

Технологии Ленметрогипротранса для тоннельной отрасли России

Продолжая традицию публикации экспертных материалов о развитии тоннельной отрасли в России, направленной на создание новых инфраструктурных проектов, редакция газеты обратилась к авторитетным ученым и практикам в этой области генеральному директору АО Научно-исследовательский, проектно-испытательный институт «Ленметрогипротранс», к.т.н. Владимиру Александровичу Маслаку и заместителю генерального директора по науке, к.т.н. Михаилу Олеговичу Лебедеву для комментария относительно тоннельных решений на БАМЕ.

История создания Северо-Муйского тоннеля: риски и возможности

Строительство уникального инфраструктурного объекта – Северо-Муйского тоннеля – велось с перерывами в течение 26 лет – с лета 1978-го (начало врезки с портала) по 5 декабря 2003 года, когда тоннель был сдан в постоянную эксплуатацию. Долгий срок возведения тоннеля связан с крайне сложными природными условиями, недостаточной изученностью трассы тоннеля на стадии изысканий, отсутствием опыта проектирования и строительства тоннелей в экстремальных горно-геологических условиях, а также нестабильной социально-экономической ситуацией в стране, связанной с распадом СССР. При строительстве тоннеля произошёл ряд крупных аварий, в том числе с человеческими потерями.

Техногенные аварии, которые происходили в период 1978–2003 годов являются непереносимыми



В.А. Маслак

состояния в нем, что приводило к обновлению потенциальных инженерно-геологических угроз. Впоследствии при строительстве их приходилось ликвидировать или минимизировать путем разработки, экспериментальной апробации и внедрения новых технологических и конструктивных решений, защитных мероприятий и специальных способов строительства.

Окончание строительства тоннеля длиной более 15 км (15,3 км) в сложнейших инженерно-геологических и гидрогеологических

– западный (привязка к пикетам по поверхности от 65+56 до 18+50, к пикетам по тоннелю – от 65+56 до 18+00);

– IV тектоническая зона (привязка к пикетам по поверхности от 18+50 до 07+10, к пикетам по тоннелю – от 18+00 до 08+10);

– гольцовый блок (привязка к пикетам по поверхности от 07+10 до 26+80, к пикетам по тоннелю – от 08+60 до 26+45);

– троговая тектоническая зона (привязка к пикетам по поверхности от 26+80 до 29+60, к пикетам по тоннелю – от 26+45 до 31+47);

– промежуточный тектонический блок (привязка к пикетам по поверхности от 29+60 до 38+10, к пикетам по тоннелю – от 31+47 до 39+70);

– III тектоническая зона (привязка к пикетам по поверхности от 38+10 до 47+70, к пикетам по тоннелю – от 39+70 до 45+80).

Восточный блок В и его тектонические блоки IV порядка (привязка к пикетам по поверхности от 47+70 до 89+03, к пикетам по тоннелю – от 45+80 до 89+03);

– В1 (привязка к пикетам по тоннелю от 45+80 до 53+50);

– В2 (привязка к пикетам по тоннелю от 53+50 до 70+00);

– В3 (привязка к пикетам по тоннелю от 70+00 до 81+10);

– В4 (привязка к пикетам по тоннелю за пределами тоннеля).

Горные породы Северо-Муйского тоннеля представлены гранитами, которые в тектонических зонах в разной степени разрушены до состояния песка и глины. Устойчивость гранитов в забоях подземных выработок зависит от их прочностных свойств, трещиноватости и водонасыщенности. Раскрытость трещин и их водонасыщенность определяют напряженное состояние и его ви-



М.О. Лебедев

БАМ и Транссиб: сегодня и завтра мегапроекта

Символично, что в год 50-летнего юбилея начала строительства БАМа Правительство России согласовало мероприятия очередного этапа создания инфраструктуры на объектах БАМа и Транссиба. Данный инвестпроект позволит увеличить провозную способность этих магистралей до 270 миллионов тонн к 2032 году.

В соответствии с планами работы проведут на 24 участках. Двенадцать из них относятся к Транссибу, десять – к БАМу, еще две линии соединят между собой магистрали. При этом процесс модернизации разделен на три этапа.

Первый предполагает развитие участка от станции Улак (Амурская область) до Ванино (Хабаровский край). В перечень 84 объекта, стоимость реконструкции – около 460 миллиардов рублей.

