорода соответственно.

Спектрограмма диоксида кремния, полученная методом сканирующей электронной микроскопией (рис. 8), показала, что диоксид кремния состоит из ча-

стиц размером менее 100 нанометров, морфология его зернистая, частицы имеют тенденцию к агломерации.

Выводы

1. Разработан энергетически эффективный и малоотходный технологический процесс получения наноразмерного диоксида кремния из шелухи риса по комплексной схеме переработки, включающий экстракцию диоксида кремния из рисовой шелухи обработкой раствором гидроксида натрия с расходом 17,5 % массы шелухи при 80–100 °С и осаждении диоксида кремния 15 %-ной серной кислотой при $\text{pH}=8,5$.

2. Использование ультразвука при экстракции диоксида кремния щелочью ускоряет процесс в 3 раза, позволяет снизить температуру обработки до 80 °С, а также выделить одновременно максимальное количество диоксида кремния и лигнина.

3. Полученный диоксид кремния имеет наноразмерный диапазон частиц менее 100 нм.

Литература

1. Москалюк О.А., Самсонов А.М., Семенова И.В., Смирнова В.Е., Юдин В.Е. Механические свойства полимерных композитов с наночастицами диоксида кремния. Журнал технической физики. 2017. Т. 87. Вып. 2. С. 266–270.
2. Hidayatullah Khan, Muhammad Amin, Muhammad Ali, Muhammad Iqbal, Muhammad Yasin. Effect of micro/nano-SiO₂ on mechanical, thermal, and electrical properties of silicone rubber, epoxy, and EPDM composites for outdoor electrical insulations. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2017. P. 1426–1435. DOI:10.3906/elk-1603-20.
3. Ying Wang, Qinfu Zhao, Ning Han, Ling Bai, Jia Li, Jia Liu, ErxiChe, Liang Hu, Qiang Zhang, Tongying Jiang, Siling Wang. Mesoporous silica nanoparticles in drug delivery and biomedical applications. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. 2015. Vol. 11. Iss. 2. P. 313–327.
4. Mir R.M., Malek T.M. Nano SiO₂: a green, efficient, and reusable heterogeneous catalyst for the synthesis of quinaldine derivatives. Journal of the Iranian Chemical Society. 2015. Vol. 12. Num. 5. P. 743–749. DOI 10.1007/s13738-014-0533-4.
5. Muhammad Fahmi Anuara, Yap Wing Fena., Mohd Hafiz Mohd Zaida, Khamirul Amin Matoria, Rahayu Emilia, Mohamed Khaidir. Synthesis and structural properties of coconut husk as potential silica source. Results in Physics. 2018. Vol. 11. P. 1–4.
6. Norfahana A.T., Akil A., SitiHamidah M.S., Aidee K.K., David L., Mohd. R. Removal of silica from rice straw by using alkaline hydrogen peroxide solution in a fixed bed column. Journal of Materials and Environmental Sciences. 2018. Vol. 9. Iss. 3. P. 864–872.
7. Yi Zheng, Zhongli Pan, Ruihong Zhang. Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2009. Vol. 2. No 3. P. 51.

References

1. Moskalyuk O.A., Samsonov A.M., Semenova I.V., Smirnova V.E., Yudin V.E. Mekhanicheskie svoystva polimernykh kompozitov s nanochastitsami dioksida kremniya. Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. 2017. T. 87. Vyp. 2. S. 266–270.
2. Hidayatullah Khan, Muhammad Amin, Muhammad Ali, Muhammad Iqbal, Muhammad Yasin. Effect of micro/nano-SiO₂ on mechanical, thermal, and electrical properties of silicone rubber, epoxy, and EPDM composites for outdoor electrical insulations. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2017. P. 1426–1435. DOI:10.3906/elk-1603-20.
3. Ying Wang, Qinfu Zhao, Ning Han, Ling Bai, Jia Li, Jia Liu, ErxiChe, Liang Hu, Qiang Zhang, Tongying Jiang, Siling Wang. Mesoporous silica nanoparticles in drug delivery and biomedical applications. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. 2015. Vol. 11. Iss. 2. P. 313–327.
4. Mir R.M., Malek T.M. Nano SiO₂: a green, efficient, and reusable heterogeneous catalyst for the synthesis of quinaldine derivatives. Journal of the Iranian Chemical Society. 2015. Vol. 12. Num. 5. P. 743–749. DOI 10.1007/s13738-014-0533-4.
5. Muhammad Fahmi Anuara, Yap Wing Fena., Mohd Hafiz Mohd Zaida, Khamirul Amin Matoria, Rahayu Emilia, Mohamed Khaidir. Synthesis and structural properties of coconut husk as potential silica source. Results in Physics. 2018. Vol. 11. P. 1–4.
6. Norfahana A.T., Akil A., SitiHamidah M.S., Aidee K.K., David L., Mohd. R. Removal of silica from rice straw by using alkaline hydrogen peroxide solution in a fixed bed column. Journal of Materials and Environmental Sciences. 2018. Vol. 9. Iss. 3. P. 864–872.
7. Yi Zheng, Zhongli Pan, Ruihong Zhang. Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2009. Vol. 2. No 3. P. 51.

