

модели и экспериментальных данных / Г.В. Казаченко [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 47-58.

2. Басалай И.А. Изучение возможности использования бурового раствора на основе сапропеля в тоннелепроходческом механизированном комплексе // И.А. Басалай. Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 1. – С. 1-7.

УДК 622.2+631.8+656.3

**Басалай И.А.**

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск)

## ПРИМЕНЕНИЕ ТОРФОСАПРОПЕЛЕВЫХ ГРУНТОВ НА ОСНОВЕ ЭКСКАВИРУЕМЫХ ПОРОД ОТ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ КАРЬЕРОВ

---

В настоящее время сооружение подземных коммуникаций и линий метрополитена проводится двумя способами:

– микротоннелирование с гидротранспортом шлама в виде пульпы из забоя на дневную поверхность с последующей сепарацией смеси. При проходке используется специальный бентонитовый раствор и различные полимеры;

– использование тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с грунтопригрузом для строительства тоннелей большого диаметра (6 м и более) [1]. Для проходки на таких комплексах также используется полимер и бентонит для снижения сил трения и налипания породы к режущему инструменту в глинистых грунтах.

Буровой раствор способствует повышению пластичности экскавируемого грунта, снижению удельных затрат энергии на фрезерование массива по площади забоя, а также снижает износ породоразрушающего инструмента, основных элементов металлоконструкции исполнительного органа и винтового конвейера. Однако применение буровых растворов на основе бентонита и пенного реагента является экономически затратным и экологически небезопасным, ввиду необходимости утилизации экскавируемой породы, из-за негативного воздействия на окружающую среду. В связи с этим, актуальным является разработка альтернативных видов экологически безопасных буровых растворов.

Цель работы – изучение возможности и эффективности применения буровых растворов на основе сапропеля вместо буровой пены при проходке подземных коммуникаций механизированными комплексами, а также применения торфосапропелевых грунтов на основе экскавируемых пород от тоннелепроходческих комплексов для рекультивации карьеров.

Технико-экономическая эффективность проходки скважин и тоннелей подземных коммуникаций зависит от режима промывки и технологических свойств буровых растворов. Стоимость буровых и тампонажных растворов в ряде случаев достигает трети общих затрат на процесс проходки. Поэтому понятна необходимость в определении оптимальных режимов промывки и подборе высокоэффективных и дешевых по стоимости буровых растворов.

Следует отметить, что при проходке тоннелей подземных коммуникаций с большим поперечным сечением канала подлежат экскавации из забоя на дневную поверхность большие объемы породы, а соответственно – и значительные по объему расходы бурового раствора. Результаты расчетов этих двух показателей на примере строительства в городе Минске двух крупных объектов показывают, что при проходке коллектора ливневой канализации «Центр» диаметром три метра объем вынимаемого грунта на длине один метр равен  $7,54 \text{ м}^3$ , при этом расход бурового раствора – 188 кг. При проектной длине коллектора около 7 км объем вынимаемого грунта составляет  $52,8 \text{ м}^3$ , а суммарный расход бурового раствора – 1876 т. При строительстве транспортных тоннелей Третьей линии Минского метрополитена общей протяженностью 9 км суммарный расход бурового раствора составит 2160 т, а концентрат буровой пены – 1350 т.

При микротоннелировании после прохождения пульпы через сепарационную установку и отделения породы, раствор используется повторно для транспортирования грунта, а очищенный грунт складывается на технологической площадке [1].

При проходке с использованием ТПМК порода, обработанная пенным полимерным раствором, не проходит очистку и сепарацию, поэтому в каждом кубометре экскавируемой породы содержится около 2,5 кг пенного реагента.

Экскавируемая проходческими комплексами порода, как и в первом способе, не пригодна для дальнейшего использования, поэтому она утилизируется на специально отведенных технологических площадках, расположенных на значительном расстоянии от городских коммуникаций. Для этих целей, как правило, используются отработанные песчано-гравийные карьеры, которые оборудуются гидроизолирующей

пленкой, исключаяющей попадание остатков бентонита или пенного продукта в грунтовые воды.

Например, расход дизельного топлива одним автосамосвалом грузоподъемностью 25 т на транспортирование грунта за пределы города на расстояние до 20 км составляет 12 литров. Для перевозки грунта объемом 3 тыс. м<sup>3</sup> (при плотности 1,4 т/м<sup>3</sup> объем составит 4,2 тыс. т), экскавируемого ТПМК на длине проходки 100 м, расход топлива составляет 1,8 т (168 рейсов).

Таким образом, растворы должны обладать строго нормируемыми технологическими и структурно-реологическими свойствами. При этом, они не вызывают осложнений при бурении, а также загрязнений недр.

Качество буровых растворов определяется низкой плотностью и минимальным содержанием твердой фазы; малым значением вязкости; нейтральностью по отношению к разбуриваемым породам и безвредность к окружающей среде и обслуживающему персоналу буровой.

В настоящее время наиболее распространенными являются два вида буровых растворов – на основе бентонита и пенного реагента. Пенные растворы должны обладать следующими свойствами: пенообразующей способностью, кратностью, стабильностью, дисперсностью. Пена, как и любая дисперсная система, является агрегатно неустойчивой, из-за избытка поверхностной энергии, пропорциональной поверхности раздела «жидкость – газ».