В рамках третьего подэтапа (срок окончания – 2032 год) запланировано строительство вторых путей на БАМе, вторых тоннелей и моста через Амур в Комсомольске-на-Амуре.

проходку. И этот процесс достаточно трудоемкий, циклический, требующий много времени, и людей и дополнительных затрат.

Схема на втором Северо-Муйском тоннеле будет выглядеть по-другому. Полагаем, что в этом случае она будет в основном круглого сечения, потому что применяется большой механизированный тоннелепроходческий комплекс. Современный тоннелепроходческий щит, по аналогии с теми, которые используют при строительстве метро, поможет проложить второй Северо-Муйский тоннель гораздо быстрее, чем первый. Мы как специалисты считаем, что за 8 лет тоннель можно построить при соблюдении технологии и качества работ.

Тоннельные решения для Восточного полигона

При обеспечении вторыми сплошными путями трассы БАМа, Северо-Муйский тоннель является самым сложным и капиталоемким участком на этой трассе. Строительство второго Северо-Муйского тоннеля необходимо не только для пропуска возрастающего объема поездов на восточном направлении, но и как создание, в случае внешних рисков, дублирующей критической инфраструктуры.

Учитывая, что к 2030 году прирост размеров грузового движения в РЖД по отношению к 2025-му, может составить 60 пар грузовых поездов против 15 пар в 2017–2018 годах, есть срочная необходимость создавать новый тоннель.

Перекрываемый поездопоток (60 пар) определен за счет роста грузопотоков в адрес портов Восточного региона и за счет увеличения размеров пассажир-

заместителем генерального директора ОАО «РЖД» А.А. Красненьким.

Заказчиком разработки вариантов строительства и выбора трассы линейного объекта был Дирекция по комплексной реконструкции железных дорог и строительству железнодорожного транспорта – филиала открытого акционерного общества ОАО «РЖД» (ДКРС ОАО «РЖД»).

В соответствии с заданием на проектирование к технико-экономическим показателям объекта проектирования, основным техническим решениям, перспективному расширению объекта строительства были предъявлены следующие требования:

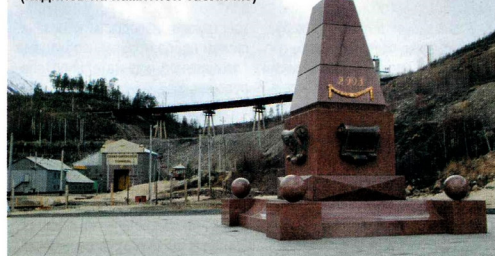
- категория железнодорожной линии – особо грузонапряженная;
- руководящий уклон – 9‰;
- число путей в тоннеле – один;
- вид тяги – тяга электровозная;
- род тока контактной сети – переменный;
- габарит приближения строений – «С» по ГОСТ 9238–2013.

Проектные решения для выбора нового тоннеля

В основных проектных решениях по левостороннему и правостороннему (рис.3) расположению трассы тоннеля было принято к рассмотрению по четырем вариантам его строительства.

Левосторонний вариант нового железнодорожного тоннеля сооружается с левой стороны относительно существующего. Тоннель располагается на расстоянии (осей) от 20 до 70 метров от оси существующего тоннеля. Расстояние между осями нового и существующего тоннелей определено из условия минимального количе-

«Великому подвигу мысли и рук человеческих, создавших Северо-Муйский тоннель» (надпись на памятной табличке)



с точки зрения рисков для создания второго Северо-Муйского тоннеля. Исследование причин возникновения и анализ развития каждой из произошедших аварий позволяют сформировать понимание комплекса характерных опасных процессов и явлений, которые могут фиксироваться во вмещающем массиве с таким широким диапазоном факторов риска. Данные наработки позволяют прогнозировать возможное развитие других негативных процессов во вмещающем массиве с учетом взаимного влияния геотехнических факторов и последствий реализовавшихся катастроф. На основе имеющихся знаний о поведении массива на интервалах с повышенными рисками должны быть отработаны сценарии развития аварийных ситуаций, в том числе экстраординарные и маловероятные, подготовлены пути гибкого и оперативного реагирования на каждый из них.

