

1. Разработка научно обоснованного метода и практических рекомендаций интенсификации производственного процесса строительства стволов при буровзрывном способе за счет выбора рациональной структуры составных частей технологии.

2. Разработка методологического подхода к исследованию сущности технологии и решению вопросов, связанных с этой проблемой.

Среди коренных вопросов научного познания механизма технологии рассматриваемых работ на первый план выдвигается разработка методологии исследования ее сущности. Речь идет об определении решающего фактора технологии, установлении закономерностей в процессе ее развития, измерении ее влияния на производственный процесс и выход процесса.

Для исследования закономерностей и характера влияния технологии на продолжительность (скорость) и удельную стоимость, а также измерения эффективности результатов интенсификации необходимо получить количественные зависимости, раскрывающие связь «Технология производственного процесса — скорость» и «Технология производственного процесса — затраты».

Библиографический список

1. Таранов П.Я. Некоторые вопросы организации строительства шахт // Горный журнал. — М., 1961. — № 3.
2. Тюркян Р.А. Расчетные обоснования процессов погрузки и подъема породы при проходке стволов // Шахтное строительство. — М., 1969. — № 6.
3. Иванов Н.И., Евдокимов Ф.И. Стоимость и сроки строительства. — М.: Недра, 1968.
4. Стоев И.С. Исследование технологических схем армирования вертикальных стволов. В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Киев, «Техніка», 1971. — № 27.
5. Стоев И.С. Технологические схемы армирования вертикальных стволов и их эффективность. — М.: ЦНИЭИуголь, 1971.
6. Сыркин П.С., Ягодкин Ф.И., Мартыненко И.А., Нечаенко В.И. Технология строительства вертикальных стволов. — М.: ОАО «Издательство «Недра», 1997. — 456 с.

© Борцевский С.В., 2003

УДК 625.42 (075)

Канд.техн.наук ЛЫСИКОВ Б.А., инж. СИРАЧЕВ А.Ж. (ДонНТУ)

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ СЕВЕРО-МУЙСКОГО ТОННЕЛЯ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Северо-Муйский тоннель явился последним объектом строительства Байкало-Амурской магистрали, который сооружался почти 25 лет. Из 18 вариантов преодоления Северо-Муйского хребта на трассе БАМа, несмотря на крайне неблагоприятные геологические и сейсмические условия, оптимальным был признан тоннель длиной 15,3 км. Трасса его явилась одной из сложнейших в истории мирового тоннелестроения, т.к. пролегла в породах разной степени крепости, трещиноватости, устойчивости, выбросоопасности, рассеченных многочисленными зонами разломов мощностью от 2 до 50 м с водопритоком в забой от 10 до 1000 л/час, напором воды до 4 МПа и колебаниями температуры воды от +3 до +50⁰С.

Породы в зонах разломов, как правило, сильно тектонически раздроблены и превращены геотектоническими и гидротермальными процессами физического и химического выветривания в песчано-глинистую массу, цементирующим материа-

лом которой являлась тектоническая мука, до которой были перетерты граниты в результате тектонических напряжений и смещений блоков. Разломы с обеих сторон сопровождались интенсивно обводненными сильнотрещиноватыми гранитами.

Строительство тоннеля сечением 60 м^2 было предусмотрено в однопутном исполнении. Ввиду сложности горно-геологических условий было принято решение параллельно с транспортным тоннелем на расстоянии 15 м от его оси проходить разведочно-дренажную штольню сечением 18 м^2 , которая в ходе строительства опережала бы забой основного тоннеля на 200–300 м и предназначалась для геологической разведки, дренажа и отвода воды из горного массива, открытия дополнительных забоев и улучшения вентиляции в тоннеле при строительстве.

Для сокращения длины участков проходки одним забоем по трассе тоннеля были пройдены четыре технологических ствола и проходка тоннеля была организована с порталов и с четырех стволов, с каждого в обе стороны.

