



# Переход через пролив Невельского: возможные решения



Валерий КРУГЛОВ  
Valery M. KRUGLOV

Евгений КУРБАЦКИЙ  
Evgeny N. KURBATSKIY



Виталий ГОППЕ  
Vitaly R. HOPPE

Антон ТОМИЛОВ  
Anton A. TOMILOV



## Crossing over Nevelski Strait: Possible Solutions

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 50)

**Продолжая научные исследования, которые российские транспортные вузы ведут уже многие годы в целях реализации перспектив железных и автомобильных дорог восточного направления [1], авторы статьи предлагают свой вариант решения проблемы транспортного перехода через пролив Невельского с материка на остров Сахалин. Обосновывают варианты и подходы, оценивают альтернативу «мост–тоннель», имея в виду проекты с высокой степенью инженерной проработки, экологической безопасности, экономической готовности и инвестиционной ответственности.**

Ключевые слова: транспортный переход, морской пролив, Сахалин, тоннель, мост, инженерно-геологические условия, проектная альтернатива.

*Круглов Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

*Курбацкий Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор МИИТ, Москва, Россия.*

*Гоппе Виталий Рейнгольдович – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.*

*Томилов Антон Алишерович – аспирант МИИТ, Москва, Россия.*

Согласно известным литературным источникам, Сахалин был открыт казаками из отряда Ивана Москвитина в XVII веке. В конце XVIII века Жан-Франсуа Лаперуз, двигаясь на север по Татарскому проливу, обнаружил, что пролив становится все мельче и мельче. Отсутствие морского течения привело Лаперуза к выводу, что Сахалин на севере соединяется с материком. Такой вывод был подтвержден в дальнейшем англичанином В. Брайтоном и русским мореплавателем И. Ф. Крузенштерном. Только в 1849 году Г. И. Невельскому удалось пройти по воде вдоль всего западного побережья Сахалина.

После признания Сахалина островом шли дискуссии, каким образом объединить его с материком.

Были разные проекты:

- шлюзово-турбинно-клапанная плотина (гидроэлектростанция);
- дамба (плотина) со шлюзовым устройством для прохода судов;
- подводный тоннельный переход;
- мостовой переход.

Инженерно-геологические условия на возможных участках транспортного перехода для материковой и островной частей резко отличаются. На материке преобладают магматические горные породы, на острове — осадочные, уходящие в проливе на глубину десятков метров. Разное геологическое строение материковой и островной частей пролива предполагает наличие тектонического разлома (не исключено, даже нескольких). Высокая сейсмичность региона (более восьми баллов) несет большую вероятность сдвиговых явлений по разломам, что должно быть учтено при разработке проектов транспортного перехода.

Природно-климатические факторы, которые тоже определяют условия строительства, особенно в зимний период, весьма суровые: штормовые ветра, метели, интенсивные снегопады, обледенение конструкций, ледовые явления.

Гидрологическая обстановка характеризуется сменой направления течения в проливе, высокой его скоростью, приливами, отливами, значительными аллювиальными отложениями и их размывами.

В ранее проведенных геологических, гидрометрических изысканиях намечено три створа мест расположения транспортных переходов (рис. 1). В 2013 году «Гипростроймостом» предложен створ «новый».

Продольные профили по оси створов — «средний», «южный» и «новый» — приведены на рис. 2. Для дальнейшей разработки институтом «Гипростроймост» принят створ «средний» как имеющий некоторую симметрию и минимальную протяженность. Там же выполнены предварительные проектные эскизы однопутного железнодорожного моста [2].

Предложения ориентированы на конструкции решетчатых ферм. В первом варианте принята схема с использованием

двух неразрезных пролетных строений (2х330 м); девяти неразрезных пролетных строений (2х220 м); двух однопролетных ферм длиной 220 м; одного однопролетного строения длиной 110 м и двух балочных пролетных строений по 33,6 м. Полная длина моста составляет 5948,04 м. Число промежуточных опор — 26.

Во втором варианте: два неразрезных пролетных строения (2х330 м); шесть неразрезных пролетных строений (2х220 м); 17 однопролетных ферм длиной 110 м и два балочных пролетных строения по 33,6 м. Полная длина моста — 5960,04 м. Число промежуточных опор — 34.

