

УДК 678.046.361:541.64(043)

*Т.В. ГРИДНЕВА, А.В. КРАВЧЕНКО, В.Д. БАРСКИЙ, П.В. РЯБИК***ПОЛУЧЕНИЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЧИСТОТЫ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ**

Аморфный силиций (IV) оксид широко используется в электронике, медицине, у в производстве строительных материалов и других отраслей промышленности. Основными требованиями, которые выдвигаются к аморфному силиций(IV) оксиду являются аморфная структура, степень очистки и размер частиц. Необходимость создания экономически выгодных технологий с использованием нового сырьевого источника делает получение аморфного силиций (IV) оксид актуальной проблемой. У работе путем максимального вывлечения компонентов, которые содержат карбон поднимали содержание аморфного силиций (IV) оксид в твердом остатке рисовой шелухи. Соответственно до гипотезы про механизм вытравки компонентов, которые содержат карбон с рисовой шелухи жидкими экстрагентами подобраны экстрагенты и к числу основных технологических факторов отнесены температура, время процесса и концентрация экстрагента.

**Ключові слова:** Аморфний силіцій (IV) оксид, рисового лушпиння, вилучення, лігнін, целюлоза, механізм, гіпотеза.

Аморфный диоксид кремния широко используется в электронике, медицине, в производстве строительных материалов и других отраслях промышленности. Основными требованиями, предъявляемыми к аморфному диоксиду, являются аморфная структура, степень очистки и размер частиц. Необходимость создания экономически выгодных технологий с использованием нового сырьевого источника делает получение аморфного диоксида кремния актуальной проблемой. В работе путем максимального извлечения углеродсодержащих компонентов повышали содержание аморфного диоксида кремния в твердом остатке рисовой шелухи. В соответствии с гипотезой о механизме извлечения углеродсодержащих компонентов из рисовой шелухи жидкими экстрагентами подобраны экстрагенты и к числу основных технологических факторов отнесены температура, время процесса и концентрация экстрагента.

**Ключевые слова:** аморфный диоксид кремния, рисовая шелуха, извлечение, лигнин, целлюлоза, механизм, гипотеза.

Amorphous silicon dioxide is widely used in electronics, medicine, in the production of building manufacture materials and other branches of industry. Different demands are made in every case to amorphous silicon dioxide but the main ones are amorphous structure, purity level and particles size. Modern methods of amorphous silicon dioxide production are based on the silica processing and are power-consuming, expensive and its price and quality are not always satisfied for consumers. The necessity of making economically sound technologies with using a new raw source creation receiving amorphous silicon dioxide and urgent problem. In the work the results of learning processes of coaly components extraction, such as lignin and cellulose in the different technological conditions. Amorphous silicon dioxide content in the hard remainder of a rice peel was raised by maximum coaly components extraction. The hypothesis about mechanism of amorphous silicon dioxide (lignin and cellulose) transition from a rice peel to a liquid state with help of liquid extragents was formulated. In accordance with the hypothesis about mechanism of processing technological characteristics of processes providing maximum level of coaly components extraction were determined, liquid extragents were chosen. For lignin extraction ethyl alcohol with hydrochloric acid addition was used and for cellulose extraction aqueous solution of sulfuric acid was used. It has been stated that temperature, time of extraction process and liquid extragents concentration apply to a number of main technological factors.

**Keywords:** amorphous silicon dioxide, a rice peel, extraction, lignin, cellulose, the mechanism, a hypothesis.

**Введение.** В поисках альтернативных и возобновляемых источников энергии и сырья для химической промышленности [1, 2] обращают на себя внимание отходы рисового производства – рисовая шелуха (РШ) – как носитель аморфного диоксида кремния. Кроме того, из РШ можно получить карбид кремния, фурфурол, целлюлозу, лигнин, рисовое масло, кутин.

В состав рисовой шелухи входит лигнин (по [3] ~ 40 масс. %), целлюлоза (по [3] ~ 36 масс. %), около 24 масс. % оксидов кремния и металлов [4, 5].

Для получения аморфного диоксида кремния повышенной чистоты из рисовой шелухи исходное сырье подвергают помолу и химической обработке с целью максимального удаления из него углеродсодержащих компонентов [4, 5]. Обжигают полученный материал в кислородсодержащей среде.

Процесс извлечения углеродсодержащих компонентов из твердого материала (рисовой шелухи) с

использованием жидкого экстрагента рассматриваем с учетом особенностей структурно-химической организации твердой фазы.

