



Модернизация и перспективы технологии механизированной проходки шахтных стволов

Дипл. инж. **Петер Шмэ**, руководитель сектора; дипл. инж. **Бенжамин Кюнстле**, руководитель проекта фирмы Herrenknecht AG, производственное подразделение проходки коммуникационных туннелей, Шванау-Альманнсвайер; дипл. инж. **Норберт Хандке**, руководитель сектора, и **Эрхард Бергер**, начальник отдела фирмы Thyssen Schachtbau GmbH, Мюльгейм-на-Руре



Статья из журнала *Glückauf* 143 (2007) Nr. 4



До начала 1990-х годов мировой объем работ по строительству шахт глубиной свыше 800 м был весьма большим. Одна только группа шахтного строительства фирмы Thyssen за 1990 – 1995 годы смогла построить примерно 12 шахт. Тем не менее, период с 1995 по 2005 гг. характеризовался застоем в мировом шахтостроении. В свете наблюдаемого ныне роста потребности в шахтных стволах период с 1995 по 2005 гг. следует считать фазой консолидации.

Потребность и необходимость в модернизации современной технологии бурения шахтных стволов

На период 2005 – 2015 гг. прогнозируется значительный, превышающий средний уровень рост активности в области шахтостроения, что объясняется неуклонно растущим и, по-видимому, неудовлетворенным спросом мирового рынка на ископаемое сырье, в особенности для добычи золота, меди, платины и никеля. В связи с этим наблюдается тенденция к проведению горных выработок на все больших глубинах. Открытые разрезы по достижении предельной глубины все чаще преобразуются в подземные разработки.

Первые признаки этого развития отчетливо проявляются в мировой статистике уже заключенных контрактов и уже реализуемых проектов строительства шахтных стволов. На основе внутрифирменных исследований можно заключить, что во всем мире (исключая КНР) ежегодно вводится в эксплуатацию от 8 до 12 шахтных стволов, пройденных с земной поверхности (глубиной свыше 800 м). Целью горнопромышленных компаний является все большее сокращение сроков ввода новых шахт в эксплуатацию.

На ближайшие годы прогнозируется значительный, превышающий средний уровень рост активности в области шахтостроения, обусловленный неудовлетворенным спросом на ископаемое сырье. Мировая потребность в проектах шахтного строительства велика как никогда. До настоящего времени традиционная технология проходки шахтных стволов пользуется предпочтением в силу ее гибкости и достигнутого высокого уровня ее развития. Однако значительное повышение скорости и экономичности проходки с одновременным повышением безопасности труда станет возможным только при модернизации технологии механизированной проходки шахтных стволов. Разработку высокопроизводительных методов механизированной проходки стволов поставили себе целью фирмы Herrenknecht AG и Thyssen Schachtbau GmbH. В предлагаемой статье анализируются теоретические предпосылки и практическое значение осуществленных в последнее время проектов с применением усовершенствованной технологии механизированной проходки шахтных стволов бурением.

Традиционная техника строительства шахтных стволов

Традиционная техника строительства шахтных стволов – это техника, допускающая наибольшую гибкость применения. Она пригодна как в устойчивых, так и в неустойчивых породах и при необходимости используется с привлечением специальных методов, например, метода цементации или искусственного замораживания горных пород.

Современный уровень техники характеризуется подвиганием забоя за один цикл до 4,5 м. Этому способствует применение бадей емкостью 5 – 7 м³ и многочелюстных грейферов с вместимостью ковша до 1,3 м³ в сочетании с высокопроизводительными двухбарабанными подъемными машинами и автоматическими опрокидывателями бадьи (рис. 1). В Южной Африке с применением этой технологии проходки шахтных стволов уже успешно построены шахты глубиной порядка 3000 м.

Но, по-видимому, эти показатели характеризуют предел применимости традиционной техники и технологии строительства шахтных стволов.

При использовании новейшей техники буровых, взрывных и подъемно-транспортных работ и техники крепления достижимы скорости проходки ствола до 3,5 – 4,0 м в сутки. Этот показатель



Рис. 1.
Многочелюстной
проходческий грей-
фер



характерен для техники проходки шахтных стволов как в Южной Африке, так и в Северной Америке и Европе.

Потенциальные шахтостроительные компании и поставщики машин все чаще получают запросы международных горнопромышленных компаний, требующих создания более совершенной технологии и мощного оборудования для ускоренной проходки шахтных стволов с соблюдением самых высоких требований техники безопасности.

Технология механизированной проходки шахтных стволов

Исследования показали, что скорости проходки ствола свыше 4 м/сут, повышенная надежность и экономичность могут быть достигнуты только применением технологий полностью механизированной проходки шахтных стволов. Исходя из этого, компания Herrenknecht AG, Швану-Альмансвейер, совместно с компанией ThyssenSchachtbau GmbH, Мюльгейм-на-Руре, за короткое время выполнили большой объем проектно-конструкторских работ с целью коренного улучшения и диверсификации технологии механизированной проходки шахтных стволов бурением. Достигнутые результаты позволяют расширить область применения этой технологии.

Наряду с технологией проведения выработки на полное сечение, используется также метод проходки шахтного ствола стволопроходческим агрегатом избирательного действия. Предусмотрена возможность создания полости шахтного ствола в проходке с опережающей скважиной и без нее.

Инновационная модернизация технологии механизированного строительства шахтных стволов

Следует учитывать также особенности и возможности реализации проектов строительства шахт глубиной менее 800 м, которые приобретают все большее значение. Наблюдается огромный рост активности в строительстве стволов этого диапазона глубин, причем речь идет не только о горнодобывающей промышленности,

но и о туннелях и подземных сооружениях специального назначения (например, в гидро-энергетическом строительстве).

