

Третий блок рекомендаций связан с целесообразностью проведения планомерных работ по охвату всех разрабатываемых с применением ППД залежей нефти обобщающими гидрохимическими исследованиями с целью использования полученных материалов для анализа, контроля и регулирования разработки конкретных залежей или их отдельных участков. Как показывают проведенные автором гидрохимические исследования по Березинскому, Северо-Домановичскому и Золотухинскому месторождениям нефти, реализация данного предложения может способствовать получению новой, достаточно важной информации, которая позволит повысить достоверность существующих постоянно действующих гидродинамических моделей отдельных залежей нефти и качество подготовки новых проектных документов на их разработку. После того как по залежам будут выполнены обобщающие гидрохимические исследования, рекомендуется проведение в рамках гидрохимического мониторинга периодической их актуализации, что не потребует существенных временных и материальных затрат.

Л и т е р а т у р а

1. Научно-методическое сопровождение гидрохимического мониторинга разработки Золотухинского месторождения нефти : отчет о НИР (заключ.) / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; рук. В. Д. Порошин ; исполн. С. Л. Порошина. – Гомель, 2020. – 265 с. – № ГР 20201195.
2. Порошин, В. Д. Методы обработки и интерпретации гидрохимических данных при контроле разработки нефтяных месторождений / В. Д. Порошин, В. В. Муляк. – Москва : Недра, 2004. – 220 с.

УДК 546.284:502.37

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ФОСФОГИПСА И ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

В. Ю. Писарев, Т. В. Аткинговская, И. И. Злотников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», Республика Беларусь

Отмечено, что нефтегазовая промышленность и связанные с ней техногенные аварии несут опасность утечек и разливов нефти и нефтепродуктов. Выделено, что для их ликвидации наиболее эффективно применение сорбентов различной природы, а особенно – кремний-содержащих минеральных материалов, таких как силикагели. Однако использование сорбентов на основе силикагелей ограничено их достаточно высокой стоимостью. В связи с этим целью работы являются сравнительное изучение сорбционных свойств фосфогипса и диоксида кремния (силикагеля) по отношению к нефти, а также рассмотрение перспектив применения фосфогипса в качестве сорбента нефтяных загрязнений. Проведены эксперименты по определению физико-механических свойств полученных сорбентов. Представлены основные преимущества и недостатки фосфогипса как сорбента нефти.

Ключевые слова: нефть, загрязнение окружающей среды, сорбенты, диоксид кремния, фосфогипс.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SORPTION PROPERTIES PHOSPHOGYPSUM AND SILICON DIOXIDE

V. Yu. Pisarev, T. V. Atvinovskaya, I. I. Zlotnikov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The oil industry and related man-made accidents carry the risk of oil spills. To eliminate them, the use of various sorbents, especially such as silica gels, is effective. However, the use of silica

gel-based sorbents is limited by their high cost. The purpose of the work is a comparative study of the sorption properties of phosphogypsum and silicon dioxide (silica gel) in relation to oil, as well as consideration of the prospects of using phosphogypsum to eliminate oil pollution. Experiments were conducted to determine the physico-mechanical properties of the obtained sorbents. The main advantages and disadvantages of phosphogypsum as an oil sorbent are considered.

Keywords: oil, environmental pollution, sorbents, silicon dioxide, phosphogypsum.

Нефтяная промышленность является одной из наиболее опасных отраслей хозяйственной деятельности человека по отрицательному влиянию на окружающую среду. Техногенное влияние нефтедобывающей отрасли на объекты природной среды присуще всем этапам освоения месторождений – от бурения до введения в эксплуатацию и разработки месторождений. Огромную экологическую опасность представляют собой аварийные разливы нефти, так как они приводят к наиболее масштабным загрязнениям территорий и водных поверхностей. Для ликвидации нефтяных загрязнений почвы и водной поверхности наиболее эффективны сорбционные способы. В настоящее время разработано и успешно используется много различных сорбентов с необходимыми свойствами для решения конкретных задач по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов. Наиболее эффективными являются кремнийсодержащие сорбционные материалы: силикагели, алюмосиликаты, цеолиты, вермикулит, бентонитовые глины, кремнеземы, в том числе и модифицированные органическими и неорганическими реагентами [1–3]. Однако применение многих из указанных сорбентов ограничено их высокой стоимостью.

Цель данных исследований – сравнительное изучение сорбционных свойств фосфогипса и диоксида кремния (силикагеля) по отношению к нефти, а также поиск путей повышения их сорбционной активности.

В качестве объектов для исследования были выбраны: фосфогипс – отход производства фосфорной кислоты на ОАО «Гомельский химический завод», содержащий около 97 % дигидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и промышленно выпускаемый диоксид кремния («белая сажа» марки БС-100). Исходные порошки сушили в сушильном шкафу при температуре $125 \pm 5^\circ\text{C}$ и просеивали через лабораторные сита (максимальный размер частиц – не более 100 мкм).

Кроме высокой сорбирующей способности по отношению к нефти и нефтепродуктам сорбент должен обладать высокой гидрофобностью и плавучестью, чтобы не смачиваться водой и не тонуть длительное время, если его применяют для очистки водной поверхности. Основываясь на литературных данных [4] и ранее проведенных исследованиях [5], для повышения гидрофобности порошки обрабатывали этилсиликонатом натрия марки ГКЖ-11. Гидрофобизацию порошков диоксида кремния и фосфогипса проводили следующим образом. В отмеренное количество высушенного порошка вводили 4 мас. % этилсиликоната натрия и перемешивали в лабораторном миксере в течение около 1 мин.

