

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николин В.И., Васильчук М.П. Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений. - Липецк: Липецкое изд-во Роскомпечати, 1997. - 496с.
2. Айрун А.Т. Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах. М.: Наука, 1987. - 310с.
3. Зорин А.Н., Колесников В.Г. О природе динамических проявлений горного давления. - ДАН УССР. Сер. А, 1990, №10. - с. 67-69.
4. Veyera G.E., Charlie W.A. Liquefaction of shock loaded saturated sand. - Soil Dyn. and Liquefact. Amsterdam e. A., 1987. - p. 205-219.
5. Бакай А.С., Лазарев Н.П. О влиянии звука на диффузию в твердом теле. - ФТТ, 26. - с. 2504-2506.
6. Потураев В.Н., Булат А.Ф., Колесников В.Г. Физико - механические аспекты разрушения горных пород и проблемы геомеханики. - ФТПРПИ, 1991, №2. - с. 81-87.
7. Колесников В.В. Управление разрушением напряженных пород с позиций микромеханики. - Геотехническая механика, 1997, вып. 3.- с. 92-95.
8. Неретин В.Д., Юдин В.А. Результаты экспериментального изучения влияния акустического воздействия на процессы фильтрации в насыщенных пористых средах/ Вопросы нелинейной геофизики. - М.: Наука, 1981. - с. 132-137.

УДК 624.219

В.Э.Котляревский, А.И.Сербин

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ  
СООРУЖЕНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБО-  
ТОК В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ И МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ  
РАЗВИТИЯ В ЭТОЙ ОБЛАСТИ**

Виконано техніко-економічний аналіз технології проведення тоннельних виробок буровибуховим та механізованим способами.

С момента изобретения пироксилиновых порохов, а позднее и более эффективных взрывчатых материалов одним из наиболее эффективных способов проходки подземных сооружений в скальных породах становится буровзрывной (БВР).

С появлением в середине прошлого века бурильных машин ударно-поворотного бурения, позволивших механизировать трудоемкий процесс бурения шпуров, этот способ получил повсеместное и приоритетное развитие. Способом БВР были построены крупнейшие (по тем временам) транспортные тоннели в Альпах, на Кавказе.

Однако, в последние десятилетия наблюдалась противоположная тенденция по ограничению способа БВР для выработок различного назначения. Причиной и в этом случае явился научно-технический прогресс, который привел к созданию мощных механизированных проходческих комплексов, в которых разработка породы в забое основана на принципе бурения - тоннельных бурильных машин (ТБМ).

Буровзрывному способу разработки отводятся относительно короткие выработки, когда применение механизированных комплексов технически или экономически нецелесообразно из-за большого удельного веса единовременных затрат, необходимых для монтажа и демонтажа комплекса, или при сооружении подземных камер большого сечения.

В силу геологических и иных особенностей наибольшее распространение механизированная проходка в скальных породах получила распространение в странах Европы, Азии (включая Японию), Африки, реже - Америки.

В течении года во всем мире осуществляется механизированная проходка сотен км. тоннелей различного назначения: транспортных (включая метрополитены, ж.д. и автодорожные тоннели), гидротехнических, ирригационных, коммунальных, специального назначения различного диаметра: от 2,0 м до 11 м и более. Появились механизированные комплексы для проходки выработок некругового очертания.

Яркой иллюстрацией эффективности использования ТБМ является осуществление грандиозного проекта переброски водных ресурсов Лесото в район Йоханесбурга (Южн. Африка), при реализа-

ции которого за неполные 4 года с помощью ТБМ пройдено более 82 км тоннелей диаметром около 5 м в сложных инженерно-геологических условиях, включая очень крепкие скальные породы.

В процессе проектирования второго пускового участка Днепропетровского метрополитена Днепрометропроект выполнил технико-экономические расчеты вариантов поэтапного сооружения с учетом использования механизированных проходческих комплексов. При выполнении этой разработки были проанализированы информационные материалы, полученные от представительств ведущих в данной области фирм - разработчиков горнопроходческой техники, проведено уточнение технико-экономических показателей горнопроходческого оборудования, проведены непосредственные предварительные переговоры с полномочными представителями ряда фирм. Изучен опыт применения ТБМ в России, в частности в Екатеринбурге. При этом было учтено, что инженерно-геологические условия г. Днепропетровска являются весьма сложными с точки зрения эффективного использования высокопроизводительной и весьма дорогостоящей горнопроходческой техники: с одной стороны скальные породы (граниты, гранодиориты, гранито-гнейсы), особенно в зонах окварцевания имеют очень высокую прочность, превышающую 200 МПа, и абразивность (благодаря наличию минералов высокой твердости - кварца, полевых шпатов и др.), с другой стороны многочисленные разломы, включающие разрушенные и даже вязкие породы (первичные каолины с валунами).