Несомненно, существует мировая потребность в проектах строительства шахтных стволов; необходимость модернизации апробированных методов обусловлена требованиями горнопромышленных компаний и других клиентов.

Бурение шахтных стволов как неотъемлемая часть технологии проходки стволов

Механизация проходки шахтных стволов с целью повышения производительности и снижения затрат осуществлена благодаря развитию техники бурения шахтных стволов. Только техника бурения шахтных стволов позволяет реализовать непрерывные и одновременные процессы отбойки и отгрузки породы.

В особенности много изобретений в области механизированной проходки шахт было сделано во всем мире в 1980-е годы. Механизация проходки шахт получила широкое распространение, в частности со следующими вариантами (рис. 2):

- проходка с восходящим разбуриванием передней скважины;
- бурение шахтных стволов с применением буровых штанг и технологии эрлифтного бурения;
- технология бурения шахтных стволов с применением бесштанговой стволопроходческой машины и расширением предварительно пробуренной опережающей скважины (технология «V-Mole»).

Ввиду по-прежнему относительно ограниченной области применения техники бурения шахтных стволов лишь 20 – 30% соответствующего объема работ выполняются механизированным способом. Примерно 70 – 80% всех шахт сооружаются с применением традиционной буровзрывной технологии, будь то с опережающей скважиной или без нее. Необходимо повышать долю проходки шахтных стволов механизированным способом.



Рис. 2. Механизированный способ проходки шахтных стволов



Рис. 3. Сбойка ствола, пробуренного по технологии «V-Mole»

Проходка шахтных стволов с восходящим разбуриванием передовой скважины

Полностью механизированная проходка шахтных сооружений средней глубины с восходящим разбуриванием передовой скважины предполагает наличие устойчивого породного массива и проходку подсечного штрека под местом заложения шахтного ствола. Крезь шахтного ствола может быть установлена только после проходки бурением всего ствола.

Проходка шахтных стволов с восходящим разбуриванием передовой скважины – это высокопроизводительный и экономически целесообразный метод, применение которого ограничивается диаметром ствола (в общем случае до 6 м) и глубиной (максимально достигнутая глубина – примерно 1200 м). Глубина и диаметр шахтного ствола, сооружаемого способом проходки с восходящим разбуриванием передовой скважины, непосредственно зависит от предельно допустимой нагрузки буровой штанги. Во всех случаях, когда существуют абсолютно стабильные горногеологические условия, а требуемый диаметр ствола шахты сравнительно невелик, проходка с восходящим разбуриванием передовой скважины может служить альтернативной основой шахтного строительства.

Технология эрлифтного бурения

Проходка ствола способом штангового бурения с применением эрлифтной технологии осуществляется на полный диаметр с непрерывным гидроподъемом буровой мелочи в первой рабочей операции и последующей установкой крепи во второй рабочей операции. Крезь погружается в наполненный буровым раствором ствол по окончании бурения.

Последовательное опускание и сварка отдельных звеньев крепи над стволом, заполненным буровым раствором, сопряжены с риском и трудновыполнимы. Как и при проходке с восходящим разбуриванием передовой скважины, допустимая

максимальная нагрузка буровой штанги определяет предел применимости метода.

Целенаправленной адаптации технологии эрлифтного бурения для строительства глубоких вертикальных подъемных шахтных стволов не удалось получить до сегодняшнего дня. Предельно реализуемая глубина ствола при максимально возможных диаметрах от 5 до 6 м остается в пределах 500 – 600 м. Однако украинская шахтостроительная компания «Донецкшахтопроходка» уже имеет опыт строительства в благоприятных геологических условиях ствола глубиной около 1100 м и диаметром 5,5 м. Тем не менее, для технологии эрлифтного бурения в шахтостроении характерны диаметры 2,5 – 3,5 м при глубине ствола до 200 м.

Технология «V-Mole»

Применяя способ бурения шахтных стволов бесштанговой стволопроходческой машиной с расширением предварительной пробуренной опережающей скважины (технология «V-Mole»), фирма Thyssen Schachtbau GmbH за прошедшие 25 лет построила в общей сложности более 20 км шахтных стволов (рис. 3). Фирма-изготовитель бесштанговых стволопроходческих машин – Wirth Maschinen- und Bohrgeräte-Fabrik GmbH, Эркеленц. Темп проходки полностью закрепленного ствола составлял при этом 10 м/сут и более.

Опыт более чем 50 успешно осуществленных проектов шахтного строительства позволил значительно усовершенствовать технологию «V-Mole». Так, разработан комбайн для пересечения забоем ствола формаций крепких горных пород (прочностью более 250 МПа) с замкнутым роторным исполнительным органом, оснащенным обратными направленными режущими.

Упомянутый роторный исполнительный орган был применен впервые в 1996 г. для проходки слепого вентиляционного ствола глубиной примерно 750 м на южноафриканской золоторудной шахте Western Deep Levels. В зоне горизонтов 2285 м и 3036 м более 40% породных формаций показывали сопротивление одноосному сжатию свыше 300 МПа, а в формациях вулканической лавы сопротивление сжатию достигало даже 550 МПа.

Средняя скорость проходки ствола шахты методом бурения с расширением предварительной пробуренной опережающей скважины может быть в пределах приблизительно 7 – 8 м/сут или около 200 м/месяц. Это значение минимальной производительности должно служить ориентиром при будущей разработке методов и оборудования для механизированной проходки шахтных стволов.

