



«Глубоко убежден, что железные дороги необходимы для России, что они, можно сказать, выдуманы для нее более, нежели для какой-либо другой страны Европы, что климат России и ее пространство содействуют их особенно драгоценными для нашего Отечества».

*П.П.Мельников (1804-1880),
первый министр
путей сообщения России.*

СКВОЗЬ ГОДЫ И ГОРЫ (к 45-летию начала строительства тоннелей Байкало-Амурской (БАМ) железной дороги)

**Николай КУЛАГИН, д.т.н.,
Константин БЕЗРОДНЫЙ,
д.т.н.,
Михаил ЛЕБЕДЕВ, к.т.н.
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»)**

Впервые идея сооружения широтной железнодорожной магистрали, проходящей севернее озера Байкал, была сформулирована в 1887 году в записке генерал-майора А.П.Проценко в связи с проектированием и строительством Великой Сибирской магистрали. Как пишет Н.А.Зензинов в книге «От Петербург-Московской до Байкало-Амурской магистрали», еще в годы изысканий и строительства Транссибирской магистрали не раз выдвигались предложения о прокладке трассы се-

вернее Байкала. Летом 1889 года изыскатели под руководством полковника Н.А.Волошинова и инженера А.И.Прохаски провели глазомерную съемку и барометрическое нивелирование по маршруту от Ангары через Усть-Кут – Байкальский хребет и далее через Северомуйский хребет в долину реки Муя. В октябре 1889 года в докладе на заседании Восточно-Сибирского отделения Русского Географического Общества Н.А.Волошинов говорил: «... выяснилось совершенно точно наиболее выгодное направление железнодорожного пути от Ангары к северному углу Байкала...». Позже, в 1911 году изыскательские партии инженеров Э.И.Михайловского и И.И.Афонина вели работы на маршрутах Иркутск, Жиганово, Тирить – Жигалово, Тулун – в Усть-Кут, Тайшет – Усть-Кут.

В 1914 году в этом районе были организованы правительственные изыскания под руководством Э.И.Михайловского.

В книге «Великий сибирский путь» В.Н.Казимиров сообщает, что во второй половине 80-х годов прошлого века обсуждались предложения Н.П.Меженинова об обходе озера Байкал с севера, а также результаты поисков В.А.Волошинова и Л.И.Прохаски в 1888 году в «Трудах комиссии императорского технического общества по вопросу о железных дорогах через всю Сибирь» было опубликовано описание северных вариантов обхода озера Байкал. В эти же годы несколько французских предпринимателей составили проект сооружения линии в северо-восточном направлении от г. Иркутска, через г. Якутск до Берингова пролива для соединения при по-



средстве тоннеля с Аляскинской железной дорогой.

В 1912 году предложения Управления по строительству Великого Сибирского пути о сооружении линии «Тайшет – Императорская гавань», как важнейшей магистрали для развития Сибири, утвердили. Строительству этой линии, будущей Байкало-Амурской магистрали, помешала первая мировая война.

Для решения этой задачи с 1907 по 1914 год проводились многочисленные рекогносцировочные изыскания так называемой Ленской железной дороги.

В 1932 году в соответствии с решением ЦК ВКП (б) и СНК СССР от 13 апреля о сооружении Байкало-Амурской магистрали по ней были начаты изыскательские работы.

В 1937 году Постановлением ЦК ВКП (б) и СНК СССР в системе «Союзтранспроекта» НКПС создана специальная контора по изысканиям и проектированию Байкало-Амурской железнодорожной магистрали – «БАМтранспроект», которая в связи с началом строительных работ в 1939 году передана в НКВД и реорганизована в Управление «БАМпроект» ГУЖДС НКВД и возглавила все работы по изысканиям и проектированию магистрали.

С 1937 по 1942 год «БАМпроект» было окончательно установлено генеральное направление магистрали: Тайшет – Усть-Кут – Нижнеангарск – Чара – Тында – Ургал – Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань. Были составлены проектные задания и технические проекты по отдельным участкам, станциям, крупным мостовым переходам.

За этот период построены подходы к магистрали железнодорожные линии:

– в 1937 году –
Бамовская – Тында (178 км);

– в 1938 году –
Волочаевка – Комсомольск (333 км);

– в 1940 году –
Известковая – Ургал (339 км) (рис.2).

Сразу после окончания войны, в августе 1945 года, Государственный Комитет Обороны страны принял решение о возобновлении строительства Западного участка БАМ. В условиях разрушенного войной хозяйства строительство шло трудно. В июле 1951 года поезда пришли к берегу Лены – в Усть-Кут, и строительство БАМ было приостановлено.

На восточном участке Ургал – Комсомольск в этот период было открыто рабочее движение поездов от Комсомольска до станции Вели (Березовская) протяженностью 203 км, а со стороны Уграла построены земляное полотно и искусственные сооружения на первых 73 км, включая перевальный Дуссе-Алиньский тоннель длиной 1807 м, опоры большого моста через реку Амгунь (рис.3).

В 1967 году на основании решения директивных органов возобновились проектно-изыскательские работы. Генеральными проектировщиками по участкам БАМ были назначены институты Главтранспроекта Минтранспорта СССР (Министерства транспортного строительства):

– «Томгипротранс» – Усть-Кут (Лена) – Байкальский тоннель – 290 км,

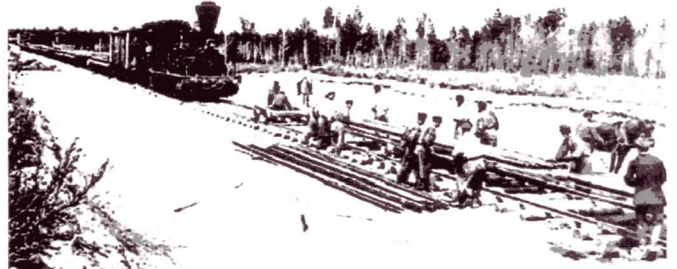


Рис. 1. 1890-е годы – время интенсивного железнодорожного строительства. В то время начинается строительство самой грандиозной в мире Транссибирской магистрали протяженностью 7 тысяч верст

– «Сибгипротранс» – Байкальский тоннель – Чара (искл) – 711 км,
– «Ленгипротранс» – Чара (вкл) – Тында (искл) – 630 км,
– «Мосгипротранс» – Тында (вкл) – Ургал (вкл) – 967 км,
– «Дальгипротранс» – Ургал (искл) – Комсомольск-на-Амуре – 503 км.

Общее руководство, разработка «Основных технических решений для проектируемой магистрали», анализ генерального направления в новых нормах проектирования выполнялись «Мосгипротрансом».

Институтом «Ленметропроект» (в то время филиалом «Метрогипротранс») вместе с «Метрогипротрансом» в 1967–1969 годах были разработаны основные положения проектирования Байкальского и Се-



Рис. 2. Строительство подходов железнодорожных линий к магистрали. 1937–1940 г.г.



