УДК 622.2+631.8+656.3

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ В ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОМ МЕХАНИЗИРОВАННОМ КОМПЛЕКСЕ

Басалай И.А. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В работе проведен анализ основных способов сооружения подземных коммуникаций проходческими механизированными комплексами. Изучены режимы работы исполнительных органов технологических машин при взаимодействии с горной породой с учетом влияния бурового раствора на их эксплуатационные свойства. Проведен анализ основных буровых растворов. Изучены состав и свойства сапропеля и показана возможность его использования в качестве основного компонента бурового раствора в тоннелепроходческом комплексе.

Ключевые слова: *проходческий комплекс, тоннель, буровой раствор, сапропель.*

Введение

Проходка тоннелей для подземных коммуникаций различного назначения, а также линий метрополитена сопровождается выполнением большого объема работ по разработке грунтов различных категорий и экскавации их за пределы технологических площадок.

При проходке тоннелей подземных коммуникаций механизированными комплексами используется большой объем бурового раствора. Он 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. В настоящее время наиболее распространенными являются два вида буровых растворов – на основе бентонита и пенного реагента. Энергоемкость и эффективность процесса, в значительной степени, определяются конструктивными особенностями проходческих машин и оборудования, режимами работы исполнительных органов по фрезерованию массива и экскавации грунта из забоя на дневную поверхность, а также типом бурового раствора [1].

В настоящее время сооружение подземных коммуникаций и линий метрополитена проводится, в основном, четырьмя способами:

- продавливание технологического снаряда в грунте, без применения бурового раствора;
- горизонтально направленное бурение с применением бурового раствора для транспортирования выбуренной породы на дневную поверхность;
- 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) [2]. Для проходки на таких комплексах также используется полимер и бентонит для снижения сил трения и налипания породы к режущему инструменту в глинистых грунтах.

Одним из самых распространенных в мире способов бурения является строительство глубоких скважин для разработки месторождений нефти и природного газа. Для этого применяются различные по конструкции и принципу действия буровые установки для формирования ствола скважины и последующего его крепления. В нашей республике также освоен выпуск колтюбинговых установок для комплексного обслуживания и бурения нефтяных и газовых скважин. В этих установках в зависимости от горно-геологических условий и режимов бурения в основном применяются буровые растворы на основе глины.

Цель и задачи исследования

Применение буровых растворов на основе бентонита и пенного реагента в 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.

Цель работы – изучение возможности и эффективности применения буровых растворов на основе сапропеля вместо буровой пены при проходке подземных коммуникаций механизированными комплексами.

В работе решены следующие задачи.

- Изучить перспективные способы проходки тоннелей подземных коммуникаций в городских условиях и проблему рационального использования земных недр Республики Беларусь.
- Провести анализ буровых растворов, режимов работы исполнительных органов технологических машин при взаимодействии с горной породой с учетом влияния бурового раствора на их эксплуатационные свойства.
- Исследовать возможность использования сапропеля в качестве основного компонента бурового раствора в тоннелепроходческом комплексе.

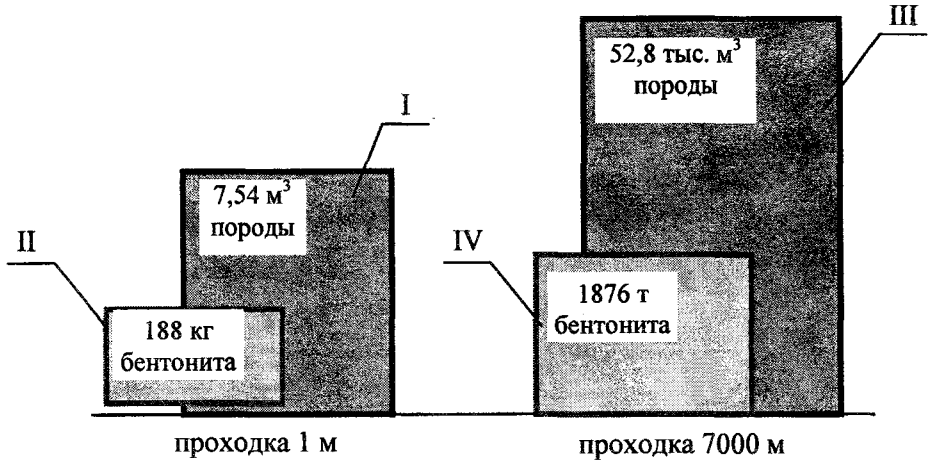
Основная часть

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 – коллектора ливневой канализации «Центр» и транспортных тоннелей Третьей линии Минского метрополитена – представлены, соответственно, на рисунках 1 и 2.

