

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИНТЕЗА ДИОКСИДА КРЕМНИЯ С РАЗМЕРОМ ЧАСТИЦ В НАНОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

**В. П. Селяев¹, Р. Е. Нурылбаев², И. Б. Сангулова²,
О. В. Лияскин¹, Е. Л. Кечуткина¹**

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева (г. Саранск)

²Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К. И. Сатпаева (г. Алматы)

Разработана технология синтеза диоксида кремния, основанная на использовании опал-кристобалитовых пород диатомита. Предложены два способа получения золя кремниевой кислоты. По первому способу измельченный диатомит сплавляют с щелочью и затем путем выщелачивания сплава дистиллированной водой выделяют кислоту. По второму способу для получения золя кремниевой кислоты измельченный диатомит выдерживают в растворе едкого натра. Далее золь кремниевой кислоты после коагуляции осаждают раствором минеральной кислоты, получая в результате частицы диоксида кремния. Показано, что процентное содержание и крупность осаждения частиц микрокремнезема можно регулировать путем изменения концентрации и температуры раствора едкого натра и длительности реакции синтеза, достигая при этом крупности частиц наноразмерного уровня и пористости свыше 90 %.

Оптимальный режим синтеза с максимальным выходом частиц диоксида кремния (размер частиц диаметром 60-200 нм) рекомендовано осуществлять при температуре 90-50 °С и концентрации электролита 10 %, продолжительности реакции 1-2 часа, что в свою очередь является экономичным вариантом в плане энергозатрат. Получены аналитические зависимости выхода (в процентах) диоксида кремния от концентрации и температуры раствора едкого натра.

Гранулометрический состав и крупность частиц синтезированного диоксида кремния, предварительно диспергированного в ультразвуковом поле частотой 42 кГц, мощностью источника 40 Вт, определяли методом лазерного дифракционного анализа на приборе Shimadzu SALD-3101 с диапазоном измерений от 50 нм до 3 мм. Процентное содержание диоксида кремния в синтезированном продукте определяли с применением электронного микроскопа Quanta 200 и рентгенофлуоресцентного спектрометра ARLPerform`X 4200, которые позволяют проводить локальный анализ элементного состава материала.

Синтезированный диоксид кремния в виде порошка относится к наиболее перспективным материалам будущего в плане решения задач энергоэффективности и энергосбережения, который рекомендовано применять для изготовления вакуумных изоляционных панелей, высокопрочных цементных бетонов, фиолетовых стекол, фильтровальных порошков.

Ключевые слова: диоксид кремния; микрокремнезем; золь-гель метод; термостатирование; рентгенофлуоресценция; щелочь; технология синтеза; вакуумная изоляционная панель; энергосбережение.

Актуальность проблемы. Уровень развития строительной отрасли принято определять не тем, что построено, а тем, какие материалы, конструктивные решения, технологии

при этом применялись. На современном этапе определяющий вектор развития экономики связан с решением задач энергоэффективности и энергосбережения.

Известно, что более 30 % энергетических ресурсов потребляется на обеспечение комфортных условий проживания. Для снижения энергозатрат на эти цели необходимо обеспечить надежную тепловую защиту зданий путем применения новых теплоизоляционных материалов, конструктивных схем и технологий изготовления.

Анализ литературных данных показывает, что задачу снижения энергозатрат можно решить путем применения вакуумных изоляционных панелей (VIP). Изделия VIP состоят из воздухонепроницаемой оболочки и минерального наполнителя. В качестве наполнителя наиболее обосновано применение тонкодисперсного микрокремнезема с опаловой структурой строения, который можно получать различными способами [1-9].

Из анализа результатов экспериментальных исследований следует, что наиболее энергоэкономичным является золь-гель метод, основанный на синтезе оксида кремния из опал-кристаллитовых пород [1, 2]. При этом необходимо получить микрокремнезем со структурой строения, подобной минералу опал, с крупностью частиц наноразмерного уровня и пористостью выше 90 %.