Рис. 3. Зброшеный портал Дуссе-Алиньского тоннеля

веромуйского тоннелей в 2-х вариантах: однопутный железнодорожный тоннель и двухпутный железнодорожный тоннель.

8 июня 1974 года было опубликовано знаменательное Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР №561 «О строительстве Байкало-Амурской магистрали». Это пример из прошлого, как плано- и фундаментально решались государственные задачи. Главное в нем – построить в 1974–1983 годах БАМ протяженностью 3145 км от Усть-Кута до Комсомольска-на-Амуре. Но, кроме этого, в тринадцати приложениях к нему намечены меры для решения этой задачи и исполнители: сроки разработки проектов и ввода участков, энергоснабжение, финансирование, поставка строительного оборудования, льготы работающим, задание на подготовку молодых специалистов и еще одобрена инициатива ЦК ВЛКСМ, объявившая БАМ Всесоюзной ударной комсомольской стройкой.

К 30 мая 1975 года «Ленметрострой» («ЛМП») закончил разработку технических проектов Байкальского и Северомуйского тоннелей и передал их на экспертизу МПС СССР.

К 7 июля 1975 года выполнена экспертиза МПС этих проектов.

В 1975–1976 годах уже начато строительство Нагорного (1975 г.) и Байкальского (1976 г.) тоннелей. Объемы работ возрастают.

19 июля 1977 года издан приказ Минтрансстроя №83 об образовании Северобайкальского филиала «ЛМП» «Бамтоннельпроект» с целью решения возросших задач и приближения проектировщиков к стройке.

Вскоре прибыл первый контейнер из Ленинграда: мебель, канцелярия, затем и первая машина «УАЗ». Летом



Рис. 4. Первая делегация строителей и проектировщиков на Северомуйском хребте (Ангараканское седло). Лето 1973 г.

1978 года начинается врезка с порталов Северомуйского тоннеля диаметром 9,5 м и начинается проходка.

К дню комсомола в октябре 1978 года рельсы и поезд пришли с запада на перевал Даван, а через год – в Северобайкальск.

В ноябре 1978 года стартовала врезка второго и первого Мысовых тоннелей на побережье озера Байкал (рис. 8–9).

Строительство постоянно находилось под

контролем на всех уровнях, вплоть до самого верха: Главк, Минтрансстрой, Госстрой, Стройбанк СССР, Комитет народного контроля СССР, Комиссия Совмина.

В июле 1979 года комиссия Госстроя СССР, рассмотрев ход строительства тоннелей на месте строительства, отмечает, что на 01.01.1979 г. уже пройдено:

- по Байкальскому тоннелю – 2672 м, по штольне – 3375 м;
- по Северомуйскому тоннелю – 695 м, по штольне – 1017 м.

Отмечено отставание строительства.

Строительство магистрали шло полным ходом: западный участок до Тынды – организациями Минтрансстроя, восточнее Тынды – силами железнодорожных войск.

- Сложностей была масса:
- необжитость районов;
 - отсутствие дорог;
 - отсутствие энергоснабжения;
 - вопросы экологии (Ангара, Байкал);
 - суровость и сила природы, особенно в тоннелях: сейсмика, исключительно сложная геология, большое горное давление и при-



Рис. 5 Начало строительства западного portalного участка Байкальского тоннеля

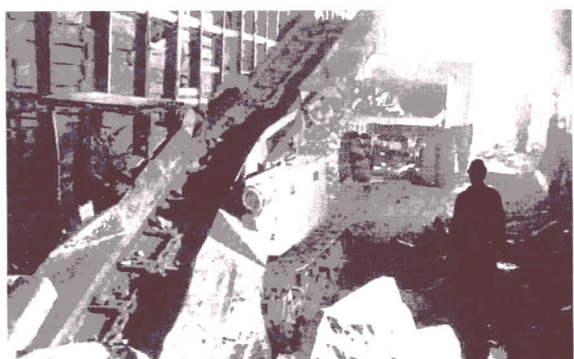


Рис.6. Начало строительства западного порталного участка Байкальского тоннеля

токи воды до 5000 м³/ч на забой при аварийных прорывах, с температурой воды от +10°C до +50°C.

Приходилось корректировать сроки ввода участков в эксплуатацию, несколько раз переутверждать проекты. Раз в квартал проходило заседание Комиссии Совмина по БАМ.

Прошли мы через суровые кабинеты министров, членов ЦК и Совета Министров – В.А.Брежнева, В.И.Долгих, Г.А.Алиева.

Оправдывались и доказывали свою правоту перед различными комиссиями. Так, одна из них (1984 г.) была в составе 51 человека, в их числе – 8 академиков, 22 доктора наук, 8 кандидатов наук. Сколько раз ставилась под сомнение возможность вообще построить Северомуйский тоннель!

Несколько раз (в 1938, 1940, 1947–1948, 1968–1970, 1976, 1984 гг.) поднимался вопрос о правильности выбора трассы Северомуйского тоннеля (всего было 30 вариантов).

«Ленметрогипротранс» и «Сибгипротранс» обвиняли в «основной ошибке проектировщиков (которых надо было обезвредить!), сравнимой с диверсией, об осуществлении которой только могла мечтать иностранная разведка». Но всегда удавалось доказать, что трасса выбрана оптимально на последующую многовековую эксплуатацию БАМ.

Чтобы скорее ввести БАМ в эксплуатацию, барьерные места обходили. Так были построены временные обходы Байкальского и Кодарского тоннелей. На Северомуйском тоннеле две обходные трассы – с уклонами 40% и 18% (с двумя тоннелями). Действовал обход и вокруг Мысовых тоннелей, где трасса

железнодорожной шла вдоль берега Байкала рядом с автодорогой.



Рис.7. Врезка на Мысовом тоннеле №1

БАМ строила вся страна: Минтрансстрой, железнодорожные войска, республики и города-шефы стройки. Комсомольцы и несоюзная молодежь, коммунисты и беспартийные. На БАМ трудились стройотряды вузов, там проходили практику студенты, будущие строители.

В сентябре 1984 года был забит «золотой костыль» и магистраль начала свою жизнь, правда, пока еще без Северомуйского тоннеля, с обходной трассой длиной 54,7 км и двумя тоннелями на ней. БАМ – это:

- 3110 км трассы;
- 4616 км путей, в том числе 3390 км – главных;
- 1595 мостов, в том числе 113 шт. больших;
- 10 тоннелей общей длиной всех выработок около 60 км.

А что означало проектирование тоннелей БАМ для нас – проектировщиков?

1. Это – колоссальный опыт проектирования в любых, самых сложных условиях.

2. Это – работа над проектами с использованием иностранной техники (проходческой и для спецработ), купленной в странах Европы, Азии и Америки.

