

УДК 628.316.12:665.7

doi:10.20998/2413-4295.2021.03.09

ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОЗИТУ ДІАТОМІТ-АЛЬГІНАТ- Fe_3O_4 ЯК АДСОРБЕНТУ ФОСФАТІВ

О. О. ПАСЕНКО, Л. А. ФРОЛОВА*, І. С. ШУНЬКІН

кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ УДХТУ, УКРАЇНА
*e-mail: 19kozak83@gmail.com

АНОТАЦІЯ Проаналізовано технологічні підходи до застосування діатоміту як сировини для створення композитних адсорбентів для очищення стічних вод від фосфат-іонів. Показано, що розвинута поверхня діатоміту може бути використана для створення гранульованого адсорбенту, а ферум(III) оксиди (магнетит, гетит, лепідокрокит, ферригідрит, гематит і гетит) є екологічно безпечними, дешевими, економічно доцільними модифікаторами. Акцентовано увагу на можливості отримання магнітних гранул за рахунок утворення магнетиту. Запропоновано використання методу осадження для формування нанесеного гранульованого адсорбенту. Встановлено вплив концентрації діатоміту на статичну міцність гранул. Визначено, що діаметр сопла є також важливим фактором впливу. Обрані технічні рішення спрямовані на вирішення задач зміцнення гранули та забезпечення високої адсорбційної активності. Проведені експериментальні дослідження процесу синтезу і грануляції композиційного адсорбенту альгінат – діатоміт – магнетит показали, що збільшення вмісту діатоміту призводить до закономірного збільшення розміру гранул. При збільшенні діаметру сопла від 1,5 мм до 3,5 мм, наприклад, розмір гранул 1,5-4,0 ($d_c = 1.5$ мм), 2,0-5,0 мм ($d_c = 3,0$ мм) та 2,5-5,0 мм ($d_c = 3.5$ мм). Вміст діатоміту більше 20% не дозволяє провести якісну грануляцію на дослідній установці внаслідок збільшення в'язкості суспензії. Встановлена залежність між розміром гелеподібних гранул та висушених. Досліджено процес нанесення активної магнітної фази адсорбенту. Встановлено залежність якості процесу грануляції від вмісту твердої фази. Виміряна статична міцність гранул адсорбенту знаходиться в діапазоні 17 - 25 кПа. Встановлено, що композиційний адсорбент з нанесеним шаром магнетиту володіє магнітними властивостями. Досліджено адсорбцію аніонів PO_4^{3-} з водних розчинів. Для адсорбенту альгінат – діатоміт і альгінат – діатоміт - Fe_3O_4 - адсорбційна ємність становить 4 і 9 мг PO_4^{3-} / г відповідно. Одержані композиційні адсорбенти володіють комплексом функціональних властивостей, що є перспективними для застосування у сучасних системах очищення і доочищення води.

Ключові слова: адсорбція; діатоміт; магнетит; фосфати; магнітна наночастинка

CHARACTERISTICS OF DIATOMITE-ALGINATE- Fe_3O_4 COMPOSITE AS A PHOSPHATE ADSORBENT

O. PASENKO, L. FROLOVA, I. SHUNKIN

Department of Inorganic Materials Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Engineering, Dnipro, UKRAINE

ABSTRACT Technological approaches to the use of diatomaceous earth as a raw material for the creation of composite adsorbents for wastewater treatment from phosphate ions are analysed. It is shown that the developed surface of diatomite can be used to create a granular adsorbent, and iron (III) oxides (magnetite, goethite, lepidocrocite, ferrihydrite, hematite and goethite) are environmentally safe, cheap, economically feasible modifiers. Emphasis is placed on the possibility of obtaining magnetic granules due to the formation of magnetite. The use of the deposition method for the formation of the applied granular adsorbent is proposed.