Структурная организация твердых растительных материалов, также как и твердых ископаемых топлив, являющихся результатом непрерывной трансформации (метаморфизма) исходных материалов растительного происхождения, происхождения, условно может быть представлена следующими тремя уровнями:

- на микроуровне состояние и свойства материала определяются движением молекул различных органических и неорганических веществ;

- на макроуровне свойства и состояние материала определяют комплексы молекул различных веществ (макромолекулы), связанные силами межмолекулярного взаимодействия разной природы;

- на уровне твердой частицы свойства и состояние материала определяют объединения макромоле-

кул, связь между которыми обеспечивается различными средствами полисопряжения (водородными связями, ЭДА-взаимодействиями, прочными С-С-связями).

С учетом этого механизм перехода углеродсодержащего компонента в жидкое состояние представляется следующим:

- жидкий селективный экстрагент проникает в поры твердой частицы и вступает в контакт с углеродсодержащим компонентом;

- как следствие взаимовлияния электронных оболочек молекул экстрагента и углеродсодержащего компонента меняется соотношение между средствами полисопряжения на 3-ем уровне и силами межмолекулярного взаимодействия на 2-ом уровне структурно-химической организации твердой частицы;

- в результате ослабления связей между элементами этой структуры она разрушается (переходит на 2-ой и даже 1-ый уровни структурной организации, которым соответствует жидкое состояние вещества) при тех же затратах энергии, подаваемой извне (при той же температуре), при которых была вполне устойчивой до воздействия жидким экстрагентом;

- с ростом концентрации экстрагента степень извлечения переходящего в жидкое состояние углеродсодержащего компонента растет до предельно возможного при данных условиях значения; при этом новый уровень результата процесса зависит не только от концентрации экстрагента, но и от уже достигнутого уровня.

Описанные выше явления, происходящие одновременно во множестве точек объема твердой частицы, облегчают массоперенос в системе твердое тело-жидкость, «разрыхляя» макроструктуру частицы и повышая содержание в ней неэкстрагируемых веществ (в нашем случае целевого продукта).

В рамках представленной гипотезы о механизме процесса извлечения компонента твердой частицы жидким экстрагентом удастся сформулировать ряд практических рекомендаций по технологическим операциям и факторам технологического режима, а также сформулировать в качестве модели процесса уравнение, устанавливающее связь степени извлечения углеродсодержащего компонента с основными технологическими факторами.

В частности, в число упомянутых операций должны входить:

1. Измельчение твердого материала с образованием частиц с максимальной суммарной поверхностью;

2. Интенсивное перемешивание фаз для эффективного использования поверхности их контакта;

3. Подбор жидкой фазы с малой величиной поверхностного натяжения.

К числу технологических факторов относим:

- температуру процесса;
- время процесса;
- концентрацию экстрагента.

Для вывода уравнения, связывающего степень извлечения твердого компонента с этими факторами, вводим обозначения:

$y$  – степень извлечения, масс. %.

$x$  – концентрация экстрагента об. %

$\frac{dy}{dx}$  – изменение степени извлечения в ответ на

изменение концентрации экстрагента (для простоты будем в дальнейшем называть это отношение скоростью извлечения).

В соответствии с гипотезой о механизме процесса запишем выражение

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \quad (1)$$

которое означает, что скорость извлечения зависит не только от концентрации экстрагента, но и от уже достигнутой величины степени извлечения.

В качестве частного случая рассматриваем упрощенное уравнение (1) в виде:

$$\frac{dy}{dx} = f_1(y) \cdot f_2(x), \quad (2)$$

или

$$\frac{dy}{f_1(y)} = f_2(x) dx. \quad (3)$$

Интегрирование (3) дает уравнение

$$F_1(y) = F_2(x) \quad (4)$$

которое определяет значение  $y$  как функцию от  $x$ .

Чтобы перейти от общих результатов к конкретному процессу извлечения твердого компонента жидким экстрагентом заметим, что предыдущее состояние системы определяется не только извлеченным, но и неизвлеченным количеством твердого компонента. Поэтому, учитывая зависимость скорости извлечения от достигнутого уровня извлечения и еще неизвлеченного (остаточного) количества компонента, вводим в качестве функции  $f_1$  выражение

$$f_1(y) = y(y_{\max} - y), \quad (5)$$

где  $y_{\max}$  – максимально возможная степень извлечения.

Подставляя (5) в (2), получаем:

$$\frac{dy}{dx} = y(y_{\max} - y) \cdot f_2(x), \quad (6)$$

После преобразования уравнения (6) получаем:

$$d \ln y - d \ln(y_{\max} - y) = y_{\max} \cdot f_2(x) \cdot dx. \quad (7)$$

Уравнение (7) легко интегрируется (см. уравнение (3) и (4)):

$$\ln y - \ln(y_{\max} - y) = y_{\max} \cdot F_2(x) + c_1. \quad (8)$$

Из (8), решенном относительно  $y$ , получаем:

$$y = \frac{y_{\max}}{1 + b \cdot e^{-y_{\max} \cdot F_2(x)}}, \quad (9)$$

где  $b = e^{-c_1}$ , а постоянную интегрирования можно найти по заданному значению ( $x$ ,  $y$ ).