При строительстве первого Северо-Муйского тоннеля на развитие аварийных ситуаций оказывали влияние многочисленные природные и природно-техногенные факторы. Вместе с тем сами аварии вызывали изменения в сложных естественных системах неоднородного горного массива и перераспределение напряженного

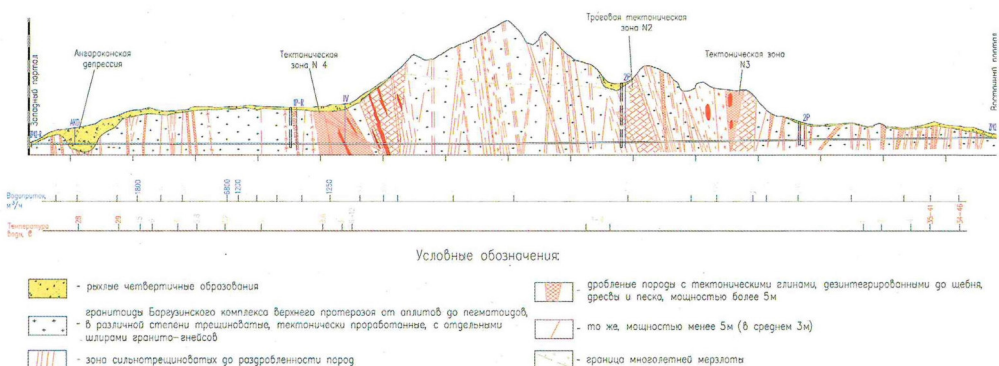
условия, ценой десятков жизней можно считать подвигом строителей и проектировщиков. Надо отметить, что специалистам после каждой правительственной комиссии по расследованию аварий приходилось доказывать правильность выбранной трассы тоннеля. Этому подвигу со стороны Восточного портала был установлен памятник.

Северо-Муйский тоннель располагается в сейсмичной Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) с вероятным проявлением землетрясений интенсивностью более 9 баллов. Высокая сейсмическая активность территории связана с неотектоникой, развитием новейших тектонических структур.

По инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям строительства СМТ длиной 15,3 км и глубиной заложения в Гольцовской части до 1 км является одним из наиболее сложных тоннелей мира (гидростатическое давление до 25 атм.). Блоково-разрывное строение Муякан-Ангараканского междуречья явилось характерной особенностью геологии данного тоннеля. Вдоль трассы тоннеля по фактическим геологическим условиям были выделены структурные блоки, их местоположение (тектонические блоки III порядка):

Второй Северо-Муйский тоннель на ВСЖД

L=15355.5 м



Геологический разрез, построенный по исполнительной документации при строительстве Северо-Муйского тоннеля

дом: если преобладает напряженное растяжения, то раскрытие и водопроницаемость горных пород выше, а преобладание напряжений сжатия способствует закрытию трещин и уменьшению водопроницаемости и водообильности горных пород. Общая протяженность разломных зон по трассе тоннеля и штольни составила около 1/3 его длины.

Первым рассчитывают сдать второй Кодарский тоннель – до конца 2030-го. Остальные три объекта – мост и вторые тоннели Северо-Муйский и Кузнецовский – завершат в 2032 году.

Надо отметить, что при строительстве первого Северо-Муйского тоннеля не было такой механизации, как сейчас. В основном буровзрывным способом делали

скового движения и контейнерных поездов по Транссибирской магистрали.

В 2018–2019 годах работа по разработке основных проектных решений на основании технического задания на проектирование по объекту «Второй Северо-Муйский тоннель Восточно-Сибирской железной дороги», утвержденного 03.08.2018, выполнялась первым

ства кривых по трассе нового тоннеля, обхода существующих дренажных выработок действующего тоннеля, таких как боковые дренажные штольни, камеры заоблачного дренажа, которые расположены по левой стороне действующего тоннеля.

В плане левосторонний вариант тоннеля расположен преимущественно на прямой, за исключе-

нием порталных участков, которые расположены на кривых радиусом $R=2000$ м. Наличие кривых обусловлено необходимостью примыкания главного пути к станциям Итыжит и Окусикан. В профиле тоннель двухскатный с мини-

мальным уклоном 3% и максимальным 6,75%. Протяженность левостороннего варианта тоннеля составляет 15,345 км.

