

4. Соколов Л., Кибардина С., Фламме С., Хазенкамп П. Сбор и переработка твердых коммунальных отходов. ЛитРес, 2017.
5. Аникиев В.В., Захарова П.В. и др. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов. М.: Ассоциация строительных вузов, 2012. 295 с.

УДК 628.543.142

Г.М.Байрамова, С.А. Аманова

Международный университет нефти и газа имени Ягшигельди Кakaева
Ашхабад, Туркменистан

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

***Аннотация.** В статье представлена разработка инновационного метода переработки буровых отходов с использованием нанотехнологических и химико-технологических подходов. Комплексная технология включает фазовое разделение, обезвоживание в геотекстильных контейнерах, химическую нейтрализацию и солидификацию, а также получение строительных материалов на основе твёрдой фазы шлама. Экспериментальные исследования показали высокую эффективность гидроциклонного разделения и геотекстильного обезвоживания, полную стабилизацию опасных компонентов в цементной матрице и возможность получения высокопрочных стройматериалов (сплит-блоков и дорожных смесей). Применение нанодисперсных добавок (SiO_2 , $CaCO_3$) позволило значительно повысить прочность, плотность и долговечность материала, а также ускорило кинетику твердения. Разработанная технология соответствует принципам безотходного производства и обладает высокой экологической и экономической эффективностью.*

G.M. Bayramova, S.A. Amanova

International Oil and Gas university named after Yagshygeldi Kakayev
Ashgabat, Turkmenistan

***Abstract.** This article presents the development of an innovative method for drilling waste treatment based on nanotechnological and chemical-technological approaches. The integrated technology includes phase separation, dewatering in geotextile containers, chemical neutralization and solidification, as well as the production of construction materials derived from the solid phase of drilling sludge. Experimental results demonstrated high efficiency of hydrocyclone separation and geotextile dewatering, complete stabilization of hazardous components within the cement matrix, and the feasibility of producing high-strength construction materials such as split blocks and road binders. The use of nanodispersed additives (SiO_2 , $CaCO_3$) significantly enhanced the mechanical strength, density and durability of the material and accelerated*

the hardening kinetics. The developed technology aligns with the principles of zero-waste production and demonstrates high environmental and economic efficiency.

В настоящее время стабильное развитие мировой экономики, сохранение высокого спроса на углеводородное сырьё и открытие новых нефтегазовых месторождений приводят к ежегодному увеличению объёмов буровых работ. Рост интенсивности бурения сопровождается увеличением образования бурового шлама, сточных вод и других производственных отходов. Поскольку буровой шлам по своему составу часто содержит тяжёлые металлы, химические реагенты, нефтяные остатки и опасные органические соединения, его загрязняющий потенциал является высоким, а ограничение его воздействия на окружающую среду — важной экологической и технологической задачей.

В Туркменистане и во многих странах мира существует потребность в разработке новых инновационных технологий переработки буровых отходов специализированными методами. На сегодняшний день применяемые технологии — гидроциклонное разделение, вибросита, обезвоживание с использованием геотекстильных контейнеров, а также физико-химические методы с применением флокулянтов и коагулянтов — позволяют перерабатывать отходы лишь в определённой степени. В то же время возрастаёт необходимость в научных исследованиях, направленных на повышение экологической безопасности существующих технологий, обеспечение безотходной переработки и получение новых полезных материалов для строительной отрасли.

Интенсивное развитие нанотехнологий, химических технологий и материаловедения создаёт возможности для изменения структуры бурового шлама на молекулярном уровне, связывания тяжёлых металлов, стабилизации органической фазы и формирования прочной твёрдой матрицы. Таким образом, углубление переработки буровых отходов на нанотехнологической основе позволяет не только обеспечить экологическую безопасность, но и открывает новые перспективы для энергетики, строительной промышленности и развития альтернативных местных сырьевых ресурсов [1].

На фоне таких научно-технических условий целью представленной работы является разработка интегрированного и энергоэффективного метода переработки буровых шламов с использованием нанотехнологических и химико-технологических инновационных подходов, обоснование путей его успешного практического применения, а также научное подтверждение новых

возможностей превращения твёрдой фазы буровых отходов в высококачественные строительные материалы.