Если положить, что  $f_2(x)$  линейна, т.е.  $f_2(x) = bx$ , то

$$F_2(x) = b \int x dx = \frac{1}{2} bx^2. \quad (10)$$

Подставив (10) в (9) и принимая

$$y_{\max} = a, \quad (11)$$

и

$$\frac{1}{2} \cdot y_{\max} \cdot b = c, \quad (12)$$

окончательно находим зависимость степени извлечения твердого компонента от концентрации экстрагента в виде:

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx^2}}. \quad (13)$$

Параметры уравнения (13) можно найти по экспериментальным данным, имея ввиду, что:

- по (11)  $a = y_{\max}$ ;
- при  $x = 0$  и  $y_{x=0} \neq 0$  из (13) следует:

$$b = \frac{a}{y_{x=0}} - 1, \quad (14)$$

- при  $x=1$ ,  $y_{x=1} \neq 0$  и  $y_{x=0} \neq 0$  из (13) следует:

$$c = -\ln \frac{a - y_{x=1}}{b \cdot y_{x=1}}. \quad (15)$$

Таким образом, для определения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  план эксперимента должен включать опыты при  $x = 0$ ,  $x = 1$  и  $x$ , при котором достигается  $y_{\max}$ .

Можно предположить, что  $a$ ,  $b$  и  $c$  являются функциями температуры и длительности процесса. В случае установления этих функций их можно включить в уравнение (13) и тогда оно превратится в зависимость степени извлечения одновременно от всех технологических факторов.

**Экспериментальная часть.** Перед извлечением углеродсодержащих компонентов рисовую шелуху промывали горячей водой и затем измельчали на горизонтальной мельнице ударно-центробежного типа и выделяли фракцию частиц крупности 40 – 150 мкм.

Исследования процесса извлечения лигнина из РШ проводили на лабораторной установке, представленной на рисунке 1.

Навеску измельченной РШ массой 5 г помещали в термостатированный реактор, в который заливали 50 мл экстрагента, в качестве которого использовали этиловый спирт с добавкой соляной кислоты [3, 4].

Для снижения поверхностного натяжения соляной кислоты ( $\sigma = 0,0596$  Н/м [6]) и тем самым обеспечения условий для ее проникновения вглубь твердой частицы, кислоту подавали в смеси с 96 %-ным этиловым спиртом ( $\sigma = 0,0173$ Н/м [6]).

Содержание соляной кислоты в этиловом спирте меняли в пределах от 0 до 3,5 масс. %.

Температуру процесса извлечения варьировали от 20 до 800 °С.

Продолжительность процесса изменяли от 0,5 до 6 часов.

Реакционную смесь интенсивно перемешивали с помощью пропеллерной мешалки.

После окончания опыта нерастворимый остаток отфильтровывали, многократно промывали до полного осветления фильтрата с рН = 7.

Промытый остаток высушивали при температуре 90 – 950 °С в воздушной среде до постоянной массы.

В связи с отсутствием точных данных о содержании лигнина в исходном образце РШ степень его извлечения оценивали косвенно по отношению к массе всей пробы по формуле:

$$\alpha = \frac{G_n - G_k}{G_n} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где  $\alpha$  – степень извлечения лигнина из РШ (масс. %);  $G_n$  – начальная масса навески, г;  $G_k$  – масса остатка после извлечения, г.

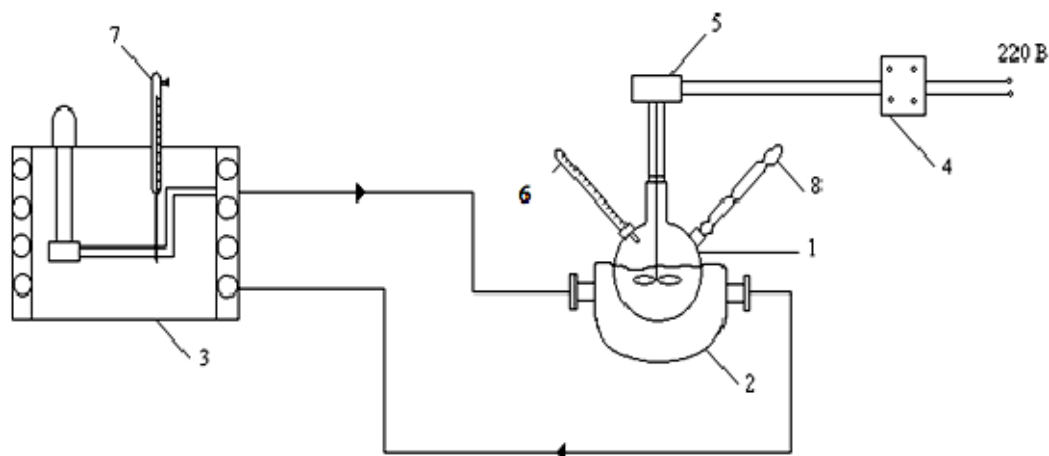


Рис. 1 – Схема лабораторной установки процесса извлечения лигнина из РШ: 1 – термостатированный реактор; 2 – рубашка термостатированного реактора; 3 – термостат; 4 – ЛАТР; 5 – мешалка с электродвигателем; 6 – термометр спиртовой; 7 – термометр контактный; 8 – водяной холодильник.