Левостороннее расположение трассы нового тоннеля предусматривает рассмотрение двух вариантов строительства тоннеля в части способа строительства основного сооружения. Данными вариантами рассматриваются различные способы проходки тоннеля с использованием как щитового, так и горного способов. Оба варианта предусматривают необходимость строительства трех новых вентиляционных стволов, обязательных как для осуществления горнопроходческих работ через них, так и для обеспечения аварийной вентиляции в период эксплуатации объекта.

Правосторонний вариант нового железнодорожного тоннеля сооружается с правой стороны относительно существующего. Тоннель располагается на расстоянии (в осях) от 30 до 170 метров от оси существующего тоннеля. Расстояние между осями нового и существующего тоннелей определено из условия минимального количества кривых по трассе нового тоннеля, обхода существующих дренажных выработок действующего тоннеля, таких как боковые дренажные штольни, обхода существующих околоствольных выработок стволов № 4, № 1, а также пересечения подходов выработок стволов № 2 и № 3 с параметрами минимально возможных объемов работ по реконструкции существующих подходов выработок и сохранению устройств, обеспечивающих эксплуатацию действующего тоннеля.

В плане правосторонний вариант тоннеля расположен преимущественно на прямой, за исключением Западного порталного участка, который расположен на кривой радиусом $R=2000$ м, пересечения подходов выработок ствола № 3 с использованием трех кривых радиусом $R=2000$ м. Восточный порталный участок тоннеля на длине 100 м располагается на переходной кривой радиуса $R=400$ м. Наличие кривых таких радиусов обусловлено решением в части примыкания главного пути к станциям Итыжит и Окусикан. В профиле тоннель двухскатный с минимальным уклоном 3% и максимальным 6,75%. Протяженность правостороннего варианта тоннеля составляет 15,355 км.

С правой стороны на расстоянии 20 м от оси нового тоннеля предусмотрено сооружение эвакуационно-дренажной штольни, через которую будет осуществ-

ляться эвакуация людей при аварийных ситуациях в проектируемом тоннеле. В штольне предусматривается сооружение дренажной и водоотводной систем с выпуском дренажных вод прогнозируемого водопритока до

чающим сооружение Западного и Восточного участков тоннеля двумя щитовыми комплексами ТПМК с обделкой наружным диаметром 10 м, а центральной части тоннеля горным способом.

Строительство штольни щитовыми комплексами с обделкой наружным диаметром 5 м, штольня выполняет функцию дренажной и эвакуационной;

строительство трех новых вентиляционных стволов.

Срок строительства – 11 лет 10 месяцев.

Вариант 2 «Строительный» (левосторонний):

– строительство тоннеля двумя встречными забоями с Западного и Восточного порталов с применением двух комплексов ТПМК с обделкой наружным диаметром 9,7 м;

– строительство штольни щитовыми комплексами с обделкой наружным диаметром 5 м, штольня выполняет функцию дренаж-

ной и эвакуационной. Строительство трех новых вентиляционных стволов.

Срок строительства – 11 лет 7 месяцев.

Вариант 3 «Технологичный» (правосторонний):

– строительство тоннеля двумя встречными забоями с Западного и Восточного порталов

Срок строительства – 11 лет 10 месяцев.

Вариант 5 «Ускоренный» (правосторонний):

– строительство тоннеля встречными забоями с Западного и Восточного порталов щитовыми комплексами ТПМК с обделкой наружным диаметром 10,0 м, а центральной части тоннеля горным способом;

– строительство штольни щитовыми комплексами с обделкой наружным диаметром 6,0 м;

– тип верхнего строения пути в тоннеле – LVТ;

– использование трех существующих стволов.

Срок строительства – 10 лет.

С точки зрения эксплуатации тоннельного комплекса после полной его реконструкции более предпочтительными являются вариант 2 «Строительный» и вариант 5 «Ускоренный» по следующим причинам:

– дополнительная штольня обеспечивает возможность бурения дополнительных дренажных скважин с целью уменьшения обводненности второго Северо-Муйского тоннеля в процессе его эксплуатации без приостановки движения по тоннелю;

– отвод дренажных стоков по штольне является более предпоч-

– обеспечения допустимого расстояния между проектируемым тоннелем и существующей транспортно-дренажной штольней на удароопасных участках строительства;

– взаимного влияния проектируемого тоннеля и существующих подземных сооружений Северо-Муйского тоннеля;

– минимального количества кривых по трассе проектируемого тоннеля, обхода существующих выработок действующего тоннеля, обхода существующих околоствольных выработок стволов № 4, № 1, а также пересечения подходов выработок стволов № 2 и № 3 с параметрами минимально возможных объемов работ по реконструкции существующих подходов выработок и сохранения устройств, обеспечивающих эксплуатацию действующего тоннеля.