The influence of diatomite concentration on the static strength of granules was established. It is determined that the diameter of the nozzle is also an important factor. The selected technical solutions are aimed at solving the problems of granule hardening and ensuring high adsorption activity. Experimental studies of the synthesis and granulation of the composite adsorbent alginate - diatomaceous earth - magnetite have shown that an increase in the content of diatomaceous earth leads to a natural increase in the size of the granules. When increasing the diameter of the nozzle from 1.5 mm to 3.5 mm, for example, the size of the granules 1.5-4.0 ($d_c = 1.5$ mm), 2.0-5.0 mm ($d_c = 3.0$ mm) and 2.5-5.0 mm ($d_c = 3.5$ mm). The diatomaceous earth content of more than 20% does not allow to carry out high-quality granulation on the experimental installation due to the increase in the viscosity of the suspension. The relationship between the size of gel granules and dried. The process of application of the active magnetic phase of the adsorbent is investigated. The dependence of the quality of the granulation process on the solid phase content is established. The measured static strength of the adsorbent granules is in the range of 17 - 25 kPa. It is established that the composite adsorbent with the applied layer of magnetite has magnetic properties. The adsorption of PO_4^{3-} anions from aqueous solutions was studied. For the adsorbent alginate - diatomite and alginate - diatomite - Fe_3O_4 - the adsorption capacity is 4 and 9 mg PO_4^{3-} / g, respectively. The obtained composite adsorbents have a set of functional properties that are promising for use in modern water purification and purification systems.

Keywords: adsorption; diatomite magnetite; phosphates; magnetic nanoparticle

Вступ

Розчинні фосфати – це хімічні сполуки, що широко використовуються в промисловості в якості синтетичних миючих засобів, харчових добавок, сировини, але основне їх застосування – добрива. У

питну воду вони потрапляють в результаті нераціональної господарчої діяльності людини та недостатньо якісного очищення стічних вод. Високий вміст фосфатів у питній воді небезпечний, призводить до порушень роботи нирок, печінки, викликає дерматити та алергічні захворювання. Крім того, у

більшості випадків надмірне надходження фосфатів зі стічними водами у водойми, такі як озера та річки, призводить до евтрофікації.

Запобігання шкідливого впливу розчинних фосфатів на довкілля можливо шляхом зменшення вмісту фосфору у водних об'єктах. Щоб зменшити масовий викид, необхідна методика очищення для видалення фосфатів зі стічних вод перед скидом до водойм. В останні роки з'явилися технології очищення, засновані на хімічному осадженні, біохімічних процесах або адсорбції, що були впроваджені та розроблені для видалення фосфатів зі стічних вод [1]. Біохімічне видалення фосфатів все ще обмежене і має бути додатково досліджено для забезпечення стабільної роботи очисних споруд, оскільки продуктивність системи чутлива до умов та складу стічних вод. Адсорбційні процеси, що використовуються, як після біологічної обробки для доочищення, так і окремо, також розглядаються як альтернатива ефективного видалення фосфатів. Адсорбційні процеси легко керуються, при цьому утворюється невелика кількість твердих відходів. У якості адсорбентів використовують доменний шлак, цеоліт, магнітні складні оксиди феруму, полімерні композити [2-5]. Ефективною також є хемосорбція фосфатів, тобто очищення з утворенням малорозчинних сполук фосфору. Звичайні адсорбенти не завжди ефективні для очищення стічних вод, оскільки деякі з них мають недостатньо розвинуту поверхню, або чинять токсичний вплив на гідробіоту.

Тому розробка новітніх композитних адсорбентів є важливим завданням хімічної технології.