Цели исследования следующие:

1) разработать технологию синтеза золь-гель методом из опал-кристаллитовых пород частиц диоксида кремния с соответствующими показателями качества: содержание диоксида кремния около 90 %; крупность частиц 60-200 нм; пористость зернистой системы более 90 %; насыпная плотность 150-250 кг/м³;

2) оптимизировать технологические режимы синтеза с целью производства частиц диоксида кремния с заданными показателями качества при минимальных энергозатратах;

3) изучить влияние технологических режимов синтеза на показатели качества частиц диоксида кремния.

Программа экспериментальных исследований. Производство оксида кремния основано на применении кремнийсодержащих пород: кварцевых песков, халцедоновых пород, силикатов. Анализом химического, элементного, фазового состава установлено, что условия энергозатрат на переработку предпочтительнее отдать диатомитам, месторождения которых достаточно широко представлены. Диатомиты имеют высокое содержание оксида кремния в аморфном состоянии, высокую пористость, хорошую растворимость в щелочах.

Технология синтеза диоксида кремния из диатомита предполагает агрегацию частиц диатомита путем помола или диспергации в воде. Затем по первому способу измельченный диатомит сплавляют с щелочью и путем выщелачивания сплава дистиллированной водой получают золь кремниевой кислоты. По второму способу золь кремниевой кислоты получают путем выдержки измельченного диатомита в растворе едкого натра при различных значениях концентрации и температуры раствора, длительности экспонирования. Полученный золь кремниевой кислоты коагулировали и производили осаждение диоксида кремния минеральной кислотой (соляной и азотной) [2].

Оптимальные технологические режимы синтеза диоксида кремния определяли путем моделирования зависимости выходных параметров (y_i) от концентрации (x_1), температуры (x_2) электролита, длительности экспонирования.

План эксперимента представляли D-оптимальной матрицей Кифера-Коно, реализация которого давала возможность получить нелинейную полиномиальную модель:

$$y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2.$$

Коэффициент регрессии

$$a_{ij} = (A_T A)^{-1} A_T y_i,$$

где A и A_T – матрицы по плану и транспонированные; y_i – экспериментальное значение выходного параметра.

Адекватность модели оценивали по критерию Фишера

$$F(S_D/\varphi_1)/(S_e/\varphi_2),$$

где S_D и S_e – среднеквадратичные отклонения:

$$S_D = \sum v(y_i - \bar{y}_i)^2;$$

$$S_e = \sum v(y_{ij} - \bar{y}_i)^2.$$

Эффективность производства оксида кремния оценивалась по содержанию диоксида кремния, фазовому состоянию, содержанию воды, гранулометрическому составу, крупности, структуре поверхности частиц, энергетическим затратам на производство микрокремнезема.

Анализ полученных результатов. Процентное содержание синтезированного диоксида кремния определяли с применением электронного микроскопа Quanta 200 и рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL Perform X 4200, который позволяет проводить локальный анализ экспериментального состава материала и результаты исследования представляет в виде спектра рентгенофлуоресценции различных компонентов вещества и таблицы (рис. 1).

Установлено, что максимальный выход диоксида кремния 99,97 % достигается при концентрации раствора едкого натра 10 %, температуре электролита $T = 90$ °С, длительности экспонирования $t = 1$ час.

