

**Table 2.** Photovoltaic characteristics of organic solar cells.

Sample	$U_{oc}$ (B)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$U_{max}$ (B)	$J_{max}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	FF	PCE %
ZnO	0.27±0,01	7.25±0,05	0.27±0,01	4.07±0,05	0.37±0,01	0.7±0,05
10µl (2%) WSe <sub>2</sub> in ZnO	0.36±0,01	6.51±0,05	0.23±0,01	4.0±0,05	0.39±0,01	0.9±0,05
20µl (4%) WSe <sub>2</sub> in ZnO	0.46±0,01	6.84±0,05	0.27±0,01	5.7±0,05	0.48±0,01	1.5±0,05
30µl (6%) WSe <sub>2</sub> in ZnO	0.48±0,01	7.23±0,05	0.30±0,01	6.3±0,05	0.56±0,01	1.9±0,05
40µl (8%) WSe <sub>2</sub> in ZnO	0.58±0,01	9.29±0,05	0.38±0,01	7.2±0,05	0.50±0,01	2.6±0,05
50µl (10%) WSe <sub>2</sub> in ZnO	0.51±0,01	8.51±0,05	0.33±0,01	6.5±0,05	0.48±0,01	2.0±0,05

### Conclusions

Technique for synthesizing WSe<sub>2</sub> nanoparticles via laser ablation in isopropanol has been developed. Nanocomposite ZnO films doped with WSe<sub>2</sub> nanoparticles were obtained within a concentration range of 2% to 10%. The absorption and impedance spectra of the composite films were measured. It was found that the incorporation of WSe<sub>2</sub> nanoparticles into ZnO reduces both the film resistance and charge carrier transfer resistance. A critical WSe<sub>2</sub> concentration of 8% was identified, at which the lowest resistance values and the highest efficiency of the polymer solar cell were achieved. Specifically,  $J_{sc}$  increased from 7.25 mA/cm<sup>2</sup> to 9.29 mA/cm<sup>2</sup>, FF rose from 0.37 to 0.50, and PCE improved from 0.7% to 2.6%.

### References

- 1 Vabbina P.K., Sinha R. (2017) Sonochemical synthesis of a zinc oxide core-shell nanorod radial p–n homojunction ultraviolet photodetector. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 9(23), 19791-19799. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b03713>
- 2 Chatzigiannakis G., Jaros A. (2020) Laser-microstructured ZnO/p-Si photodetector with enhanced and broadband responsivity across the ultraviolet–visible–near-infrared range. *ACS Applied Electronic Materials*. 2(9), 2819-2828. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.0c00538>
- 3 Fang X., Bando Y. (2009) ZnO and ZnS nanostructures: ultraviolet-light emitters, lasers, and sensors. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*. 34(3-4), 190-223. <https://doi.org/10.1080/10408430903245362>
- 4 Nie S., Dastan D. (2020) Gas-sensing selectivity of n-ZnO/p-Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sensors for homogeneous reducing gas. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 150, 109864. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2020.109864>
- 5 Paracchino A., Laporte V. (2011) Highly active oxide photocathode for photoelectrochemical water reduction. *Nature Materials*. 10(6), 456-461. <https://doi.org/10.1038/nmat3017>
- 6 Nahm H.-H., Park C.H. (2014) Bistability of hydrogen in ZnO: origin of doping limit and persistent photoconductivity. *Scientific Reports*. 4, 4124. <https://doi.org/10.1038/srep04124>

УДК 661.632.26

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВЫХ РАСПЛАВОВ

**Серикбаев Б.Е.**, ЮКУ им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Бажиров Н.С.**, ЮКУ им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

**Бажиров Т.С.**, ЮКУ им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

При производстве многих видов продукции, связанных с высокотемпературными технологическими процессами, образуются значительные объемы шлаковых расплавов. К таким относятся процессы получения чугуна, стали, ферросплавов, фосфора электротермическим способом и другие. При этом объемы образующих шлаковых расплавов сопоставимы с объемами основного продукта. Уборка этого расплава и его утилизация является важной задачей металлургической и химической промышленности. Одно из главных направлений переработки шлаковых расплавов – грануляция непосредственно у печей (припечная грануляция). Наиболее распространена водная грануляция шлакового расплава, когда шлаковый расплав сливается в воду; при этом объем воды превышает объем шлака до десяти раз. Полученная пульпа затем обезвоживается и полученный гранулированный шлак отвозится в отвалы или отгружается потребителю. Полученный шлак используется при производстве строительных материалов. Еще одним способом переработки шлаковых расплавов является метод «намораживания» или сухой способ грануляции. Сравнивая вышеуказанные способы, необходимо отметить, что водная грануляция является более надежным способом переработки шлаковых расплавов. Технология и оборудование, используемые в настоящее время для получения гранулированных шлаков, не отвечают современным требованиям по качеству продукции, уровню механизации и автоматизации производственных процессов, условиям труда обслуживающего персонала, что особенно недопустимо, требованиям по защите окружающей среды от загрязнений. Гранулированные шлаки,