На исследуемом объекте, т.е. на тоннелепроходческом комплексе, используются импортные дорогостоящие буровые растворы на основе бентонита и, особенно в большом количестве, буровой пены. Их применение разрешено экологическими сертификатами. Раствор приготавливается в специальной установке непосредственно на проходческом щите с концентрацией пены в воде до 3 %. Анализ показывает, что применение вышеуказанных буровых растворов на тоннелепроходческом комплексе является экономически затратным и экологически небезопасным, ввиду необходимости утилизации экскавируемой породы, из-за негативного воздействия на окружающую среду. В связи с этим, актуальным является разработка альтернативных видов экологически безопасных буровых растворов.

В работе предлагается использовать в тоннелепроходческом комплексе буровой раствор на основе сапропеля и торфа малой зольности. Это предложение основано на анализе результатов научных исследований, проведенных в этой области [2, 3]. В их составе имеются все компоненты, необходимые для приготовления буровых растворов, такие как тонкодисперсная минеральная составляющая,

гуминовые вещества, битумы, легко- и трудногидролизуемые вещества, лигнин и другие. Основное достоинство торфяных и сапропелевых буровых растворов – их экологичность, простота приготовления и обработки.

Сапропели, как и торф, а также угли и горючие сланцы – это органическое вещество биогенного происхождения, т.е. каустобиолиты. Общие запасы сапропелевых отложений в Беларуси оценивают в 3,6 млрд м<sup>3</sup>. В настоящее время добыча сапропеля ведется на трех крупных озерах Беларуси. Годовые объемы производства продукции на основе сапропеля различного назначения составляют сотни тысяч тонн. Основные области применения продуктов на основе сапропеля: сельское хозяйство, медицина, а также одно из новых направлений – сорбенты для локализации радионуклидов в почвах, воде и зеленой массе.

В процессе добычи и переработки сапропеля из-за интенсивного механического воздействия его природная структура существенно изменяется. Одной из важнейших характеристик, определяющих структуру и свойства сапропеля, является дисперсность. Естественные дисперсии сапропелей обладают высокой агрегативной устойчивостью, термо- и солестойкостью, имеют удовлетворительные структурно-реологические и энергетические характеристики. На эксплуатационные свойства бурового раствора значительное влияние оказывает минералогический состав сапропеля.

В России еще в 1992 году разработан буровой раствор для использования в установках для вертикального бурения глубоких скважин. Он содержит в качестве твердой фазы сапропель в количестве 2-10 %. Его использование по сравнению с буровыми растворами на основе бентонитовых глин обеспечивает уменьшение загрязнения продуктивных пластов и окружающей среды.

В результате наших исследований установлено, что для приготовления бурового раствора применительно к проходческому комплексу достаточно из экскавируемой сапропелевой массы удалить только часть свободносвязанной воды естественным обезвоживанием (в тонких слоях), доведя влажность продукта до 50-60 %. Предлагаемый способ можно эффективно реализовать при добыче сапропеля из небольших водоемов, расположенных на небольшом расстоянии от объектов прокладки подземных коммуникаций.

Для определения удельного расхода сапропелевого бурового раствора в тоннелепроходческом комплексе нами проведены исследования влияния бурового раствора на физико-механические свойства экскавируемой породы. Результаты экспериментов по определению

зависимости напряжений сдвига в грунте от нормального напряжения показывают, что существенное уменьшение напряжения сдвига достигается при разбавлении песчано-гравийной смеси (ПГС) 10%-м СБР в массовом соотношении от 8:2 до 6:4.

Следующим этапом работы явилось разработка рекомендаций по использованию экскавируемой породы для рекультивации отработанных карьеров. Технология рекультивации песчано-гравийного карьера предусматривает, что на подготовленную поверхность карьера послойно укладывается грунт от ТПМК, содержащий экологически безопасный и биологически активный сапропелевый буровой раствор, толщиной до 15-20 мм и поверх его – слой до 10 мм плодородный грунт из очесов.

Таким образом, представленные выше разработки обеспечивают:

- повышение эксплуатационных показателей тоннелепроходческих механизированных комплексов при обеспечении экологических мероприятий по инженерной защите окружающей среды;

- применение бурового раствора на основе сапропеля позволит решить актуальную проблему по импортозамещению дорогостоящего компонента – буровой пены в ТПМК с грунтопригрузом.

- главным результатом применения экологически чистых буровых растворов на основе сапропеля можно признать возможность использования экскавируемой породы в качестве грунта для рекультивации отработанных песчано-гравийных карьеров совместно с плодородным слоем из очесов.

Для выработки практических рекомендаций по эффективному применению бурового раствора на основе сапропеля в ТПМК требуется проведение серии лабораторных исследований и промышленных испытаний.

## Литература

1. Анализ рабочего процесса тоннелепроходческого комплекса. Часть 2. Исследование процесса проходки на основе математической модели и экспериментальных данных / Г.В. Казаченко [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 47-58.

2. Косаревич, И.В. Сапропелевые буровые растворы / И.В. Косаревич, Н.Н. Битюков, В.Ш. Шмавовянц. – Минск: Наука и техника, 1987. – 191 с.

3. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация: СТБ 17.04.02-01-2010. – Введ. 01.12.10. – Минск: Госстандарт: ГНУ «Ин-т природопользования НАН Беларуси», 2010. – 6 с.