Исходя из вышеуказанных условий расстояние между проектируемым тоннелем и существующей транспортно-дренажной штольней (в осях) варьируется в диапазоне от 13 до 102 м. Максимальные расстояния между выработками приняты на участках обхода существующих околоствольных выработок стволов № 4 и № 1. Со стороны Западного

участка в 236 м от Западного портала, который расположен на кривой радиусом 2000 м, обхода околоствольных выработок ствола № 4 с использованием двух кривых радиусом 4000 м, обхода околоствольных выработок ствола № 1 с использованием трех кривых радиусом $R=4000$ м, участка пересечения околоствольных выработок ствола № 3 с использованием двух кривых радиусом 4000 м, а также Восточного порталного участка тоннеля на длине 129 м, расположенного на круговой кривой радиусом 600 м. Наличие кривых на порталных участках с принятыми радиусами обусловлено решениями в части примыкания главного пути к станциям Итыжит и Окусикан.

В профиле тоннель двухскатный с минимальным уклоном 3% и максимальным 6,75%. Максимальный уклон принят исходя из руководящего уклона 9% с учетом коэффициента смягчения 0,75. Протяженность тоннеля, в соответствии с предлагаемым вариантом строительства, составляет 15,355 км.

Для обеспечения эвакуации людей в случае аварийных ситуаций проектируемый тоннель и существующий тоннель соединяются между собой эвакуационными боковыми.

Данным вариантом предусматривается выполнение работ по проходке тоннеля тоннелероходческими механизированными комплексами (ТПМК) на всю длину. Постоянная обделка проектируемого тоннеля кругового очертания из сборных железобетонных блоков диаметром по внешнему контуру 9,700 м. Работы по строительству тоннеля ведутся параллельно двумя щитовыми комплексами с Западного и Восточного порталов.

Согласно инженерно-геологическим изысканиям и в соответствии с опытом строительства существующего Северо-Муйского тоннеля, по длине проектируемого тоннеля выявлены участки с гидростатическим давлением, превышающим 10 атм. Для обеспечения безопасности производства работ на данных участках предусматривается выполнение мероприятий по водопонижению. Продолжительность строительства по этому варианту составляет 8 лет.

Другие варианты строительства второго Северо-Муйского тоннеля продолжают рассматри-

портала и до существующего ствола № 1 тоннель располагается на расстоянии (в осях) от 20 до 102 м (среднее расстояние 22 м). Далее, на участке между

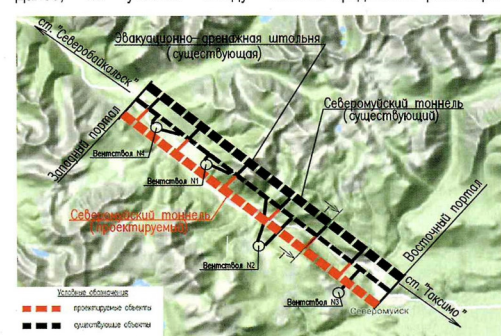


Схема расположения размещения второго Северо-Муйского тоннеля без строительства новой штольни

существующими стволами № 1 и № 3 тоннель располагается на расстоянии (в осях) от 46 до 95 м (среднее расстояние 59 м) от оси существующей штольни, и на участке от существующего ствола № 3 до Восточного портала тоннель располагается на расстоянии (в осях) от 13 до 46 м (среднее расстояние 22 м) от оси существующей штольни.