При этом следует учитывать, что прямое определение степени извлечения даст существенно более высокие значения. Так если считать, что лигнина в пробе 40 масс. %, а определенное по формуле (16) величина равна 30 масс. %, то фактическая степень извлечения лигнина составит 75 масс. %.

Опыты по извлечению целлюлозы из РШ прово-

дили аналогично.

При этом в качестве экстрагента, применяли водный раствор серной кислоты.

Температуру процесса изменяли в пределах 20–100 °С, а продолжительность – от 0,5 до 6 часов.

Все эксперименты проводили с РШ, характеристики которой проведены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 – Технический анализ и элементный состав РШ

Наименование показателя	Метод анализа		Символ, единица измерения	Фактическое значение
	ГОСТ	ISO		
Влага аналитическая	ГОСТ27314-91	ISO 589-81	W <sup>a</sup> ,%	1,90
Зольность на сухое состояние	ГОСТ11022-95	ISO 1171-97	A <sup>d</sup> ,%	20,90
Массовая доля общей серы	ДСТУ 3528-97	ISO 334-92	S <sub>t</sub> <sup>d</sup> ,%	0,001
Выход летучих веществ	ГОСТ 6382-91	ISO 562-81	V <sup>dar</sup> ,%	75,00
Массовая доля углерода	ГОСТ 2408.1-95	ISO 625-96	C <sup>d</sup> ,%	35,51
Массовая доля водорода			H <sup>d</sup> ,%	5,70
Массовая доля азота	ГОСТ 28743-95	ISO 333-83	N <sup>d</sup> ,%	0,31
Массовая доля кислорода	ГОСТ 2408.3-95	ISO 1994-76	O <sup>d</sup> ,%	37,54

Таблица 2 – Вещественный состав минеральной (зольной) части РШ

Наименование показателя	Метод анализа	Символ, единица измерения	Фактическое значение	
			Зола РШ	Зола РШ после экстракции
диоксид кремния	ГОСТ 10538-87	SiO <sub>2</sub> ,%	91,96	99,09
оксид алюминия		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	0,67	0,21
оксид железа		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	4,15	0,21
оксид магния		MgO,%	0,14	0,05
оксид кальция		CaO,%	1,09	0,19
оксид натрия		Na <sub>2</sub> O,%	0,20	0,09
оксид калия		K <sub>2</sub> O,%	1,61	0,07
триоксид серы		SO <sub>3</sub> ,%	0,18	0,08

**Результаты и обсуждения.** В таблице 3 представлены усредненные экспериментальные данные о степени извлечения лигнина из РШ в зависимости от

концентрации соляной кислоты в этиловом спирте, температуры и продолжительности процесса.

Таблица 3 – Экспериментальные данные о степени извлечения лигнина из РШ

Концентрация соляной кислоты	Степень извлечения лигнина из РШ, $\alpha$			
	20 °С	40 °С	60 °С	80 °С
продолжительности процесса 4 часа				
0	1,9	3,9	6,4	8,2
0,5	2,5	4,6	7,5	9,6
1	4,6	7,5	11	13,9
1,5	12,1	16	18,9	26,6
2	12,8	17	20,3	28,3
2,5	12,9	17,1	20,5	28,8
продолжительности процесса 6 часов				
0	2,1	5,3	7,5	8,5
0,5	2,6	5,9	8,2	10
1	5,8	8,5	12,5	15
1,5	14	18	22,6	31
2	14,7	21	25,4	33
2,5	14,7	21,2	25,6	33

Усредненные экспериментальные данные о степени извлечения целлюлозы из РШ в зависимости от концентрации серной кислоты, температуры и продолжительности процесса представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Экспериментальные данные о степени извлечения целлюлозы из РШ

Концентрация водного раствора серной кислоты	Степень извлечения целлюлозы из РШ, $\alpha$			
	20 °С	40 °С	60 °С	100 °С
продолжительности процесса 4 часа				
0	0	0	0	0
5	2	3,4	5,9	7,8
10	7,3	10,2	17,2	22
15	11,5	15,3	22	25,7
продолжительности процесса 6 часов				
0	0	0	0	0
5	2,5	3,8	6,4	8
10	10	15,2	21,1	26
15	14,2	18,9	25,2	29,9

В соответствии с гипотезой о механизме процесса извлечения углеродсодержащих компонентов из

РШ по результатам эксперимента были найдены значения параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  уравнения (13).

