

Вариант тоннельного перехода на остров Сахалин

Николай КУЛАГИН,
Владимир МАСЛАК,
Константин БЕЗРОДНЫЙ,
Михаил ЛЕБЕДЕВ,
ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Идея строительства постоянного перехода на остров Сахалин выдвигалась еще в конце XIX века. Однако из-за экономической нецелесообразности и дефицита средств в то время она так и не была реализована. Страна вернулась к вопросу реализации этого проекта лишь в 50-х годах XX века.

Постановление Совета Министров СССР о строительстве железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре – остров Сахалин с тоннельным переходом через Татарский пролив в районе мыс Лазарев – мыс Погиби вышло 5 мая 1950 года под № 1795-702сс. В 1952 году было начато строительство тоннеля. Однако работы были прекращены в 1953 году.

На территории Хабаровского края было построено 120 км железнодорожного полотна широкой колеи по правому берегу Амура от станции Селехин до станции Черный мыс, которую в дальнейшем использовали для вывоза древесины. Кроме того, на мысе Лазарев, откуда предполагалось прокладывать тоннель, был пройден ствол шахты, а в 1,6 км от берега был создан искусственный остров диаметром 90 м.

В 2001 году Гипротранс ТЭИ ОАО «РЖД» подготовлено «Обоснование инвестиций в строительство железнодорожной линии материк – остров Сахалин с тоннельным

(мостовым) переходом через пролив Невельского и развития (модернизация) железнодорожной сети острова Сахалин.

В августе 2013 года Президентом Российской Федерации Владимиром Путиным дано поручение на разработку технического задания на строительство перехода с материка на остров Сахалин. А уже в ноябре 2013 года консорциум ведущих транспортных институтов страны – Институт экономики развития транспорта, Совет по изучению производительных сил и институт «Гипростроймост», подготовили техническое задание на проектирование постоянного перехода с материка на остров Сахалин, о чем было доложено Президенту Российской Федерации Владимиру Путину в декабре 2013 года.

В соответствии с проектом общая протяженность новой железнодорожной линии «Селихин – Ныш» между материком и островом Сахалин по варианту перехода через пролив Невельского по створу «Средний» с мостовым переходом составляет 585,3 км, а с тоннельным переходом 581,7 км.

Стоимость строительства железнодорожной линии «Селихино-Ныш» с мостовым переходом может составить 386,6 млрд.рублей, с тоннельным переходом – 387,05 млрд.рублей (в ценах 2013 года), а сроки строительства с тоннелем – 9 лет и мостом 7,5 лет.

Стоимость разработки проектно-сметной документации проекта «Селихин – Ныш» – 18,2 млрд.рублей (в ценах 2013 года).

В комплексном проекте железнодорожного соединения о.Сахалин с единой транспортной сетью страны (проект строительства железно-

дорожной линии Селехино – Ныш) барьерным, наиболее сложным и дорогостоящим, объектом является строительство постоянного перехода через Татарский пролив в наиболее его узком месте (пролив Невельского) в районе мыса Лазарев (материк) – мыс Погиби (о.Сахалин) (рис. 1). Поэтому, выбор вариантов технических решений и конструкций инженерных сооружений транспортного перехода имеет решающее значение при определении экономической оценки всего проекта в целом в период строительства и эксплуатационной эффективности и надежности в последующем. На выбор вариантов инженерных сооружений транспортного перехода через пролив Невель-

ского огромное влияние оказывают сложные инженерно-геологические и природно-климатические условия района предстоящего строительства и последующей эксплуатации.