полученные на гидрожелобных установках, имеют влажность 20-25 %, что требует значительных расходов на сушку, а также приводит к смерзанию шлака в зимнее время при транспортировке и хранении.

Нами были работы по усовершенствованию существующих способов переработки шлаковых расплавов.

В целом, процесс водной грануляции можно разделить на три стадии.

На первой стадии - в гидрожелобе - шлаковый расплав в виде непрерывной струи сливается на поток воды. Поток воды подхватывает шлаковый расплав и разбивает его на отдельные струйки.

На второй стадии - в установке шлакопереработки (гранустановке) - частицы шлака энергично перемешиваются с водой, что ведет к их термодроблению. Образуются зерна (гранулы) шлака, которые с водой составляют смесь - шлаковую пульпу.

На третьей стадии - в обезвоживающей установке - происходит обезвоживание и подсушка за счет физического тепла шлака.

Перед нами стояла задача - интенсифицировать процесс переработки шлакового расплава (и в первую очередь, вторую и третью стадии).

Для интенсификации второй стадии установку шлакопереработки выполнили в виде вращающегося барабана, внутри которого имеется определенный уровень воды [1,2]. Выбор барабанной установки был продиктован во-первых, возможностью интенсификации процесса перемешивания предварительно охлажденного в гидрожелобе шлакового расплава. Во-вторых, возможностью организованного отвода образующей парогазовой смеси. В-третьих, применение барабана позволяет значительно уменьшить расход воды на грануляцию шлакового расплава. Нами была предложена и в опытных условиях опробована технология производства гранулированного шлака способом водной грануляции с двухступенчатым обезвоживанием шлаковой пульпы. На первой ступени производилась сгущение шлаковой пульпы отстаиванием во вращающемся барабане и удаление из него переливом технологической воды. Сгущенная шлаковая пульпа сразу же перегружалась во внутрь вращающейся цилиндрической фильтровальной поверхности, где во время продольного перемещения перекачиванием от гранулированного шлака отделялась свободная вода, заполняющая его межзерновые пустоты.

Аппаратурное оформление этой технологии обеспечивало организованный отвод на очистку всех парогазовых выбросов, отдельный отвод технологической воды от первой и второй ступени обезвоживания. Было также установлено, что примерно 90% всей отработанной воды отходит от первой ступени обезвоживания. При этом, температура воды составляла 70 - 80° С, а содержание твердых примесей не превышало 0,5%, что позволяет направить ее без дополнительного осветления непосредственно в сопловую коробку гидрожелоба, не опасаясь засорения сопловых отверстий. Только 10% технологической воды отходит от второй ступени обезвоживания и она имеет более низкую температуру (около 40° С) и содержит около 5% твердых мелких примесей. Эту воду можно направить свободной струей непосредственно на поток шлаковой пульпы в гидрожелоб, что позволяет отказаться от использования громоздких и дорогостоящих отстойников. В результате проведенных экспериментов на стендовой барабанной установке были определены оптимальные размеры и частота вращения барабана (6 об/мин). Однако, дальнейшие эксперименты показали неэффективность барабана в качестве обезвоживателя шлаковой пульпы.

При печной водной грануляции шлакового расплава уменьшение удельного расхода технологической воды и снижение уровня воды в барабане может привести к увеличению взрывоопасности и ухудшению качества гранулированного шлака, а также к повышению уноса его мелких фракций с отходящей водой. Поэтому, для обеспечения стабильно низкой влажности гранулированного шлака требуется максимально интенсифицировать вторую ступень обезвоживания правильным подбором типа и размеров фильтрующих поверхностей.

В результате в качестве обезвоживающего устройства был выбран виброгрохот [3]. Причем, для интенсификации процесса обезвоживания виброгрохот был установлен с обратным наклоном (подъемом). Дальнейшие эксперименты проводились на усовершенствованной установке, состоящей из гидрожелоба, вращающегося барабана и виброгрохота.

А дальнейшие исследования процесса обезвоживания были посвящены выбору оптимальных параметров работы виброгрохота.

