

УДК 622.363.2

## СКЛАДИРОВАНИЕ ГЛИНИСТО-СОЛЕВЫХ ШЛАМОВ ПРИ РАСШИРЕНИИ СОЛЕОТВАЛОВ НА ОТРАБОТАННЫХ ШЛАМОХРАНИЛИЩАХ

А.А. Кологривко

*Представлены исследования по перспективам складирования глинисто-солевых шламов при расширении солеотвала на отработанном шламохранилище ЗРУ ОАО «Беларуськалий» в рамках системной реализации комплекса мер по снижению техногенной нагрузки в Солигорском промышленной районе за счет уменьшения изъятия дополнительных площадей под солеотвалы, используя в качестве их основания отработанные шламохранилища.*

*Ключевые слова: глинисто-солевые шламы, шламохранилища, отвал, техногенная нагрузка.*

В рамках реализации системного подхода к прогнозированию результатов техногенных воздействий в процессе обогащения калийных руд снижение геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий ОАО «Беларуськалий» следует рассматривать за счет разработки новых и технологического развития существующих способов складирования отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих отходов. Так, снизить техногенную нагрузку можно за счет уменьшения изъятия дополнительных площадей под солеотвалы, используя при этом отработанные шламохранилища в качестве оснований при расширении солеотвалов [1].

Работниками ОАО «Белгорхимпром», ОАО «Беларуськалий», Белорусского государственного технического университета, Белорусского государственного университета реализуется проект складирования отходов калийного производства с использованием отработанных шламохранилищ в качестве основания расширяемых солеотвалов ОАО «Беларуськалий», позволяющий существенно сократить изъятие новых земельных ресурсов для складирования отходов, сократить объем образования избыточных рассолов и, таким образом, сократить затраты на их утилизацию, существенно сократить затраты на сооружение основания для нового солеотвала. В настоящее время продолжает реализовываться проект строительства опытно-промышленного участка по использованию отработанного шламохранилища ЗРУ ОАО «Беларуськалий» (далее – шламохранилище ЗРУ) в качестве основания расширяемого солеотвала.

Проведен ряд подготовительных работ, затем непосредственно на всей поверхности отработанного шламохранилища формируется слой из

галитовых отходов, который в дальнейшем будет служить надежным основанием для последующей отсыпки солеотходов.

Для формирования солеплеты на поверхности шламохранилища используют свежие галитовые отходы с обогатительных фабрик, которые наносят на всю поверхность отработанного шламохранилища гидронамывом или отвальной и бульдозерной техникой ровным слоем. Мощность этого слоя определяется расчетом и зависит от размера отработанного шламохранилища и прочностных свойств шламов и галитовых отходов. Галитовые отходы одновременно являются статической нагрузкой для уплотнения шламовых грунтов и дренирующим слоем, в который будут отжиматься рассолы из влажных шламовых грунтов при их уплотнении. Предварительной статической нагрузкой не только упрочняются шламовые грунты основания будущего солеотвала, но и предупреждается выпор текущих шламов за пределы ограждающих дамб шламохранилища.

Отметим условия и порядка устройства солеотвала на отработанных картах шламохранилища. Так, перед отсыпкой галитовых отходов с карты отработанного шламохранилища полностью или частично удаляют рассолы; после формирования первого яруса на его поверхность отсыпается следующий, мощность которого определяется расчетом в зависимости от технологических возможностей применяемой отвальной техники и несущей способности созданного основания. При этом основание откоса каждого последующего яруса не должно выходить за границу верхней бровки откоса предыдущего.

Галитовые отходы на поверхности отработанного шламохранилища вследствие процессов уплотнения и кристаллизации солей в их поровом пространстве из сыпучей массы превращаются в прочную полускальную породу (техногенную каменную соль), покрывающую всю площадь шламохранилища прочной солеплитой. Отсыпка галитовых отходов на подготовленное таким образом ложе может производиться как с естественного основания, так и с высоты стояния отвалообразователя, расположенного как правило, на примыкающем к шламохранилищу солеотвале.