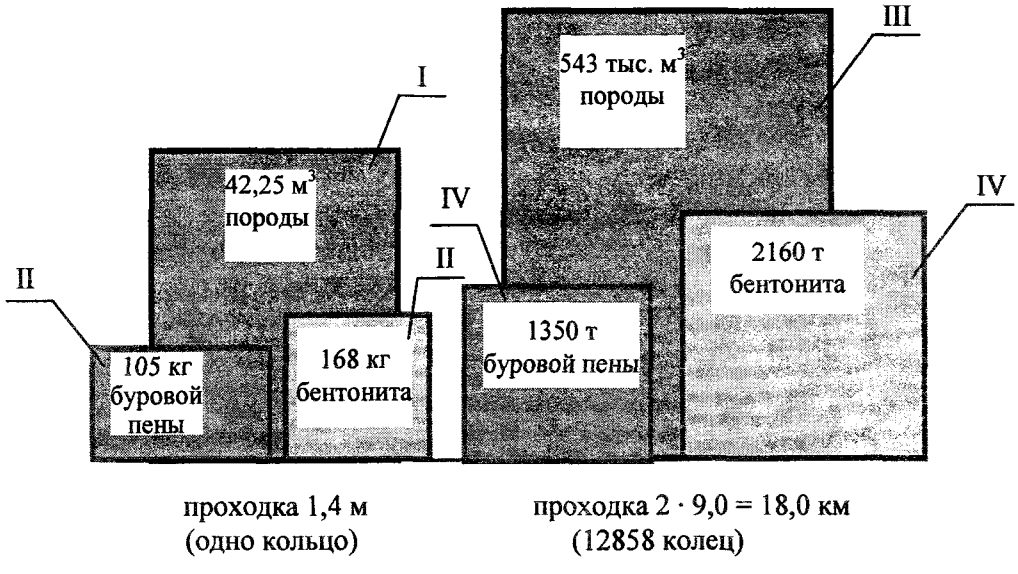
На рисунке 1 представлены эксплуатационные параметры микротоннелепроходческого комплекса.

При микротоннелировании после прохождения пульпы через сепарационную установку и отделения породы, раствор используется повторно для транспортирования грунта, а очищенный грунт складируется на технологической площадке [3].



I – объем грунта при диаметре кольца 3 м на длине проходки 1 м; II – расход бурового раствора на 1 м; III – объем грунта при полной реализации проекта (длина 7000 м); IV – планируемая потребность бурового раствора по проекту

Рисунок 1. – Диаграммы эксплуатационных параметров микротоннелепроходческого комплекса при прокладке коллектора «Центр»



I – объем грунта при диаметре кольца 6 м на длине проходки 1,4 м; II – расход бурового раствора на 1,4 м проходки; III – объем грунта при полной реализации проекта с учетом прокладки двух параллельных тоннелей, протяженностью каждого около 9 км; IV – планируемая потребность бурового раствора по проекту

Рисунок 2. – Диаграммы эксплуатационных параметров ТПМК с грунтопригрузом при проходке тоннеля Третьей линии Минского метрополитена

При этом способе проходки 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 третьем 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, исключающей попадание остатков бентонита или пенного продукта в грунтовые воды (рисунок 3).

Рисунок 3. – Утилизация экскавируемого грунта от ТПМК в отработанный песчано-гравийный карьер

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^3 (при плотности 1,4 т/м^3 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.

Общие требования к качеству буровых растворов:

- низкая плотность и минимальное содержание твердой фазы;
- малые значения вязкости;
- нейтральность 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. В зависимости от концентрации пенного реагента в воде буровой раствор может использоваться в виде густой пены, пены и тумана.

Независимо от концентрации пенные растворы должны обладать следующими свойствами: пенообразующей способностью, кратностью, стабильностью (устойчивостью), дисперсностью. Пена, как и любая дисперсная система, является агрегатно неустойчивой, что объясняется избытком 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 боль-

шом количестве, буровой пены, применение которых разрешено экологическими сертификатами. Для приготовления пены используется специальная установка, находящаяся непосредственно на проходческом щите. Раствор приготавливается 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. Это предложение основано на анализе результатов научных исследований, проведенных в этой области. Работами ученых Беларуси и России показано, что в качестве широко распространенного сырья для приготовления буровых растворов могут быть использованы сапропели и торф малой зольности [4].

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. Формирование сапропелевых отложений пресноводных водоемов определяется особенностями накопления в них органических и минеральных веществ и процессами деструкции. Концентрация биологических и химических компонентов в сапропелевых отложениях различных озер связана со спецификой гидробиологических, гидрохимических и гидродинамических факторов озерного оседания.

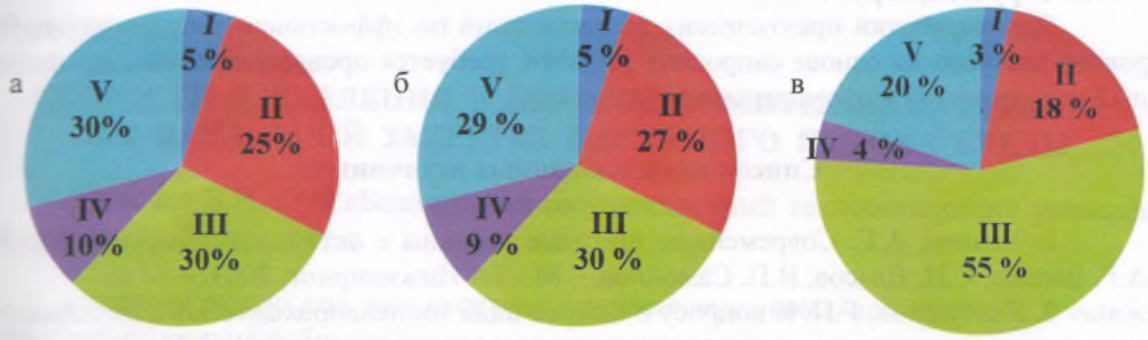
Согласно генетической классификации, озерные отложения подразделяются на четыре типа с определенным содержанием органического вещества. Общие запасы сапропелевых отложений в Беларуси оценивают в 3,6 млрд $м^3$.