Проведение тоннеля было оснащено самым современным горнопроходческим оборудованием в необходимом количестве: это высокопроизводительные буровые порталные агрегаты фирмы «Тамрок» (Финляндия) и «Фуракава» (Япония), самоходные механизированные опалубки длиной 12 м «Сагакогио» (Япония), породопогрузчики и порододоставочные машины, самоходные автопоезда, вагоны большой грузоподъемности, пневмобетонагнетатели и бетоновозы. Для проходки разведочно-дренажной штольни применяли механизированные горнопроходческие комплексы фирмы «Роббинс» и «Вирт», а для выполнения работ по водопонижению использовали станки горизонтального бурения на длину более 500 м фирмы «Тонне-Боринг» (Япония), что в конечном итоге сказалось на темпах работы. В благоприятных горно-геологических условиях были достигнуты скорости проходки: тоннеля — 200 м/мес., штольни — 300 м/мес.

Проходка штольни и тоннеля при пересечении зон разломов сопровождались большими проблемами. Первая из них при входе в Ангараканский разлом — самопроизвольный прорыв в забой штольни водопесчаной массы объемом до 25 тыс. м^3 , повлекший за собой человеческие жертвы, что привело к остановке работ в забое штольни со стороны западного портала на два года. В течение этого времени было произведено комплексное водопонижение: с поверхности — вертикальными скважинами и из выработки, пройденной под тоннелями, — горизонтальными и наклонными скважинами. В результате этих работ было откачено 4 млн. м^3 воды, массив по трассе тоннеля осушен и проходка этого участка тоннеля прошла успешно. По мере развития проходческих работ от технологических стволов и удаления забоев от порталов стал увеличиваться гидростатический напор грунтовых вод и наибольшие трудности при проходке штольни и тоннеля возникли в 4-ой тектонической зоне протяженностью около 800 м, с глубиной заложения выработок 320–360 м и гидростатическим давлением воды 2–3 МПа. Именно здесь в завершающей стадии проходки тоннеля в апреле 1999 г. произошел очередной выброс водопесчаной массы объемом 10 тыс. м^3 , существенно замедлив завершение проходческих работ в тоннеле.

Применение тоннелепроходческих комплексов в разведочной штольне позволило преодолеть многочисленные разломы протяженностью 1,5–2,0 м. Однако при вскрытии разломов большой ширины происходили огромные выбросы водопесчаной массы до полной закупорки забоя и заклинивания ротора машины.

При сооружении транспортного тоннеля забой приходилось останавливать почти перед каждым разломом и применять дополнительные мероприятия. Было предусмотрено обязательное опережающее разведочное бурение горизонтальных

скважин впереди забоя выработки с отбором керна, на основании характеристик которого определялась устойчивость будущей выработки и необходимость применения специальных способов работ.

Таким образом, специальные способы проходки при пересечении зон разломов с использованием машинной технологии и буровзрывного способа, стали неотъемлемой частью проходки тоннеля, который стал полигоном для испытания новейшей горнопроходческой техники и новейшей технологии. Для вскрытия зон разломов была применена технология сооружения тоннеля с применением защитного экрана из труб.

Защитный экран из труб по контуру выработки впервые был предложен и осуществлен в Донбассе еще в 60-х годах XX столетия для предотвращения выбросов угля и газа при вскрытии крутопадающих выбросоопасных угольных пластов, представленных мягкими сыпучими углями и слабыми вмещающими породами [1]. Сущность способа заключается в предварительной изоляции металлическим каркасом выбросоопасного угольного пласта, находящегося в сечении вскрываемой горной выработки (квершлага), от массива выбросоопасного угольного пласта, расположенного за пределами сечения вскрываемой выработки.

Для возведения защитного металлического каркаса из забоя выработки, расположенного на расстоянии нескольких метров от вскрываемого крутопадающего угольного пласта, через породную толщу по периметру выработки на определенном расстоянии друг от друга бурили скважины с таким расчетом, чтобы они пересекали пласт и выходили в породу кровли (или почвы) пласта не менее чем на 0,5 м. В скважины вставляли металлические трубы диаметром 50 мм и под их выступающие концы в забое выработки возводили металлическую арку, которую прочно соединяли с трубами.