В качестве репрезентативного примера из недавнего прошлого можно привести ствол Sedrun II для главного Готтардского туннеля (Швейцария). В течение всего лишь 12 месяцев был построен ствол глубиной 800 м, оборудованный установкой для подъема тяжелых грузов. Строительство осуществлено с применением технологии «V-Mole».

Преимущества технологии механизированного бурения шахтных стволов

Только разработка технологии бурения шахтных стволов позволила полностью механизировать их проходку. При сравнительно небольшой численности персонала и низком риске аварий удалось организовать непрерывный процесс отбойки и одновременного удаления породы.

Техника бурения шахтных стволов обнаруживает многочисленные преимущества по сравнению с традиционной техникой строительства. В основном это сокращение сроков строительства, значительно меньшая потребность в рабочей силе, а вместе с тем и более высокий уровень безопасности, обусловленный, в частности, отсутствием необходимости в применении взрывчатых веществ. Применение техники резания снизило до 15% перебор сечения при отбойке, что дает экономию, в частности, на крепление шахтного ствола.

Для определения оптимального способа проходки ствола следует подвергнуть сравнительному анализу существующие способы проходки в применении к рассматриваемому проекту ствола на стадии предварительного планирования. Рекомендуется сопоставить все анализируемые методы и дать им качественную оценку, используя матрицу управленческих решений. Критерии решения статистически взвешиваются на основе их важности по отношению к проекту в целом. Результат предварительного планирования может быть представлен в табличной форме (рис. 4).

Критерии применения буровой проходки шахтных стволов

Буровая проходка шахтного ствола сплошным забоем или с передовой скважиной всегда занимает нишу между проходкой с восходящим разбуриванием передовой скважины и традиционной технологией строительства шахтных стволов. Область применения буровой проходки ограничивается допущением достаточной устойчивости окружающих горных пород. Чтобы расширить область применения механизированной буровой проходки, применяемое оборудование должно отвечать следующим технологическим требованиям.

- Реализация буровой проходки шахтных стволов «под водой» для пересечения забоем ствола неустойчивых формаций.
- Монтаж водонепроницаемых секций тубинговой крепи под защитой водоизолирующей хвостовой части оболочки проходческого щита высотой примерно 2 – 3 м, благодаря чему система крепи, несущая статическую нагрузку

Компактные решения для чистого воздуха

Под новым названием фирма CFT GmbH продолжает традиции производства обеспыливающего оборудования по системам Хельтер.



Полагаться на прогресс – значит инвестировать в будущее. Своими установками фирма CFT GmbH участвует в создании технического прогресса во многих областях промышленности, горного дела и тоннелестроения. Сочетая экономию и экологию, разрабатываются конструктивные ответы на требования завтрашнего дня.

Своим клиентам из разных областей CFT GmbH предлагает широкий и гибкий спектр услуг по следующим направлениям:

Компактные фильтры по системе Хельтер Установки под ключ для промышленности

Компактные фильтры по системе Хельтер Всемирно признанные сухие и мокрые обеспыливатели POTO ВЕНТ для горного дела и тоннелестроения

Polo Citrus Аддитив на естественной цитрусовой основе для связывания пыли в шахтах, карьерах и других областях применения.

Расчет систем проветривания

Поставки вентиляторов главного и местного проветривания

Наш адрес

CFT GmbH
Compact Filter Technic
Beisenstr. 39-41
Германия

Тел. (0) 2043/4811-0
Факс (0) 2043/4811-20

- и обладающая определенной «гидравлической» плотностью, может создаваться выше роторного исполнительного органа проходческого комбайна. Нарращивание крепи ствола производится подвешиванием сегментов.
- Заблаговременная подготовка направляющих балок автоподатчиков бурильной установки для систематического предварительного разведочного бурения.



Рис. 4. Способы проходки шахтного ствола

- Встраивание оборудования для систематического бурения нагнетательных скважин, для стабилизации или упрочнения горных пород.
- Установки направляющих балок анкерустановочной машины для бурения горизонтальных и наклонных скважин под анкерную крепь непосредственно за роторным исполнительным органом проходческого комбайна для спорадического предварительного закрепления породных стенок ствола при проходке в неблагоприятных геологических условиях.

Хотя строительство шахтных стволов традиционными методами охватывает более 70 или 80 % отраслевого рынка и представляет основное направление деятельности шахтостроительной организации, технология бурения шахтных стволов непрерывно совершенствовалась. Развитие буровой проходки стимулировалось высокой производительностью и высоким уровнем безопасности. В практике применения метода буровой проходки фирмой Thyssen Schachtbau GmbH за более чем 25-летний период не было ни одного случая со смертельным исходом.

Применение современных инновационных технологий бурения шахтных стволов и примеры характерных объектов

Опираясь на опыт бесштангового бурения шахтных стволов, фирма Herrenknecht AG в течение предшествовавших 4 лет разработала и успешно применила различные типы стволопроходческих буровых агрегатов для устойчивых и неустойчивых горных пород. Описываемые ниже проблемы существуют и ждут оптимального технического решения независимо от типа стволопроходческих буровых машин.

Удаление буровой мелочи из забоя шахтного ствола

Опыт показал, что при бурении шахтного ствола сплошным забоем одной из самых больших проблем, требующих надежного решения, является удаление буровой мелочи из забоя.

Применение механических методов удаления буровой мелочи с забоя исключается вследствие их низкой производительности и больших габаритов требуемого оборудования. Пневматический транспорт («эрлифт») отвергается ввиду чрезмерного энергопотребления и малого коэффициента полезного действия.