В качестве оценки точности уравнения (13) при использовании значений  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , в последних столбцах таблице 5 и таблице 6 приведены значения остаточного среднеквадратичного отклонения.

Эти значения для процессов извлечения лигнина и целлюлозы представлены в таблице 6 и таблице 7, соответственно.

На рисунке 2 и рисунке 3 приведены кривые, отражающие зависимости степеней извлечения лигнина и целлюлозы от температуры и от концентрации, соответственно, соляной кислоты в этиловом спирте и серной кислоты.

Близость расчетных (сплошные линии) и экспериментальных (точки) значений говорит об адекватности модели (13) и, как следствие, о справедливости гипотезы о механизме разрабатываемого процесса.

На рисунке 4 и рисунке 5 приведены данные, говорящие о зависимости коэффициента  $a$  от температуры и продолжительности процесса.

При этом ясно, что определяющая роль здесь принадлежит температуре, эффект от изменения которой в 3 – 5 раз превосходит эффект от продолжительности процесса.

Вместе с тем, очевидно, что для описания зависимостей, представленных на рисунке 4 и рисунке 5, необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Для более полного удаления углеродсодержащих компонентов из РШ промежуточный твердофазный продукт, полученный после удаления лигнина, подвергали обработке кислотным экстрагентом (2-ух стадийный процесс).

Усредненные экспериментальные данные о суммарной степени извлечения лигнина и целлюлозы при разной температуре и продолжительности процесса представлены в таблице 7.

Таблица 5 – Параметры уравнения (13) для процесса извлечения лигнина

Режим		Коэффициенты уравнения (13)			Оценка точности уравнения
$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{ч}$	$a$	$b$	$c$	$S_{\text{ост}}$
20	4	10,9707	51,7183	2,8635	0,1299
	6	12,6000	38,43917	2,657247	0,2168
40	4	13,1648	36,4083	2,6309	0,0914
	6	15,8152	36,344	2,218453	0,0989
60	4	14,0248	19,224	2,24012	0,0855
	6	17,9552	25,344	2,208191	0,34192
80	4	20,3803	29,2457	2,4616	0,2467
	6	24,5653	38,43917	2,657247	0,2168

Таблица 6 – Параметры уравнения (13) для процесса извлечения целлюлозы

Режим		Коэффициенты уравнения(13)			Оценка точности уравнения
t, °C	τ, ч	a	b	c	S <sub>ост</sub>
20	4	11,684	9,549091	0,690646	0,030022
	6	14,28	10,22	0,797	0,0744
40	4	15,6264	6,74975	0,635435	0,010613
	6	18,952	9,544	0,908	0,163637
60	4	22,176	5,5764	0,73607	0,196727
	6	25,376	6,758	0,867	0,3578
100	4	25,76853	5,225581	0,84892	0,2394
	6	29,832	6,317073	0,933575	0,151974

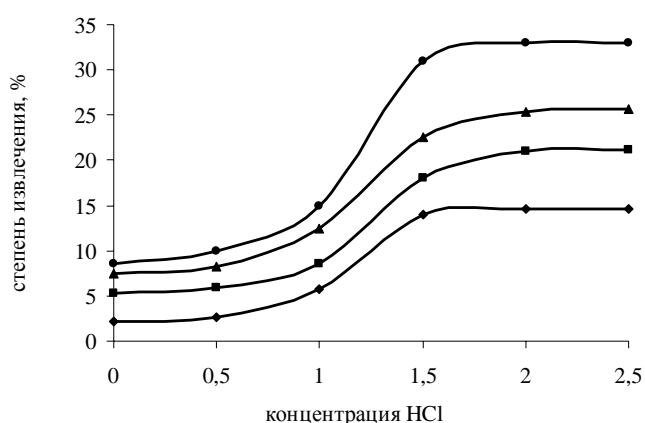


Рис. 2 – Зависимость степени извлечения лигнина из РШ от температуры и концентрации соляной кислоты в этиловом спирте при τ = 6 часов: ♦ – 20 °C; ■ – 40 °C; ▲ – 60 °C; ● – 80 °C.