В этих условиях ТБМ должны иметь технические характеристики, позволяющие эффективно разрабатывать крепкие породы и в то же время обладать способностью достаточно быстро перестраиваться (приспосабливаться) к изменяющимся инженерно-геологическим условиям.

Буровзрывной способ разработки породы, применявшийся и при сооружении тоннелей первого пускового участка метрополитена в Днепропетровске, характеризуется следующими особенностями, оказывающими отрицательное влияние на ход строительства:

1. Взрывные работы нарушают естественное (природное) состояние массива пород, повышают его трещиноватость, что способствует повышению водопритоков в тоннели;

2. Образуется неровный ("рваный") контур выработки с переборами и пустотами за обделкой, заполнение которых требует дополнительного расхода материалов; качество заполнения не поддается эффективному контролю;

3. Темпы проходки на первом пусковом участке составили (на один забой) 15-25 метров тоннеля в месяц, что требует открытия большого числа забоев для обеспечения необходимых сроков строительства и дополнительных рабочих стволов для связи с забоями.

4. Сейсмический эффект взрывных работ отрицательно влияет на конструктивные элементы зданий на поверхности и инженерные коммуникации, включая коллекторы большого сечения старой постройки, зачастую находящиеся в критическом состоянии и вызывает необходимость их усиления, ремонта или реконструкции.

5. Нарушается гидрологический режим и экологическое равновесие во вмещающем массиве горных пород.

Эффекты, упомянутые в п.п. 1 и 2 приводят к повышенной обводненности тоннелей и, соответственно, к росту энергетических и материальных затрат по откачке подземных вод, что и приходится наблюдать на 1-м пусковом участке метрополитена в Днепропетровске.

Применение механизированных проходческих комплексов позволяет отказаться от взрывных работ при проходке перегонных тоннелей, снижает их объем при сооружении станций (благодаря пройденным "пилот-тоннелям"), позволяет получить гладкий контур выработки, соответствующий размерам обделки, минимально воздействует на вмещающий массив и поверхность земли, повышает скорость проходки примерно в 10 раз. При этом все перегонные тоннели второго пускового участка могут быть пройдены одним комплексом ТБМ.

Этим же комплексом впоследствии можно будет вести проходку тоннелей второй очереди Днепропетровского метрополитена.

Анализ современного состояния в области проектирования, производства и поставки мощных механизированных комплексов для сооружения тоннелей различного сечения и назначения в широком диапазоне инженерно-геологических условий, в том числе и для крепких скальных пород показал, что бесспорными мировыми лиде-

рами (и одновременно конкурентами) в этой области являются фирмы "Ловат" (Канада) и "Вирт" (Германия). Кроме того аналогичные ТБМ производят фирмы "Тамрок" (Финляндия) и "Атлас Копко" (Швейцария). Из отечественных (в пределах СНГ) производителей сложной горнопроходческой техники можно упомянуть Ясиноватский машиностроительный завод (ЯМЗ - Украина).

При всем расположении к отечественному производителю приходится констатировать, что ЯМЗ производит комплексы, как правило, по зарубежным аналогам, и не имеет опыта производства комплексов для скальных пород, способных конкурировать с лучшими образцами импортных ТБМ.

Анализ технических и технологических возможностей ТБМ фирм "Вирт" и "Ловат" показал, что с их помощью возможна проходка тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях (чередование крепких скальных пород с зонами разломов).

Высокие скорости проходки тоннелей в крупных городах подкрепляются не только техническими возможностями механизированных комплексов, но и возможностью работы в любое время суток (в отличие от взрывных работ, которые придется приостанавливать в ночное время в центральной части города).

Сопоставление технических, технологических и экономических показателей ТБМ фирм "Вирт" и "Ловат" показывают их взаимную конкурентоспособность практически по всем показателям. Определенные преимущества по ряду показателей имеют ТБМ каждой фирмы.