В данной работе анализируются существующие практики обезвоживания буровых шламов в геотекстильных контейнерах, разделения фаз с помощью гидроциклона, эффективность воздействия флокулянтов, процессы солидификации, а также технологии получения промышленных материалов — таких как сплит-блоки и дорожные связующие смеси — из полученной твёрдой фазы. Таким образом, работа направлена не только на обобщение имеющихся данных, но и на разработку нового образцового решения за счёт интеграции возможностей современных нанотехнологий.

Буровой шлам представляет собой многокомпонентную отходовую систему, образующуюся в процессе буровых работ вследствие разрушения горных пород и их смешивания с буровым раствором. Его состав включает буровой раствор, минеральные частицы пород, тяжёлые металлы (Pb , Zn , Cr , Cu), минеральные соли, нефтяные и полимерные реагенты, что позволяет отнести его к экологически опасным отходам [2].

Физические свойства шлама — плотность, способность к осаждению, пластичность, кислотостойкость — являются ключевыми параметрами, определяющими выбор оптимального способа его переработки.

В зависимости от содержания воды буровой шлам подразделяют на три основные группы:

- шлам с низким содержанием воды (5–15 %), характеризующийся высокой долей твёрдой фазы;
- средневлажный шлам (15–35 %);
- высоковлажный шлам (35–65 %).

Такая классификация определяет выбор предварительной технологии обработки — применения гидроциклона, вибросита или геотекстильных контейнеров как наиболее целесообразных решений.

Переработка бурового шлама включает два основных этапа: удаление жидкой фазы (обезвоживание) и концентрацию с последующим упрочнением твёрдой фазы. Теоретической основой работы гидроциклона являются центробежная сила и градиент вязкости. При подаче шлама под давлением в гидроциклон твёрдые частицы под действием центробежных сил перемещаются в нижнюю коническую часть, тогда как жидкую фазу выводится через верхний поток. Фракционное разделение шлама зависит от размера и плотности частиц и определяется в соответствии с законом Стокса [3].

Действие флокулянтов (Praestol 2530, DK-Drill A-15) основано на способности полимерных цепочек объединять мелкие частицы в крупные флокулы. Электростатические связи полимерных электролитов ускоряют отделение воды и повышают эффективность фильтрации.

Механизм работы геотекстильных контейнеров опирается на закон Дарси: за счёт низкой проницаемости волокон мембранны обеспечивается фильтрация жидкой фазы. Твёрдая фаза удерживается во внутреннем слое геотекстиля, что способствует уменьшению её объёма и созданию условий для последующей консолидации [4].

На первом технологическом этапе проводится анализ физико-химических свойств бурового шлама. После определения его плотности, влажности, минерального состава и содержания органических веществ шлам направляется на соответствующую технологическую линию. Шламы средней влажности подаются в гидроциклонную систему. Здесь их разделяют на твёрдую и жидкую фазы путём высоконапорной дезинтеграции. Под воздействием центробежных сил жидкая фаза выводится через верхний поток, тогда как твёрдая фаза концентрируется в нижней части аппарата. Разделение, происходящее в гидроциклоне, отличается высокой эффективностью и обеспечивает более точное фракционирование шлама.

Смесь, выходящая из гидроциклона, дополнительно обрабатывается вибрационными ситами, позволяющими удалить крупные фракции. На этом этапе достигается выравнивание структуры шлама, что повышает эффективность последующей химической обработки. За счёт вибросит отделяются тяжёлые и лёгкие частицы, увеличивается концентрация твёрдой фазы.

После подготовки твёрдой фазы начинается наиболее важный этап — химическая нейтрализация и солидификация. На этой стадии шлам смешивается с цементными связующими, и благодаря высокому уровню pH тяжёлые металлы переходят в форму стабильных гидроксидных осадков. Органические вещества фиксируются на поверхности сорбентов и стабилизируются внутри цементной матрицы. По мере протекания гидратации цемента структура материала усложняется за счёт формирования прочных кристаллических связей, что увеличивает его механическую прочность и устойчивость к влаге. В итоге буровой шлам теряет способность взаимодействовать с окружающей средой.