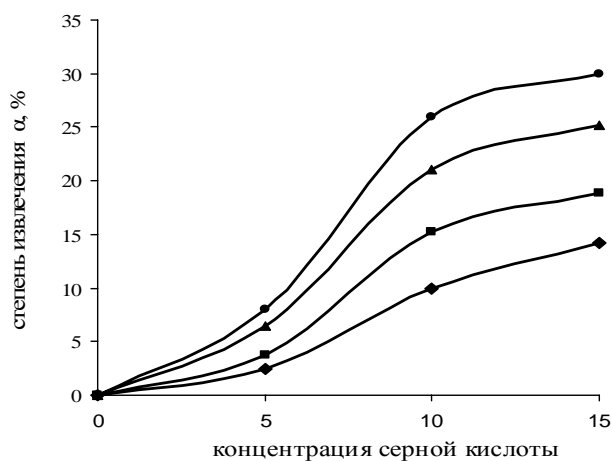


Рис. 3 – Зависимость степени извлечения целлюлозы из РШ от температуры и концентрации серной кислоты при τ = 6 часов: ♦ – 20 °C; ■ – 40 °C; ▲ – 60 °C; ● – 100 °C.

Полученные результаты послужили основой для реализации процессов извлечения лигнина и целлюлозы, как последовательных стадий одного процесса, что позволило увеличить степень извлечения до 55 % (рис. 6).

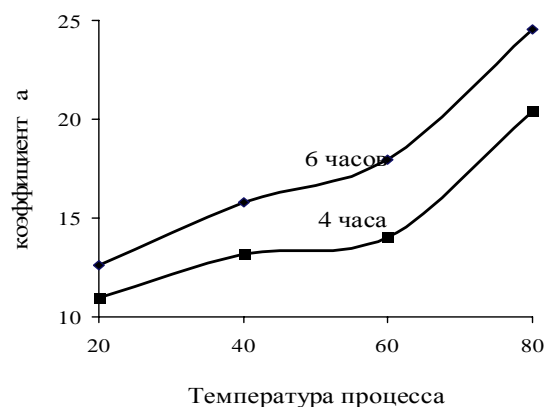


Рис. 4 – Зависимости коэффициента a от температуры и продолжительности процесса извлечения лигнина из РШ

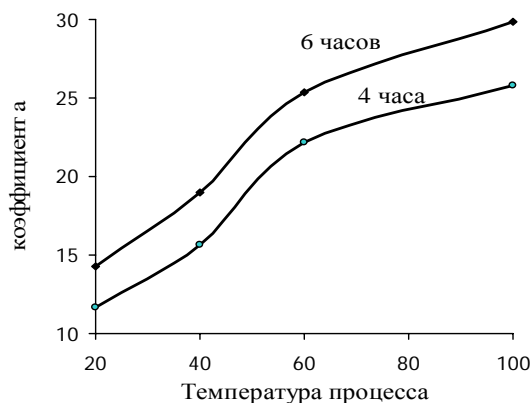


Рис. 5 – Зависимости коэффициента a от температуры и продолжительности процесса извлечения целлюлозы из РШ

Исходя из гипотезы о том, что в экстракт аморфный диоксид кремния практически не уходит с углеродсодержащими компонентами РШ, делаем вывод о том, что содержание SiO<sub>2</sub> в твердом остатке в результате двухстадийного процесса возрастает почти до  $\frac{20,9 \cdot 91,96}{45} = 42,71$  масс. %.

При этом из сопоставления составов золы исходной РШ и ее твердого остатка после экстракции следует, что ощутимый вклад в рост содержания SiO<sub>2</sub>

Таблица 7 – Экспериментальные данные о степени извлечения лигнина и целлюлозы (2-ух стадийный процесс)

Концентрация водного раствора серной кислоты	Степень извлечения лигнина и целлюлозы, $\alpha$			
	20 °C	40 °C	60 °C	100 °C
продолжительности процесса 4 часа				
0	30	30	30	30
5	32	34,3	35,5	40
10	36,4	39,1	42,1	48,1
15	41,4	44,5	47,8	54
продолжительности процесса 6 часов				
0	30	30	30	30
5	33,6	35,9	38,1	41,3
10	39	42	45,5	49,1
15	43,2	46,8	49,9	55,4

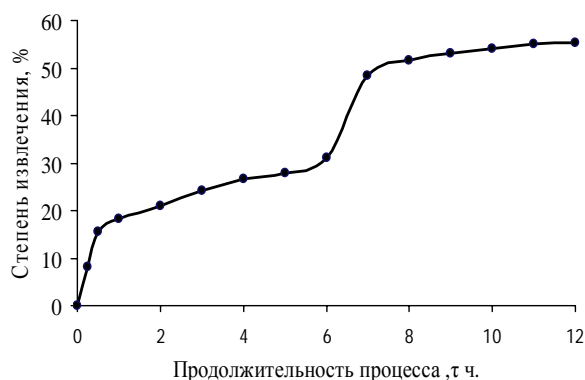


Рис. 6 – Зависимость степени извлечения лигнина и целлюлозы (2-ух стадийный процесс) от продолжительности процесса.