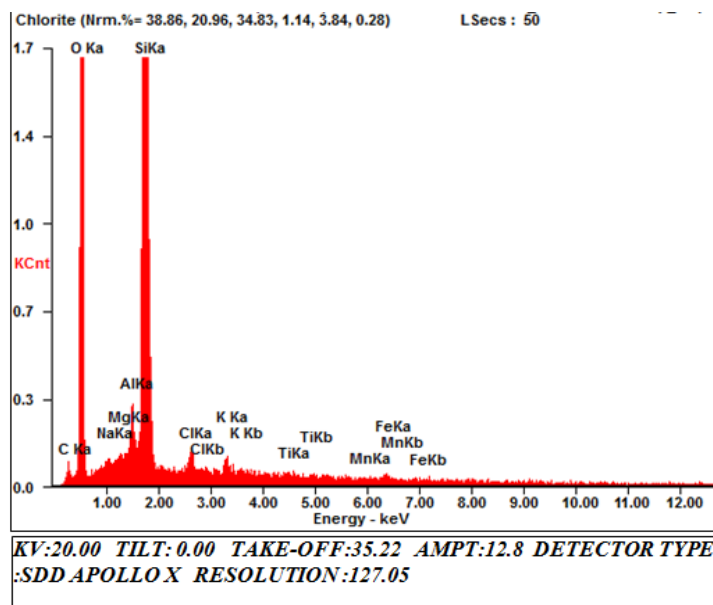


Рис. 1. Результаты локального элементного анализа аморфного диоксида кремния. Спектр рентгенофлуоресценций

Таблица 1

Рентгенофлуоресцентный анализ элементного состава порошка микрокремнезема

№ п/п	Концентрация раствора NaOH, %	Температура, град, °С	Длительность экспонирования, ч	Содержание SiO ₂ , %	
				среднее	среднее квадратичное отклонение
1	10	90	1	99.97	0.01
2	20	90	1	99.14	0.05
3	30	90	1	98.95	0.05
4	30	90	2	94.95	0.11
5	10	145	2	99.05	0.05
6	20	145	2	97.96	0.07
7	30	145	2	96.68	0.09
8	10	90	3	97.84	0.07
9	20	90	3	91.50	0.14

Окончание табл. 1

№ п/п	Концентрация раствора NaOH, %	Температура, град, °С	Длительность экспонирования, ч	Содержание SiO ₂ , %	
				Среднее	Среднее квадратичное отклонение
10	30	90	3	85.92	0.17
11	10	50	2	98.9	0.05
12	20	50	2	72.5	0.05
13	30	50	2	52.3	0.01
14	10	70	2	89.7	0.01
15	20	70	2	90.8	0.03
16	30	70	2	77.8	0.03
17	10	90	2	75.1	0.01
18	20	90	2	75.6	0.01
19	30	90	2	64.0	0.01

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа элементного состава порошка микрокремнезема представлены в таблице 1. Очевидно, что эффективность синтеза диоксида кремния из диатомита зависит от концентрации, температуры электролита, длительности экспонирования. Зависимость выхода микрокремнезема (y_1) и крупности частиц (y_2) диоксида кремния от условий синтеза можно представить аналитическими уравнениями (1) и (2), а также графически (рис. 2, 3).

$$y_1(SiO_2, \%) = 88.3 - 11.6x_1 - 1.5x_2 + 8.9x_1x_2 - 3.3x_1^2 - 1.5x_2^2 \quad (1)$$

$(\hat{F} = 1.7 < F_{кр} = 27,34);$

$$y_2(d, \text{мкм}) = 0.24 + 0.02x_1 + 0.01x_2 - 0.08x_1x_2 - 0.02x_1^2 - 0.035x_2^2 \quad (2)$$

$(\hat{F} = 5.9 \leq F_{кр} = 27,34).$

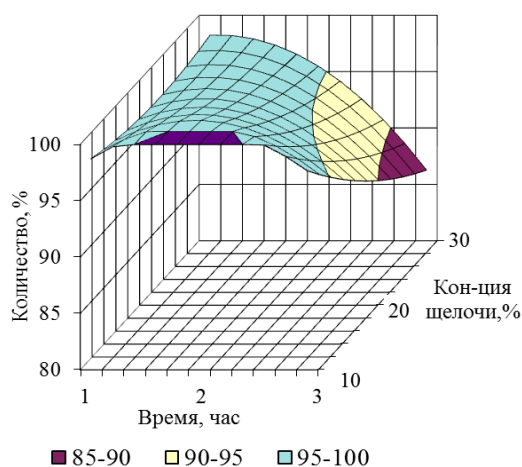


Рис. 2. Зависимость выхода кремнезема от концентрации щелочи и времени термостатирования

