

Fe/SiC, полученный при механосинтезе с дозой механической энергии  $D = 1,8$  кДж/г. Увеличение параметра МА до достижения значений  $D = 3,6-10,8$  кДж/г приводит к уменьшению размера абразивных частиц и их внедрению в объем композиционной частицы, что приводит к снижению общей абразивной способности композиционных порошков.

Таблица 3 – Результаты MAO циркониевого сплава при использовании магнитно-абразивных порошков Fe/SiC

Номер образца	Доза введенной энергии D, кДж/г	Размерный съем на сторону, мкм	Шероховатость, Ra, мкм (диапазон/ср.)
1	0,9	4,9	0,11–0,23 / 0,182
2		4,4	0,12–0,22 / 0,155
3		3,6	0,12–0,18 / 0,152
1	1,8	5,5	0,08–0,12 / 0,101
2		6	0,09–0,13 / 0,114
3		6,3	0,08–0,12 / 0,096
1	3,6	4,3	0,09–0,12 / 0,107
2		5,8	0,06–0,2 / 0,139
3		3	0,07–0,19 / 0,112
1	10,8	3,5	0,10–0,14 / 0,123
2		3,8	0,10–0,24 / 0,164
3		2,9	0,07–0,10 / 0,088

Однако можно предположить, что увеличение длительности магнитно-абразивной обработки более 5 мин позволит достичь более низких показателей шероховатости обрабатываемой поверхности и для вариантов механосинтеза композиционных порошков Fe/SiC с дозой подведенной энергии  $D > 1,8$  кДж.

Работа выполнена в рамках договора БРФФИ № Т15СО-005.

#### Список использованных источников

1. Nepomnyashchii, V.V. Metal Surface Finishing with magnetic abrasive powder based on Iron with Ceramic Refractory Compounds (Mechanical Mixtures) / V.V. Nepomnyashchii, S. M. Voloshchenko, T.V. Mosina, K.A. Gogacv, M.G. Askerov, A.V. Miropol'skii // Refractories and Industrial Ceramics. – 2014. – Vol. 54. — № 6. – pp. 471–474.
2. Yodkaew, Th. Sintered Fe-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe-SiC Composites / Th. Yodkaew, M. Morakotjinda, N. Tosangthum, Or. Coovattanachai, R. Krataitong, P. Siriphol, Bh. Vetayanugul, S. Chakthin, N. Poolthong, R. Tongstri // Journal of Metals, Materials and Minerals. – 2008. – Vol.18. – No.1. – pp. 57–61.
3. Механоконпозиты – прекурсоры для создания материалов с новыми свойствами: монография / Отв. ред. О.И. Ломовский. – Новосибирск: Изд-во СО РАН (Интеграционные проекты СО РАН, вып. 26), 2010. – 432 с.

УДК628.316.12:625.87

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ЗАГРУЗКИ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОСФАТОВ

*Сапон Е.Г., асп., Жук Е.С., студ.*

*Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. статья посвящена актуальному вопросу обеспечения качества природных вод, в частности очистке сточных вод от фосфора. Целью работы было исследовать возможность использования электросталеплавильного шлака (ЭШ) Белорусского металлургического завода (БМЗ) в качестве фильтрационной загрузки для очистки сточных вод от фосфатов.

Ключевые слова: очистка сточных вод, фильтры для очистки сточных вод, электросталеплавильный шлак.

Водные ресурсы имеют стратегическое значение в сохранении природной среды и социально-экономическом развитии страны. На сегодняшний день актуален вопрос обеспечения качества природных вод, в частности важное значение имеет очистка сточных вод от фосфора [1]. Избыточное поступление фосфора в водные объекты приводит к их эвтрофикации, которая сопровождается нарушением процессов саморегуляции водных биоценозов. В них начинают доминировать виды, наиболее приспособленные к изменившимся условиям, вызывая «цветение» воды. Биомасса бактерио- и фитопланктона во время «цветения» возрастает до 200–500 г/м<sup>3</sup>, тогда как в олиготрофных водоемах она в норме составляет 0,1–0,4 г/м<sup>3</sup> [2].

Основными источниками поступления фосфора в поверхностные воды являются сброс сточных вод и неорганизованный сток с сельскохозяйственных территорий. Помимо крупных очистных сооружений, проблема удаления фосфора остро стоит для малых населённых пунктов, фермерских хозяйств, небольших предприятий и частных домов, где традиционные схемы очистки экономически не обоснованы [3]. Наиболее целесообразным методом очистки сточных вод в данном случае является сорбция фосфатов в режиме фильтрования. В последнее время исследования, в области очистки сточных вод от фосфатов на малых очистных сооружениях, сконцентрированы на поиске недорогих и доступных фильтрационных материалов. Исследован широкий диапазон сорбентов, включая горные породы, отходы производства и промышленные сорбенты с целью оценить их пригодность для удаления фосфатов [4]. Среди данных материалов можно выделить электросталеплавильный шлак (ЭШ), образующийся в результате выплавки стали в электросталеплавильных печах и обладающий свойством фиксировать фосфор в значительном количестве [5].