8. **Le V.H., Thuc C.N.H., Thuc H.H.** Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method. *Nanoscale Research Letters*. 2013. P. 1–10.
9. **Yan Liu, Yupeng Guo, Yanchao Zhu, Dongmin An, Wei Gao, Zhuo Wang, Yuejia Ma, Zichen Wang.** A sustainable route for the preparation of activated carbon and silica from rice husk ash. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 186. Iss. 2–3. P. 1314–1319.
10. **Patil N.B., Sharanagouda H.** Rice husk and Its Applications: Review. *International journal of current microbiology and applied sciences*. 2017. Vol. 6. No 10. P. 1144–1156.
11. **Rice market monitor.** FAO. 2017. Vol. XX. P. ??
12. **Jun Yu, Jibin Zhang, Jin He, Ziduo Liu, Ziniu Yu.** Combinations of mild physical or chemical pretreatment with biological pretreatment for enzymatic hydrolysis of rice hull. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 100(2). P. 903–908.
13. **Tokan A., Muhammad M.H., Japhet J.A., Kyauta E.E.** Comparative Analysis of the Effectiveness of Rice Husk Pellets and Charcoal As Fuel For Domestic Purpose. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2016. Vol. 13. Iss. 5. Ver. VI. P. 21–27.
14. **Yahaya D.B. and Ibrahim T.G.** Development of rice husk briquettes for use as fuel. *Research journal in Engineering and Applied Sciences*. 2012. P. 130–133.
15. **Parveen Kumar, Diane M.Barrett, Michael J. Delwiche, Pieter Stroevе.** Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009. 48 (8). P. 3713–3729.

Нго Хонг Нгиа – аспирант, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Институт полимеров, 420015 Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса 72, e-mail: ngohongnghia@gmail.com • Л.А. Зенитова – д-р техн. наук, зав. кафедрой, e-mail: liubov_zenitova@mail.ru • Ле Куанг Зиен – зав. кафедрой, Ханойский университет наук и технологий, Школа химической инженерии, Вьетнам, г. Ханой, ул. Дай Ко Вьет 1, e-mail: dien.lequang@hust.edu.vn • Дао Нгок Чуен – студент, e-mail: ngoctruyenk59@gmail.com

Ngо Hong Nghia – Post-graduate Student, Kazan National Research Technological University, Institute of Polymers, 420015 Russia, Republic of Tatarstan, Kazan, Karl Marx Str. 72, e-mail: ngohongnghia@gmail.com • L.A. Zenitova – Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, e-mail: liubov_zenitova@mail.ru • Ле Куанг Зиен – Head of Department, Hanoi University of Science and Technology, School of Chemical Engineering, Vietnam, Hanoi, Dai Ko Viet Str. 1, e-mail: dien.lequang@hust.edu.vn • Дао Нгок Чуен – Student, e-mail: ngoctruyenk59@gmail.com

Вниманию руководителей и главных специалистов предприятий, высших и средних специальных учебных заведений, органов экологического мониторинга

Издательство "Инфра-Инженерия" представляет **"Инженерно-экологический справочник"** в трех томах под редакцией профессора Тимонина А.С. Общий объем – более 3100 стр., формат 165x235 мм, переплет: твердый.

Предлагаемый справочник – результат обобщения современных достижений академических, учебных, научных, проектных и конструкторских организаций и предприятий в области разработки методов и технологий защиты окружающей среды за последние 20 лет.

В издании представлено и проанализировано более 1000 современных отечественных и зарубежных технологических схем защиты воздушного и водного бассейнов, утилизации и переработки твердых промышленных и бытовых отходов в различных отраслях промышленности: теплоэнергетике, черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической, нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей, горно-металлургической и горнодобывающей промышленности, легкой и пищевой индустрии, лесотехнической, лесохимической и целлюлозно-бумажной промышленности, агропромышленным комплексе, городском коммунальном хозяйстве и ряде других.

Справочник рекомендован УМО вузов по университетскому политехническому образованию РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Техносферная безопасность". Он может быть использован при курсовом и дипломном проектировании по соответствующим дисциплинам.

Справочник рассчитан на инженерно-технических работников, занятых разработкой технологий и оборудования для защиты окружающей среды, проектов нормативов предельно допустимых выбросов и стоков, нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, экологической части строительных проектов и экологической экспертизы в различных отраслях и производствах.

Оформить заказ на книгу можно на сайте издательства "Инфра-Инженерия":

<https://infra-e.ru/> skype: infra_e WhatsApp: 8(911)512-48-48

Справки по тел.: 8-800-250-66-01 (звонок по России бесплатный)