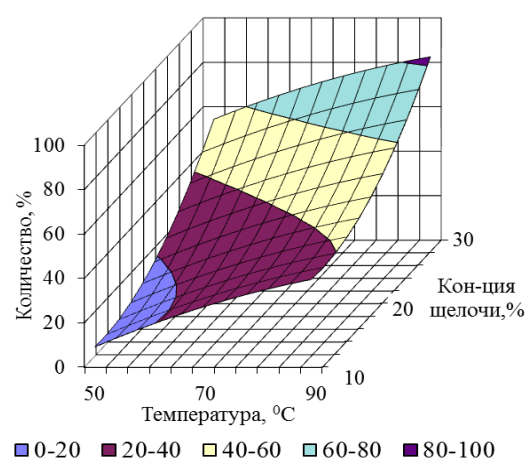


Рис. 3. Зависимость выхода микрокремнезема от концентрации щелочи и температуры термостатирования

Согласно полученным данным, оптимальный (по выходу продукта и энергозатратам) режим синтеза возможен при концентрации и температуре электролита соответственно 10 % и 50 °С, длительности синтеза 2 часа (рис. 4).

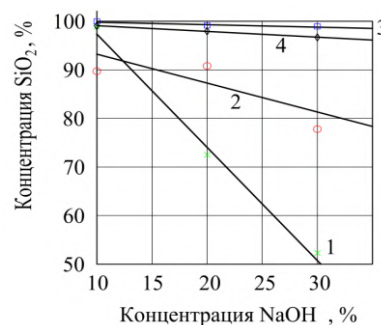


Рис. 4. Зависимость содержания диоксида кремния от концентрации раствора при температуре: 1 – 50 °С; 2 – 70 °С; 3 – 90 °С; 4 – 145 °С (1, 2, 4 – $t = 2$ ч; 3 – $t = 1$ ч)

Гранулометрический состав синтезированного порошка диоксида кремния определяли методом лазерного дифракционного анализа на приборе Shimadzu SALD-3101 с

диапазоном измерений от 50 нм до 3 мм. Диспергирование порошка проводили в ультразвуковом поле частотой 42 кГц, мощностью источника 40 Вт.

Median D	0.079	Mean V	0.081
Modal D	0.071	StdDev	0.073

25	50	75	0	0	0	0	0	0
0.070	0.079	0.092	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

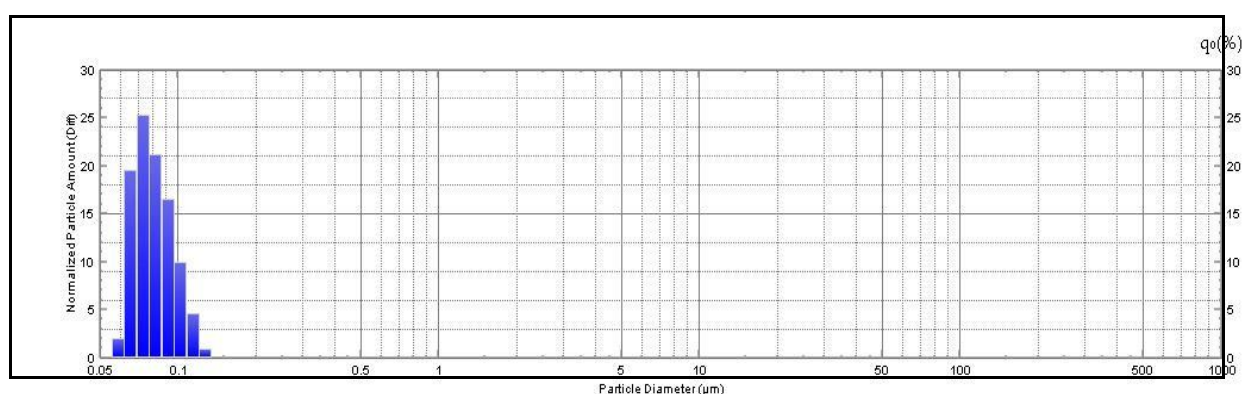


Рис. 5. Гистограмма аморфного микрокремнезема, полученного из природного диатомита обработкой 10 % раствором щелочи в течение одного часа