Діатоміт, або діатомітова земля, є кременистою осадовою породою, що утворена в результаті накопичення і ущільнення мертвих діатомових водоростей, які опустилися на дно водойм. Діатоміт є доступною сировиною завдяки наявності родовищ по всьому світу. Вміст SiO_2 в діатоміті зазвичай коливається між 80 і 90%. Висока пористість діатоміту робить його придатним для поверхневої модифікації, оскільки поруватий діатоміт може бути носієм для адсорбентів, каталізаторів тощо. Правильний підбір оксиду металу для осадження на діатоміті має вирішальне значення для ефективної модифікації діатоміту для видалення фосфат-іонів [5-9]. Ферум(III) оксиди є екологічно безпечними, дешевими, економічно доцільними модифікаторами. Наприклад, ферум оксиди (магнетит, гетит, лепідокрокіт, феригідрит, гематит і гетит). Крім того, магнетит має переваги пов'язані з наявністю магнітних властивостей, що дає змогу легко відокремлювати його від розчину.

Мета роботи

Метою дослідження було визначення, розробка та характеристика композитних адсорбентів діатоміт-альгінат-ферум(II, III) оксид.

Методика проведення експерименту

У процесі виконання поставлених задач в експериментальних дослідженнях використовували наступні вихідні матеріали і методики експериментальних досліджень.

Реактиви: альгінат натрію (ГОСТ 9284-20), діатоміт (ГОСТ 2164-10), ферум(III) сульфат (ГОСТ 9485-74), ферум(II) сульфат (ГОСТ 6981-94), амоній молібденовокислий 4-водний (ГОСТ 3765-7), гідроксид амонію (ГОСТ 24147-80).

Нанесення нанорозмірного Fe_3O_4 на діатоміт проводили наступним чином: до розчину солей феруму додавали наважку діатоміту і інтенсивно перемішуючи додавали розчин гідроксиду амонію. Отриману суспензію перемішували протягом 30 хв. Осад відокремлювали від рідини декантацією, до відсутності сульфат-іону у зливній воді.

Для приготування суспензії до 2% розчину альгінату натрію додавали суспензію діатоміту з нанесеним Fe_3O_4 до отримання 1% розчину альгінату і відповідного вмісту твердої фази.

Для отримання кулькоподібного гранульованого адсорбенту використовували лабораторну установку, що складалася з перистальтичного насоса, штативу, трубочки та змінного сопла (діаметр 1,5-3,5 мм).

Дослідження адсорбції проводили наступним чином: до 100 мл розчину PO_4^{3-} з концентрацією 50 мг/л додавали 0,2 г адсорбенту та перемішували протягом 36 годин з відбором проби через 1, 4, 6, 8, 12, 24, 36 годин.

Вміст фосфатів визначали спектрофотометрично на спектрофотометрі UV-5800PC Spectrophometer за допомогою амонію молібденовокислого.

Статичну міцність гранул визначали за стандартною методикою з використанням лабораторної установки.

Результати та їх обговорення

1. Одержання композиту альгінат-діатоміт

Оскільки в якості наповнювача було обрано природний діатоміт, що має розвинену поверхню та може використовуватись в якості адсорбенту, на першому етапі дослідження була встановлена залежність впливу складу композитного адсорбенту на його гранулометричний склад. Були проведені дослідження залежності діаметру гелеподібних та висушених кульок від вмісту діатоміту (табл. 1).

Збільшення вмісту діатоміту призводить до закономірного збільшення розміру гранул. При збільшенні діаметру сопла від 1,5 мм до 3,5 мм, наприклад, розмір гранул 1,5-4,0 (dc=1.5 мм), 2,0-5,0 мм (dc= 3,0 мм) та 2,5-5,0 мм (dc=3.5 мм). Вміст діатоміту більше 20% не дозволяє провести якісну грануляцію на дослідній установці внаслідок збільшення в'язкості суспензії.

Оптимальним розміром гранул адсорбенту є 1,0 – 3,0 мм, оскільки при подальшому збільшенні розміру утруднюється внутрішня дифузія.