3. Это – создание на основе «Бамтоннельстроя» различных строительных организаций по всей стране, и со всеми мы умели работать, имели хорошие взаимоотношения (Новосибирск, Екатеринбург, Дальний Восток, Юг, Казань и др.)

4. Это – огромный опыт и закалка кадров в работе на месте строитель-



Рис. 8. Стела Мысовым тоннелям

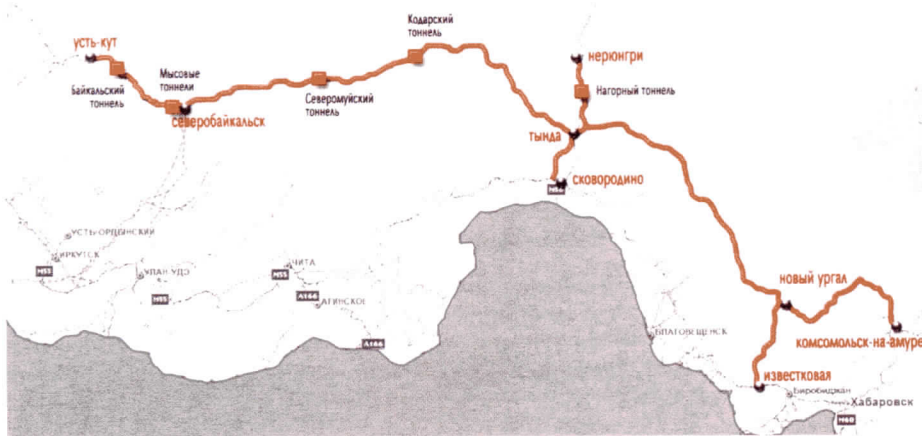


Рис.9. Схема расположения тоннелей по трассе БАМ

ства, в авторском надзоре и многочисленных комиссиях и экспертизах.

5. Это – огромный интеллектуальный потенциал, сконцентрированный в наших архивах, в наших умах. Это только чертежей «ЛМП» – «ЛМГТ» около 12 тысяч.

Это для многих из нас молодость, первая или вторая, это целая жизнь! 84 человека нашего института награждены медалью «За строительство БАМ», несколько человек – орденами, 5 человек – М.Л.Покрывалов, А.И.Салан, К.П.Безродный, А.Н.Соловьев, Н.И.Кулагин награждены Премией Совета Министров СССР (1991 г.) «За разработку и реализацию прогрессивных технических решений по строительству горных железнодорожных тоннелей в особо тяжелых инженерно-геологических и сейсмических условиях».

Большая удаленность (несколько сотен километров) от транспортных магистралей, горный рельеф по трассе тоннелей, сложнейшие инженерно-геологические и гидрогеологические условия не позволяли на стадии изысканий дать полную информацию по условиям сооружения тоннелей (рис. 10). Поэтому было очень важным разработать методы, позволяющие уточнить инженерно-геологические и гидрогеологические условия впереди забоя

тоннеля, для выбора оптимальных технологий сооружения тоннелей.

Были разработаны на уровне изобретений два геофизических метода. Один основан на регистрации естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Было выяснено, что при проходке тоннеля, когда зона концентрации напряжений в массиве (зона опорного давления) попадает в пред-

разломную зону, электромагнитная имиссия (ЭМИ) увеличивается, затем при продвижении забоя, когда зона опорного давления попадает в разлом (зона дезинтеграции грунтов) ЭМИ падает (рис. 11) [1]. Второй метод – это сверхширокополосная (СШП) георадиолокация (рис. 12, 13). С помощью этого метода определяли положение, размер тектонических разломов, в частности в 4-й тектонической зоне Северомуйского тоннеля [2]. Следует отметить и разработку критериев необходимости инъекционного закрепления зон тектонических разломов на Северомуйском тоннеле. Критериями являлись параметры опережающего бурения из забоя, которые базируются на скорости бурения, величине гидростатического давления, объемах водопритоков, на объеме и характере выходящего шлама поинтервално из скважины [3].

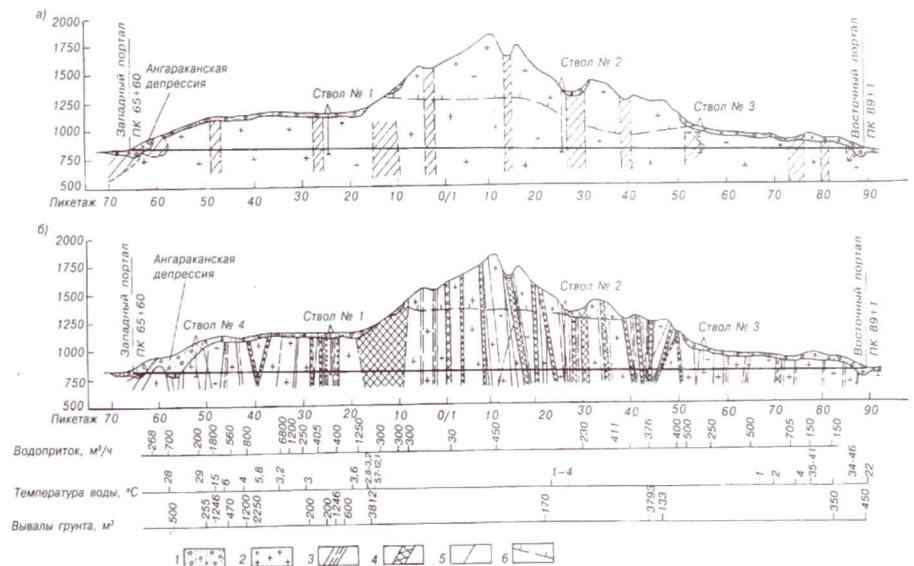


Рис. 10. Геологические разрезы по трассе Северомуйского тоннеля, выполненные до и после проходки:

1 – рыхлые четвертичные образования; 2 – граниты конкудеро-мамаканского комплекса кембрийского возраста; 3 – зона сильнотрещиноватых до раздробленности пород; 4 – дробленные породы с тектоническими глинами, дезинтегрированными до щебня, дресвы и песка, мощностью более 5 м; 5 – то же мощностью менее 5 м (в среднем 3 м); 6 – граница многолетней мерзлоты



Конечно, к таким сложным инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, как на Северомуйском тоннеле, наша тоннелестроительная отрасль была не готова. Не было нормативно-технических документов. Поэтому решения приходилось принимать по ходу возникновения проблемы. Для ускорения принятия решений приказами Министра путей сообщений СССР и Министра транспортного строительства СССР был создан на месте строительства временный научно-технический коллектив (ВНТК). Руководителем ВНТК был начальник «Бамтоннельстроя» В.А.Бессолов, заместителем по строительству – главный инженер «Бамтоннельстроя», по проектированию – начальник «Бамтоннельпроекта», по научно-исследовательским работам – начальник филиала (лаборатории) ЦНИИС, заместителем от заказчика – начальник Северобайкальской группы заказчика.