Эта технология проведения выработки с экраном из труб была использована тоннелестроителями в 80-х годах XX века [2]. Существуют различные модификации этого способа, отличающиеся материалом, формой и размерами элементов экрана, способом их продавливания, наличием или отсутствием направляющих замковых элементов. В большинстве случаев применяют стальные трубы, продавливая их в один или два ряда вдоль оси тоннеля. В устойчивых грунтах их располагают с зазором 20–30 см, в неустойчивых — соединяют между собой с помощью замковых устройств по типу шпунта. В этом случае повышается точность и упрощается контроль задавливания, так как замковые устройства служат направляющими для вновь задавливаемых труб.

Таким образом, технология строительства тоннелей под защитой экрана из труб основана также на использовании принципа опережающего крепления. С этой целью до начала проходки по контуру будущего тоннеля создают защитную крепь (экран), под прикрытием которой осуществляют раскрытие выработки на полное сечение и возведение постоянной несущей конструкции тоннеля.

В зависимости от геологических условий в случае необходимости через трубы экрана может быть проведена укрепительная цементация грунтового массива.

Использование опережающих защитных экранов позволяет избежать вывалов и обрушений грунта внутрь выработки в процессе проходки, стабилизировать окружающий выработку грунтовой массив, значительно снизить его деформации и нарушения. Опыт строительства тоннелей показал целесообразность применения экранов из труб при проходке:

— тоннелей глубокого заложения и их участков в неустойчивых, слабоустойчивых грунтах с коэффициентом крепости $f \leq 2$, а также в сильно тре-

щиноватых породах средней устойчивости, в том числе при проходке зон тектонических разломов и сбросов;

— порталных участков (врезок) тоннелей, когда склоны сложены сильнотрещиноватыми или оползневыми грунтами;

— тоннелей под путями железных дорог, автомагистралями, крупными инженерными сооружениями.

На строительстве тоннелей БАМа были отработаны и применялись две технологии устройства опережающих экранов из труб.

Первая технология основана на использовании оборудования для бурения скважин без обсадных труб с последующей их установкой после окончания бурения перфорированных труб и инъекции через них цементного или песчано-цементного раствора. Проходка этих тоннелей осуществлялась буро-взрывным способом с раскрытием забоя на полное сечение. Для этого применялась буровая рама фирмы «Фуракава» или «Тамрок», на которой были смонтированы 6 бурильных молотков (рис.1).

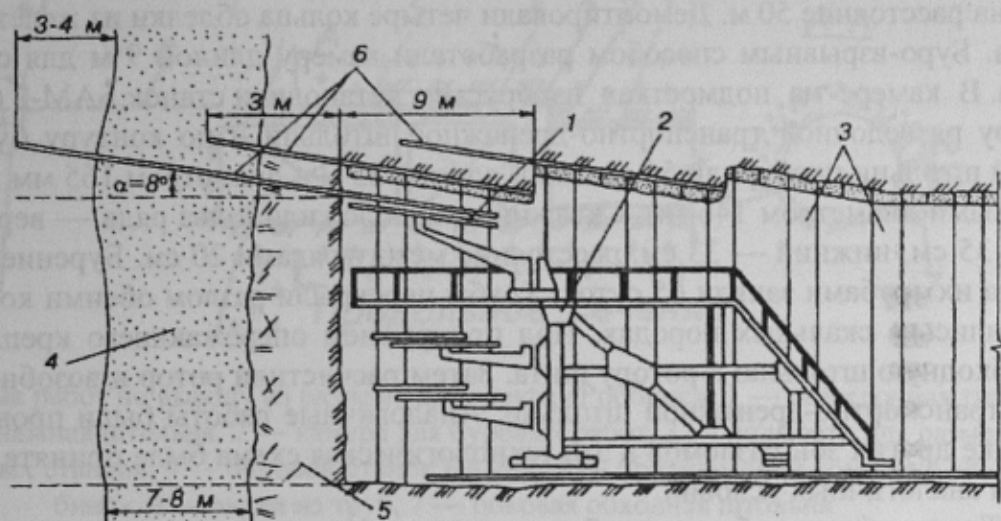


Рис. 1. Схема устройства опережающих экранов из труб с использованием буровых рам: 1 — бурильный молоток для бурения скважин; 2 — буровая рама; 3 — арочно-бетонная крепь, возводимая под экраном; 4 — зона разлома; 5 — устойчивый целик грунта; 6 — скважина для образования свода из труб