Таблиця 1 – Гранулометричний склад отриманих “мокрих” і “сухих” альгінат – діатомітових гранул

% твердої фази	Діаметр сопла, мм	Діаметр “мокрих” гранул, мм	Діаметр “сухих” гранул, мм
1,5	1,5	1,5	1,0
	3,0	2,0	1,5
	3,5	2,5	2,0
3	1,5	1,5	1,5
	3,0	3,0	2,5
	3,5	3,0	2,5
5	1,5	2,5	2,0
	3,0	3,0	2,5
	3,5	3,0	2,5
7,5	1,5	3,0	2,5
	3,0	3,5	3,0
	3,5	3,5	3,0
10	1,5	3,0	2,5
	3,0	4,0	3,5
	3,5	4,0	3,5
20	1,5	3,5	3,0
	3,0	5,0	4,5
	3,5	5,0	4,5

Таблиця 2 – Фотографії отриманих “мокрих” гранул альгінат – діатоміт



2. Одержання композиту альгінат-діатоміт-Fe₃O₄

Результати дослідження міцності гранул з нанесеним адсорбентом Fe₃O₄ на діатоміт наведені на рис. 1.

З отриманих даних можна зробити висновок, що зі збільшенням діаметра гранул їх міцність збільшується при вмісті діатоміту 14%. Збільшення вмісту твердої фази до 18% призводить до зменшення міцності для гранул діаметром 1,5 та 3,5 мм. Міцність гранул більшого діаметру зі збільшенням вмісту твердої фази зменшується внаслідок утруднення дифузії іонів Ca²⁺.

3. Дослідження нанесеного композиційного адсорбенту альгінат- діатоміт -Fe₃O₄

Отримані гранули з нанесеним Fe₃O₄ володіють магнітними властивостями, що розширює межі їх

практичного використання. Дослідження залежності гранулометричного складу від вмісту нанесеного адсорбенту наведені в табл. 3. Спостерігається збереження загальної тенденції: збільшення діаметру гранул при збільшенні діаметру сопла.

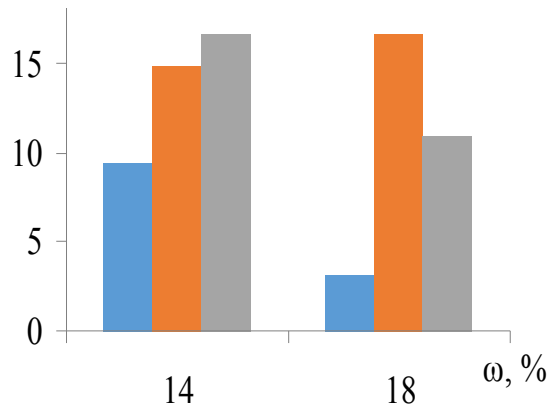


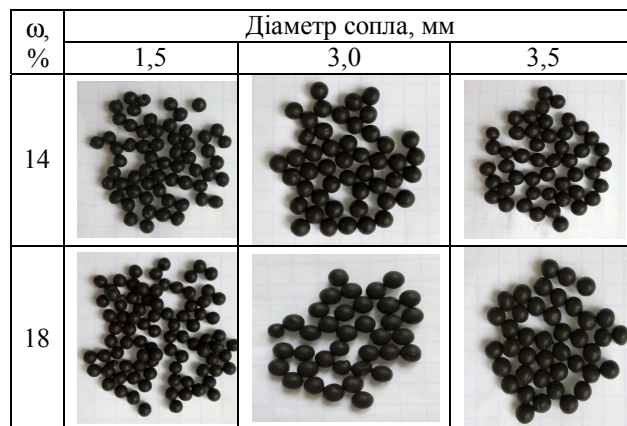
Рис. 1 – Залежність міцності гранул від вмісту діатоміту з нанесеним Fe₃O₄ (діаметр сопла, мм: - 1,5, - 3,0, - 3,5)

Таблиця 3 – Гранулометричний склад гранул альгінат – діатоміт з нанесеним Fe₃O₄

Вміст твердої фази, %	Мокри			Сухі		
	Діаметр сопла, мм					
	1,5	3,0	3,5	1,5	3,0	3,5
14	3,5	4,5	3,0	3,0	4,0	3,5
18	3,0	4,0	4,0	2,5	3,5	3,5

У табл. 4 і 5 наведено фотографії гранул з різним вмістом нанесеного адсорбенту з додаванням Fe₃O₄. Чітко видно, що утворюються сферичні гранули правильної форми.

Таблиця 4 – Фотографії “мокрих” гранул альгінат – діатоміт з нанесеним Fe₃O₄



Таблиця 5 – Фотографії “сухих” гранул альгінат – діатоміт з нанесеним Fe₃O₄

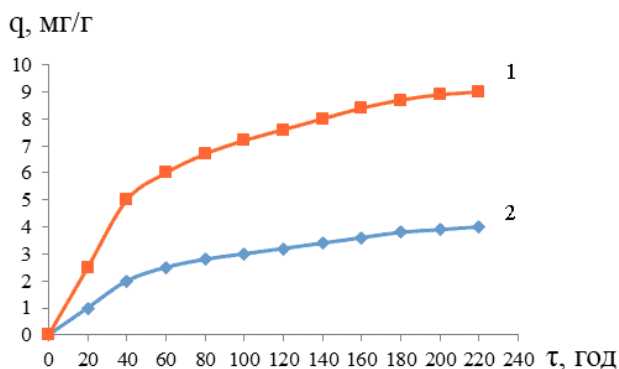
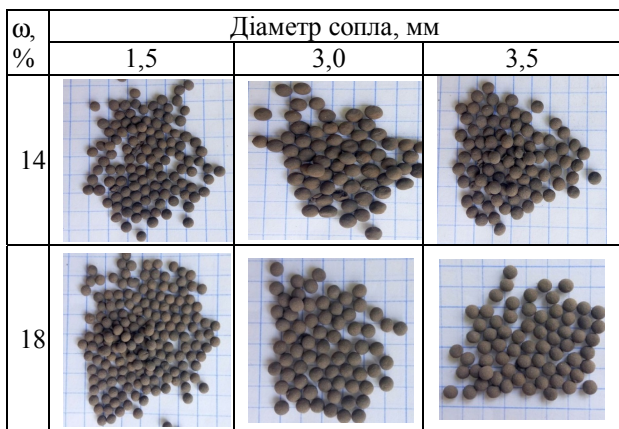


Рис. 2 – Кількість адсорбованого PO₄³⁻ в залежності від часу адсорбції. 1 – композитний адсорбент альгінат-діатоміт-Fe₃O₄ 2 – адсорбент альгінат-діатоміт

В сухому вигляді (табл. 5) форма гранул практично не змінюється, вони залишаються сферичної форми.

Проведені дослідження процесу адсорбції іонів PO₄³⁻ шляхом перемішування адсорбенту з розчином фосфатів протягом 240 годин наведені на рис. 2.

Використання в якості активної адсорбуючої добавки Fe₃O₄ (рис.2) показало, що максимальне вилучення PO₄³⁻ становить 9 мг PO₄³⁻/г адсорбенту.

Висновки

Встановлено умови формування сферичних гранул діатоміту в присутності альгінату натрію C[CaCl₂] = 0,024 моль/л, ω (діатоміт) = 5 – 20%.

Отримано сферичні гранули адсорбентів з використанням в якості активного адсорбційного шару Fe₃O₄.

Встановлено, що статична міцність отриманих гранул адсорбенту складає 17 – 25 кПа.

Досліджено адсорбцію аніонів PO₄³⁻ із водних розчинів. Для адсорбенту альгінат-діатоміт та альгінат-діатоміт-Fe₃O₄ – та 9 мг PO₄³⁻/г відповідно.

Список літератури

1. Chrispim M. C., Scholz M., Nolasco M. A. Phosphorus recovery from municipal wastewater treatment: Critical review of challenges and opportunities for developing countries. *Journal of environmental management*. 2019. Vol. 248. P. 109268. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109268.
2. Bée A. et al. Magnetic alginate beads for Pb (II) ions removal from wastewater. *Journal of colloid and interface science*. 2011. Vol. 362. №. 2. P. 486-492. doi: 10.1016/j.jcis.2011.06.036.
3. Frolova L. A. et al. Purification of wastewaters, containing chromium, by a sorbent based on blast furnace slag. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2015. Vol. 37. №. 4. P. 185-190. doi:10.1016/j.jcis.2011.06.036.
4. Frolova L., Kharytonov M. Synthesis of magnetic biochar for efficient removal of Cr (III) cations from the aqueous medium. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 2019. doi: 10.1155/2019/2187132.
5. Frolova L. et al. Investigation of the adsorption of ions chromium by mean biochar from coniferous trees. *Applied Nanoscience*. 2021. P. 1-7. doi: 10.1007/s13204-021-01995-1.
6. Alyosef H. A. et al. Effect of acid treatment on the chemical composition and the structure of Egyptian diatomite. *International Journal of Mineral Processing*. 2014. Vol. 132. P. 17-25. doi: 10.1016/j.minpro.2014.09.001.
7. de Namor A. F. D. et al. Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite. A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water. *Journal of Hazardous Material*. 2012. Vol. 241. P. 14-31. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.09.030.
8. Belhouchat N., Zaghouane-Boudiaf H., Viseras C. Removal of anionic and cationic dyes from aqueous solution with activated organo-bentonite/sodium alginate encapsulated beads. *Applied Clay Science*. 2017. Vol. 135. P. 9-15. doi: 10.1016/j.clay.2016.08.031.
9. Wu D. et al. Lanthanum adsorption using iron oxide loaded calcium alginate beads. *Hydrometallurgy*. 2010. Vol. 101. №. 1-2. P. 76-83. doi: 10.1016/j.hydromet.2009.12.002.

References (transliterated)

- Chrispim M. C., Scholz M., Nolasco M. A. Phosphorus recovery from municipal wastewater treatment: Critical review of challenges and opportunities for developing countries. *Journal of environmental management*, 2019, Vol. 248, pp. 109268, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109268.
1. Bée A. et al. Magnetic alginate beads for Pb (II) ions removal from wastewater. *Journal of colloid and interface science*, 2011, Vol. 362, no. 2, pp. 486-492, doi: 10.1016/j.jcis.2011.06.036.
 2. Frolova L. A. et al. Purification of wastewaters, containing chromium, by a sorbent based on blast furnace slag. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2015. Vol. 37. no. 4. pp. 185-190, doi:10.1016/j.jcis.2011.06.036.
 3. Frolova L., Kharytonov M. Synthesis of magnetic biochar for efficient removal of Cr (III) cations from the aqueous medium. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, Vol. 2019, doi: 10.1155/2019/2187132.

- Frolova L. et al. Investigation of the adsorption of ions chromium by mean biochar from coniferous trees. *Applied Nanoscience*, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1007/s13204-021-01995-1.
Alyosef H. A. et al. Effect of acid treatment on the chemical composition and the structure of Egyptian diatomite. *International Journal of Mineral Processing*, 2014. Vol. 132. pp. 17-25. doi: 10.1016/j.minpro.2014.09.001.
- de Namor A. F. D. et al. Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite. A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water. *Journal of Hazardous Material*, 2012, Vol. 241, pp. 14-31, doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.09.030.
- Belhouchat N., Zaghouane-Boudiaf H., Viseras C. Removal of anionic and cationic dyes from aqueous solution with activated organo-bentonite/sodium alginate encapsulated beads. *Applied Clay Science*, 2017, Vol. 135, pp. 9-15, doi: 10.1016/j.clay.2016.08.031.
- Wu D. et al. Lanthanum adsorption using iron oxide loaded calcium alginate beads. *Hydrometallurgy*, 2010, Vol. 101, no. 1-2, pp. 76-83, doi: 10.1016/j.hydromet.2009.12.002.