Институтом природопользования НАН Беларуси разработана промышленно-генетическая классификация сапропелевых отложений, залегающих в озерах на территории республики [5]. Все их многообразие разделено на четыре типа: органические, кремнеземистые, карбонатные и смешанные. Химический состав трех типов сапропеля приведен на диаграммах (рисунок 4).

В настоящее время добыча сапропеля ведется на трех крупных озерах (Добеевское, Витебская обл.; Червоное, Гомельская обл.; Вечер, Минская обл.). Для экскавации сапропеля со дна озера используют экскаваторы и земснаряды. Экскавируемый сапропель транспортируется на технологические площадки для сушки. Годовые объемы производства продукции на основе сапропеля различного назначения составляют сотни тыс. 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 (не подвергавшихся сушке) 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.



а – органические сапропели; б – кремнеземистые; в – карбонатные;
I – битум; II – легкогидролизируемые вещества; III – гуминовые вещества;
IV – трудногидролизуемые вещества; V – негидролизуемый остаток
Рисунок 4. – Общая характеристика исследованных отложений сапропелей

На практике применение естественных дисперсий, несмотря на преимущества, имеет определенные недостатки: требуются особые условия для их транспортировки на большие расстояния и хранения в зимний период. Гораздо экономичнее перевозить порошкообразный воздушно-сухой сапропель и готовить дисперсии непосредственно при их использовании в бурении.

В России еще в 1992 году разработан буровой раствор для использования в установках для вертикального бурения глубоких скважин [6]. Он содержит в качестве твердой фазы сапропель в количестве 2-10 %. Его использование по сравнению с буровыми растворами на основе бентонитовых глин имеет определенные преимущества, в том числе, уменьшение загрязнения продуктивных пластов и окружающей среды.

В результате исследований установлено, что для приготовления бурового раствора применительно к проходческому комплексу вполне 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 реализации этого способа на факультете горного дела и инженерной экологии БНТУ совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси разработан принципиально новый технологический процесс добычи сапропеля на мелкоконтурных водоемах с использованием канатного скрепера [7].

В настоящее время разработана методика и проведена серия лабораторных экспериментов, направленных на оптимизацию физико-механических свойств грунта, экскавируемого исполнительными органами ТПМК с использованием бурового раствора на основе сапропеля.

Заключение

Представленные выше результаты исследований показывают возможность повышения эксплуатационных показателей тоннелепроходческих механизированных комплексов при обеспечении экологических мероприятий по инженерной защите окружающей среды.

НАВУКОВАЯ БІБЛІЯТЭКА
Беларускага нацыянальнага
тэхнічнага універсітэта
інв. №

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

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

Список использованных источников

1. Валиев, А.Г. Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя / А.Г. Валиев, С.Н. Власов, В.П. Самойлов. – М.: ТА Инжиниринг, 2003. – 74 с.

2. Пастушков, Г.П. К вопросу о выборе вида тоннелепроходческого механизированного щитового комплекса с активным пригрузом забоя / Г.П. Пастушков, В.А. Кузьмицкий // Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – № 1 (11). – С. 77-82.

3. 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.

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

5. 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.

6. Буровой раствор: а.с. 1749225 SU / В.А. Евецкий, А.А. Гонцов, А.И. Вареца и др.; Всес. науч.-иссл. геологоразв. ин-т. угольн. месторожд. – № 4790232/03; заявл. 08.02.90; опубл. 23.07.92 // Открытия. Изобрет. – 1992. – № 27.

7. Ковш канатного скрепера для добычи сапропеля : пат. 17661 Респ Беларусь, МПК E02F 3/54 / Б.В. Курзо, О.М. Гайдукевич, В.Ф. Лебедев, Г.А. Басалай; заявитель ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси». – № а20111066; заявл. 04.08.11; опубл. 30.06.13 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2.

Basalai I.A.

Studying the possibility of using sapropel based drilling mud fluid in the tunnel-boring mechanized complex

The main methods of underground utilities construction with driving mechanized complexes are analyzed. Operation modes of actuating mechanisms of technological machines in the interaction with the rock taking into account the influence of drilling mud fluid on their performance properties are studied. The analysis of the main drilling fluids is carried out. The composition and properties of sapropel are studied and the possibility of its use as the main component of the drilling mud in the tunnel complex is shown.

Keywords: driving complex, tunnel, drilling fluid, sapropel.

Поступила в редакцию 19.02.2018 г.