Так фирма "Ловат" имеет большой опыт в проектировании и производстве комплексов для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях (включая подводные тоннели), в составе комплекса имеются специальные патентованные устройства для герметизации забоя. Комплексы "Ловат" имеют меньшую массу и длину, более компактную компоновку головного агрегата и систем его жизнеобеспечения.

В последнее время фирмой "Ловат" достигнуты договоренности и заключены контакты на поставку ТБМ "Ловат" для строительства метрополитенов в Нижнем Новгороде, Москве, Челябинске, Красноярске, Казани, Екатеринбурге.

С другой стороны, определенные преимущества имеют и ТБМ фирмы "Вирт", в частности:

- большой практический опыт проходки тоннелей в крепких скальных породах с высокими темпами;
- длительный, более 10 (а в ряде случаев - и 20) лет срок службы ТБМ;
- меньшая стоимость комплекса ("Вирт" - около 10 млн. USD, "Ловат" - 11-15 млн. USD);
- более благоприятные (особенно - в условиях ограниченного финансирования) условия поставки ТБМ.

Технико-экономический анализ показал, что в условиях г. Днепропетровска сооружение перегонных тоннелей механизированными комплексами имеет несомненное преимущество по всем показателям: качеству, срокам и стоимости строительства. Так проходка всех перегонных и пилот-тоннелей на трассе ст."Днепр"- "Вокзальная" может быть выполнена одним комплексом за 2,5 года. При отсутствии ТБМ для проходки перегонных и пилот-тоннелей потребуется одновременно до 20 забоев и вдвое больше времени.

Экономические расчеты показали, что, несмотря на высокую стоимость ТБМ, эти затраты не только окупаются, но и дадут экономию средств только на строительстве первой очереди более 26 млн. грн.

Тенденции мирового развития техники и технологии строительства подземных сооружений в скальных породах свидетельствуют о дальнейшем сокращении сферы применения буровзрывного способа разработки породы. Речь идет не только о протяженных сооружениях кругового очертания, но и о выработках небольшой длины (десятки-сотни метров), значительного и зачастую - сложного сечения (станции метрополитена, подземные камеры различного назначения). На этом направлении конкуренцию буровзрывному способу представляют стреловые проходческие комбайны. Один из комбайнов типа "Паурат" работает на строительстве станции метро в Екатеринбурге (пока - в сочетании с БВР). Комбайн такого же типа работает в Венгрии по породе с  $R_{сж} \approx 200$  МПа, а это уже достаточно крепкая скала. Безвзрывной способ разработки скальных пород по-

вышает качество строительства и обеспечивает максимальную безопасность горнопроходческих работ.

Необходимость учета этих тенденций при проектировании и строительстве подземных сооружений в крупных городах Украины не вызывает сомнений. Понимание этого особенно необходимо для органов, определяющих стратегию строительства подземных сооружений и порядок его финансирования.

В противном случае неизбежно дальнейшее разрушение сложившейся экосистемы, уже нарушенной техногенными воздействиями (в г.Днепропетровске за примерами ходить далеко не придется), что приведет к необходимости вложения в ближайшем будущем огромных финансовых средств (не сопоставимых с первоначальными) на ликвидацию негативных последствий применения традиционных, но устаревших технических и технологических решений.

УДК 622.268:622.023.6

А.П.Клец, В.В.Фичев

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗАБОЙНОЙ ОБЛАСТИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ВИБРАЦИОННО-ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Приведено опис процесів, які відбуваються у вугільному масиві під час діяння на нього випромінювачем механічних коливань, представлено механізм формування привибійної частини вугільного пласту при його віброхвильовій обробці.

Выполнение локальных противовыбросных мероприятий из горных выработок направлена на увеличение размеров призабойной разгруженной области с целью последующей безопасной выемки пласта на глубину заходки. Согласно требованиям безопасности, размер разгруженной области должен превышать ширину вынимаемой полосы угля не менее, чем на 1,0 м [ 1 ].

Призабойную область угольного пласта на современных глубинах можно условно разделить на четыре зоны, считая от забоя: первая - зона разрушения, представленная неупругой средой, через которую проходит газ, выделяющийся из соседних зон; вторая