Гидрофобность порошков оценивали по ГОСТ 32704-2014. Для этого навеску порошка (2 г) сыпали на поверхность дистиллированной воды в стакане и оставляли на 24 ч, после чего оценивали количество порошка, погрузившегося на дно стакана. Порошок считали полностью гидрофобным, если через 24 ч он весь оставался на поверхности воды. Маслосмачиваемость порошков определяли по ГОСТ 21119.8-75 с помощью стеклянной палочки. Для установления истинной плотности измеряли массу навески фосфогипса и диоксида кремния и его истинный объем по объему вытесненной дистиллированной воды. Насыпную плотность оценивали по объему навески

порошков при их свободной засыпке в мерный цилиндр через воронку. Сорбционную способность по отношению к нефти определяли ускоренным методом по ГОСТ 33627-2015 для адсорбента II типа. Нефтеемкость k рассчитывали по формуле

$$k = (m - m_0) / m_0,$$

где m_0 – масса сорбента до испытания; m – масса сорбента после обработки нефтью.

Сравнительные свойства полученных порошков приведены в таблице.

Свойства сорбентов

Показатель	Сорбент			
	БС-100	БС-100 гидрофобизированный	Фосфогипс	Фосфогипс гидрофобизированный
Плотность, кг/м ³	2150	2210	2860	2850
Насыпная плотность, кг/м ³	115	120	630	640
Маслоемкость, г/г	2,2	2,7	1,12	1,18
Нефтеемкость, г/г	2,4	3,2	1,25	1,38
Степень гидрофобности, %	0	99	0	около 95

Из таблицы следует, что диоксид кремния обладает нефтеемкостью примерно в два раза большей чем фосфогипс. Кроме того, гидрофобизация поверхности диоксида кремния этилсиликонатом натрия повышает его нефтеемкость еще примерно на 33 %, а фосфогипса – только на 10 %, однако после гидрофобизации фосфогипс, как и диоксид кремния, приобретает плавучесть до 24 ч. Учитывая, что диоксид кремния является достаточно дорогим (стоимость – около 4 бел. руб. за 1 кг), а фосфогипс – это отход производства, по результатам проведенных исследований можно утверждать, что фосфогипс является перспективным сорбентом для сбора нефти и нефтепродуктов как с почвы, так и с водной поверхности.

Таким образом, на основе фосфогипса может быть получен эффективный неорганический сорбент для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов с твердой, в том числе обводненной поверхности. Рассмотренный технологический процесс увеличения сорбционных свойств фосфогипса достаточно прост и может быть успешно реализован в промышленных условиях.

Литература

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, Е. В. Евдокимова, А. С. Савельева [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022 – Т. 22, № 6. – С. 6–15. – 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.
4. Губкина, Т. Г. Способы получения гидрофобных сорбентов нефти модификацией поверхности вермикулита органосилоксанами / Т. Г. Губкина, А. Т. Беляевский, В. А. Маслобоев // Вестник МГТУ. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 767–773.

5. Аткинговская, Т. В. Изучение сорбционной способности модифицированного диоксида кремния по отношению к нефти / Т. В. Аткинговская, И. И. Злотников, В. Ю. Писарев // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 3. – С. 13–20. – DOI 10.62595/1819-5245-2024-3-13-20

УДК 534.614

**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ЗВУКА В ЗАТРУБНОМ ПРОСТРАНСТВЕ
НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ЗАЛЕЖИ РЕЧИЦКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ**

У. В. Клочко, Н. В. Бочаров, И. С. Шепелева

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

А. В. Шелюто, А. А. Тишков

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Рассмотрены проблемы определения скорости звука и динамического уровня, влияющего на эффективность работы погружного оборудования, на примере нефтяных скважин воронежской залежи Речицкого месторождения при помощи эхометрии. В результате исследований установлено: фактическая скорость звука в скважинных условиях изменяется в широком диапазоне – от 230 до 372 м/с, что относительно стандартной скорости составляет от –28 до +16,3 %, а погрешность измерения уровня при этом может достигать 300 м.

Ключевые слова: скорость звука, эхометрия, динамический уровень, контроль эксплуатации скважин, гидродинамические исследования скважин.

**ESTIMATION OF THE SPEED OF SOUND IN THE ANNULAR SPACE
ON THE EXAMPLE OF THE VORONEZH DEPOSIT
OF THE RECHITSKY OIL FIELD**

U. V. Klochko, N. V. Bocharov, I. S. Shepeleva

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A. V. Sheluto, A. A. Tishkov

RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The paper considers the problems of determining the speed of sound and the dynamic level that affect the efficiency of submersible equipment, using the example of oil wells in the Voronezh Rechitskoe deposit using echometry. As a result of the research, it was revealed that the actual speed of sound varies in a wide range – from 230 to 372 m/s, which is relative to the standard speed –28...+16,3 %, and the level measurement error can reach 300 m.

Keywords: sound velocity, echometry, dynamic level, well operation control, well hydrodynamic studies.

Большинство нефтедобывающих скважин эксплуатируются механизированным способом. Для стабильной работы насосного оборудования оно должно находиться ниже динамического уровня жидкости при заданных параметрах эксплуатации. Этим руководствуются при выборе производительности и глубины спуска насоса [1].