Верхний центральный бурильный молоток использовался для бурения скважин по контуру свода тоннеля, в которые устанавливались перфорированные трубы диаметром 76 мм длиной 10 м для устройства опережающего экрана. Всего по контуру свода бурили 25 скважин диаметром 86 мм под углом 8° к горизонту вверх, чтобы обеспечить их расположение за контуром выработки тоннеля [3]. Длина скважин была определена из условий обеспечения их устойчивости для возможности установки перфорированных труб, через которые проводилась инъекция цементного раствора насосами НБ-3 для цементации грунта по контуру выработки. Расстояние между смежными трубами составляло 0,3–0,7 м. В каждую скважину производили инъекцию до 600 кг раствора под давлением до 3 МПа. Величина заходки для разработки грунта составляла 1,5 м, а общая длина участка проходки тоннеля под прикрытием опережающего экрана составляла 9 м. Каждая заходка закреплялась временной арочно-бетонной крепью, устанавливаемой непосредственно к забою под защитой экрана и обеспечивающей устойчивость выработки в процессе проходки.

Вторая технология применялась в неустойчивых водонасыщенных грунтах (разломах) и предусматривала бурение скважин с обсадкой перфорированными трубами, через которые проводили инъецирование раствора. Бурение скважин и установка труб осуществлялась с помощью станка БАМ-2 фирмы «Тоне Боринг». С шагом 50 см бурили скважины диаметром 89 мм и в них устанавливали трубы диаметром 76 мм. Трубы размещали в сводовой части тоннеля и заглубляли в противоположный борт разлома. До устройства экрана из труб по контуру сечения тоннеля были пробурены скважины и проведена цементация разлома. Под защитой экрана была пройдена калотта с арочно-бетонной крепью, подведены стены и зона разлома была преодолена.

Экран из труб применялся и при проходке тоннеля тоннелепроходческим щитовым комплексом фирмы «Роббинс». Так при проходке разведочной транспортно-дренажной штольни на ПК 9+83 ротор щита во время пересечения разлома был зажат обрушенной массой неустойчивого грунта. Для освобождения комплекса и продолжения проходки штольни также был применен опережающий экран из труб. Для этого отсоединили технологическую тележку комплекса от щита и отогнали ее от забоя на расстояние 50 м. Демонтировали четыре кольца обделки из железобетонных блоков. Буро-взрывным способом разработали камеру длиной 9 м для сооружения экрана. В камере на подмостках из брусьев установили станок БАМ-2 (рис. 2). По контуру разведочной транспортно-дренажной штольни и по контуру будущей обходной штольни пробурили 56 скважин длиной 25 м и диаметром 165 мм и обсадили их трубами диаметром 146 мм. Скважины расположили в два ряда — верхний ряд с шагом 35 см, нижний — 33 см, расстояние между рядами 20 см. Бурение скважин и обсадка их трубами заняли 65 суток. Трубы перекрыли разлом обеими концами расположились в скальных породах. Под прикрытием опережающего крепления прошли обходную штольню к ротору щита. Затем расчистили ротор и возобновили проходку транспортно-дренажной штольни. Аналогичные работы были проведены при проходке других зон разломов и эта технологическая схема была принята как основная для аналогичных условий.

Таким образом, была отработана технология сооружения опережающего экрана из труб при проходке тоннелей в зонах тектонических разломов.

Всего на сооружении Северо-Муйского тоннеля под защитой экрана из труб было пройдено 368 м выработок, в экраны было установлено 13000 м труб.