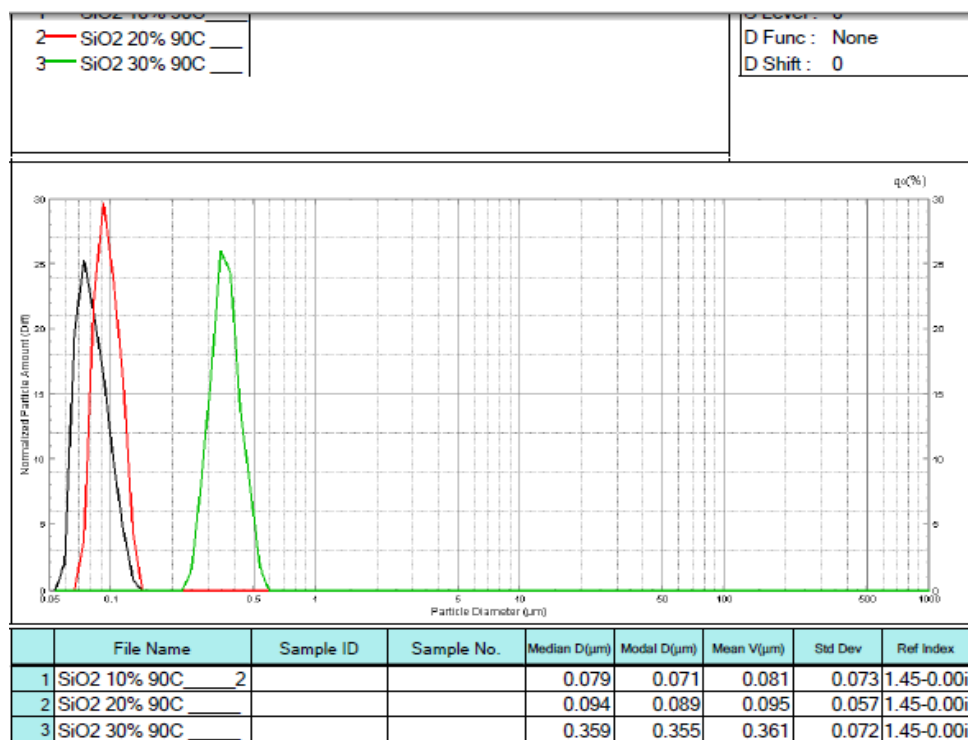


Рис. 6. Распределение частиц микрокремнезема (по среднему диаметру) в зависимости от концентрации щелочи, время термостатирования 1 час

На рисунке 5 представлена характерная гистограмма гранулометрического анализа синтезированного диоксида кремния. На рисунке 6 приведен типичный график распределения частиц синтезированного микрокремнезема по размерам (среднему диаметру).

Анализ гистограмм и данных таблицы 2 свидетельствует, что минимальный размер

частиц составляет от 0,062 до 0,078 мкм. В образцах не наблюдается сколько-нибудь заметного числа частиц, имеющих крупность в интервале от 0,05 до 0,06 мкм. Размер частиц кремнезема зависит от соотношения Ж:Т фаз, концентрации щелочи в растворе и продолжительности термостатирования.

Таблица 2

Размеры частиц аморфного микрокремнезема, полученного из диатомита при различной температуре и концентрации щелочи

№ п/п	t, °C	τ, ч	C, NaOH, %	Диаметр частиц			
				мкм	W, %		
					25	50	75
1	50	2	10	0,087-0,121	0,100	0,111	0,123
			20	0,260-0,325	0,283	0,319	0,357
			30	0,325-0,451	0,389	0,439	0,491
2	90	2	10	0,291-0,404	0,343	0,382	0,438
			20	0,291-0,404	0,337	0,376	0,431
			30	1,690-3,271	2,857	4,031	6,347
3	90	1	10	0,062-0,078	0,070	0,079	0,092
			20	0,078-0,097	0,086	0,094	0,107
			30	0,260-0,362	0,322	0,359	0,401
4	90	3	10	0,078-0,097	0,088	0,100	0,115
			20	0,062-0,087	0,073	0,084	0,096
			30	0,062-0,097	0,076	0,087	0,098
5	145	2	10	0,078-0,108	0,089	0,101	0,116
			20	0,260-0,404	0,338	0,384	0,448
			30	0,260-0,404	0,335	0,370	0,419