Исследования показали, что наиболее эффективными обезвоживающими поверхностями являются щелевые пластины с шириной щели 1,5 мм. Были определены эффективные значения амплитуды (1 мм) и частоты колебаний (25 с<sup>-1</sup>) виброгрохота. Определен оптимальный угол подъема виброгрохота (10°).

Нами также была разработана математическая модель гидродинамических и теплообменных процессов грануляции шлакового расплава. При составлении модели использованы данные, полученные в ходе предварительных исследований. Математическая модель процесса описана в виде систем уравнений для каждой из стадий процесса (гидрожелоб, вращающийся барабан, виброгрохот). Расчетные данные, полученные из вышеуказанных систем уравнений при соответствующих начальных условиях, адекватны результатам, полученным при проведении экспериментов.

Нами большое внимание было уделено экологическим аспектам переработки шлаковых расплавов. Исследования показывают, что при производстве и применении гранулированных шлаков выделяются летучие токсичные соединения серы ( доменные шлаки ) и серы, фосфора, фтора ( электротермофосфорные шлаки ). Наибольшее количество этих соединений образуется в результате реакций пирогидролиза при взаимодействии шлаковых расплавов с водой в процессе грануляции шлаков. Основными источниками газовой выделений при переработке доменных шлаков являются сульфиды Са, Мп, Fe. При переработке электротермофосфорных шлаков, кроме серосодержащих газов, образуются токсичные соединения фосфора и фтора. Основными источниками образования газообразных соединений фосфора и фтора являются фосфиды и фториды, а также элементарный фосфор, входящий в состав шлаков.

Часть этих летучих соединений могут находиться в закрытых порах гранулированных шлаков, и они выделяются при переработке шлака (в частности, при совместном помоле с клинкером при получении шлакопортландцемента). Проведенные нами исследования показали, что при помоле гранулированных

электротермофосфорных шлаков совместно с клинкером и гипсом (в соотношении 30:65:5) в аспирационном воздухе соединения  $\text{PH}_3$  составляет  $1,2 \text{ мг/м}^3$ , т.е. в 12 раз превышает ПДК, а  $\text{HF}$  -  $0,3 \text{ мг/м}^3$  (превышает ПДК в 3 раза).

Установлено, что наиболее эффективным способом нейтрализации токсичных газовойделений при производстве и применении гранулированных шлаков является введение в воду грануляции добавок-нейтрализаторов. В качестве добавки-нейтрализатора были испытаны различные отходы производства (в частности, Чирчикского (Республика Узбекистан) химического завода). Это - растворы отхода перманганатной очистки капролактама или сток водный концентрированный (СВК) [4 - 7]. При введении СВК в воду грануляции во время опытно-промышленных испытаний удалось снизить концентрации газовых выбросов над грануляционной воронкой: по  $\text{P}_2\text{O}_5$  в 17 раз и по  $\text{PH}_3$  в 4,7 раз.

Исследования аспирационного воздуха из мельницы при помолу гранулированных в растворе СВК ЭТФ шлаков показали, что значительно снижаются выделения  $\text{PH}_3$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  по сравнению со шлаками, полученными традиционным способом. Предполагаемый механизм нейтрализации (связывания фосфина и фосфорного ангидрида с образованием нелетучих соединений) подтверждается данными рентгеноструктурного анализа.

Полученные гранулированные шлаки испытывались на гидравлическую активность в составе шлакопортландцементов. Испытания показали, что шлаки, полученные на установке водной грануляции и двухступенчатого обезвоживания, не уступают шлакам, полученным по существующей технологии. А шлаки, полученные в ходе опытно-промышленных испытаний по нейтрализации токсичных газовойделений, немного превосходят по показателям гидравлической активности шлаки традиционного способа производства.