Практика показала целесообразность применения гидравлического транспорта, при котором в процессе бурения отделяемая от горного массива буровая мелочь непрерывно отсасывается и откачивается по трубопроводам. Отсасывание и подъем бурового шлама производится центробежными насосами.

В нормальном режиме полость забоя до оконтуривающих шарошек планшайбы полностью заполнена водой или промывочной жидкостью. Размер частиц отделяемой от породного массива буровой мелочи может достигать 60 – 80 мм. Для обеспечения непрерывной очистки забоя в планшайбу встроено несколько водяных форсунок, включаемых по мере необходимости.

Гидравлический транспорт горной массы

Как и при удалении буровой мелочи, возможен выбор между механическими, гидравлическими и пневматическими методами шахтного подъема.

В любом случае шахтный подъем не должен быть узким местом проходки ствола шахты. Требуемая производительность системы шахтного подъема массы твердого вещества из забоя лежит в пределах от 50 до 60 м³/ч.

Для подъема из забоя выбуренной мелочи применяется главным образом непрерывный гидравлический транспорт. Буровой шлам перекачивается с рабочего полка на дневную поверхность по свободно подвешенному трубопроводу.

Проблематика, принципиальное решение и методика расчета гидравлического оборудования для отсоса и подъема буровой мелочи из забоя ствола до дневной поверхности глубоко исследованы и проверены в Институте буровой техники и гидравлических методов добычи при техническом университете «Фрайбергская горная академия».

Бадейный подъем в общем случае исключается из-за крайне высоких капиталовложений и недостатков способа периодического подъема. Тем не менее, если заказчик предоставляет в распоряжение для стволопроходческих работ уже имеющуюся подъемную машину, она может быть использована для подъема буровой мелочи в рамках общей концепции подъемно-транспортных работ на данном объекте.

Устройство приемных площадок околоствольного двора

Механизированная проходка шахтного ствола предусматривает перерывы процесса бурения, необходимые для засечки выработок околоствольного двора, устройства приемных площадок, пунктов загрузки скипа и т.п. С этой целью стволопроходческий буровой агрегат переводят под уровень будущей горизонтальной выработки, паркуют в этом положении и перекрывают защитным полком. После этого разработка породы в забое горизонтальной выработки может осуществляться как буровзрывным методом, так и проходческой машиной.

Буровая проходка шахтных стволов стволопроходческими машинами фирмы Herrenknecht

Стремительное развитие туннелепроходческого машиностроения, наблюдавшееся в прошедшие годы, повлекло резкое повышение степени механизации проходческих работ в туннелестроении. В противоположность этому необходимые для строительства и эксплуатации туннелей стволы специального и служебного назначения по-прежнему проходят почти исключительно традиционными методами. Техника строительства таких стволов, особенно в неблагоприятных геологических условиях, не шла в ногу с техникой туннелестроения. Продолжительность проходки стволов часто не удовлетворяет требованиям проектов по срокам и финансовым затратам. Принимая во внимание это обстоятельство, фирмы Herrenknecht AG и Thyssen Schachtbau GmbH предприняли разработку машинного оборудования, отвечающего следующим требованиям шахтостроения:

- гибкость при варьировании диаметра шахтных стволов;
- независимость от геологических и гидрологических условий;
- применение различных способов крепления ствола;



Превосходство практического опыта

- ☒ Вскрытие и подготовка шахтных полей
- ☒ Проходка и бурение шахтных стволов
- ☒ Бурение скважин большого диаметра
- ☒ Разведочное бурение
- ☒ Строительство бункеров
- ☒ Сооружение плотин
- ☒ Туннелестроение
- ☒ Машинная техника
- ☒ Проектно-конструкторские работы и консалтинг



**THYSSEN
SCHACHTBAU**

High-Performance Mining

Ruhrstrasse 1 · D-45468 Muelheim an der Ruhr, Germany
Phone: +49 (0)208 3002-221 · Fax: +49 (0)208 3002-219
E-mail: info@ts-gruppe.com · Internet: www.thyssen-schachtbau.de



THYSSEN MINING
Focused on... Safety, Quality, and Cost

THYSSEN MINING
CONSTRUCTION OF CANADA LTD.
2409 Albert St. North, P.O. Box 1997
Regina, Saskatchewan, Canada S4P 3E1
Phone: +1 306 949 66 06
Fax: +1 306 543 58 44
E-mail: info@thyssenmining.com
Internet: www.thyssenmining.com



THYSSEN MINING
Focused on... Safety, Quality, and Cost

THYSSEN MINING CONSTRUCTION, INC.
c/o CT Corporation System
208 S LaSalle Street, Suite 814
Chicago, IL, 60604 USA
Phone: +1 306 949 66 06
Fax: +1 306 543 58 44
E-mail: info@thyssenmining.com
internet: www.thyssenmining.com



BYRNECUT MINING PTY LTD
130 Fauntleroy Avenue
Redcliffe, WA 6104, Australia
Phone: +61 8 9270 1000
Fax: +61 8 9270 1001
E-mail: manager@byrne-cut.com.au
Internet: www.byrne-cut.com.au