Оптимальный режим синтеза частиц диоксида кремния диаметром в диапазоне 60-20 нм можно получить при температуре $T = 50; 90$ °C, концентрации электролита $C = 10$ % и продолжительности реакции $t = 1$ час.

Согласно многочисленным экспериментальным данным, пористость (Π) и насыпная плотность (γ) зернистых систем зависят от крупности частиц. При изменении среднего диаметра зерен системы в нанометровом диапазоне $d \approx 10^{-7} \dots 10^{-9}$ м будем иметь $\Pi > 90$ %; $\gamma < 200$ кг/м³.

Выводы. Предложена технология синтеза диоксида кремния, основанная на полу-

чении золя кремниевой кислоты путем растворения диспергированных частиц диатомита в растворе едкого натра, из которого после коагуляции осаждают раствором соляной или азотной кислоты частицы диоксида кремния.

Определены оптимальные режимы синтеза частиц диоксида кремния диаметром 60...200 нм и процентным содержанием более 95 %.

Установлено, что крупность частиц и процентное содержание диоксида кремния в синтезированном продукте зависит от температуры и концентрации раствора едкого натра, а также длительности реакции синтеза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии №18-48-130001/18 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита: монография / В.П. Селяев, В.А. Неверов, А.К. Осипов [и др.]. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2013. 220 с.
2. Пат. 2526454 Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема / В.П. Селяев, А.К. Осипов, А.А. Седова, Л.И. Куприяшкина; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». № 2013104054/05; заявл. 30.01.13; опубл. 20.08.14, Бюл. № 23. 7 с.
3. Пат. 2261840 Российская Федерация, МПК7 С01В 33/18. Способ получения аморфного диоксида кремния / В.В. Наседкин, А.Н. Доронин, Р.Г. Мелконян, Л.М. Нагаева, А.П. Коротченко, Т.С. Юсупов; заявитель и патентообладатель В.В. Наседкин. № 2004118287/15; заявл. 18.06.04; опубл. 10.10.05, Бюл. № 28. 9 с.
4. Пат. 2474535 Российская Федерация, МПК С01В 33/18. Способ получения аморфного диоксида кремния / В.В. Наседкин, Я.О. Ильев, Е.Н. Иванов, Г.П. Галкин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Технострой» (ООО Технострой). № 2011134416/05; заявл. 17.08.11; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4. 18 с.
5. Пат. 2286947 Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Способ переработки кремнеземосодержащего сырья / В.С. Римкевич, Ю.Н. Маловицкий, Л.П. Демьянова; заявитель и патентообладатель Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГиП ДВО РАН). № 2004110338/15; заявл. 05.04.2004; опубл. 10.11.2006, Бюл. № 31. 6 с.
6. Ahmaruzzaman M., Gupta V. K. Rice husk and its ash as low-cost adsorbents in water and wastewater treatment // Industrial and engineering chemistry research. 2011. No. 50. P. 13598-13613.
7. Tsai W.T., Hsien K.J., Yang J.M. Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application to removal of dye from aqueous solution // Journal of Colloid and Interface Science. 2004. Vol. 275, No. 2. P. 428-433.
8. Covindarao Venneti M.H. Utilization of rice hack a preliminary analysis // Journal of Scientific and Industrial Research. 1980. Vol. 39, No. 9. P. 495-515.
9. Smirnova I., Mamic J., Arlt W. Adsorption of drugs on silica aerogels // Langmuir. 2003. Vol. 19, No. 20. P. 8521-8525.

Информация об авторах

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Республика Мордовия. Область научных интересов – долговечность строительных материалов и конструкций. E-mail: ntorm80@mail.ru.