Для условий Северо-Муйского тоннеля оказался эффективным и способ химического закрепления пород в зонах разломов. Специалисты «Бамтоннельстроя» избрали специальный состав из цемента, жидкого стекла и химических добавок, инъекция которого в разлом более чем на порядок увеличивало прочность водонасыщенных рыхлых пород. Химическое закрепление пород предусматривало не только возможность обеспечения проходки в неустойчивых грунтах, но и имело целью повышения надежности тоннеля в зонах разломов на период эксплуатации, на основе физико-химического инъекционного укрепления грунта, окружающего тоннель. При проходке Северо-Муйского тоннеля применялось и взрыво-инъекционное упрочнение грунтов.

При традиционном инъекционном упрочнении происходит за счет заполнения инъекционными растворами имеющихся в грунте трещин и пустот, а также за счет повышения твердой фазы грунта в результате воздействия на него давления нагнетания, которое является определяющим в повышении устойчивости грунтового массива. Однако при проведении работ по укреплению грунтов возникают трудности в управлении процессом распространения раствора. Из-за крайне низ-

кой проницаемости в массиве часто возникают трещины гидроразрыва (за счет высокого давления нагнетаемого раствора), по которым инъекционные растворы уходят далеко за пределы упрочняемой зоны, что приводит к неоправданному перерасходу материалов. Кроме того, процесс нагнетания в таких условиях носит длительный характер, что отрицательно сказывается на сроках строительства объектов.

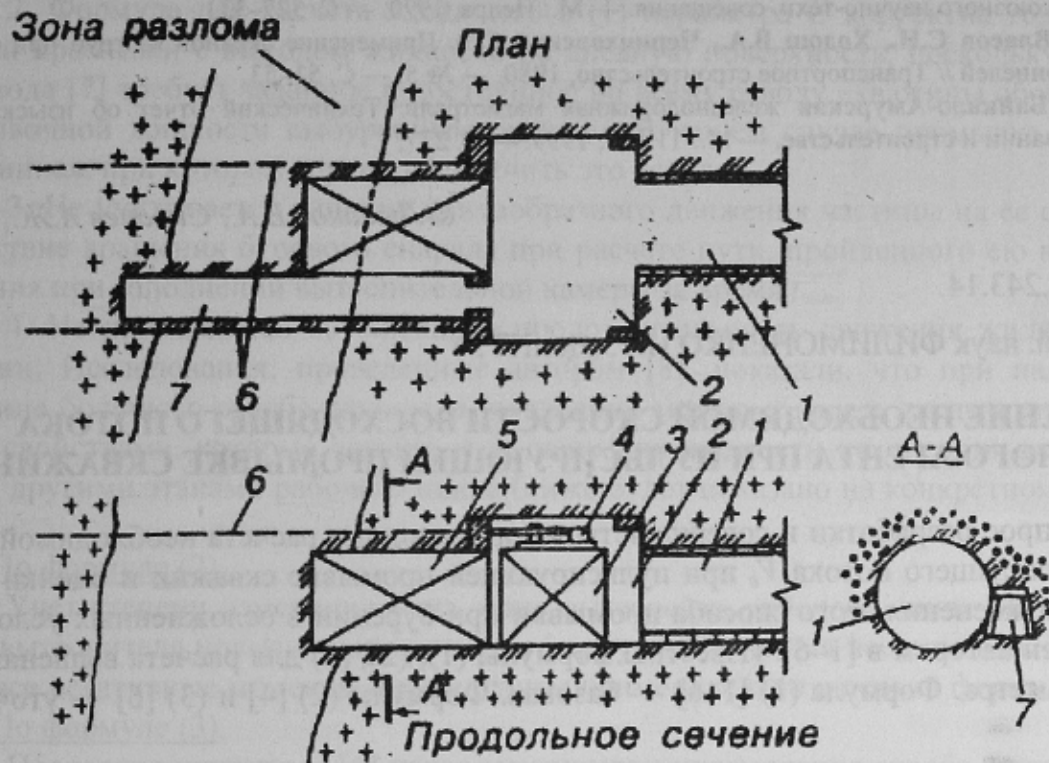


Рис. 2. Схема работ по выводу из разлома комплекса «Роббинс»: 1 — разведочная транспортно-дренажная штольня, 2 — камера для буровых работ, 3 — подмости для размещения буровых станков, 4 — буровой станок БАМ-2, 5 — проходческий комплекс «Роббинс», 6 — экран из труб, 7 — боковая обходная штольня

С целью сокращения процесса уплотнения грунтов и повышения его качества была использована энергия взрыва.