ВНТК было дано право на месте строительства принимать решения по технологии проходки, финансового обеспечения, разработке необходимой проектной и нормативно-технической документации.

Основные препятствия представляли зоны тектонических разломов, сложенные дезинтегрированными до песка и глины грунтами при гидростатическом давлении до 5 МПа. Причем из 15,3 км длины Северомуйского тоннеля зоны разломов занимали 2,6 км.

Непосредственно на строительстве тоннеля разработкой технологии закрепления грунтов разломов занимались фирмы и организации: «Солетанш» (Франция), «Кокен Боринг» (Япония), «Спецтампонажгеология» (Украинская ССР), институт химии высокомолекулярных соединений (ИХВС)

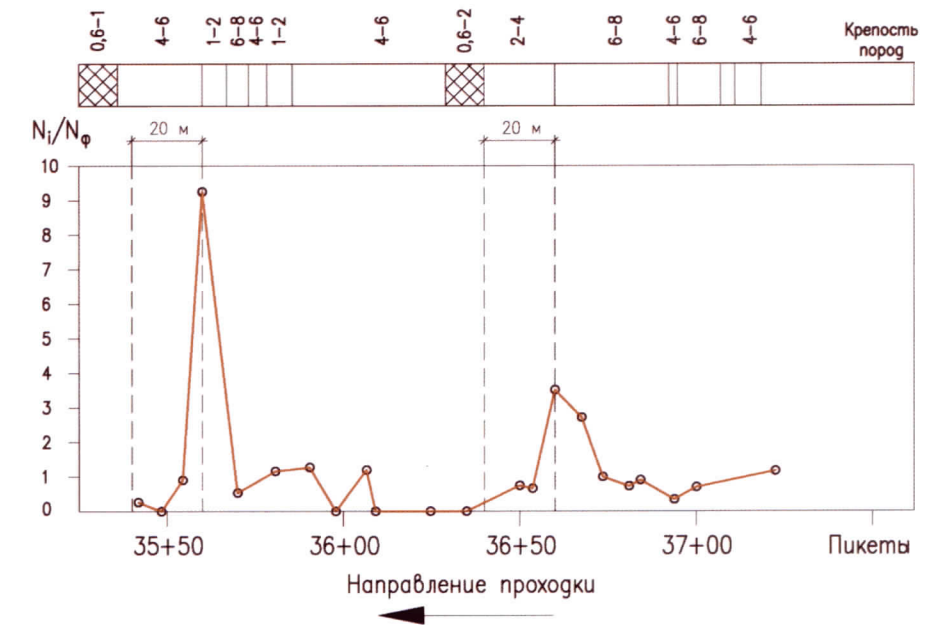


Рис. 11. Опережающая разведка методом регистрации ЕИЭМПЗ в забое ТРДШ Северомуйского тоннеля

АНУССР, «Ленметрогипротранс», ЦНИИС. «Солетанш» использовал технологию манжетных колонн, гидро-разрыв и фильтрационную пропитку, «Кокен Боринг» – прямое инъектирование наступающими заходками для создания армированного прожилками раствора грунта. В обоих случаях применяли растворы на основе цемента. «Спецтампонажгеология» с глинистыми растворами для водоподавления в трещиноватых скальных грунтах не смогла решить задачу в дезинтегрированных грунтах разломов. ИХВС АНУССР использовал для закрепления грунтов экзотические и дорогие растворы на основе полиизоцианата и олигоэфирокрилата, которые оказались чрезвычайно дороги, экологически опасны и нетехнологичны. Должного успеха не получилось.

Специалисты «Ленметрогипротранса» разработали проект замораживания водонасыщенных грунтов разлома жидким азотом (рис. 14). В общем, получилось. Но были проблемы:

- деструктуризация грунтов при замораживании и последующем оттаивании;
- вывод газообразного азота из подземных выработок.

«Бамтоннельстрой», лаборатория ЦНИИС и «Бамтоннельпроект»



Рис.12. Пример выполнения ЭМИ СШП зондирования в забое

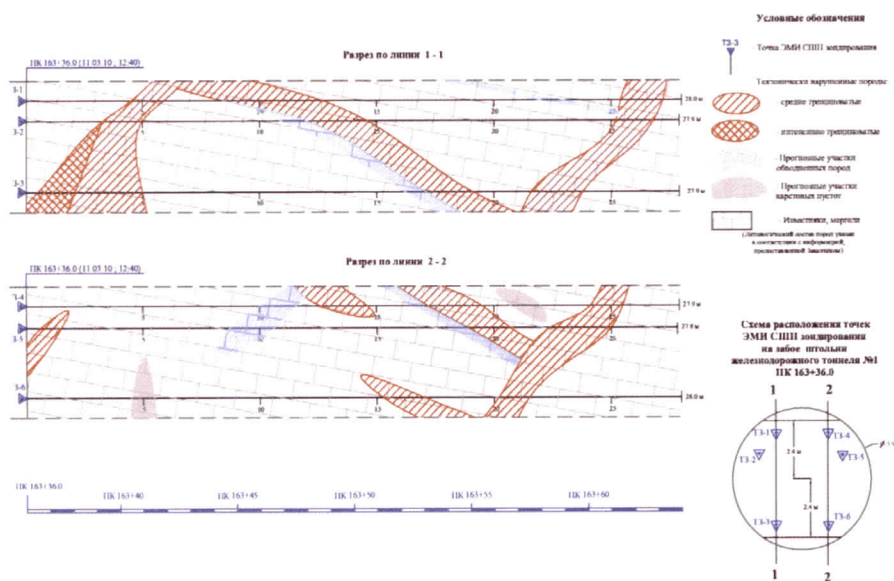


Рис. 13. Прогнозный разрез по штольне железнодорожного тоннеля

пошли по другому пути. В результате проведенных исследований и опытных работ стало ясно, что наибольшего эффекта при инъекцион-

ном закреплении грунтов можно добиться путем их консолидационного уплотнения и создания армирующих грунт затвердевших прожилок рас-

твор (рис. 15) [4, 5]. Был разработан цементнохлоркальциевый раствор, где хлоркальциевая компонента имеет вязкость, сравнимую с водой и при инъектировании пропитывает мелкодисперсные составляющие разлома. Давление при инъектировании доходило до 15÷20 МПа. После создания впереди забоя вокруг будущего тоннеля зоны закрепленных грунтов по ее внешней границе бурят дренажные скважины для снятия гидростатического давления [4]. Исследования показали, что интегральный модуль деформаций инъекционно закрепленного грунта в 1,5÷2.0 раза выше, чем в природном состоянии. Гидростатическое давление на закрепленный грунт с помощью дренажных скважин удавалось снизить до 0,1÷0,2 МПа.