НУРЛЫБАЕВ Руслан Ергалиевич – доктор наук (PhD), заместитель директора Института химической инженерии, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан. Область научных интересов – теплоизоляционные материалы и изделия на основе диатомитовых и цеолитсодержащих зернистых систем с наноструктурированным поровым пространством. E-mail: rusa_nre@mail.ru.

САНГУЛОВА Индира Беркинбаевна – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан. Область научных интересов – наноструктурированные теплоизоляционные покрытия на основе тонкодисперсных минеральных зернистых систем. E-mail: ntorm80@mail.ru.

ЛИЯСКИН Олег Викторович – аспирант кафедры строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Республика Мордовия. Область научных интересов – долговечность вакуумных теплоизоляционных панелей. E-mail: oliyaskin@mail.ru.

КЕЧУТКИНА Евгения Львовна – инженер кафедры строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск, Республика Мордовия. Область научных интересов – долговечность строительных материалов и конструкций. E-mail: ntorm80@mail.ru.

UDC 66.091.3:691-419.5

DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.102

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF SYNTHESIS OF SILICON DIOXIDE WITH NANOMETER PARTICLE SIZE

**V. P. Selyaev¹, R. E. Nurylbaev², I. B. Sangulova²,
O. V. Liyaskin¹, E. L. Kechutkina¹**

¹National Research Mordovia State University (Saransk),

²Satbayev University (Almaty)

As a result of research carried out the authors have developed the technology for the synthesis of silicon dioxide based on the use of opal – cristobalite diatomite rocks. Two methods have been proposed for preparing a silica sol. In the first method the crushed diatomite has been fused with an alkali and then acid was isolated by leaching the alloy with distilled water. In the second method the crushed diatomite has been kept in caustic soda solution in order to obtain a silica sol. Further after precipitation coagulates the silica sol precipitates silica particles with a mineral acid solution. It has been shown that the percentage and particle size of sedimentation of microsilica particles can be adjusted by changing the concentration and temperature of caustic soda solution and the duration of the synthesis reaction, while achieving the particle size of nanoscale level and porosity of over 90 %.

The optimal synthesis mode with the maximum yield of silica particles with a particle size of 60–200 nm in diameter is recommended to be carried out at a temperature and electrolyte concentration of 90–50 °C, 10 %, and the reaction time of 1–2 hours, which in turn is an economical option in terms of energy costs. Analytical dependences of the yield (in %) of silicon dioxide on the concentration and temperature of sodium hydroxide solution have been obtained.

The particle size of the synthesized silica particles previously dispersed in an ultrasonic field at a frequency of 42 kHz and a source power of 40 W has been determined by laser diffraction analysis using Shimadzu SALD-3101 with a measurement range from 50 nm to 3 mm. The percentage of silicon dioxide in the synthesized product was determined using Quanta 200 electron microscope and ARLPerform`X 4200 X-ray fluorescence spectrometer, which allow local analysis of the elemental composition of the material.

Synthesized silicon dioxide in the form of powder is among the most promising materials of the future in terms of solving problems of energy efficiency and energy saving, which is recommended for the use in the manufacture of vacuum insulation panels, high-strength cement concretes, UV glass, filter powders.

Keywords: silica; silica fume; sol-gel method; temperature control; X-ray fluorescence; alkali; synthesis technology; vacuum insulation panel; energy saving.