В инженерно-геологическом плане это мощный слой (до 300 м) донных осадочных отложений с низкой несущей способностью, а также высокая сейсмическая активность в районе строительства с вероятностью землетрясений до 9 баллов по шкале Рихтера. Для гидрологии пролива характерны периодические изменения направленности течений с переносом значительных масс донных отложений в прибрежных зонах. В осенне-зимний период частые штормовые явления создают небла-

Варианты транспортного обслуживания в сообщении материк – о. Сахалин



Рис. 1. Железнодорожная линия материк – остров Сахалин («Селихин – Ныш») с транспортным переходом через пролив Невельского



гоприятную ледовую обстановку и обледенение судов, а также береговых инженерных конструкций.

Климатические условия

Климат района работ является муссонным. Характеризуется господствующими ветрами северных направлений в зимний период и южных – в летний.

Осадки. Среднегодовое количество осадков составляет 736 мм, максимальное – 1416 мм; суточное измеренное – 80 мм. 61 % осадков выпадает в теплое время года (май-октябрь). Снежный покров устанавливается в конце октября и достигает в феврале – марте 35-40 см (максимально 74 см). Гололедные явления наиболее часты в апреле – мае, толщина гололедных стенок достигает 20-25 см.

Температуры. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 2,2 °С, минимальная – минус 47 °С (январь), максимальная – плюс 31 °С, самой холодной пятидневки – минус 30 °С.

Ветры. В зимний период повторяемость ветров северного и северо-западного направлений составляет 53-54 %, южных – 24-25 %. В теплое время года, наоборот, преобладают южные и юго-западные ветра (45-46 %). Ветры слабые и умеренные (до 10 м/с) наблюдаются в 78 % случаев ветреных дней, штормовые (более 15 м/с) – 45-47 дней в году. В зимнее время (декабрь-январь) ветры могут достигать силы до 27-29, при порывах до 45-46 м/с.

Гидрологический режим

Уровень воды в проливе определяется приливо-отливными, сгонно-нагонными и сейшевыми явлениями. Наибольшая величина приливов

(по астрономическим условиям) достигает 2,20-2,25 м при средней величине 1,50-1,55 м; максимальное нагонное повышение уровня при штормовых ветрах северного направления – 0,8 м. Понижения сгонного характера значительных изменений уровня воды не вызывают, поскольку определяются лишь ростом атмосферного давления. Сейшевые колебания уровня могут достигать 0,45-0,50 м с периодом от 8 до 30 мин.

В Балтийской системе высот средний уровень составляет 0,22, экстремальные 2,62 и минус 1,03 м.

Волновой режим в проливе умеренный. Повторяемость ситуаций с высотой волн более 1,0 м составляет 22 %. Максимальная высота волны достигает 2,70 м (1 раз в 50 лет). Волны цунами в вершину Татарского пролива не проникают.

Течения на участке пролива Невельского носят преимущественно реверсивный характер с некоторым преобладанием южных направлений – к Японскому морю. Продолжительность направленных в одну сторону течений при исключительно высоких нагонах может достигать 92 часов.

Наибольшие скорости течения наблюдаются в глубоководной части пролива (желоба). Они достигают при отсутствии льда в приповерхностном слое 2,35 м/с, у дна – 1,8 м/с. При полном замерзании пролива максимальные скорости формируются в 2-3 м от дна и составляют 1,3 м/с. По мере уменьшения глубин в проливе уменьшаются и скорости течения.

Ледовый режим участка строительства является наиболее суровым из всех районов Татарского пролива. Ледообразование начинается в конце

октября – начале ноября и в сжатые сроки охватывает почти всю акваторию. Неподвижный лед в середине ноября закрепляется в виде прочного устойчивого припая на мелководьях и быстро распространяется к центру бассейна. Полное замерзание пролива Невельского происходит лишь через 2-2,5 месяца после появления припая у берегов.

Наибольшего развития ледяной покров достигает в начале апреля; толщина льда у берега составляет 1,3-1,4 м, а в суровые зимы 1,6-1,7 м, в районе глубоководного желоба от 0,4-0,5 до 0,8-0,9 м. Ледяные торосы возникают вдоль бровок фарватера или на отмелях. Их высота в отдельных грядах может достигать 3 м.