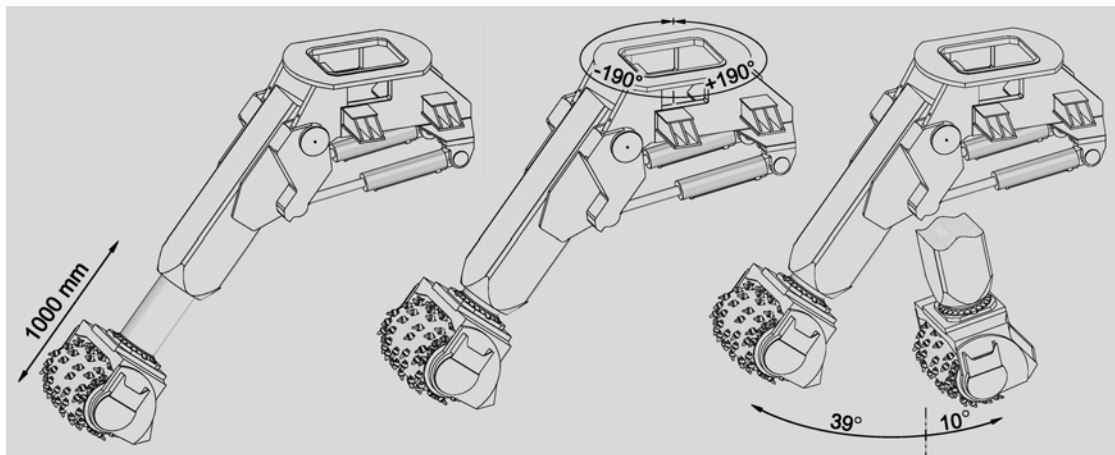


Рис. 5. Телескопирование / Вращение / Колебательное движение

■ установка крепи ствола одновременно с выемкой породы в забое.

Проекты, осуществленные фирмой Herrenknecht AG во многих странах мира, отражают различные области применения механизированного шахтостроения. Существенные признаки стволопроходческих буровых агрегатов фирмы Herrenknecht следующие.

- Автоматизированная проходка машиной избирательного действия.
 - Гибкое назначение диаметра резания в пределах диапазона диаметров резания данной машины.
 - Автоматизированный цикл фрезерного рабочего органа.
 - Дистанционное управление при эксплуатации машины ниже горизонта грунтовых вод.
 - Соблюдение требуемой точности измерений интегрированной измерительной системой.
- Встроенная система гидротранспорта.
 - Высокая скорость проходки благодаря гидродъему буровой мелочи одновременно с резанием.
 - Возможность применения ниже горизонта грунтовых вод, если это необходимо.
- Установка крепи одновременно с проходкой.
 - Высокая суточная производительность благодаря независимому функционированию транспортных систем.
 - Опережающая установка или наращивание крепи на поверхности ствола шахты.
- Удобство технического обслуживания.
 - Удобство технического обслуживания, обусловленное возможностью вертикального перебазирования стволопроходческого бурового агрегата.

Последующее изложение иллюстрирует реализацию перечисленных признаков в конкретных проектах.

Буровая проходка шахтного ствола с передовой скважиной

В устойчивых породах стволопроходческий буровой агрегат при наличии передовой скважины может использоваться в качестве машины для разбуривания. Использование метода избирательной выемки позволяет производить бурение ствола в породах прочностью до 200 МПа.

Можно выделить следующие функциональные уровни стволопроходческого бурового агрегата:

- контроль систем логистики на уровне снабжения;
- анкерование на уровне установки крепи;

■ управление и энергоснабжение на уровне снабжения;

■ захват на уровне установки анкерных болтов; ■ отделение от массива и очистка забоя от буровой мелочи рабочим органом стволопроходческого агрегата.

Процесс резания в принципе осуществляется так же, как в проходческом комбайне избирательного действия. Стрела проходческого агрегата поворачивается на $\pm 190^\circ$ из своего начального положения. Фрезерный барабан, оснащенный вращающимися и специальными инструментами, установлен на телескопической стреле агрегата и отделяет породу от массива в забое ствола колебательно-качательными движениями.

Буровая мелочь удаляется через передовую скважину. Для фиксации положения стволопроходческого бурового агрегата, а также для восприятия сил реакции агрегат крепится распорными устройствами в устойчивом массиве (рис. 5).

Блоки управления и блоки снабжения размещены на отдельном уровне. Наряду с параметрами электрического и гидравлического энергоснабжения, вся информация, необходимая для проходки, поступает в управляющее устройство, где она подвергается проверке. Благодаря этому машинист имеет возможность в любой момент проходки ствола проконтролировать и при необходимости изменить технические параметры стволопроходческого бурового агрегата с целью их оптимизации в реальных условиях применения.

Для предварительного закрепления обнаженной поверхности породы предусмотрена установка анкеров и арматурных сеток. В дальнейшем производится установка постоянной крепи ствола с внешней системы рабочих полков, независимых от стволопроходческого бурового агрегата.

Пример реализации

В рамках проекта строительства туннеля применен стволопроходческий буровой агрегат VSM6900/9300. Проект предусматривал строительство вентиляционных шахт диаметром от 6,9 до 9,3 м и глубиной 160 м. Наличие предварительно пробуренных передовых, а также существующей инфраструктуры туннеля на глубине 160 м способствовало упрощению работ по удалению буровой мелочи (рис. 6).

Модульная конструкция стволопроходческого бурового агрегата позволяет использовать его для проходки стволов различного диаметра. Возможна реализация любого диаметра шахтного ствола в диапазоне от 5,5 до 9,6 м. Благодаря

высокой гибкости и модульной конструкции агрегата требуется минимальное время для его перебазирования к месту строительства следующего ствола.

Уже на этапе разработки этой технологии бурения шахтных стволов интенсивно анализировались логистические связи между проходкой и креплением ствола. Параллельно с проходкой ствола (отделением породы от массива в забое ствола специально разработанными для конкретных условий применения фрезерными головками) на платформе для установки крепи ведутся работы по предварительному закреплению обнаженной поверхности породы анкерованием и стальными сетками и изготовление постоянной набрызг-бетонной крепи. Обе подсистемы «проходка шахтного ствола» и «устройство крепи ствола» работают независимо друг от друга, гарантируя постоянство высокой скорости проходки ствола.