В плане проектируемый тоннель расположен преимущественно на прямой, за исключением

вась в настоящее время. Главным в окончательно принятом варианте остается учет опыта строительства существующего тоннеля. При его строительстве было выполнено много научных исследований, результаты которых изложены в десятках томов. Для предупреждения аварий на всех этапах строительства тоннеля необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие безопасность и защищенность людей и механизмов.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Наименование показателей	Варианты									
	1 Максимальный		2 Строительный		3 Технологичный		4 Минимальный		5 Ускоренный	
Тип ВСП	LVT	MGP	LVT	MGP	LVT	MGP	LVT	MGP	LVT	MGP
Длина проектируемых тоннелей	15 345м.		15 345м.		15 355м.		15 355м.		15 355м.	
«штолен»	15 347м.		15 347м.		15 357м.		15 357м.		15 357м.	
Максимальный уклон в тоннеле	6,75%		6,75%		6,75%		6,75%		6,75%	6,75%
Тип проходки	ТПМК, буровзрывной способ		ТПМК		ТПМК		ТПМК, буровзрывной способ		ТПМК, буровзрывной способ	
Необходимость сооружения восточного поезда	да		да		да		да		да	
Проходка с подтоплением	да		да		да		да		да	
Площадь «в свету» по внутреннему очертанию обделки	58,1м²/41м² 14,7м²/14,7м²	62,2м²/42,1м² 14,7м²/14,7м²	58,1м²/14,7м²	62,2м²/14,7м²	58,1м²/14,7м²	62,2м²/14,7м²	58,1м²/41м² 14,7м²/17,3м²	62,2м²/42,1м² 14,7м²/17,3м²	58,1м²/41м² 22,5м²/17,3м²	62,2м²/42,1м² 22,5м²/17,3м²
Воздуховоды, прокладываемые в выработке	2000мм 2 по 1200мм	2000мм 2 по 1200мм	2 по 2500мм 2 по 1200мм		2 по 2500мм 2 по 1200мм		1200, 900мм 1200, 900мм		2500мм 2 по 1500мм	
Расчетная мощность	43,1 мВт		38,3 мВт		46,2 мВт		35,5 мВт		45,2 мВт	
Срок строительства	11 лет 10 мес.	12 лет 2 мес.	11 лет 7 мес.	12 лет 0 мес.	12 лет 4 мес.	12 лет 9 мес.	11 лет 10 мес.	12 лет 2 мес.	10 лет 0 мес.	10 лет 4 мес.
Стоимость строительства без НДС в ценах 2 кв. 2019г.	167 222 675 тыс.руб.	170 414 042 тыс.руб.	174 626 099 тыс.руб.	179 205 803 тыс.руб.	165 740 234 тыс.руб.	169 950 123 тыс.руб.	159 834 557 тыс.руб.	164 104 997 тыс.руб.	162 270 390 тыс.руб.	166 545 756 тыс.руб.

Технико-экономические варианты строительства второго Северо-Муйского тоннеля

на обделку проектируемого тоннеля. Таким образом, тоннельный комплекс с правосторонним вариантом нового тоннеля будет состоять из следующих сооружений:

- существующий тоннель;
- существующая штольня;
- новый правосторонний тоннель;
- новая штольня правостороннего тоннеля.

При сравнении вариантов реконструкции тоннельного перехода рассматривается комплекс сооружений, включающий реконструкцию существующего тоннеля и существующей транспортно-дренажной штольни, реконструкцию существующих вентиляционных стволов, строительство второго Северо-Муйского тоннеля. Стоимость и продолжительность работ и основные технические показатели по реконструкции существующего Северо-Муйского тоннеля (тоннель, штольня, вентиляционные стволы и околоствольные выработки) приняты в соответствии с проектными решениями ООО «РСРС ГмбХ» от 03.09.2020.

Сравним несколько вариантов реконструкции тоннельного перехода.

Вариант 1 «Максимальный» (левосторонний):

– строительство тоннеля комбинированным способом, вклю-

с применением двух комплексов ТПМК с обделкой наружным диаметром 10,0 м;

– строительство штольни щитовыми комплексами с обделкой наружным диаметром 5 м, штольня выполняет функцию дренажной и эвакуационной;

– строительство трех новых вентиляционных стволов.

Срок строительства – 12 лет 4 месяца.

Вариант 4 «Минимальный» (правосторонний):

– строительство тоннеля комбинированным способом, включающим сооружение Западного и Восточного участков тоннеля одним щитовым комплексом ТПМК с обделкой наружным диаметром 9,7 м, а центральной части тоннеля горным способом. Строительство штольни щитовыми комплексами с обделкой наружным диаметром 5 м, штольня выполняет функцию дренажной и эвакуационной;

– использование трех существующих стволов.



Схема расположения размещения второго Северо-Муйского тоннеля относительно существующих выработок