Признаки разрушения льда появляются в апреле, в первую очередь разрушаются торосы. Окончательно припай разрушается к началу третьей декады мая. Плавающий лед наблюдается до конца мая – начала июня. Возможен дрейф ледяных полей протяженностью до 1 км под действием приливных течений и ветра. Максимальная скорость дрейфа 2,5 м/с. Расчетная прочность крупных дрейфующих льдин (на одноосное сжатие) при неблагоприятном стечении условий определена в 4,7 МПа.

Толщина льда, примерзающего к гидротехническим сооружениям, по наблюдениям в соседних районах, соизмерима с толщиной местного припая (1,5-1,7 м).

Физико-химические свойства морской воды

Режим солености воды в проливе Невельского и ее химический состав весьма изменчивы в течение года. В период летнего муссона соленость составляет 1,5-2,5 при максимуме – 3,44 %, в зимнее время она падает до 0,2-0,6 %, при минимуме до

0,04 %. Эта закономерность может искажаться приливно-отливными явлениями, и сильно распресненные воды или воды повышенной солености могут наблюдаться в любой из месяцев года.

Среднемесячные значения температуры воды колеблются от 17,5 до минус 0,2 °С, экстремальные измеренные значения составляют 23,8 и минус 1,2 °С. Температура воды выше 0 °С в течение года имеет повторяемость около 51 %.

Химический состав воды крайне непостоянен. В отдельные периоды года суммарное содержание растворенных солей может достигать 34-34,5 г/л. Морская вода с такой минерализацией по СНиП 2.03.11-85* является: сильноагрессивной к бетону железобетонным конструкциям с водопроницаемостью W16 на портландцементе и шлакопортландцементе и среднеагрессивной на сульфатостойком цементе (т.6); для арматуры железобетонных конструкций при постоянном погружении – слабоагрессивной и сильноагрессивной при периодическом смачивании (т.7); для металлических конструкций – среднеагрессивной (т.26).

Из возможных вариантов строительства искусственных сооружений, применимых в рассматриваемых условиях в различных предпроектных проработках, выполненных в 50-60-е годы и затем с 90-х годов прошлого века по настоящее время, рассматривались:

- 1) мостовые переходы различных конструкций;
- 2) сплошная дамба или в сочетании с мостовым переходом;
- 3) тоннельный вариант с проходкой тоннеля ТПМК;
- 4) тоннельный вариант мелкого заложения с использованием сбор-

ных железобетонных опускных секций.

У каждого из рассматриваемых вариантов есть преимущества и недостатки, в частности:

1. Мостовые переходы различных конструкций

1.1. Наличие мощных донных отложений потребует возведение промежуточных русловых опор большой высоты (размещение основания опор в донных осадочных отложениях и обеспечение подмостового габарита прохода судов до 70 м, с общей высотой опоры от основания опоры до низа пролета более 100 м).

1.2. Возможное воздействие ледовых нагрузок на опоры моста в разных направлениях неизбежно потребует создание равнопрочности опоры в направлениях вдоль и поперек моста, аналогично плавучим буровым установкам.

1.3. Возможное обледенение конструкций пролетных строений в осенне-зимний период потребует дополнительное их усиление с учетом нагрузок, сопоставимых с нагрузкой самих конструкций и переменной от подвижного состава. В процессе эксплуатации вполне вероятны дополнительные затраты по содержанию пролетных строений.

1.4. Высокая сейсмическая активность района строительства потребует дополнительное усиление всех конструкций мостового перехода, включая опоры и пролетные строения.

2. Дамба

Вариант строительства дамбы даже с частичным мостовым пролетом был отклонен в свое время в связи с непредсказуемостью экологических последствий в целом для Татарского пролива и изменением гидрологии всей его акватории.