Проведенные исследования геологических свойств галитовых отходов и глинисто-солевых шламовых отходов калийного производства позволяют рекомендовать их совместное складирование, причем содержание глинистых шламов до 25 % не вызывает существенного изменения показателей общей прочности смеси, а по сравнению со свежими, чистыми галитами даже несколько ее повышает.

Проектом предусмотрено формирование солеплиты на поверхности отработанного шламохранилища как из галитовых отходов, так и из смеси галитовых и шламовых отходов, а складирование отходов обогатительных фабрик на сформированной солеплите по проекту возможно как сухим способом и только галитовых отходов, так и гидронамывом галитовых или смеси галитовых и шламовых отходов.

С целью увеличения объема складироваемых шламовых отходов на уже отведенных под хвостовое хозяйство площадях, а также повышения надежности эксплуатации ограждающих дамб в условиях их подрботки горными работами после завершения строительства дамб шламохранилища возле существующих солеотвалов одновременно заполняют жидкими отходами шламохранилище и пространство между ограждающей дамбой и телом солеотвала, причем заполнение последнего производится с минимально возможным содержанием жидкой фазы в шламовой пульпе и до проектной отметки заполнения шламохранилища. После осаждения твердой фазы жидкую (рассол) удаляют в шламохранилище (самотеком или механическим водоподъемником). Твердая фаза глинисто-солевых шламов вследствие диагенеза осадка по мере заполнения шламохранилища превращается в шламовые грунты, по инженерно-геологическим характеристикам близким к текуче-пластичному суглинку с соответственно низким коэффициентом фильтрации. В условиях подрботки дамб горными работами, когда возможно возникновение трещин в ограждающих дамбах шламохранилища и выброс жидких отходов из хранилища на прилегающую территорию, пластичные шламовые грунты с низким коэффициентом фильтрации «залечивают» трещины и препятствуют выходу жидкой фазы из хранилища [2, 3].

Исследования инженерно-геологических свойств галитовых и шламовых отходов показывают, что шлам имеет низкие прочностные и деформационные характеристики. Это обстоятельство не позволяет в прямом виде использовать шламовые отходы для складирования в солеотвалы, в частности, для формирования солеплиты на поверхности отработанного шламохранилища ЗРУ.

Вместе с тем, разработанная в ГНУ «Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси» технология обезвоживания глинисто-солевых шламов ОАО «Беларуськалий» с использованием полимерных флокулянтов позволяет разделить дисперсию глинисто-солевых шламов на жидкую и твердую фазы. Технология обезвоживания глинисто-солевого шлама позволяет получить продукт с влажностью около 30 %, который имеет физико-химические и механические свойства, позволяющие транспортировать его и складировать совместно с галитовыми отходами.

При изучении возможностей складирования галитовых и шламовых отходов на поверхности отработанного шламохранилища ЗРУ, принимая во внимание современное состояние и развитие хвостового хозяйства, анализировались пять технологически приемлемых вариантов формирования солеотвала с построением соответствующих геомеханических (механико-математических) моделей и соответствующих им численных расчетных схем, на базе которых выполнены исследования по изучению прочности и устойчивости системы «солеотвал-шламохранилище». Выполненные модельные исследования, а также полученные результаты исследований воз-

возможностей складирования обезвоженных глинисто-солевых шламов позволили установить возможные технологические схемы складирования отходов на поверхности отработанного шламохранилища [4].

В результате исследований выполнены расчеты устойчивости отвалов, формируемых из обезвоженных шламов, а также из обезвоженных шламов (20 %) с галитовыми отходами (80 %). Расчеты выполнены для отвалов на устойчивом основании из песков и супесей [5].