Средняя скорость проходки ствола в течение 10 ч составляла приблизительно 2,5 м, а максимальная достигала примерно 6 м.

Буровая проходка шахтного ствола сплошным забоем

Стволопроходческий буровой агрегат фирмы Herrenknecht рассчитан на применение как в устойчивых, так и в неустойчивых горных породах, причем изменение условий проходки не требует больших трудозатрат на переоснастку или переналадку агрегата. Удаление буровой мелочи на поверхность к сепарационной установке всегда осуществляется гидротранспортом по трубопроводам.

В процессе проходки ствола буровой агрегат постоянно связан стальными тросами с индикатором глубины, установленным на поверхности, что позволяет постоянно контролировать и при необходимости корректировать положение агрегата.

Буровая проходка шахтного ствола в неустойчивых горных породах

Для экономии затрат на дорогостоящее водопонижение в неустойчивых водоносных зонах породного массива разработана конструкция машин, пригодных для эксплуатации под водой.

Во избежание вывалов породы в процессе проходки ствола и для ограничения влияния зон разлома стволопроходческий буровой агрегат работает под защитой стального щита.

Встроенный в стрелу проходческого агрегата погружной насос системы гидравлического транспорта засасывает буровую мелочь, отделяемую от горного массива фрезерной головкой, и транспортирует ее по вертикальным трубопроводам на поверхность. Там пульпа подвергается обработке; породная мелочь отделяется от потока, а сепарированная пульпа возвращается в шахту.

В зависимости от глубины шахтного ствола и уровня подземных вод в стволе, для транспортирования буровой мелочи может потребоваться подключение к погружному насосу дополнительных перекачивающих насосов.

Параллельно с проходкой ствола производится наращивание однослойной тубинговой крепи, осуществляемое с дневной поверхности. Элементы бетонной или стальной тубинговой крепи, рассчитанные на сжимающие нагрузки для конкретных геологических условий, опускают на ранее установленное кольцо крепи и крепят болтами к его элементам. Таким образом, перерывы технологического процесса проходки



Рис. 6. Установка стволопроходческого бурового агрегата на передовой скважине

для установки постоянной крепи остались в прошлом, ныне гарантируется водонепроницаемость укрепленного ствола шахты.

Пример реализации: проект «Санкт-Петербург»

В рамках крупного проекта применен стволопроходческий буровой агрегат типа VSM5500/7700 фирмы Herrenknecht, предназначенный для проходки стволов с крепью диаметром от 5,5 до 7,7 м и глубиной до 85 м. Эти стволы служат для доступа к подземным сооружениям и коллекторам существующей канализационной сети Санкт-Петербурга.

В основании так называемой Северной Венеции залегают преимущественно песок и глина. В то время как верхние слои пород основания до глубины примерно 60 м являются водонесущими, ниже залегает слой крепкого и сухого суглинки. В переходной зоне между двумя слоями породы встречаются, как это и прогнозировалось геологами, крупные валуны с длиной стороны до 2,5 м (рис. 7).

Комплекс оборудования для бурения стволов фирмы Herrenknecht включает в себя стволопроходческий буровой агрегат с дистанционным

Рис. 7. Строительная площадка «Санкт-Петербург» – общий вид установки для бурения шахтных стволов





Рис. 8. Строительная площадка «Санкт-Петербург» – извлечение машины по завершении строительства шахтного ствола

управлением, работающий под грунтовой водой, и блок индикатора глубины с интегрированной системой установки крепи ствола.

Удаление из забоя буровой мелочи осуществляется системой гидравлического подъема с погружным насосом. Сегменты очередного кольца бетонной тубинговой крепи соединяют болтами с предшествующим кольцом крепи, а установленная система уплотнения гарантирует водонепроницаемость тубинговой крепи и гидроизоляцию ствола шахты (рис. 8).

Производительность стволопроходческих работ за 10 ч составляла в среднем примерно 3 м, максимум – 4 м. Требуемый российскими органами строительного надзора допуск на отклонение от вертикали (максимум 1% по отношению к глубине ствола) соблюдался более чем строго. По данным окончательной маркшейдерской съемки шахтного ствола:

- отклонение по координате «Х» = 18 мм;
- отклонение по координате «У» = 26 мм.

Буровая проходка шахтных стволов в устойчивых горных породах

В устойчивых формациях пород с малым водопритоком вместо однослойной системы тубинговой крепи применяется двухслойная конструкция, состоящая из предварительной системной анкерной крепи и постоянной крепи.

При переходе стволопроходческого бурового агрегата из неустойчивых в устойчивые формации агрегат доукомплектовывается еще одним ярусом оборудования для анкерования и снабжения. Две установленные направляющие балки анкероустановочной машины обслуживаются независимо друг от друга. Возможно также предварительное исследование породного массива бурением разведочных скважин.

Для удаления буровой мелочи системой гидравлического подъема необходимо сохранять в стволе некоторый минимальный уровень воды. Постоянный уровень воды на забое непрерывно контролируется и поддерживается.

Эксплуатация стволопроходческого бурового агрегата в устойчивых породах осуществляется с помощью блока управления. Вся информация, необходимая для управления проходкой шахтного ствола, поступает в блок управления, где она подвергается обработке. Постоянно обновляемые данные всегда имеются в распоряжении операторов, управляющих работой по проходке ствола.