3. Тоннельный вариант с проходкой тоннеля ТПМК

Данный вариант в 50-е годы был детально проработан в проектах и даже было положено начало его реализации, однако наличие слабых осадочных пород потребовало значительного заглубления тоннеля, но и при этом проходку предполагалось осуществлять кессонным способом (под избыточным давлением, исключающим поступление морских и грунтовых вод). Этот вариант будет рассмотрен ниже.

4. Тоннельный вариант мелкого заложения с использованием сборных железобетонных опускных секций

Вариант строительства тоннельного перехода с использованием опускных секций впервые в мире осуществлен в 1910 году под рекой Детройт между США и Канадой для двухпутной железной дороги. Первый и последующие тоннели, американские инженеры проектировали и строили в виде двойных стальных оболочек. Первый тоннель из опускных секций в Европе сооружался с 1937 по 1942 годы вблизи Роттердама (Нидерланды). Именно с этого тоннеля (рис. 2) началась новая эпоха строительства тоннелей из железобетона.

Этот вариант отличает высокая технологичность с изготовлением сборных железобетонных секций с массой до 55000 тонн и габаритными размерами – длина 176 м, в поперечном сечении 42 м. Большое сечение секции позволяет разместить все необходимые элементы перехода – автомобильную дорогу, железную дорогу, коммуникации, сервисные и эвакуационные проходы (рис. 2).

Технология сооружения тоннеля с использованием сборных железобе-



Рис. 2. Подготовка секции тоннеля к транспортировке

тонных опускаемых конструкций предполагается:

- 1) создание сборных железобетонных секций тоннеля в сухом доке;
- 2) создание траншеи по дну пролива для размещения тоннеля;
- 3) вывод секций к месту монтажа с использованием положительной плавучести секции (рис. 3);
- 4) установка (затопление) секций на отсыпанную поверхность, стыковка и герметизация стыка;
- 5) откачка воды из стыковой камеры (рис. 4);
- 6) защитная обсыпка тоннеля грунтом;
- 7) устройство проезжей части, верхнего строения пути, эксплуатационных устройств, коммуникаций.

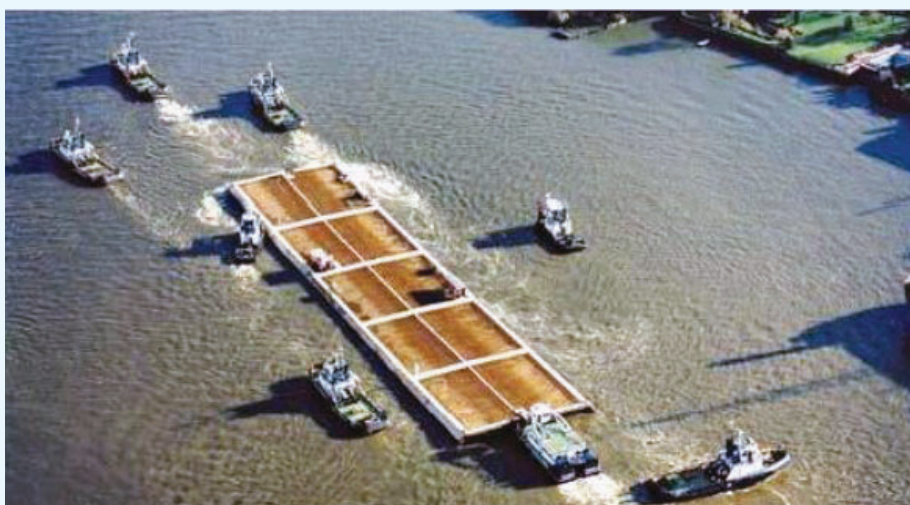


Рис. 3. Транспортировка секции тоннеля к месту установки

Изготовление секций осуществляется в заводских условиях на берегу на стапелях с последующим выводом на понтонах к месту установки на оси тоннеля. Соединение секций осуществляется с помощью водонепроницаемых соединительных замков, выдерживающих давление до 3-5 атмосфер. Кроме того, усовершенствование замков соединения может компенсировать сейсмическое воздействие между секциями, что дает возможность строительства с использованием данных конструкций тоннеля в районах с высокой сейсмической активностью. Перед укладкой секций по оси тоннеля выполняются работы по подготовке основания с устройством подушки фундамен-

та из гидротехнического бетона (рис. 5). Низкое удельное давление от секции на основание при большой площади опирания позволяет устраивать их на донных грунтах даже с относительно низкой несущей способностью.