Выполненный анализ экспериментальных и расчетно-теоретических данных показал, что отвал, формируемый на прочном основании из мелкого песка или супеси только из обезвоженных глинисто-солевых шламов (влажностью 30...40 %), высотой 30 м, должен иметь заложение откоса не менее 1:2,0. При изменении откоса формируемого отвала до 1:1,5 высота такого отвала не должна превышать 10 м. Отвал из обезвоженных глинисто-солевых шламов с заложением откоса 1:1,0 высотой 10 м является неустойчивым. Отвал, формируемый на естественном основании из мелкого песка или супеси из смеси галитовых и шламовых отходов, более устойчив. Так, при высоте отвала не более 10 м заложение откоса отвала может быть 1:1,0. При изменении заложения откоса от 1:1,0 до 1:2,0 высота формируемого отвала может быть 20 м. При заложении откоса 1:2,25 высота отвала может достигать 30 м. Заметим, что расчеты проводились для влажных шламов и влажной смеси галитовых и шламовых отходов. При высыхании отходов (отвала из отходов) в них образуются вторичные связи, прочность отходов (отвала) повышается, что повышает и устойчивость откоса отвала.

Представленные выше результаты исследований по снижению техногенной нагрузки в Солигорском промышленной районе за счет уменьшения изъятия дополнительных площадей под солеотвалы при использовании в качестве их основания отработанных шламохранилищ, многолетняя системная реализация научных решений позволяют считать возможным при достижении отметки второго этапа намыва + 207,25 м рассмотреть случай формирования солеотвала из обезвоженных глинисто-солевых шламов. Наиболее рационально складировать в отвал смесь галитовых и шламовых отходов при содержании в смеси шлама 17...20 %. Шлам и галитовые отходы должны поступать в отвал уже перемешанными.

### Список литературы

1. Кологривко А.А. Снижение геоэкологических последствий при подземной разработке калийных месторождений. // Вестник Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. 2014. №16. С. 101 – 110.
2. Смычник А.Д., Шемет С.Ф., Кологривко А.А. Технологии складирования отходов калийного производства // Сб. науч. статей X Юбилейной национальной конф. с междунар. участием по открытой и подводной добычи полезных ископаемых. Варна, 2009. С. 494 – 496.

3. Кологривко А.А. Геоэкологические задачи при реконструкции шламохранилищ калийного производства // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 10-й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула, 6 – 7 нояб. 2014 г.: в 2 т./ ТулГУ; под ред. Р.А. Ковалева. 2014. Т. 1. С. 363 – 368.

4. Формирование солейотвала из галитовых отходов способом гидронамыва / М.А. Журавков, С.Ф. Шемет, А.А. Кологривко, А.В. Круподеров, О.Л. Коновалов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. трудов 9-й Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Минск, 29-31 окт. 2013 г. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; ред. А.Б. Копылов, И.А. Басалай. Минск, 2013. Т. 1. С. 246 – 253.

5. Кологривко, А.А., Богославчик П.М. Устойчивость откосов отвалов, формируемых из обезвоженных шламов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Одиннадцатой Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 19 апр. 2013 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко. Минск, 2013. Т. 3. С. 17 – 18.

*Кологривко Андрей Андреевич, канд. техн. наук, доц., [upnkvk@bntu.by](mailto:upnkvk@bntu.by), Республика Беларусь, Минск, Белорусский национальный технический университет*

#### STORAGE CLAY-SALT SLIMES AT EXPANSION SALT DUMPS WASTE SLUDGE STORAGE

*A.A. Kologrivko*

*A study on the prospects for storing clay-salt slurries in expanding soleotvala Waste sludge storage 3RU of "Belaruskali" in the system of implementation of measures to reduce anthropogenic impact in the Soligorsk industrial area by reducing the flaw-ment of additional areas under the salt dump, using as their base from-works sludge storage is presented.*

*Key words: clay-salt slurries, sludge, dump, anthropogenic impact*

#### Reference

1. Kologrivko A.A. Snizhenie geojekologicheskikh posledstvij pri podzemnoj razrabotke kalijnyh mestorozhdenij. Vestn. Poloc. gos. un-ta. Serija F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2014. №16. S. 101–110.