Целью работы было исследовать возможность использования ЭШ Белорусского металлургического завода (БМЗ) в качестве фильтрационной загрузки для очистки сточных вод от фосфатов.

Объектом исследования был ЭШ – отход сталеплавильного производства четвертого класса опасности, годовой объём образования которого превышает 0,5 млн. т. Шлак БМЗ является доступным материалом, характеризующимся высокой прочностью, хорошей стойкостью по отношению к выветриванию, а также высоким сопротивлением механической обработке. Несмотря на то, что ЭШ активно используется для дорожного строительства, по состоянию на 2012 год на специализированной площадке хранения шлаков БМЗ было накоплено более 2,7 млн. т. [6].

Для различных фракций шлака был установлен химический и фазовый состав. Химический состав определён с использованием волнового рентгенофлуоресцентного спектрометра Axios (PANalytical, Нидерланды), фазовый – на дифрактометре D8 Advance Bruker AXS и ИК-Фурье спектрометре Nexus 670. Элементный состав четырёх фракций шлака представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Усреднённый элементный состав электросталеплавильного шлака БМЗ

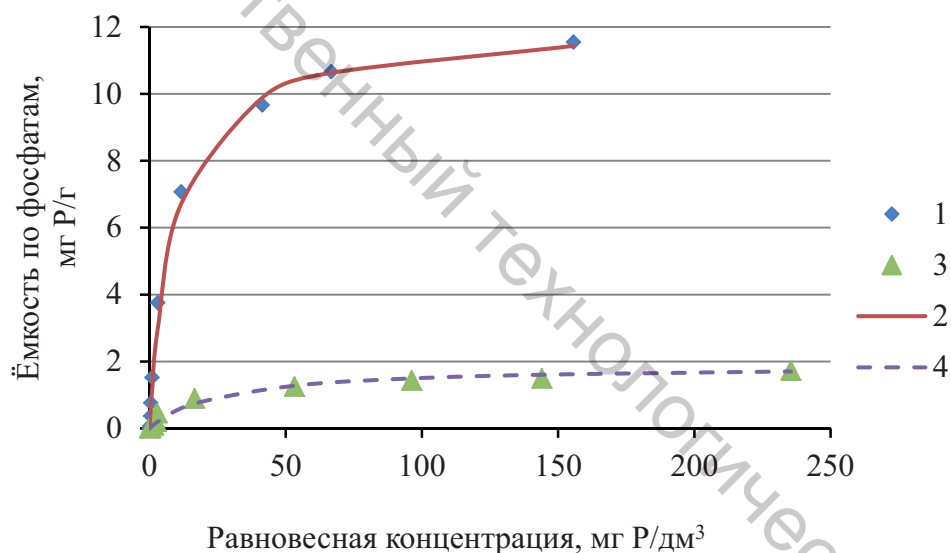
Компонент	Содержание компонентов, % масс.			
	20–10 мм	10–5 мм	5–0,5 мм	менее 0,25 мм
1	2	3	4	5
Na <sub>2</sub> O	1,16	0,79	0,73	0,71
MgO	3,90	2,59	3,12	3,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,50	4,36	7,24	7,55
1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	15,43	14,36	16,17	17,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34	0,27	0,09	0,13
SO <sub>3</sub>	0,75	0,79	1,66	1,79
Cl	0,53	0,3	0,32	0,32
K <sub>2</sub> O	0,35	0,31	0,37	0,47
CaO	27,28	24,92	45,31	47,52
TiO <sub>2</sub>	0,5	0,44	0,3	0,39
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,42	1,29	0,43	0,41
MnO	5,92	5,15	2,71	2,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,92	44,43	19,43	14,94
CuO	–	–	0,08	0,05
ZnO	–	–	1,23	1,31
F	–	–	0,8	1,12
BaO	–	–	–	0,11

Как видно из таблицы 1 в составе шлака преобладают оксиды кальция, железа, кремния и алюминия. При переходе от большей к меньшей фракции в составе ЭШ отмечается увеличение доли оксида кальция и снижение содержания оксидов железа и марганца. Что объясняется меньшей механической прочностью кальциевых соединений.

Фазовый состав шлака характеризуется наличием таких соединений как:  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSi})\text{O}_7$  и  $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ ,  $\text{MnO}_{0,43}\text{Fe}_{2,57}\text{O}_4$ . Отличительной особенностью фракций размером менее 5 мм является наличие в них следующих соединений:  $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ ,  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Представленные соединения способны растворяться в воде высвобождая металлы, которые образуют с фосфатами нерастворимые соединения. Таким образом, элементный и фазовый состав шлака БМЗ свидетельствует о возможности использования его в качестве эффективного сорбента фосфатов.

Для определения эффективности использования ЭШ в качестве сорбента определяли его ёмкость по фосфатам, за которую принимали количество фосфатов, удаляемое из раствора на единицу массы шлака. Исследование ёмкости по фосфатам проводили согласно методике описанной в [3, 5]. Экспериментальные данные аппроксимировали с помощью уравнения Ленгмюра. Результаты экспериментов представлены на рисунке 1.