(7,13 масс. %) достигается за счет селективного извлечения всех, кроме  $\text{SiO}_2$ , компонентов минеральной части вещества РШ. Это позволяет предположить, что упомянутые компоненты распределены в лигнине и целлюлозе, тогда как  $\text{SiO}_2$  связан с более конденсированными углеродсодержащими структурами, не переходящими в исследуемых условиях в жидкое состояние.

В связи с этим для получения особо чистого  $\text{SiO}_2$  в процесс включается стадия сжигания твердого остатка 2-ух стадийной экстракции РШ.

### Выводы

1. Сформулирована гипотеза о механизме процесса получения аморфного  $\text{SiO}_2$  путем экстракционного извлечения из рисовой шелухи углеродсодержащих компонентов (лигнина и целлюлозы). На этой основе выведено уравнение, связывающее концентрацию экстрагента со степенью извлечения углеродсодержащих компонентов, определены требования к экстрагентам и условиям проведения эксперимента.

2. Спланирован и реализован эксперимент, в ходе которого исследовано влияние на степень извлечения из РШ лигнина и целлюлозы концентрации экстрагентов (соляная кислота в этиловом спирте и водный раствор серной кислоты), температуры и продолжительности процесса.

3. Показано, что уравнение вида

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{-cx^2}},$$

связывающее степень извлечения с концентрацией экстрагента, адекватно описывает экспериментальные данные при любых сочетаниях температуры и продолжительности процесса в интервалах, соответственно,  $20\text{ °C} \leq t \leq 100\text{ °C}$  и  $0,5\text{ ч} \leq \tau \leq 6\text{ ч}$ .

4. Исследование полученной модели показало, что при использовании фракции РШ крупностью 40 – 150 мкм

- извлечению лигнина смесью этилового спирта с соляной кислотой усредненная максимальная степень извлечения лигнина (33 масс. %) достигается при температуре 80 °C за 6 часов;

- извлечению целлюлозы 15 %-ным водным раствором серной кислоты усредненная максимальная степень извлечения (29,9 масс. %) достигается при температуре 100 °C за 6 часов.

5. Последовательная реализация этих стадий позволяет увеличить степень экстракции углеродсодержащих компонентов до 55 % и тем самым, увеличить содержание аморфного диоксида кремния в твердом остатке РШ от 20,90 до 42,71 масс. %.

### Список литературы

1. Дроздник И. Д. Анализ технологических свойств и сырьевой базы альтернативного топлива Украины / И. Д. Дроздник, Н. И. Борискина, Я. С. Балаева // Углекислотный журнал. – 2015. – № 1-2. – С. 12 – 16.
2. Гордиенко М. А. О выходе продуктов газификации твердого углеродсодержащего сырья / М. А. Гордиенко // Углекислотный журнал. – 2015. – № 1-2. – С. 21 – 25.
3. Никитин В. М. Химия древесины и целлюлозы / В. М. Никитин, А. В. Оболенская, В. П. Щеголев. – М: Лесная промышленность. – 1964. – 368 с.
4. Гриднева Т. В. Исследование процессов экстракции лигнина из рисовой шелухи спиртовым экстрагентом / [Т. В. Гриднева, П. И. Сорока, О. А. Тертышный и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. – № 6. – С. 212 – 214.
5. Сорока П. И. Исследование процессов подготовки рисовой шелухи для получения диоксида кремния / [П. И. Сорока, О. А. Тертышный, Т. В. Гриднева, П. В. Рябик] // Наукові праці ОНАХТ. – 2008. – № 32. – С. 139 – 143.
6. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л: Химия, 1987. – 576 с.

## References (transliterated)

1. Drozdник I. D., Boriskina N. I., Balaeva Ja. S. *Analiz tehnologicheskikh svojstv i syr'evoy bazy al'ternativnogo topliva Ukrainy* [The Analysis of the Technological Properties of the Raw Material Base and Alternative Fuel in Ukraine]. *Uglehimicheskij zhurnal* [The Coal-chemical Journal], 2015, No 1, pp. 12 – 16.
2. Gordienko M. A. *O vyhode produktov gazifikacii tverdogo ugle- rodsoderzhashhego syr'ja* [About the Yield of the Solid Carbonaceous Feedstock Gasification Products]. *Uglehimicheskij zhurnal* [The Coal-chemical Journal], 2015, No 1-2, pp. 21 – 25.
3. Nikitin V. M., Obolenskaja A. V., Shhegolev V. P. *Himija drevesiny i cellulozy* [The Wood and Cellulose Chemistry]. Moscow: Lesnaja promyshlennost' [The Timber Industry], 1964, 368 p.
4. Gridneva T. V., Soroka P. I., Tertysnyj O. A., Riabik P. V., Smirnova H. S. *Issledovanie processov jekstrakcii lignina iz risovoj sheluhi spirtovym jekstragentom* [The Investigation of the Process of the Lignin Extraction from the Rice Peel by the Alcohol Extraction Vehicle]. *Voprosy himii i himicheskoy tehnologii* [The Questions of the Chemistry and the Chemical Engineering], 2007, No 6, pp. 212 – 214.
5. Soroka P. I., Tertysnyj O. A., Gridneva T. V., Riabik P. V. *Issledovanie processov podgotovki risovoj sheluhi dlja poluchenija dioksida kremnija* [The Investigation of the Process of Preparation of the Rise Peel for Getting the Amorphous Silicon Dioxide]. *Naukovi praci Odes'koї Nac. Akademii harchov. Tehnologij* [Odessa National Academy Tractate of Food Technologies], 2008, No 32, pp. 139 – 143.
6. Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A. *Primery i zadachi po kursu processov i apparatov himicheskoy tehnologii: uchebnoe posobie dlja vuzov* [The Examples and Problems at the Rate of Processes and Apparatuses of Chemical Engineering: a Textbook for Universities]. – Leningrad: Himija [Chemistry], 1987, 576 p.