2. Smychnik A.D., Shemet S.F., Kologrivko A.A. Tehnologii skladirovaniya othodov kalijnogo proizvodstva // Sb. nauch. statej X Jubilejnoj nacional'noj konf. s mezhdunar. uchastiem po otkrytoj i podvodnoj dobychi poleznyh iskopaemyh. Varna: 2009. S. 494-496.

3. Kologrivko A.A. Geojekologicheskie zadachi pri rekonstrukcii shlamohranilishh kalijnogo proizvodstva // Social'no-jekonomicheskie i jekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i jenergetiki : materialy 10-oj Mezhdunar. konf. po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i jenergetiki, Tula, 6–7 nojab. 2014 g.: v 2 t./ TulGU; red. : R.A. Kovalev. 2014. Т. 1. S. 363 – 368.

4. Formirovanie soleotvala iz galitovyh othodov sposobom gidronamyva / М.А. Zhuravkov, S.F. Shemet, А.А. Kologrivko, А.В. Krupoderov, О.Л. Konovalov // Social'no-

jekonomicheskie i jekologičeskie problemy gornoj promyšlennosti, stroitel'stva i jenergetiki : sb. nauch. trudov 9-oj mezhdunar. konf. po problemam gornoj promyšlennosti, stroitel'stva i jenergetiki, Minsk, 29-31 okt. 2013 g. : v 2 t. / Belarus. nac. tehn. un-t ; red. : A.B. Kopylov, I.A. Basalaj. Minsk, 2013. T. 1. S. 246-253.

5. Kologrivko, A.A., Bogoslavchik P.M. Ustojchivost' otkosov ot-valov, formiruemyh iz obezvozhennyh shlamov // Nauka – obrazovaniju, proizvodstvu, jekonomike: materialy Odinnadcatoj mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Minsk, 19 apr. 2013 g. : v 4 t. / Belarus. nac. tehn. un-t ; redkol.: V.M. Hrustalev, F.A. Romanjuk, A.S. Kalinichenko. Minsk, 2013. T. 3. S. 17 – 18.

*Kologrivko Andrei Andreevich, candidate of technical science, docent, [upnkvk@bntu.by](mailto:upnkvk@bntu.by), Republic of Belarus, Minsk, Belarusian National Technical University*

УДК628.166:628.315.1

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ФИЛЬТРЕ-ОЗОНАТОРЕ**

В.В. Левковская

*Рассмотрена гипотетическая модель работы фильтра-озонатора, совмещающего в себе процессы фильтрования и обеззараживания. Определены параметры эффективной работы. Вычислены коэффициенты уравнения регрессии, определяющие работу фильтра-озонатора.*

*Ключевые слова: обеззараживание, фильтрование, фильтр-озонатор, регрессионный анализ, использование дробной реплики.*

Компактные очистные сооружения блочного типа как правило включают в себя механическую и биологическую очистки. Эффект очищения и обеззараживания при этом составляет 90...95 %, что в очередной раз показывает необходимость специальной доочистки и обеззараживания сточных вод [1].

В настоящее время существуют локальные очистные сооружения с отдельными блоками доочистки и обеззараживания или вовсе их не предусматривающие. Например, в станции биологической очистки ЁРШ серии БС ECOS [2] доочистка осуществляется с помощью двухступенчатого фильтрования, где в качестве загрузки используются кассеты с синтетическими водорослями. После фильтра очищенная вода подается на обеззараживание, для чего предусмотрена установка дозирования гипохлорита натрия. Большинство компактных очистных сооружений не предусматривают обеззараживание очищенных сточных вод вовсе. Так, например, в индивидуальных очистных сооружениях ТОПАС [3] после вторичного отстойника осуществляется выпуск очищенных сточных вод