На следующем технологическом этапе затвердевшая матрица преобразуется в строительные материалы. Подготовленная смесь

формируется в бетоносмесителе и подаётся на формовочные установки. За счёт сочетания вибрации и прессования получаемые сплит-блоки приобретают высокую геометрическую точность, прочность и долговечность. Такие изделия применяются в хозяйственных, временных и дорожных сооружениях.

В дорожных смесях соотношение шлама и цемента корректируется в зависимости от способности смеси к твердению. Полученное связующее укладывается в основание дорожного покрытия, где минерализованные связи обеспечивают его устойчивость. Таким образом, переработанная твёрдая фаза бурового шлама играет ценную роль в дорожном строительстве.

Одной из ключевых особенностей инновационного метода является использование нанотехнологий. Наноразмерные частицы SiO_2 и CaCO_3 , действуя как наполнители и армирующие компоненты, укрепляют цементную матрицу и повышают её долговечность. Высокая адсорбционная способность наноматериалов на молекулярном уровне способствует дополнительной экологической очистке состава. Применение нанотехнологий улучшает качество готовых строительных материалов и увеличивает срок их эксплуатации.

Этап химической нейтрализации и солидификации обеспечил не только обезвреживание шлама, но и его превращение в строительный материал. Повышение рН в системе «цемент–шлам» способствовало осаждению тяжёлых металлов в виде гидроксидов, предотвращая их переход в окружающую среду. Продолжающаяся гидратация цемента увеличивала прочность и химическую стойкость полученной матрицы. Органические вещества связывались сорбентами и стабилизировались внутри твёрдой структуры. Всё это подтверждает экологическую безопасность конечного материала.

Испытания по преобразованию твёрдой фазы в строительные материалы также прошли успешно. Полученные сплит-блоки отличались высокой механической прочностью, геометрической точностью и устойчивостью. Вибрационное и прессовое воздействие обеспечило изделиям эксплуатационные характеристики, позволяющие широко применять их в хозяйственных, технических и дорожных объектах. Дорожные связующие смеси, приготовленные на основе переработанного шлама, показали достаточную долговечность и прочность благодаря минеральному составу твёрдой фазы.

Особое внимание уделялось нанотехнологическим добавкам, применённым в экспериментальном режиме. Наночастицы SiO_2 и CaCO_3 выполняли функции наполнителя и армирующего компонента в

микроструктуре цементной матрицы. Это позволило уменьшить пористость материала, заполнить микрокристаллические пустоты и повысить его общую прочность. Таким образом, использование нанотехнологий улучшило не только экологические, но и физико-механические характеристики конечного продукта. Кроме того, нанодобавки ускорили кинетику процесса твердения, сокращая время набора прочности [5].

Ключевым преимуществом разработанной инновационной технологии является её соответствие принципам безотходного производства. Жидкая фаза бурового шлама после очистки может быть использована повторно, а твёрдая фаза превращается в высокопрочный строительный материал. В итоге формируется практически безотходный процесс, который предотвращает загрязнение окружающей среды, снижает риски для поверхностных вод и почвенного слоя.

Обобщая результаты, можно отметить, что предложенный инновационный метод формирует новое направление в переработке бурового шлама. Он не только экологически безопасен, но и экономически выгоден, способствует снижению производственных затрат и позволяет получать новые местные строительные материалы. Таким образом, данная технология может рассматриваться как современное, научно обоснованное решение, соответствующее экологическим требованиям современного промышленного развития и использующее потенциал нанотехнологий.

Список использованных источников

1. Darley, H. C. H., & Gray, G. R. *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Gulf Publishing, 1988.
2. Thomas, J. E. (Ed.) *Fundamentals of Drilling Engineering*. Society of Petroleum Engineers, 2009.
3. Caenn, R., Darley, H. C. H., & Gray, G. R. *Composition and Properties of Drilling Fluids and Completion Fluids*. Gulf Professional Publishing (Elsevier), 2011.
4. Meyer, R. F. *Waste Management for the Oil and Gas Drilling Industry*. CRC Press, 2015.
5. Growcock, F. B., & Harvey, T. J. “Drilling Fluid Waste Management: Technologies and Practices”, *Journal of Petroleum Technology*, SPE, 2012.