REFERENCES

1. Selyaev V.P., Neverov V.A., Osipov A.K. et al. Teploizoljacionnye materialy i izdelija na osnove vakuumirovannyh dispersnyh poroshkov mikro-kremnezema i diatomita: monografija [Thermal insulation materials and products based on vacuum silica dispersible powders of silica fume and diatomite: monograph], Saransk: Publisher Mordovia University, 2013, 220 p.
2. Pat. 2526454 Russian Federation, Int. Cl. C01B 33/18. Sposob poluchenija tonkodispersnogo amorfnogo mikrokremnezema [Method of obtaining finely-disperse amorphous microsilica], V.P. Selyaev, A.K. Osipov, A.A. Sedova, L.I. Kupriyashkina; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Ogarev Mordovia State University", No. 2013104054/05; filing 01/30/13; publ. 08/20/14, Bull. No. 23, 7 p.
3. Pat. 2261840 Russian Federation, Int. Cl. C01B 33/18. Sposob poluchenija amorfnogo dioksida kremnija [Method for preparing amorphous silicon dioxide], V.V. Nasedkin, A.N. Doronin, R.G. Melkonyan, L.M. Nagaeva, A.P. Korochenko, T.S. Yusupov; applicant and proprietor V.V. Nasedkin, No. 2004118287/15; filing 06/18/04; publ. 10/10/05, Bull. No. 28, 9 p.

4. Pat. 2474535 Russian Federation, Int. Cl. C01B 33/18. Sposob poluchenija amorfного dioksida kremnija [Method of producing amorphous silicon dioxide], V.V. Nasedkin, Ia.O. Iliev, E.N. Ivanov, G.P. Galkin; applicant and proprietor Tekhnostroj Limited Liability Company (Tekhnostroy LLC), No. 2011134416/05; filing 08/17/11; publ. 02/10/13, Bull. No. 4, 18 p.

5. Pat. 2286947 Russian Federation, Int. Cl. C01B 33/18. Sposob pererabotki kremnezemsoder-zhashhego syr'ja [Method of processing silica-containing raw material], V.S. Rimkevich, Iu.N. Malovitsky, L.P. Demyanova; applicant and proprietor Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IG&P FEB RAS), No. 2004110338/15; filing 04/05/2004; publ. 11/10/2006, Bull. No. 31, 6 p.

6. Ahmaruzzaman M., Gupta V. K. Rice husk and its ash as low-cost adsorbents in water and wastewater treatment, *Industrial and engineering chemistry research*, 2011, No. 50, pp. 13598-13613.

7. Tsai W.T., Hsien K.J., Yang J.M. Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application to removal of dye from aqueous solution, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, Vol. 275, No. 2, pp. 428- 433.

8. Covindarao Venneti M.H. Utilization of rice hack a preliminary analysis, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 1980, Vol. 39, No. 9, pp. 495-515.

9. Smirnova I., Mamic J., Arlt W. Adsorption of drugs on silica aerogels, *Langmuir*, 2003, Vol. 19, No. 20, pp. 8521-8525.

Information about the authors

SELIAEV Vladimir Pavlovich – Academician of the Russian Academy of Architectural and Construction Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Building Structures, National Research Mordovia State University, Saransk, the Republic of Mordovia. Research Interests – durability of building materials and constructions. E-mail: ntorm80@mail.ru.

NURLYBAEV Ruslan Ergalievich – Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director of the Institute of Chemical Engineering, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan. Research interests – heat-insulating materials and products based on diatomite and zeolite-containing granular systems with nanostructured pore space. E-mail: rusya_nre@mail.ru.

SANGULOVA Indira Berkinbaevna – postgraduate student, Satbayev University, Almaty, the Republic of Kazakhstan. Research interests – nanostructured thermal insulation coatings based on fine mineral granular systems. E-mail: ntorm80@mail.ru.

LIASKIN Oleg Viktorovich – post-graduate student of the Department of Building Structures, National Research Mordovia State University, Saransk, the Republic of Mordovia. Research interests – durability of vacuum thermal insulation panels. E-mail: oliyaskin@mail.ru

KECHUTKINA Evgeniia Lvovna – Engineer of the Department of Building Construction, National Research Mordovia State University, Saransk, the Republic of Mordovia. Research interests – durability of building materials and constructions. E-mail: ntorm80@mail.ru.

Библиографическая ссылка

Оптимизация технологических режимов синтеза диоксида кремния с размером частиц в нанометровом диапазоне / В. П. Селяев, Р. Е. Нурылбаев, И. Б. Сангулова, О. В. Лияскин, Е. Л. Кечуткина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 4(12). – С. 102-110. – DOI: 10.25686/2542-114X.2019.4.102