Для ускорения инъекционного закреплении разлома были использованы камуфлетные взрывы, с помощью которых в дезинтегрированных водонасыщенных грунтах образовывали горизонтальные цилиндрические полости за контуром будущего тоннеля, которые мгновенно заполняли твердеющим раствором (рис. 16) [6].

По результатам теоретических исследований инъекционно закрепленных грунтов был разработан метод расчета косвенно армированных грунтов прожилками раствора с использованием методов механики сплошной среды [7].

По трассе Северомуйского тоннеля со стороны западного портала был встречен мощный грабен (Ангараканская депрессия) длиной по трассе тоннеля 800 м, над шельгой свода 190 м, заполненный четвертичными водонасыщенными отложениями с гидростатическим давлением на уровне тоннеля 1,5 МПа.

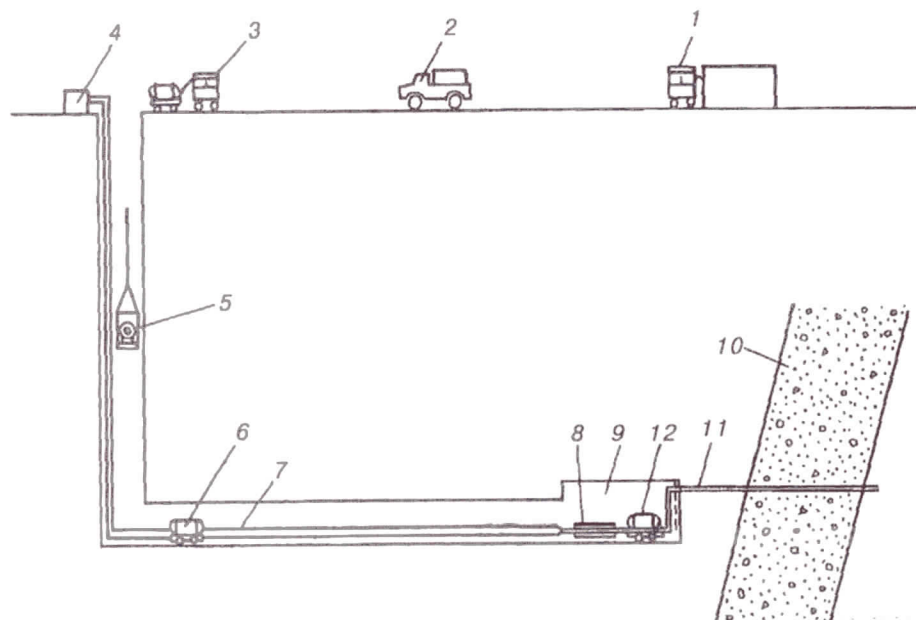


Рис. 14. Схема расположения оборудования и устройств при азотном замораживании грунтов

- 1 - автоцистерна на заправке; 2 - автоцистерна переезжает к рабочему столу;
- 3 - перелив азота из автоцистерны в цистерну; 4 - вентилятор; 5 - спуск цистерны с жидким азотом в клету; 6 - транспортировка цистерны по штольне (тоннелю);
- 7 - вентиляционная труба; 8 - труба газосброса с обогревом в камере;
- 9 - призабойная камера; 10 - разлом; 11 - замораживающая скважина;
- 12 - цистерна в момент слива азота в скважину



После исследований, опытных откачек, был разработан проект комплексного водопонижения (рис. 17) в Ангараканской депрессии для сооружения транспортно-дренажной штольни (ТРДШ) и тоннеля [8]. Вдоль трассы тоннеля и штольни были пробурены вертикальные скважины ниже лотка тоннеля и штольни. В них установили насосы глубинного водопонижения с мощными фильтровыми колоннами, которые осуществляли водопонижение с поверхности над тоннелем.

Из ТРДШ была пройдена наклонная штольня в скальных грунтах под тоннель и ТРДШ. Эта штольня имела несколько боковых камер, из которых с помощью двухшпиндельных станков фирмы ТОНЭ-БОРИНГ (Япония), были пробурены в четвертичных отложениях горизонтальные скважины, оснащенные фильтрами. Вода из этих скважин попадала в водоотводный лоток ТРДШ и уходила на западный портал тоннеля. Такое комплексное водопонижение позволило снизить уровень грунтовых вод ниже лотка тоннеля и успешно осуществить его сооружение.

Достаточно успешно при строительстве тоннелей БАМ был применен разработанный для различной степени дезинтеграции грунтов впереди забоя, опережающий забой экран из труб (рис. 18,19) [9].

Большой объем внедрения этого метода был осуществлен при проходке двухпутных мысовых тоннелей на озере Байкал. Тоннели расположены по берегу Байкала и находятся на 50 м выше уровня воды в озере. Поэтому депрессионная поверхность находится ниже лотка тоннелей, грунты по трассе тоннеля сухие, не считая инфильтрационных вод. Грунты разной степени трещиноваты, имеются

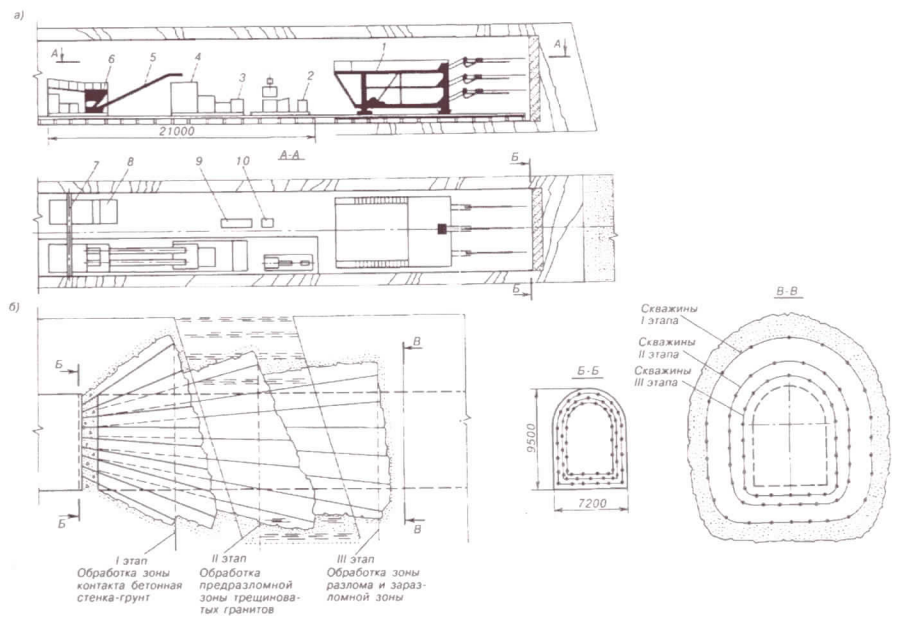


Рис. 15. Технологическая схема №4 упрочнения грунтов инъекцией твердеющих растворов:

а – расположение оборудования; **б** – расположение скважин; 1 – буровая рама «Фурукава» или «Тамрок»; 2 – насос КМ-9Т или РGW-40TV; 3 – насос НБЗ-120/40, РН-15; 4 – установка приготовления раствора; 5 – шнек; 6 – бункер-накопитель цемента; 7 – тельфер ТЭ 320-521; 8 – МOАЗ 64011-9585; 9 – емкость для жидкого стекла; 10 – емкость для воды

протяженные участки дезинтегрированных грунтов. Предварительно были проведены теоретические, стендовые и натурные исследования. В результате было изучено напряженно-деформированное состояние экрана из труб в зависимости от продвижения забоя [10]. Получено, что трубы вступают в работу на расстоянии диаметра тоннеля впереди забоя и на этом расстоянии реализуется около 40% смещений контура будущего тоннеля. Экраны из труб применяли и при строительстве Северомуйского тоннеля, на ТРДШ и самом тоннеле при незначительном гидростатическом давлении.