Вынос основных работ по изготовлению конструкций в заводские условия позволяет обеспечить высокое качество изготовления конструкций и свести к минимуму трудоемкие гидротехнические работы, что, в свою очередь, снижает общую стоимость и сроки всего строительства. К примеру, срок строительства тоннеля протяженностью 3,5 км в проливе Орезунд составил 2,5 года.

Равномерное расположение стыковых компенсирующих устройств по всей длине тоннеля позволяет воспринимать сейсмические нагрузки при распространении сейсмической волны вдоль оси тоннеля, а обсыпка всей конструкции тоннеля в донной траншее позволяет воспринимать сейсмические нагрузки в поперечном сечении.

Переход под проливом Невельского располагается в весьма сложной с геологической точки зрения пограничной зоне между двумя крупнейшими геоструктурными провинциями: Центрально-Евро-Азиатской на западе и Тихоокеанской на востоке. Каждая из провинций представлена соответственно Буринско-Сихоте-Алиньским и Курильским регионами. Граница между провинциями в районе перехода имеет меридиональное направление и проходит по проливу Невельского.

Пролив Невельского (рис. 6) ограничен с запада широко вытянутым полуостровом, врезающимся в Татарский пролив и имеющим при-

мерно десятикилометровую извилистую береговую линию с общим направлением с севера на юг. Участок берега, примыкающим собственно к проливу Невельского, ограничен с севера мысом Лазарева, а с юга – мысом Муравьева.

Наиболее активны в сейсмо-тектоническом отношении зоны растяжений по окраине континента, в том числе район перехода через пролив Невельского.

Пересечь Татарский пролив предусматривается в наиболее узкой его части – проливе Невельского, при ширине морской поверхности 7,8 км и максимальной глубине 24 м (рис. 7).

Возможные варианты трассы тоннельного перехода были проработаны в 1950 – 2000 гг. при составлении технического проекта строительства линии Комсомольск-Победино:

- вариант «Северный» (мыс Лазарева – мыс Погиби) длиной 13 км;
- вариант «Средний» (мыс Средний – мыс Погиби) длиной 11,7 км;
- вариант «Южный» (мыс Муравьева – мыс Уанги) длиной 11,5 км.

Из трех вариантов трассы тоннельного перехода был принят к проработке, как и в 1950-х – 2000 годах, вариант «Средний» от м. Средний к м. Погиби. По нему имеются наиболее полные материалы инженерно-геологических изысканий, а также отсыпанные в море грунтовые дамбы, которые позволяют несколько ускорить начало строительства. В 1993 году «Научно-технической ассоциацией ученых и спе-