По нашему мнению, оба варианта в таком исполнении не решают всех проблем надежного сообщения на многие годы между материком и островом. Здесь должны быть приняты конструкции транспортных коммуникаций, обеспечивающие двухпутный пропуск железнодорожного подвижного состава, а также необходимых автомобильных потоков.

В принципе конструктивные решения пролетных строений первого варианта (по своим размерам: высота ферм, расстояние между их осями) пригодны для устройства второго яруса под автомобильное движение, а внутренние габариты могли бы обеспечить двухпутное железнодорожное сообщение.

Второй вариант по своим характеристикам не подходит для такого решения, поскольку типовые 110-метровые пролетные строения по своим габаритам предназначены для однопутных мостов. Увеличенное по сравнению с первым вариантом число промежуточных опор (с 26 до 34 единиц) вызовет сложные эрозионные процессы в русле, и как они скажутся в дальнейшем на аллювиальных отложениях в проливе — непредсказуемо.

Оба варианта не отвечают внешним природно-климатическим факторам.

Во-первых, неизбежно сильное льдонамерзание на многочисленных элементах решетчатых пролетных строений в зимний период.

Во-вторых, значительная сейсмическая активность региона при возможных землетрясениях может породить сдвиг тектонических плит материковой и островной частей. По крайней мере, мы не должны от-



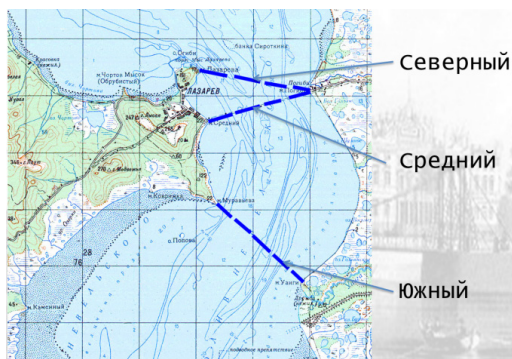


Рис. 1. Створы транспортных переходов.

вергать это предположение, способное повлиять на срок службы искусственного сооружения.

Если вопросы льдонамерзания будут сняты, то, по нашему мнению, в конструкции моста целесообразно использовать неразрезные пролетные строения (2х330 м), что сократит число промежуточных опор до восемнадцати.

Решение обозначенных проблем может быть достигнуто, полагаем, и за счет других проектных схем, в том числе уже известных в мировой практике. Тектонические разломы в зоне транспортного перехода как угрозу гасят кабельными (висячими) или гибридными кабельно-вантовыми (рис. 3) системами. Проведенные нами исследования показали, что такие системы являются эффективными для пропуска железнодорожной нагрузки при пролетах в тысячу и более метров.

В мировой практике мостостроения запроектированы, построены и строятся десятки кабельных трехпролетных мостов с центральными пролетами от 1000 до 2000 м и более [3]. Ряд из них обеспечивает пропуск совмещенного (автодорожного и железнодорожного) движения. В настоящий момент через пролив Босфор строят третий гибридный кабельно-вантовый мост с центральным пролетом 1408 м (см. рис. 3), который предусматривает двухпутное железнодорожное сообщение и четыре полосы автодорожного движения в каждом направлении.

Проблемы обледенения конструкций легко снимаются путем укладки греющих кабелей вдоль основных несущих элемен-

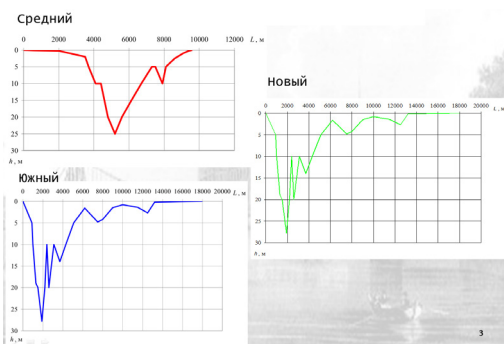


Рис. 2. Продольные профили по оси створов.

тов. В балках жесткости проектируются закрытые полости, продуваемые при необходимости теплым воздухом (рис. 4).

Расчетная нагрузка от подвижного состава железных дорог при конструировании мостов может быть снижена с 14-го до 12-го класса по специальным техническим условиям.

При любых вариантах мостовых переходов следует иметь полную и достаточно объективную информацию о разломах (расположение и глубина их распространения) в месте намечаемого строительства.