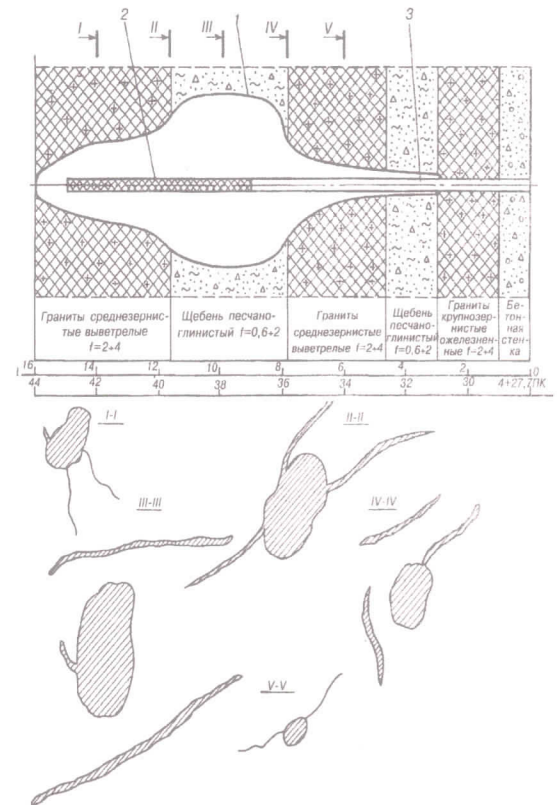


Рис. 16. Схема образования полости при взрыво-инъекционном упрочнении грунтов

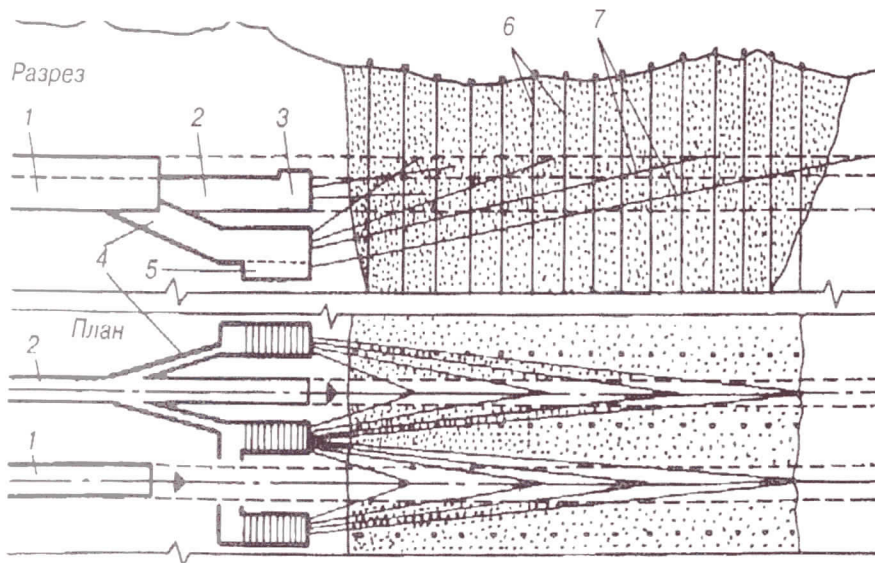


Рис. 17. Схема Ангараканской депрессии с системой комплексного водопонижения:
 1 - тоннель; 2 - разведочная транспортно-дренажная штольня; 3 - камера для бурения скважин; 4 - выработки нижнего дренажного узла; 5 - зумпф; 6 - скважины водопонижения верхнего узла; 7 - скважины водопонижения нижнего узла

Большие исследования были проведены по конструкциям крепей и обделок тоннелей.

Во-первых были уточнены деформативно-прочностные характеристики скальных грунтов разной степени трещиноватости,

изучены природные поля напряжений. Отмечено, что в крепких скальных грунтах прочностью на одноосное сжатие 120÷160 МПа возводили монолитную бетонную обделку прочностью 30 МПа. Этого требовали нормативные докумен-

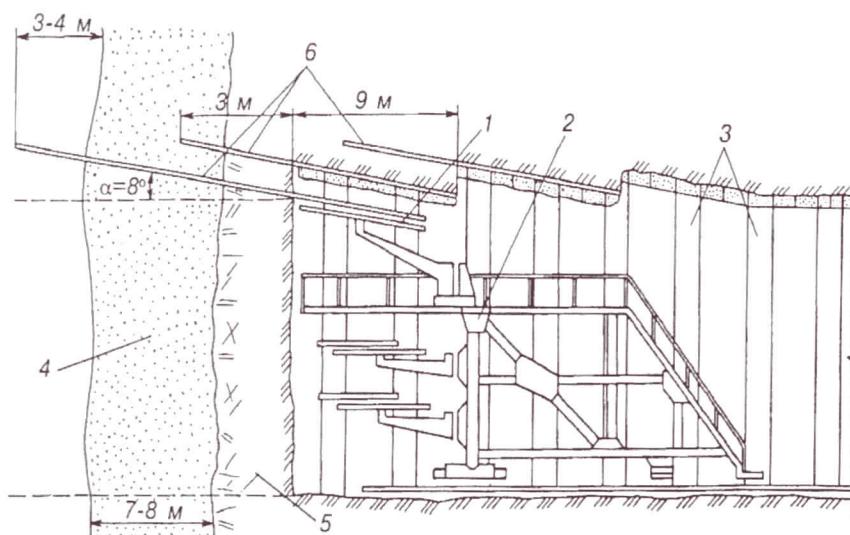


Рис. 18. Схема устройства опережающих экранов из труб с использованием буровых рам:

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

ты. Более того, по датчикам, установленным в обделке во время ее бетонирования в опалубке, получили следующую картину. Во время гидротации цемента бетон разогревается до $+50 \div 60^\circ\text{C}$. В это время бетон имеет большую податливость и возникающие температурные напряжения невелики. Затем происходит набор прочности бетона, увеличение модуля деформации и его охлаждение до температуры окружающей среды. Благодаря неровностям грунтового контура после буровзрывных работ и хорошей адгезии бетона к грунту в обделке возникают растягивающие напряжения. В районах, где существуют значительные градиенты суточных и сезонных температур, напряжения, складываясь с существующими, формируют напряженно-деформированное состояние (НДС) обделки, которое в основном вызвано температурными воздействиями [11]. Такого эффекта не возникает в набрызгбетонных обделках, которые возводятся послойно, имеют меньшую толщину и соответственно в них возникают гораздо меньшие температурные напряжения.