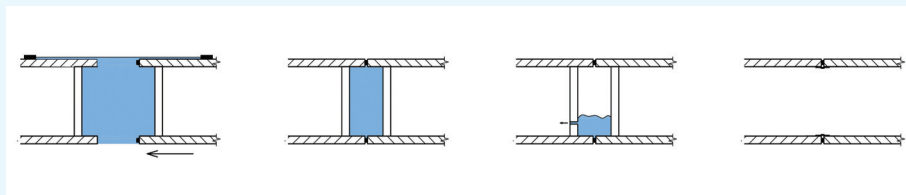


Рис. 4. Схема стыковки секций тоннеля и его осушение

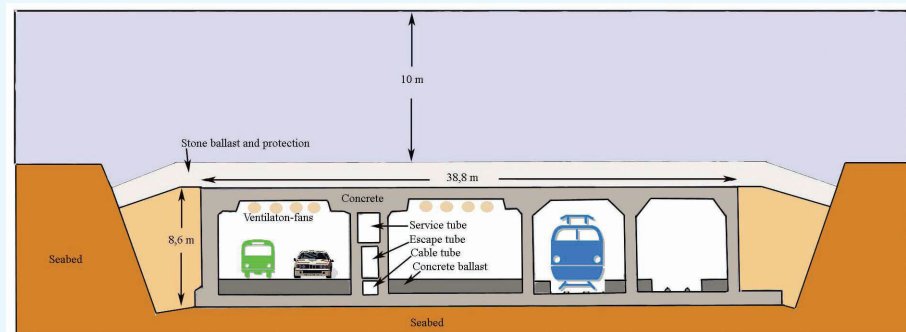


Рис. 5. Сечение тоннеля в эксплуатации

циалистов транспортного строительства» Академии транспорта РФ были выполнены проработки вариантов конструктивно-технологических решений по строительству тоннеля.

Два мыса пролива Невельского с геологической точки зрения резко

различные. Западный материковый берег у полуострова Лазарев, возвышенный и сложен прочными коренными породами.

Восточный берег пролива Невельского представляет собой обширное низменное пространство. Этот участок сложен аллювиаль-



Рис. 6. Тоннельный вариант перехода через пролив Невельского

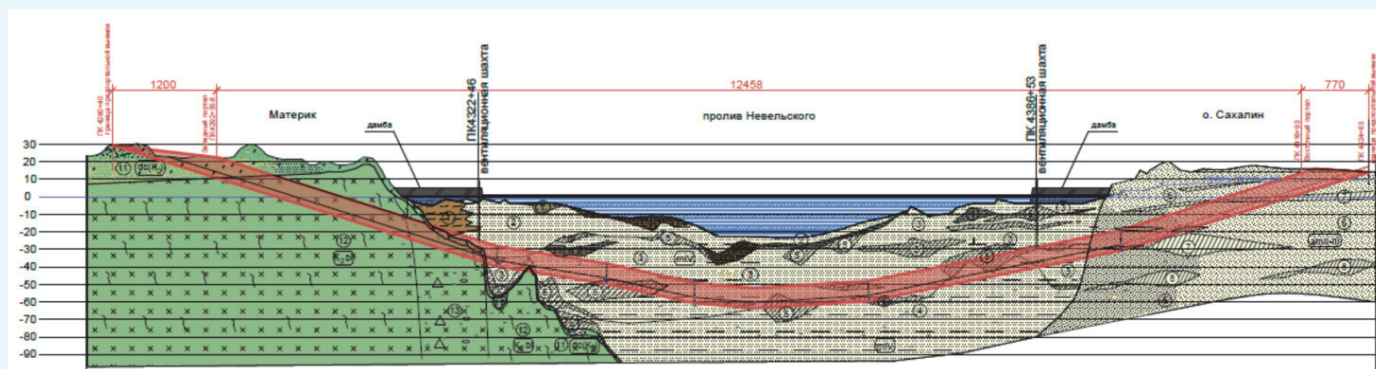


Рис. 7. Продольный профиль на геологическом разрезе

ными отложениями четвертичного возраста – песками различной крупности с прослоями супесей и суглинков с включениями гравия, гальки и редких валунов и прослоями погребенного торфа. Суммарная мощность отложений составляет сотни метров.

Непосредственно зона самого пролива сложена морскими отложениями четвертичного возраста.

С целью определения наиболее эффективных конструктивных и технологических решений по сооружению тоннельного перехода непосредственно под проливом, рассматривались следующие варианты его сооружения:

Вариант I. Тоннель $D_n = 9,5$ м и сервис-тоннель $D_n = 5,5$ м со щитовой проходкой.

Вариант II. Тоннель $D_n = 11,5$ м со щитовой проходкой.

Вариант III. Тоннель из опускных секций.

Вариант IV. Тоннельно-мостовой переход.

Вариант V. Комбинированный тоннель с обделками из опускных секций на береговых участках и кругового очертания в русловой части.

В 2007 г. ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» на стадии инвестиций в строительстве выполнил два варианта сооружения тоннеля:

- опускные секции;
- ТПМК с пригрузом забоя.

Сооружение тоннеля опускными секциями в зависимости от створа, стоит 231527,73÷289575,41 млн.руб. Срок строительства 5÷6,5 лет. Сооружение тоннеля с помощью ТПМК стоит 171809,24÷184763,26 млн.руб. в зависимости от створа пересечения прилива. Срок строительства 9 лет 5 мес.÷9 лет 6 мес.

Как наиболее эффективный был принят вариант тоннеля большого поперечного сечения со щитовой проходкой.

Подводный тоннель большого диаметра $D_{вн} = 11,5$ м разделен на два отсека (рис. 8). В транспортном отсеке предполагается движение поездов и размещен служебный проход. Двухэтажный технологическо-эвакуационный отсек отделен от транспортного отсека внутренней стеной. Между транспортным и технологическо-эвакуационным отсеками устраиваются тамбур-шлюзы. В нижней части тоннеля предусмотрено устройство коммуникационного коллектора.

Обделка тоннеля двухслойная, рассчитана на сейсмическое воздействие – 9 баллов. Наружный слой – сборная железобетонная обделка кругового очертания, собирается из водонепроницаемых высокоточных

блоков. По внутреннему контуру наружного слоя обделки для исключения проникновения воды, предусматривается замкнутая пленочная гидроизоляция. Внутренний слой обделки – монолитная железобетонная обойма.

Внутренний диаметр железобетонной оболочки 9800 мм предусматривает размещение в его пределах габарита приближения строений «С» по ГОСТ 9238-83, водоотводящих лотков, сантехнического и электро-технического оборудования и коммуникаций, а также устройств сигнализации, связи и вентиляции.

Сооружение тоннеля предусматривается с использованием специальных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя. Встречная проходка ведется двумя комплексами на полное сечение с одновременным монтажом сборной железобетонной обделки со скоростью 350-400 м/мес. После встречи двух ТПМК под землей, производится стыковка двух оболочек комплексов при помощи спецспособов (замораживание, цементация заобделочного пространства).

Для обеспечения проходки тоннеля на предварительно намывтых дамбах длиной около 1 км на каждом

берегу пролива сооружается 2 ствола диаметром 5,5 метра, глубиной до 40 метров. Строительство тоннельного перехода, учитывая современное технологическое оборудование, составит 4,5-5 лет.

Скорость передвижения по железнодорожному переходу составит до 120 км/час.

Преимущества тоннельного варианта транспортного перехода:

- значительная независимость эксплуатации от природно-климатических условий по сравнению с мостом;
- тоннели значительно безопаснее в эксплуатации;
- тоннельный вариант менее подвержен терроризму;
- стоимость эксплуатации транспортного перехода (как показывает опыт эксплуатации объектов-аналогов в г. Хабаровске) по тоннельному варианту ниже, подземные сооружения менее подвержены нарушениям при землетрясениях, чем наземные, в частности – мосты.

Поэтому в суровых природно-климатических и сложных инженерно-геологических условиях при высокой сейсмической опасности следует отдать предпочтение тоннельному варианту, как наиболее надежному при эксплуатации.

Данный вариант тоннеля предусматривает перевозку через тоннель грузовых и легкового автотранспорта на специальных платформах и в вагонах, что облегчает при электрической тяге поездов режим вентиляции тоннеля, но требует организации на каждом из берегов перегрузочных станций.

Данная схема хорошо зарекомендовала себя при эксплуатации уже в течение более 24 лет Евротоннеля между Англией и Францией.