Установка постоянной крепи ствола производится с отдельной, свободно перемещаемой системы рабочих помостов (табл. 1).

К вопросу бурения глубоких шахтных стволов сплошным забоем

Разработка стволобурильной машины должна решить задачу буровой проходки сплошным забоем стволов диаметром от 5 до 11 м и глубиной порядка 3000 м. Это требование диктуется современной тенденцией развития горной промышленности с постоянным увеличением глубины добычи полезных ископаемых.

Сегодня строительство шахт глубиной 1500 – 2000 м стало вполне обычным явлением. В любом случае стволобурильная машина должна обеспечивать проходку стволов глубиной от 2000 до 2700 м, поскольку это требуется, в частности, южноафриканской и канадской горной промышленностью.

Стволобурильные комбайны новейшей конструкции разрабатываются с использованием узлов и агрегатов апробированных машин и систем туннелепроходческих буровых комбайнов

Оценка и краткая характеристика систем крепи шахтных стволов, пройденных методом бурения

Система крепи	Краткая характеристика	Преимущества – недостатки
Фиброармированный набрызгбетон	Механизированное нанесение набрызгбетона роботом	Сравнительно малая толщина крепи Высокое рабочее сопротивление Отскок при набрызге сухой смеси Разгрузка системы снабжения при сухом набрызгобетонировании
Монолитный бетон	Монолитный бетон с укладкой бетонной смеси в переставную опалубку Скользкая опалубка	Гладкая стенка шахтного ствола, благоприятная для монтажа проводников Высокая производительность работ при использовании спускных трубопроводов Возможен прогиб под воздействием очистных работ
Сборные бетонные элементы	Сборные бетонные сегменты	Гладкая стенка шахтного ствола, благоприятная для монтажа проводников Возможно использование бетона высокого качества Возможна подвеска сегментов Возможно заблаговременное изготовление сборных элементов и, следовательно, разгрузка системы снабжения
Стальные кольца		
Сегменты из стальных листов	Сборные сегменты крепи из стальных листов	



Шахтное подъемное оборудование компании SIEMAG

Более ста лет компания SIEMAG имеет высокую репутацию производителя качественного и надёжного оборудования для горнодобывающей промышленности. Мы проектируем и производим на заказ установки и системы, основываясь на огромном опыте. Наш референц-лист насчитывает более 1000 заказов от отечественных и зарубежных клиентов. При этом мы единственная компания, производящая по специальным заказам любые типы подъемных машин любых размеров.

- Подъемные установки для вертикальных и наклонных шахтных стволов
- Подъемные машины
- Тормозные системы
- Лебедки и устройства для смены канатов
- Системы охлаждения рудничного воздуха

Доверяйте новейшей технологии в горнодобывающей промышленности –
made by SIEMAG.

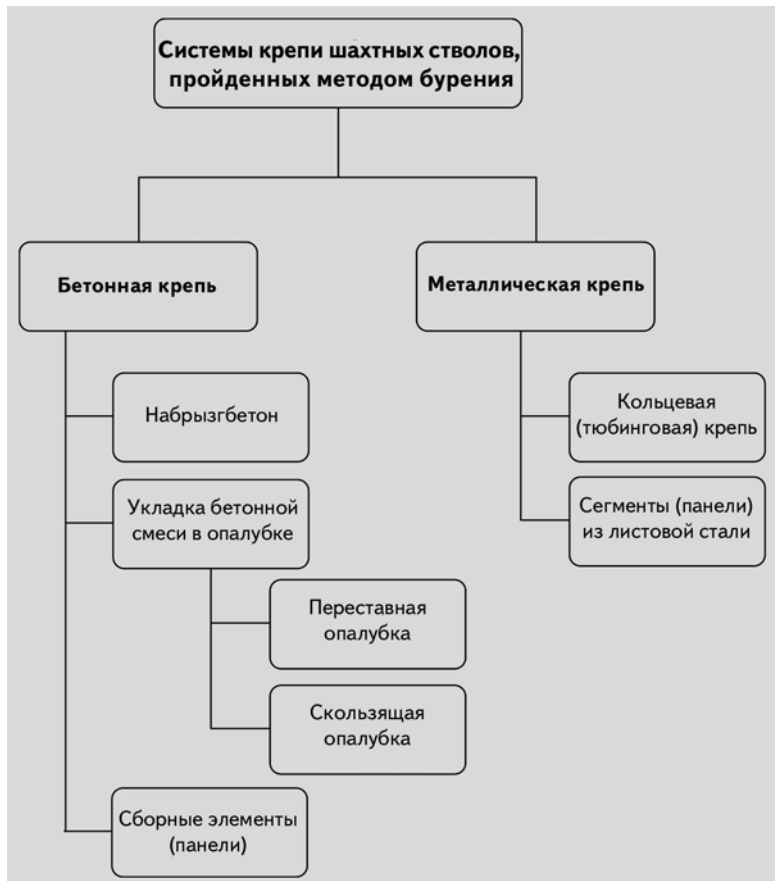


Рис. 9. Системы крепи шахтных стволов, пройденных методом бурения

(роторный исполнительный орган, резцы различных типов, резцедержатели и т.д.) и самой современной техники управления и привода. Принимая во внимание требуемую скорость проходки ствола, удаление буровой мелочи может быть реализовано только гидроподъемом. Для этого в центральной части комбайна оставляют свободный проем для высокопроизводительной насосной системы.

Насосная система может быть выполнена либо как трехкамерный загрузочно-перекачивающий аппарат гидроподъема, либо как каскад подающих насосов.