В 1979 году на Байкальском тоннеле со стороны западного портала был сооружен 30-метровый опытный участок постоянной обделки в набрызгбетоне, который без нарушений служит по сегодняшний день. Практически по всей длине ТРДШ Байкальского и Северомуйского тоннелей, за исключением зон разломов, обделка выполнена в набрызгбетоне [12]. Эти исследования показали, что напряжения в слаботрещинчатых крепких скальных грунтах, вызванные сооружением тоннеля и ТРДШ, воспринимаются вмещающим массивом, а в обделке

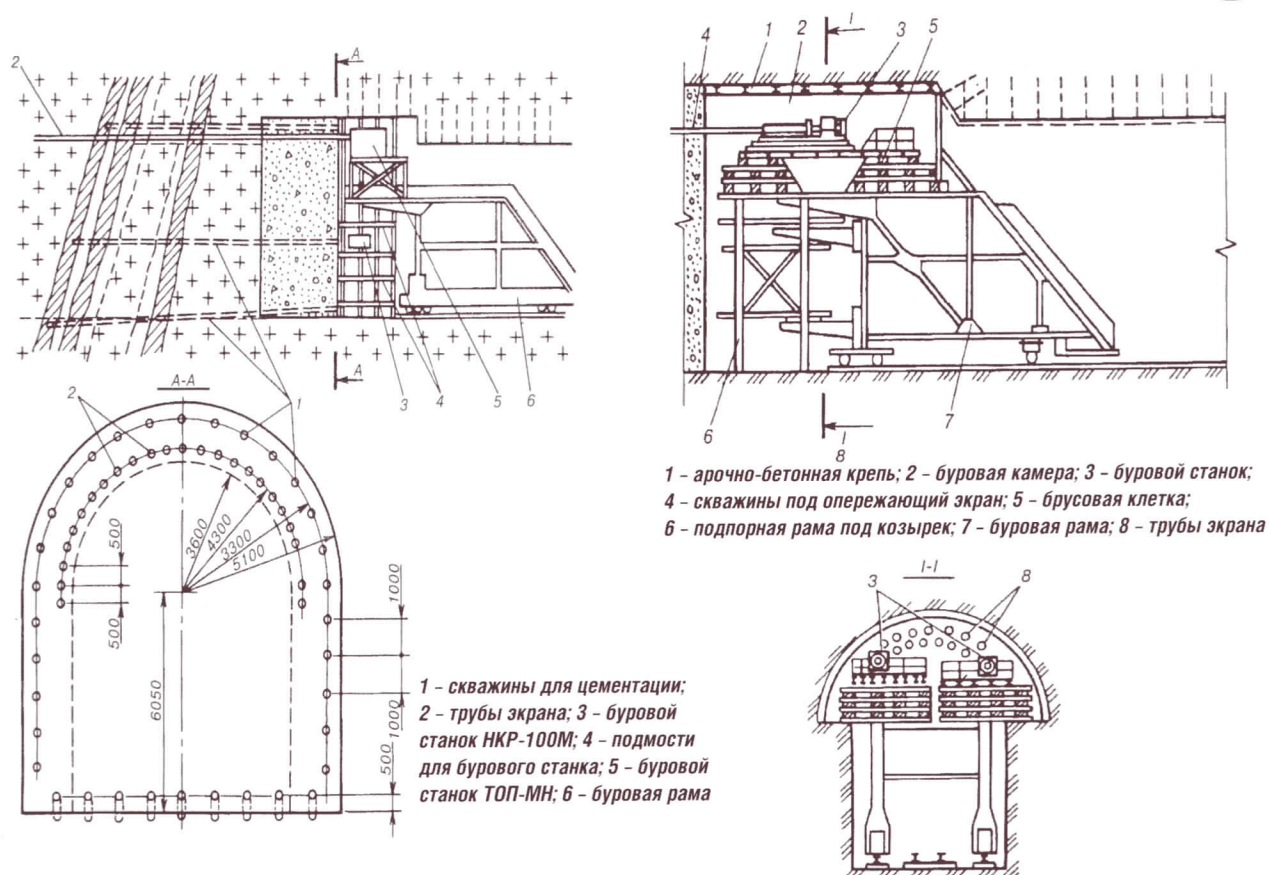


Рис. 19 Схема устройства защитного экрана с использованием станков БАМ-2

действуют напряжения, вызванные температурными воздействиями. При уровне действующих напряжений скальный массив работает без нарушения сплошности. Причем в набрызгбетонных обделках напряжения незначительны, благодаря их малой толщине и послойного нанесения, что приводит к небольшим температурным градиентам по их толщине.

В монолитных бетонных обделках растягивающие напряжения близки к пределу прочности бетона.

Для сооружения тоннелей в сильнотрещиноватых и дезинтегрированных грунтах тектонических разломов, была разработана технология проходки с применением арчно-бетонной крепи (рис. 20) [13]. Затем на основании выполненных исследо-

ваний, была разработана конструкция двухслойной обделки [14]. Наружным слоем этой обделки была арчно-бетонная крепь, которая учитывалась при расчете постоянной обделки. Причем конструкция такой обделки такова, что на внутренний слой растягивающие напряжения при землетрясениях не передаются. Такие сейсмостойкие обделки были сооружены на двухпутных мысовых тоннелях и однопутном – Северомуйском (рис. 21).