Еще одним способом переработки шлаковых расплавов является «намораживание» или сухой (полусухой) способ грануляции. При этом шлаковый расплав сливается на движущую металлическую поверхность. При соприкосновении со шлаковым расплавом поверхностный слой металла сначала разогревается до температуры адгезии шлака к металлу, в результате чего на металлическую поверхность налипают тонкий слой еще пластичного шлака, который быстро охлаждается и затвердевает, приобретая стекловидную структуру. Образуется стекловидная шлаковая корка. Отделение образовавшейся корки от металлической поверхности можно производить механическим (с помощью скребков) или термомеханическим (подачей под напором струй воды) способом. Для практического осуществления способа «намораживания» нами предлагается барабанная установка. Одним из вариантов использования барабанной установки является слив шлакового расплава на внутреннюю поверхность вращающегося барабана [8]. При этом, для увеличения площади растекания шлакового расплава внутренняя поверхность барабана выполнена ребристой. Для отделения шлаковой корки от металлической поверхности внутри барабана сверху установлены брызгала (полусухой способ), а внешняя поверхность барабана охлаждается водой из оросителя, установленной над барабаном. Такое исполнение установки приводит к тому, что в верхней части вращающегося барабана происходит разрушение шлаковых корок и отделение их от поверхности барабана. Отделившиеся частицы шлака попадают на прямоугольный лоток, проходящий по длине барабана. К лотку прикреплен вибратор направленного действия. Верхняя часть лотка состоит из двухъярусной сетки, на которую попадают корки шлака и вода после брызгал. Здесь свободная вода проходит через сетки и попадая на лоток организованно удаляются. Корки шлака на сетках лотка под действием вибратора перемещаются к выгрузочному концу установки. При этом корки шлака, имеющие температуру  $100 - 200^\circ \text{C}$ , подсушиваются за счет своего физического тепла.

Такое конструктивное решение обеспечивает необходимую производительность установки, обеспечивает защиту атмосферы от вредных выбросов, существенно снижает влажность полученного продукта.

Как отмечалось выше, в процессе переработки шлаковых расплавов наибольшее количество токсичных соединений образуется в результате реакций пирогидролитического при взаимодействии шлаковых расплавов с водой в процессе грануляции шлаков. Поэтому нами предлагаются установки по сухой грануляции шлаковых расплавов. На этих установках предполагается получение гранулированных шлаков на внешней поверхности вращающихся барабанов [9,10]. В этих установках шлаковый расплав попадает на поверхность вращающегося барабана, растекается по ней тонким слоем. Для получения равномерного слоя шлака на поверхности барабана предложены следующие решения: выполнение шлакоподающего желоба качающим, выполнение барабана с вогнутой поверхностью в виде однополостного гиперболоида. Охлаждение полученного слоя шлака происходит за счет охлаждения барабана водой, подаваемую во внутрь, и за счет дополнительных охлаждающих валков. Отделение застывших корок шлака - с помощью скребков. Такое исполнение установок полностью исключает контакт шлакового расплава и шлака с водой.

Нами были проведены испытания на опытных установках по получению гранулированных шлаков сухим и полухим способами. Полученные шлаки были испытаны на размалываемость и на гидравлическую активность в составе шлакопортландцементов. Испытания показали, что по показателям гидравлическим активности и размалываемости полученные гранулированные шлаки не уступают шлакам, полученным традиционным способом.

#### Список использованной литературы

1. А.с. СССР 1622312, С 04 В 5/02 «Устройство для производства гранулированного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 23.01.1991, бюл. № 3.
2. А.с. СССР 1766858, С 04 В 5/02 «Устройство для производства гранулированного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 07.10.1992, бюл. № 37.
3. А.с. СССР 1728159, С 04 В 5/02 «Устройство для производства гранулированного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 23.04.1992, бюл. № 15.
4. А.с. СССР 1705253, С 04 В 5/02 «Способ обработки шлакового расплава», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 15.01.1992, бюл. № 2.

5. А.с. СССР 1715738, С 04 В 5/02 «Способ переработки шлакового расплава», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл.29.02.1992, бюл. № 8.
6. А.с. СССР 1715739, С 04 В 5/02 «Способ переработки шлакового расплава», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл.29.02.1992, бюл. № 8.
7. Патент РК № 2250, С 04 В 5/00, С 04 D 5/06 «Раствор для обработки шлакового расплава», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 15.09.1995, бюл. № 3.
8. А.с. СССР 1564953, С 04 В 5/02 «Установка для производства стекловидного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл.16.08.1988.
9. Патент РК № 20218, С 04 В 5/02 «Устройство для гранулирования расплавленного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 17.11.2008, бюл. № 11.
10. Патент РК № 20217, С 04 В 5/02 «Устройство для получения гранулированного шлака», авторы Серикбаев Б.Е. и др., опубл. 17.11.2008, бюл. № 11.

УДК 628.16:621.35

## СУ САПАСЫНЫҢ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСТІК ӘДІСТІҢ ТИГЗЕТІН ӘСЕРІ

**Сүлейменова С.Е.**, академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан  
**Рахманқызы А.**, академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

### Аңдатпа

Су ресурстары – бұл жер үсті суларының қоры, қазіргі уақытта пайдаланылып жатқан немесе келешекте пайдалану үшін жоспарланған, яғни жер үсті сулары мен жер асты суларының жиынтығы болып табылады.