Установлено, что предельная ёмкость по фосфатам фракции ЭШ с размером частиц менее 0,25 мм составляет 11,55 мг Р/г, для фракции 5–10 мм – 1,75 мг Р/г, что согласуется с известными данными [5]. Среднее значение сорбционной ёмкости ЭШ составляет 6,65 мг Р/г, что в соответствии с классификацией, представленной в [4], позволяет отнести его к материалам с высокой сорбционной ёмкостью. Коэффициенты распределения фосфатов для ЭШ фракции менее 0,25 мм и 5–10 мм соответственно равны 74,2 и 7,3. Следовательно, использование мелкой фракции позволяет более эффективно сорбировать фосфаты.



1, 3 – экспериментальные значения ёмкости по фосфатам ЭШ фракции с диаметром частиц менее 0,25 мм и 5–10 мм соответственно; 2, 4 – изотермы сорбции по Ленгмюру.

Рисунок 1 – Изотермы сорбции фосфатов на ЭШ

Как видно из рисунка 1, результаты экспериментального определения ёмкости по фосфатам в диапазоне представленных равновесных концентраций хорошо описываются изотермой Ленгмюра, что свидетельствует о химической природе сорбции ЭШ [5].

На основании приведённых данных можно сделать вывод о том, что ЭШ является перспективным фильтрационным материалом для удаления фосфатов из сточных вод. Увеличение доли кальция во фракциях шлака коррелирует с увеличением степени очистки по фосфатам. Фиксация фосфатов ЭШ преимущественно связана с образованием малорастворимых фосфатов кальция.

#### Список использованных источников

1. ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды» [Электронный ресурс] / Сайт ГУ «РЦРКМ». – 2015. – Режим доступа: <http://www.rad.org.by/monitoring/aqua.html>. – Дата доступа: 25.10.2014.
2. Ручай, Н.С. Экологическая биотехнология: учеб.пособие / Н.С. Ручай, Р.М. Маркевич – Минск : БГТУ, 2006. – 312 с.

3. Kaasik A. et al. Hydrated calcareous oil-shale ash as potential filter media for phosphorus removal in constructed wetlands // *Water Research*. – 2008. – Т. 42. – №. 4. – С. 1315-1323.
4. Cucarella, V., Renman, G. J. Phosphorus sorption capacity of filter materials used for on-site wastewater treatment determined in batch experiments – A comparative study // *Environ. Qual.* – 2009 – № 38, – P. 381-392.
5. Barca C., Gerente C., Meyer D., Chazarenc F., Andres Y. Phosphorus removal from synthetic and real wastewater using steel slag produced in Europe // *Water Research* – 2012 – Vol. 46, – P. 2376-2384
6. Панковец, А. И. Утилизация электросталеплавильных шлаков / А. И. Панковец, С. В. Мироевский // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 1 (69). – С. 26-27.

УДК 502.3:62

## СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

*Тимонова Е.Т., доц., Гречаников А.В., доц., Тимонов И.А., доц.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены направления развития сферы технического образования, цели экологического образования в техническом университете, факторами, сдерживающие развитие обучения и воспитания в данном направлении, формирования практико-ориентированной компетентности будущих специалистов в сфере взаимодействия их профессиональной деятельности с окружающей средой.

Ключевые слова: экологическое образование, программа TEMPUS EсоBRU, практико-ориентированный подход, окружающая среда.

В условиях неблагоприятной экологической обстановки, социально-экономических проблем назрела необходимость в подготовке социально и профессионально компетентной, творчески активной и мобильной, способной к саморазвитию на любом этапе жизненного пути, ответственной и толерантной личности. В связи с этим должны измениться подходы к образованию.

Выделяют ряд направлений развития современного образования:

- изменение ценностей и целей образования в связи с постановкой человека в центр образовательного процесса;
- реализация культурологического и компетентного подхода к формированию содержания образования и оценке его качества;
- междисциплинарность и полипрофессиональность образования, формирующих готовность обучающегося к выполнению различного рода задач;
- переориентация содержания современного образования на практическое знание;
- индивидуализация образования как обогащение субъектного опыта обучающегося на основе построения образовательного пространства с индивидуальными образовательными траекториями.

Сфера технического образования сегодня переживает довольно значительные трансформации под воздействием требований к ее выпускникам, которые предъявляет нынешняя социальная и профессиональная практика. Основной мотив таких требований - молодой специалист должен быть подготовлен так, чтобы он мог без особых проблем и проволочек включаться в трудовые процессы (в том числе процессы взаимодействия с природной средой), продуктивно используя квалификацию, опыт и компетенции, полученные в ходе обучения. В таких условиях особый вес начинает приобретать одно из направлений образовательной практики – практико-ориентированное обучение.

В русле общих международных тенденций в последние годы в республике Беларусь стали внедряться принципиально новые подходы к организации экологического образования. Новые подходы должны обеспечивать не просто репродуктивное усвоение экологических знаний учащимися, а реальное формирование у них в процессе обучения практической способности и готовности применять эти знания в конкретной социальной и профессиональной деятельности на основе экологически ориентированной системы мировоззренческих представлений и ценностей.