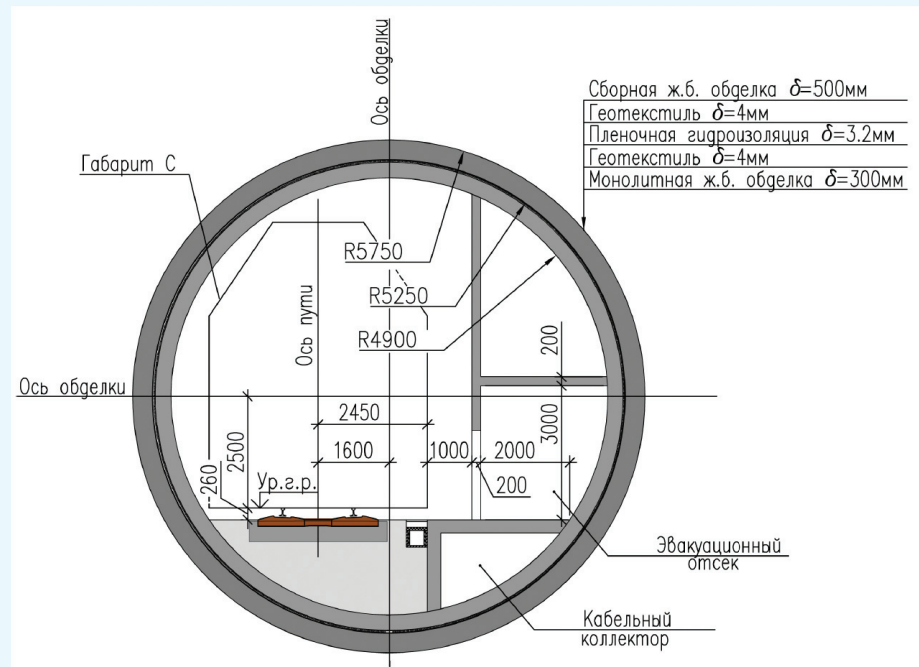


Рис. 8. Поперечное сечение железнодорожного тоннеля

Прогресс в изготовлении и использовании тоннелепроходческих механизированных комплексов с пригрузом забоя в последние четверть века, при оценке различных вариантов сооружения перехода под Невельским проливом, позволяет с уверенностью утверждать о преимуществах тоннельного варианта перед мостовым.

По данным Института экономики и развития транспорта, с появлением перехода материк-остров, который ускорит развитие Хабаровского края и Сахалинской области, перевозки по линии Селихин-Ныш могут возрасти до 9,2 млн. т. в год. Это относительно немного, поэтому эксперты предлагают привлекать на трассу, выходящую на БАМ и Транссиб, транзит из Японии. Если же Сахалин будет соединен еще и с японским островом Хоккайдо (в качестве объекта рассматривается тоннель), возникнет трансконтинентальный коридор Япония – Россия – ЕС, что обеспечит дополнительный приток

грузов и поможет скорее окупить проект. В данном случае ежегодные перевозки, по разным оценкам, могут возрасти до 33-40 млн.т.

В настоящий момент российский остров Сахалин и японский Хоккайдо, имеющие железнодорожную сеть, разъединяет пролив Лаперуза. Длина пролива составляет 94 км, ширина в самой узкой части – 43 км.

Мировой опыт тоннелестроения показывает, что это не критическая длина. Так, железнодорожный тоннель между островами Хонсю и Хоккайдо составляет 54 км. Открытый в 1988 году Сэйкан стал самым длинным подводным железнодорожным тоннелем в мире и держит этот рекорд до сих пор. Тоннель под проливом Ла-Манш длиной 51 км между Англией и Францией, из которых 39 км – под проливом Ла-Манш, свидетельствует о высоком уровне развития науки и техники тоннелестроения и о возможности реализации еще более грандиозных тоннельных проектов.