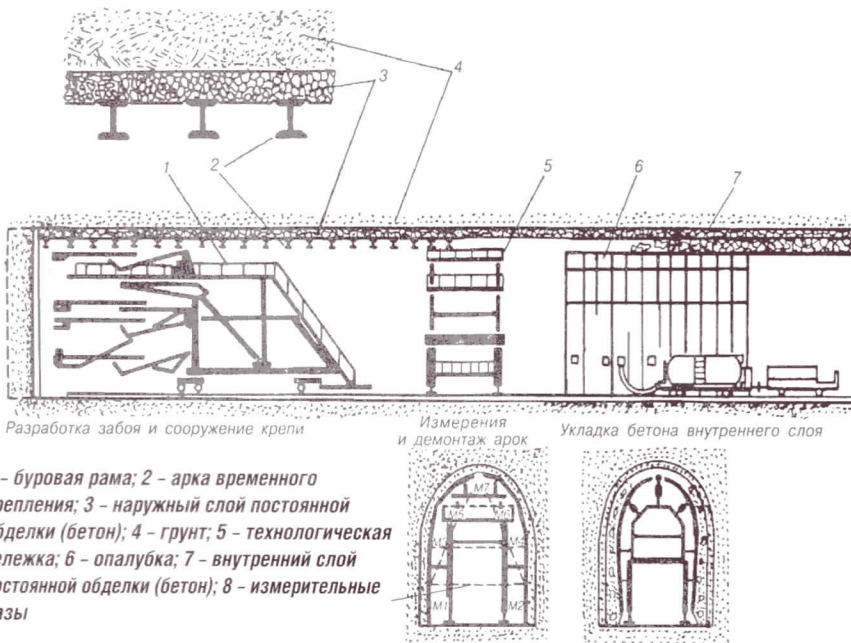
При строительстве тоннелей БАМ были встречены и вечномёрзлые грунты, где были разработаны специальные технологии.

Таким образом, сложнейшие условия строительства тоннелей БАМ стали толчком для создания новых технологий и конструкций, а тонне-

лестроительная отрасль СССР приобрела новый технический уровень и высококвалифицированных специалистов в тоннелестроении.

Литература

1. Басов А.Д., Безродный К.П. «Обнаружение зон разломов бесконтактным методом». – Метрострой. – №2, 1991г., с.24–25
2. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Горин Г.Г., Козик Н.В., Куксин В.А. – «Определение необходимости упрочнения грунтов зон тектонических нарушений». – Транспортное строительство – №5, 1989г., с. 18–20
3. Болтинцев В.Б., Ильяхин В.Н., Безродный К.П., Нагорный С.Я., Крикленко К.А., Скаун А.П. – «Геофизические методы для оценки инженерно-геологических условий и устойчивости пород впереди забоя во время сооружения тоннеля». – М., 28–31 октября 2002г., с. 441–445



1 - буровая рама; 2 - арка временного крепления; 3 - наружный слой постоянной обделки (бетон); 4 - грунт; 5 - технологическая тележка; 6 - опалубка; 7 - внутренний слой постоянной обделки (бетон); 8 - измерительные базы

Рис. 20 Технологическая схема проходки тоннеля с арчнобетонной крепью

4. Руководство по физико-химическому укреплению грунтов при строительстве Северомуйского железнодорожного тоннеля. – М., ЦНИИС, 1989г., 143с.

5. Безродный К.П., Мацегора А.Г., Бессолов В.А., Касапов Р.И. «Технология преодоления зон тектонических разломов с применением инъекционного укрепления грунтов». –

Научно-технический информационный сборник. – М., ВПТИ Трансстрой, №22, 1990, с.3–14

6. Безродный К.П., Мацегора А.Г., Бессолов В.А., Басов А.Д., Нестеровский А.Л. – «Упрочнение грунтов с использованием энергии взрыва». – Транспортное строительство – №10, 1988г., с.27–29

7. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Саммаль А.С., Фотиева Н.Н. – «Проектирование и технология инъекционного закрепления грунтов при строительстве транспортных тоннелей». – ОАО «Ленметрогипротранс». М., 1997, 90 стр.

8. Мацегора А.Г., Безродный К.П., Бессолов В.А., Грибарь А.В. – «Комплексное водопонижение при преодолении протяженных зон водонасыщенных грунтов». – Научно-технический информационный сборник. М., ВПТИ Трансстрой, №22, 1990, с.5–20

9. Рекомендации по применению опережающих экранов из труб при сооружении транспортных тоннелей. ЦНИИС, М., 1988, 47 стр.

10. Власов С.Н., Безродный К.П., Сильвестров С.Н., Бессолов В.А. – «Проходка тоннелей большого сечения с применением опережающей крепи». – Транспортное строительство, 1985, №8, с.22–24

11. Трунев В.Г., Горбатов В.Г., Безродный К.П. – «Исследование температурных полей системы обделка породы тоннелей БАМ». – Сб. научных трудов ЦНИИС «Рациональное использование трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов в транспортном строительстве», ЦНИИС, М., 1984, с.37–41

12. Рекомендации по применению набрызгбетона в качестве постоянной обделки тоннелей БАМ. Сильвестров С.Н., Безродный К.П. М., ЦНИИС, 1984, 17 стр.

13. Рекомендации по проектированию и строительству тоннелей с применением арчно-бетонной крепи, учитываемой в составе постоянной обделки. М., ВНИИТС, 1992, М., 51 стр.

14. Бессолов В.А., Безродный К.П. Строительство тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. – Подземное и шахтное строительство. – №3, 1991, с.17–20.

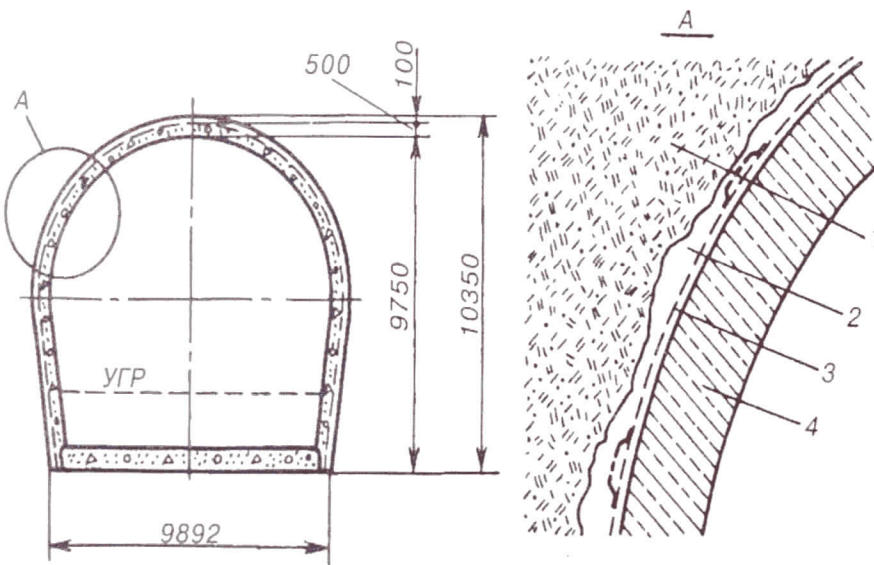


Рис. 21 Двухслойная обделка с гидроизоляцией (антиадгезионной обмазкой): 1 - грунт; 2 - первичный бетонный слой; 3 - гидроизоляция; 4 - внутренний несущий слой

**ПОЗДРАВЛЯЕМ ВСЕХ
ПРИЧАСТНЫХ К СТРОИТЕЛЬСТВУ
БАМ С 45-ЛЕТИЕМ НАЧАЛА
СТРОИТЕЛЬСТВА!**