Сущность взрыво-инъекционного способа заключается в одновременном взрывании зарядов ВВ в нескольких скважинах и групповой их обработке инъекционными растворами, что позволило значительно ускорить процесс заполнения пустот, уплотнения грунта и повышения качества работ по сравнению с традиционным инъекционным способом. Об этом свидетельствуют повышение модуля Юнга и уменьшение удельного водопритока на 20–40%, а также повышение плотности грунта с 1,8 до 2,0 г/см³.

Отработанные методы химзакрепления грунтов были успешно применены на 180 разломах шириной от 10 до 80 м, общей протяженностью более 1500 м и дали возможность осуществить проходку тоннеля и штольни в таких сложных инженерно-геологических условиях, где их пройти было невозможно.

Выводы. Строительство Северо-Муйского тоннеля БАМа осуществлялось в крайне сложных горно-геологических условиях, одних из сложнейших в практике мирового тоннелестроения. Это потребовало применить новейшее оборудование, высокопроизводительную технику, новые технические решения и самые современ-

ные технологии, что позволило ликвидировать 20–30 летнее отставание в области тоннелестроения от зарубежного.

Библиографический список

1. Недвига С.Н., Хорунжий Ю.Т. Способы вскрытия выбросоопасных пластов Донбасса. Сб. трудов всесоюзного научно-техн. совещания. — М.: Недра, 1970. — С. 327–331.
2. Власов С.Н., Ходош В.А., Черняховская С.Э. Применение экранов из труб при строительстве тоннелей // Транспортное строительство, 1980. — № 5. — С. 51–53.
3. Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Технический отчет об изысканиях, проектировании и строительстве. — М.: ТИМР, 1999. — С. 237.

© Лысиков Б.А., Сирачев А.Ж., 2003

УДК: 622.243.14.

Канд. техн. наук ФИЛИМОНЕНКО Н.Т. (ДонНТУ)

УТОЧНЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ СКОРОСТИ ВОСХОДЯЩЕГО ПОТОКА ОЧИСТНОГО АГЕНТА ПРИ ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПРОМЫВКЕ СКВАЖИН

Вопрос разработки и совершенствования методики расчета необходимой скорости восходящего потока $V_в$ при пульсирующей промывке скважин и оценки перспектив применения этого способа промывки при бурении в осложненных условиях рассмотрен автором в [1–6]. Известны формулы (1), (2), (3) для расчета вышеназванного параметра. Формула (1) [1–6] — базовая. Формулы (2) [4] и (3) [6] — уточненные.

$$V_в = \frac{(t_в + t_{зан})(C + U)}{t_в}; \quad (1)$$

$$V_в = \frac{(t_в + t_{зан})(C \cdot \varepsilon + U)}{t_в}; \quad (2)$$

$$V_в = C \cdot \varepsilon + U. \quad (3)$$

где C , U — скорости выноса и оседания частицы шлама конкретной фракции восходящим потоком, м/с; $t_в$, $t_{зан}$ — длительности этапов вытеснения и заполнения вытеснительной камеры, с; ε — степень изменения C на этапе вытеснения рабочего цикла пневматического вытеснителя.

Следует отметить, что автору не известны другие исследования, имеющие отношение к рассматриваемому вопросу.

Ниже приводятся аргументы в пользу необходимости дальнейшего уточнения известных формул.

По формуле (1).

1. Логика ее вывода [1] предусматривает, что прогнозируемая средняя скорость восходящего потока $V_в$ в пространстве между стенками скважины и колонной бурильных труб на этапе вытеснения $t_в$ должна обеспечить подъем частицы шлама заданной фракции на такую высоту, величина которой не позволила бы частице возвратиться к исходной точке или опуститься ниже ее при оседание на этапе заполнения $t_{зан}$ вытеснительной камеры, когда отсутствует промывка скважины. Это гаран-