Өзенге, көлге және су қоймасына антропогендік әсер етудің күшеюі, яғни әр түрлі химиялық қосылыстардың көп мөлшерінің түсуі судағы ағзалардың мекендеу ортасын өзгертеді, судың сапасын нашарлатады, кәсіпшілік нысандардың өнімділігінің төмендеуіне әкеледі. Су айдындарына келіп түсетін, ағынды сулар - сулы экожүйеге ауқымды залал келтіреді.

Қазіргі таңда табиғи ресурстарды пайдалану кез келген дамыған немесе дамушы ел үшін маңызды әрі күрделі мәселеге айналып отыр.

**Түйін сөздер:** су сапасы, электрогидроимпульстік әдіс, электр разряды, физика-химиялық қасиеттер, электрод.

### Кіріспе

Қазіргі кезде өнеркәсіптік кәсіпорындардың, инфрақұрылымдық нысандардың және шаруашылық объектілерінің саны үздіксіз көбейіп келеді. Мұндай үдерістер суды қарқынды тұтынуға және оның ластану деңгейінің артуына әкелуде. Кейбір шаруашылық салаларында сапалы су қорының жеткіліксіздігі өнімнің көлемі мен сапасының төмендеуіне ықпал етуде. Су тапшылығын болдырмау және судың тазалығын арттыру мәселесі бірнеше жылдар бойы өзекті болып келеді. Суды тазартудың әртүрлі әдістері бар, алайда олардың бірі қомақты қаржылық шығындарды талап етсе, енді бірі ірі техникалық жабдықтарды, тағы бірі кең аумақтарды қажет етеді. Осыған байланысты электрогидроимпульстік әдістің су сапасына әсерін зерттеу бүгінгі күннің маңызды мәселелерінің біріне айналып отыр. Бұл мақалада электрогидроимпульстік әдісінің су сапасының көрсеткіштеріне әсер ету мүмкіндіктері қарастырылады.

### Негізгі бөлім

Электрогидроимпульстік әдіс – су ортасында жоғары кернеулі разряд арқылы қысқа уақыт ішінде жоғары энергиялы толқындар тудыру принципіне негізделген. Бұл толқындар судағы ластаушы бөлшектерді, бактерияларды және тұнбаларды механикалық, термиялық және электрлік әсер арқылы жоюға мүмкіндік береді [1-2].

Әдістің ең негізгі артықшылықтарының бірі химиялық реагенттердің қолданылмауында. Яғни, экологиялық қауіпсіз.

Судың сапасы келесі физикалық-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштер арқылы бағаланады: түсі, иісі, дәмі, рН мәні, мөлдірлігі, ауыр металл иондары (Pb, Hg, Cd, т.б.), бактериологиялық құрам (E.Coli, ішек таяқшасы және т.б.).

Электрогидроимпульстік әдіс жоғарыда аталған көптеген параметрлерді жақсартуға ықпал етеді [3-4].

Электрогидроимпульстік қондырғының тиімді жұмыс режимін анықтау үшін суды тазалау саласында электроразрядтық әдістердің энергия разрядына байланысты тиімділігі қарастырылып, тәжірибелер жүргізілді. Разрядтардың әртүрлі уақыт аралығында алынуы белгілі бір қиындықтар тудырады және кейбір сұйық ортада импульстік қысымды қалыптастыру үшін ерекше әдістерді қолдануды қажет етеді. Сондықтан тәжірибе барысында разряд жиілігі мен энергиясының оңтайлы арақатынасы таңдалып, қондырғының тұрақты әрі тиімді жұмысын қамтамасыз ету жолдары анықталды. Алынған нәтижелер электрогидроимпульстік әдісті су тазарту процесінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді [5-6].

Тәжірибелер барысында жұмыс ортасы ретінде табиғи су қоймаларынан алынған үлгілері пайдаланылып, олар әртүрлі электрод аралық қашықтықта электрогидравликалық өңдеуден өткізілді. Өткізілген тәжірибеде параметрлердің өзгеру диапазоны: кернеу бойынша  $U (15\div 30)$  кВ, конденсатор сыйымдылығы  $C - 0,25$  мкФ; электрод аралық қашықтығы  $l - (0,5\div 10)$  мм құрайды.

Энергия разрядын есептеу үшін конденсатордың энергиясын анықтайтын формула қолданылды: