

3. Нечаев, Э. А. Сравнительный анализ физико-механических и теплоизоляционных характеристик клееного бруса и оцилиндрованного бревна при выборе материала для строительства индивидуальных жилых домов [Электронный ресурс] / Э. А. Нечаев. – Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/11102>. – Дата доступа: 15.02.2024.
4. Вильнав, Ж.-Ж. Клеевые соединения / Ж.-Ж. Вильнав. – М. : Техносфера, 2007. – 384 с.

УДК 546.284: 502.37

**В. П. ДУБОДЕЛ<sup>1</sup>, И. И. ЗЛОТНИКОВ<sup>2</sup>, В. Ю. ПИСАРЕВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина» (г. Мозырь, Беларусь)

<sup>2</sup>УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого» (г. Гомель, Беларусь)

### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА НЕФТИ

Нефтегазовая отрасль и связанные с ней техногенные аварии несут опасность неблагоприятного воздействия на окружающую среду. В связи с этим поиск и разработка способов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для экологической реабилитации загрязненных территорий являются актуальной задачей. Для ликвидации нефтяных загрязнений почвы, сточных вод и водной поверхности наиболее эффективны сорбционные способы. В настоящее время разработано много эффективных сорбентов с необходимыми свойствами для решения конкретных задач по ликвидации загрязнений нефтепродуктами. Очень широко применяются кремнийсодержащие сорбционные материалы: силикагели, алюмосиликаты, цеолиты, вермикулит, бентонитовые глины, кремнеземы, в том числе и модифицированные органическими и неорганическими реагентами [1–3]. Их высокие сорбционные свойства определяет очень развитая поверхность (до сотен м<sup>2</sup>/г) и особые химические свойства поверхности, которыми можно управлять методами химического модифицирования.

Целью данной работы является исследование возможности улучшения сорбционных свойств высокодисперсного диоксида кремния путем его поверхностного модифицирования ионами металлов и рассмотрение перспектив его использования для ликвидации нефтяных загрязнений на почве и поверхности воды.

Для проведения исследований в качестве исходного материала использовали диоксид кремния (белая сажа марки БС-100) и соли-модификаторы: формиат меди Cu(COOH)<sub>2</sub>, хлорид алюминия AlCl<sub>3</sub> и нитрат железа Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Диоксид кремния погружали в 0,05–0,1 % водный раствор соли металла и выдерживали в течение 10–15 минут. Затем его отфильтровывали и сушили при температуре 125±5 °С или путем нагрева в микроволновой печи (частота излучения 2450 МГц), до полного удаления свободной воды.

Проведенные ИК-спектроскопические исследования показали, что после обработки солями на поверхности диоксида кремния присутствуют не только силанольные группы ≡Si–OH, но и «немостиковые» атомы кислорода ≡Si–O<sup>–</sup> и ионы металла. Эти структуры играют роль активных центров, обеспечивая в дальнейшем высокие сорбционные свойства модифицированного диоксида кремния.

Маслоемкость полученных порошков определяли по ГОСТ 21119.8-75. Для определения истинной плотности измеряли массу навески диоксида кремния и его истинный объем по объему воды, вытесненной этой навеской. Для определения насыпной плотности измеряли объем, занимаемый навеской диоксида кремния при свободной засыпке через воронку в мерный цилиндр. Испытания по сорбции нефти проводили по ускоренному методу по ГОСТ 33627-2015 для сорбента II типа. Нефтеемкость сорбента *k* рассчитывали по формуле:  $k=(m-m_0)/m_0$ , где  $m_0$  – масса сорбента до испытания,  $m$  – масса сорбента после обработки нефтью.

В таблице 1 приведены примеры проведения процесса модифицирования диоксида кремния.

Таблица 1 – Примеры получения модифицированного диоксида кремния

Номер примера	1	2	3	4	5	6
Соль металла	Cu(COOH) <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	Cu(COOH) <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>	Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
Режим сушки	Термический, 125 °С			Микроволновой		

Свойства модифицированного диоксида кремния в сравнении с исходным (БС-100) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные свойства диоксида кремния

Показатель	Номера примеров						
	1	2	3	4	5	6	БС-100
Плотность, кг /м <sup>3</sup>	2150	2160	2150	2150	2160	2150	2150
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	120	120	120	112	115	110	115
Маслоемкость, г/г	2,42	2,38	2,45	2,58	2,50	2,66	2,20
Нефтеемкость, г/г	2,8	2,8	3,0	2,9	2,9	3,1	2,4

Из таблицы 2 следует, что поверхностное модифицирование диоксида кремния ионами металлов повышает его нефтеемкость до 30 %, при этом обработка ионами железа более заметно повышает его адсорбционную способность, чем применение ионов меди или алюминия. Кроме того, сушка с использованием микроволнового излучения также повышает маслоспособность и нефтеемкость. Последнее связано с тем, что при воздействии микроволнового излучения различная проводимость частиц влажного диоксида кремния приводит к неоднородности нагрева и образованию в частицах высыхающего кремнезема участков с большими термомеханическими напряжениями, что ведет к их растрескиванию и повышает дисперсность. Кроме того, сильное поглощение электромагнитной энергии водой, находящейся в микропорах диоксида кремния, приводит к ее закипанию до того, как температура всего материала достигнет 100 °С. Это также приводит к вспучиванию и разрыхлению частиц диоксида кремния, что повышает его дисперсность и увеличивает удельную поверхность.

Основываясь на проведенных исследованиях, можно сделать вывод, что поверхностное модифицирование диоксида кремния ионами поливалентных металлов значительно повышает адсорбционные свойства диоксида кремния. Вполне обоснованно можно предположить, что разработанные технологические приемы могут улучшить сорбционную способность не только чистого диоксида кремния, но и других сорбентов на основе различных природных и искусственных силикатов.

Несмотря на то, что силикатные сорбенты имеют более высокую стоимость по сравнению с сорбентами на основе природных материалов, таких как торф, древесные опилки и кора, лигнин и др., но высокая степень связывания углеводородов поверхностью силикатов позволяет более успешно применять их при удалении тонких пленок нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и добиваться более глубокой очистки сточных вод.

#### Список использованных источников

1. Васильева, Ж. В. Оценка эффективности сорбентов для реагирования на аварийные разливы нефти в арктической акватории / Ж. В. Васильева, М. В. Васеха, В. С. Тюляев // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264. – С. 856–864. – DOI: 10.31897/PMI.2023.14.
2. Силикагель – сорбент и носитель катализаторов: совершенствование технологий и поиск альтернативных путей производства / Г. В. Мамонтов [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022. – № 6 (22). – DOI 10.18412/1816-0387-2022-6-6-15.
3. Пожидаев, Ю. Н. Кремнийсодержащие сорбционные материалы: синтез, свойства, применение / Ю. Н. Пожидаев // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – № 4 (9) – С. 7–37.

УДК 666.97.058

#### В. П. ДУБОДЕЛ<sup>1</sup>, В. М. ШАПОВАЛОВ<sup>2</sup>, И. И. ЗЛОТНИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> УО «Мозырьский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина» (г. Мозырь, Беларусь)

<sup>2</sup> ГНУ Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси (г. Гомель, Беларусь)

<sup>3</sup> УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого» (г. Гомель, Беларусь)

#### СИЛИКАТНО-ПОЛИМЕРНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

В реальных условиях эксплуатации бетонные и железобетонные конструкции подвергаются различным неблагоприятным воздействиям: повышенной влажности, циклическому изменению температуры, химически агрессивным сред, механическим нагрузкам и др. Все эти факторы существенно снижают технические характеристики бетона, особенно его поверхностных слоев, приводят к ухудшению декоративных качеств и в конечном итоге снижают срок службы конструкций.

Для повышения стойкости бетонных поверхностей к неблагоприятным внешним воздействиям применяют различные пропиточные составы. Их нанесение не требует больших расходов и позволяет не только упрочнить бетон в верхнем слое, но и комплексно решать большинство эксплуатационных проблем: обеспыливает и герметизирует поверхность, повышает ее химическую стойкость и износостойкость, защищает от проникновения в бетон влаги, нефтепродуктов и др.

В настоящее время для поверхностной обработки бетона разработан целый ряд составов, основными компонентами которых являются неорганические (силикатные) и органические полимеры и олигомеры, способные вступать в химическую реакцию с бетоном и образовывать прочный влагонепроницаемый слой [1].

Целью работы является разработка состава для поверхностной обработки цементных бетонов на основе портландцемента, эксплуатирующихся в условиях повышенной влажности и неблагоприятных атмосферных воздействий в промышленном и гражданском строительстве.

В качестве основных компонентов использовали раствор натриевого жидкого стекла по ГОСТ 13078-81 и акриловую кислоту. Акриловая кислота хорошо совмещается с водным раствором силиката натрия, образуя органосиликатную систему, в которой компоненты способны к химическому взаимодействию как друг с другом, так и с компонентами цементного бетона (в первую очередь с силикатами кальция). Проникая в пористую структуру бетона, органосиликатный раствор заполняет поры, капилляры и микротрещины бетона, в которых происходит гелеобразование в органоминеральной системе с выделением геля кремниевой кислоты. По мере диффузирования воды вглубь материала и дегидратации геля происходит химическое взаимодействие между компонентами