Відомості про авторів (About authors)

Пасенко Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-3486-1864>.

Pasenko Olexander - PhD, Associate Professor of Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-3486-1864>.

Фролова Лілія Анатоліївна – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-7970-2264>, e-mail: 19kozak83@gmail.com

Frolova Liliya – Doctor of Technic Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Inorganic Substances Technology and Ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-7970-2264>; e-mail: 19kozak83@gmail.com.

Шуцький Ігнат Сергійович – аспірант кафедри технологій палива, полімерних та поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна; <https://orcid.org/0000-0001-8161-1265>

Shunkin Ihnat - Post Graduate Department of Fuel, Polymer and Printing Materials Technologies, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-8161-1265>.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Пасенко О. О., Фролова Л. А., Шуцький І. С. Характеристика композиту діатоміт-альгінат-Fe₃O₄ як адсорбенту фосфатів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 3 (9). С. 61-65. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.09.

Please cite this article as:

Pasenko O., Frolova L., Shunkin I. Characteristics of diatomite-alginate-Fe₃O₄ composite as a phosphate adsorbent. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 3 (9), pp. 61-65, doi:10.20998/2413-4295.2021.03.09.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Пасенко А.А., Фролова Л. А., Шуцький И. С. Характеристика композита диатомит-альгинат-Fe₃O₄ как адсорбента фосфатов. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 3 (9). С. 61-65. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.09.

АННОТАЦІЯ Проаналізовані технологічні підходи к використанню діатомової землі в якості сировини для створення композитних адсорбентів для очищення сточних вод від фосфатних іонів. Показано, що розвита поверхня діатоміта може бути використана для створення гранульованого адсорбента, а оксиди заліза (III) (магнетит, гетит, лепидокрокит, ферригідрит, гематит і гетит) види топлива, дешевими, економічно цілосуборазними модифікаторами. Отзначається можливість отримання магнітних гранул за рахунок утворення магнетита. Предложено використовувати метод осаження для утворення нанесеного гранульованого адсорбента. Установлено вплив концентрації діатоміта на статичну міцність гранул. Определено, что диаметр сопла также является важным фактором. Избранные технические решения направлены на решение проблем твердения гранул и обеспечения высокой адсорбционной активности. Экспериментальные исследования синтеза и грануляции композитного адсорбента альгинат - диатомит - магнетит показали, что увеличение содержания диатомовой земли приводит к закономерному увеличению размера гранул. При увеличении диаметра сопла с 1,5 мм до 3,5 мм, например, размер гранул 1,5-4,0 ($d_c = 1,5$ мм), 2,0-5,0 мм ($d_c = 3,0$ мм) и 2,5-5,0 мм ($d_c = 3,5$ мм). Содержание диатомовой земли больше 20% не позволяет проводить качественное гранулирование на опытной установке из-за увеличения вязкости суспензии. Взаимосвязь между размером гелевых гранул и высушенных. Исследован процесс нанесения активной магнитной фазы адсорбента. Установлена зависимость качества процесса гранулирования от содержания твердой фазы. Измеренная статическая прочность гранул адсорбента находится в диапазоне 17 - 25 кПа. Установлено, что композитный адсорбент с нанесенным слоем магнетита обладает магнитными свойствами. Исследовано адсорбцию анионов PO₄³⁻ из водных растворов. Для адсорбента альгинат - диатомит и альгинат - диатомит - Fe₃O₄ - адсорбционная способность составляет 4 и 9 мг PO₄³⁻ / г соответственно. Полученные композитные адсорбенты имеют комплекс функциональных свойств, перспективных для использования в современных системах очистки и доочистки воды.

Ключевые слова: адсорбция; диатомит; магнетит; фосфаты; магнитная наночастица

Надійшла (received) 30.08.2021