Пульпа с буровой мелочью отсасывается из забоя ствола насосом предварительной ступени гидроподъема, подается по трубопроводу к насосной системе и перекачивается оттуда на дневную поверхность. На поверхности в сепарационной установке надлежащей пропускной способности жидкость отделяется от твердой фазы и по подводному трубопроводу возвращается в забой.

Одновременное бурение, установка крепи и армирование шахтного ствола

Существенное преимущество технологии бурения шахтных стволов состоит в том, что процессы отбойки и подъема породы могут осуществляться непрерывно и параллельно. Одновременно с созданием полости шахтного ствола производится предварительное крепление и установка постоянной крепи, а также монтаж большей части постоянных устройств шахтного подъема, осуществляемый на различных уровнях рабочих полков в стволе.

Предварительное крепление ствола реализуется со специального полка непосредственно после обнажения породы анкерованием и установкой рулонной сетчатой затяжки боков ствола выше планшайбы стволопроходческого бурового агрегата (рис. 9).

Постоянная крепь ствола устанавливается с многоярусного рабочего полка, перемещаемого независимо от стволопроходческого бурового агрегата. В последние годы находит все более широкое применение постоянная фиброармированная набрызгбетонная крепь. При сравнительно малой толщине слоя набрызгбетона достигается высокое сопротивление крепи горному давлению. Постоянная крепь может быть сооружена также бетонированием с переставной опалубкой.

Из практики строительства подземных бункерных сооружений заимствован хорошо зарекомендовавший себя способ подвески сборных элементов бетонной крепи. Бетонные монтажные блоки устанавливают сверху вниз по мере углубки ствола.

Сооружение постоянной крепи шахтного ствола, как правило, завершается с запаздыванием во времени на один – два дня.

Экономичность

По сравнению с традиционным способом буровзрывной проходки шахтных стволов, при почти одинаковых или даже меньших удельных затратах на 1 м ствола технология бурения шахтных стволов сокращает общую продолжительность строительства шахты на 25 – 30 %.

Общая потребность в рабочей силе для обслуживания стволопроходческого оборудования при механизированной проходке шахтного ствола составляет, в зависимости от типа стволопроходческого бурового агрегата, примерно 45 – 65 человек, что на 10 – 20 % ниже численности бригады на строительстве сопоставимых шахтных стволов традиционным способом.

В проектах для регионов с дефицитом местной квалифицированной рабочей силы надо учитывать, что не менее 20 % занятых на строительстве составят иностранные работники.

Перспективы

Заказчики проявляют все большее нетерпение и оказывают возрастающее давление на подрядчиков, стремясь обеспечить скорейший доступ к ресурсам месторождений или туннельным участкам трасс, поскольку клиенты заинтересованы в быстрейшем возврате капитальных затрат и капиталовложений.

Полностью механизированная проходка шахтных стволов способом бесштангового бурения сплошным забоем или с передовой скважиной – это инновационный и перспективный метод проходки стволов, который открывает возможность решения этой проблемы. Только технология бурения шахтных стволов с одновременным осуществлением процессов «отделение от массива», «погрузка» и «установка крепи» позволяет обеспечить требуемую экономичность и предельно сократить сроки строительства.

Тем не менее, существуют пределы применения механизированной проходки стволов. Необходимой предпосылкой успешного применения описанной технологии является функционирование существующей инфраструктуры, но в еще большей степени – наличие соответствующих геологических условий. Фирмы Herrenknecht AG и Thyssen Schachtbau GmbH поставили целью, используя преимуществом технологии механизированной проходки шахтных стволов, расширить критерии ее применимости и тем самым способствовать ее более широкому внедрению в горной промышленности. ■



РОССИЯ: СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ОДНОЙ УСТАНОВКИ

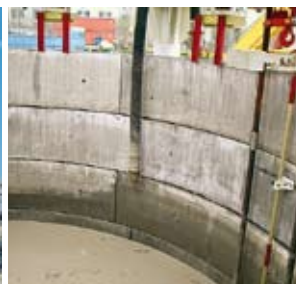
Модернизация канализационной системы является одной из основных задач городского управления Санкт-Петербурга, второго по величине города России. Здесь необходимо построить вертикальные стволы глубиной 58 и 85 метров. В «Венеции севера» на глубине до 50 метров проходят грунтовые воды и залегают мягкие водонасыщенные грунты, что до настоящего времени затрудняло строительство стволов и приводило к большим затратам времени и средств. Российская строительная организация ООО СТИС поручила компании «Herrenknecht AG» производство стволопроходческой установки. Для строительства первой шахты глубиной 65 метров установке «Herrenknecht VSM» потребовалось всего 30 дней. Полученные результаты подтвердили надёжность установки. С июля 2007 начнётся строительство следующих стволов.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ | РОССИЯ

ДАННЫЕ ПО ПРОЕКТУ: ЗАКАЗЧИК:

V-003, VSM7700
 Диаметр: 5.550 – 7.700 мм
 Мощность привода: 400 кВт
 Макс. вращающий момент: 78 кНм
 Макс. глубина ствола: 85 м
 Геологические условия: мягкая глина с высоким содержанием грунтовых вод, плывуны, твёрдая глина с валунами

ООО СТИС



Herrenknecht AG
 D-77963 Schwabau
 Tel. + 49 7824 302-0
 Fax + 49 7824 302-364
 utility@herrenknecht.com

www.herrenknecht.com

ООО «Херренкнехт тоннельсервис»
 Россия, 107497 Москва
 Тел. + 7 495-462 38 78
 Факс + 7 495-462 57 44
 info@herrenknecht.ru

HERRENKNECHT



Tunnelling Systems