Поступила (received) 20.09.16

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Одержання аморфного силіції (IV) оксиду підвищеної чистоти із рисового лущиння / Т. В. Гриднева, О. В. Кравченко, В. Д. Барський, П. В. Рябик // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 55 – 63. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.**

**Получение аморфного диоксида кремния повышенной чистоты из рисовой шелухи / Т. В. Гриднева, А. В. Кравченко, В. Д. Барский, П. В. Рябик // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 55 – 63. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-0821.**

**Reception amorphous dioxide silicon of the raised cleanliness from rice peel / T. V. Gridneva, A. V. Kravchenko, V. D. Barsky, P. V. Riabik // Bulletin of NTU "KhPI". – Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2016. – No 35 (1207). – P. 55 – 63. – Bibliogr.: 6 names. – ISSN 2079-0821.**

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Гриднева Тетяна Василівна** – Український державний хіміко-технологічний університет, старший викладач кафедри процесів, апаратів та загальної хімічної технології; тел (056) 47-35-49; e-mail: [tasya.gridneva@gmail.com](mailto:tasya.gridneva@gmail.com)

**Гриднева Татьяна Васильевна** - Украинский государственный химико-технологический университет, старший преподаватель кафедры процессов, аппаратов и общей химической технологии; тел (056) 47-35-49; e-mail: [tasya.gridneva@gmail.com](mailto:tasya.gridneva@gmail.com)

**Gridneva Tatyana Vasilievna** – Ukrainian State University of Chemical Technology, Senior Lecturer at the Department of the Processes, the Devices and the General Chemical Technology; Phone (056) 47-35-49; e-mail: [tasya.gridneva@gmail.com](mailto:tasya.gridneva@gmail.com)

**Кравченко Олександр Васильович** – доктор технічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, проректор по педагогічній роботі та комплексному розвитку університету, завідувач кафедри процесів, апаратів та загальної хімічної технології; e-mail: [kravshenko@drpm.dp.ua](mailto:kravshenko@drpm.dp.ua)

**Кравченко Александр Васильевич** – доктор технических наук, Украинский государственный химико-технологический университет, проректор по педагогической работе и комплексному развитию университета, заведующий кафедрой процессов, аппаратов и общей химической технологии; e-mail: [kravshenko@drpm.dp.ua](mailto:kravshenko@drpm.dp.ua)

**Kravchenko Aleksandr Vasilievich** – Doctor of Technical Sciences, Ukrainian State University of Chemical Technology, Vice-rector of the educational work and the comprehensive development at the University, the Head of the Department of the Processes, the Devices and the General Chemical Technology; e-mail: [kravshenko@drpm.dp.ua](mailto:kravshenko@drpm.dp.ua)

**Барський Вадим Давидович** - доктор технічних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, професор кафедри процесів, апаратів та загальної хімічної технології; e-mail: [barsky\\_vadim@mail.ru](mailto:barsky_vadim@mail.ru)



**Барский Вадим Давыдович** – доктор технических наук, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, профессор кафедры процессов, аппаратов и общей химической технологии; e-mail: [barsky\\_vadim@mail.ru](mailto:barsky_vadim@mail.ru)

**Barskiy Vadim Davidovich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukrainian State University of Chemical Technology, Professor at the Department of the Processes, Devices and General Chemical Technology; e-mail: [barsky\\_vadim@mail.ru](mailto:barsky_vadim@mail.ru)

**Рябік Павло Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, Український державний хіміко-технологічний університет, доцент кафедри процесів, апаратів та загальної хімічної технології; тел (050) 566 76 85

**Рябик Павел Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, доцент кафедры процессов, аппаратов и общей химической технологии; тел (050) 566 76 85

**Riabik Pavel Vasilievich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Ukrainian State University of Chemical Technology, Associate Professor of the Department of Processes, Devices and General Chemical Technology; Phone (050) 566 76 85