Транспортное пересечение морского пролива должно регламентироваться нормативными документами [4, 5], в которых оговорены условия для объектов, сооружаемых в районах (зонах) сейсмичностью 7 баллов и более. В соответствии с пунктами 7.5.1 и 7.9.1 СП 14.13330.2014 [5] при выборе трассы транспортных переходов необходимо избегать пересечений зон тектонических разломов. Хотя нельзя не понимать, что такая рекомендация практически почти нереализуема. Все крупные реки протекают в местах тектонических разломов, а проливы, как правило, совпадают с активными и неактивными их зонами.

Возможность пересечения тоннелем тектонических разломов, согласно [5], допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании и неизбежном увеличении сечения обделки.

В принципе тоннельный переход может быть выполнен в двух вариантах.

**Вариант 1.** Транспортный переход сооружается тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК).



**Рис. 3. Гибридный кабельно-вантовый мост через пролив Босфор.**

Одно из возможных решений — строительство трех тоннелей: двух транспортных однопутных железнодорожных и сервисного малого диаметра.

В данном случае схема взаимного расположения конструктивных элементов будет аналогична схеме, использованной на переходе под проливом Ла-Манш (рис. 5).

Автотранспорт перевозится по железной дороге на платформах.

Исходя из геологического строения массива на предполагаемой трассе тоннельного перехода реализуется примерно следующая схема организации строительства.

Подрусловую часть и участки, примыкающие к зонам открытого вида работ, предлагается сооружать щитовым способом встречными забоями (проходка должна одновременно вестись с островной и материковой сторон) при помощи ТПМК типа миксцит (*mixschild*).

Тоннельные обделки комбинированные: из сборных высокопрочных железобетонных блоков с полимерными уплотнителями в стыках, а также из сборных чугунных тюбингов (в местах примыкания к тоннелям сбоек и притоннельных сооружений). Во всех случаях дополнительно нужна внутренняя гидроизоляция с поддерживающей несущей защитной монолитной железобетонной рубашкой.

ТПМК типа миксцит имеет герметичную призабойную камеру с комбинированным типом пригруза забоя — разработка грунта может производиться с гидравлическим пригрузом, с системой поддержания давления на забой при помощи сжатого воздуха, с грунтовым пригрузом, а также (как при открытой выемке скальных пород) с транспортировкой разработанного грунта конвейером.

В данном случае необходимо использовать миксциты двух модификаций:

— для проходки с материковой части — миксцит должен быть оснащен грипперным устройством под условия разработки грунтов в твердых породах;

— для проходки с островной части — таким же устройством, но в расчете на грунты в осадочных горных породах.

Технология щитовой проходки многократно апробирована (отечественные тоннелепроходческие организации имеют немалый опыт проектирования и строительства). В таком исполнении тоннель не оказывает существенного влияния на окружающую природную среду и практически не зависит от природно-климатических условий. Конструкции тоннельных обделок и характер их заложения на большую глубину в однородную тектоническую плиту обеспечивают им высокую сейсмостойкость. Впрочем, надо подчеркнуть, что при щитовой проходке увеличивается длина тоннеля.

*Вариант 2.* Водная преграда преодолевается при помощи устройства тоннельных конструкций из опускных секций.

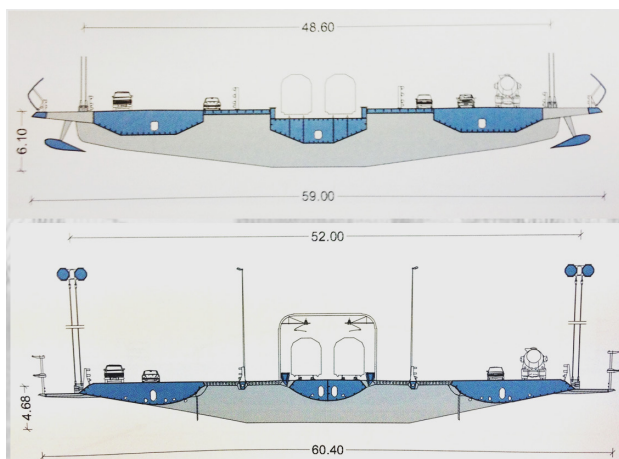
Первый тоннельный переход из опускных секций в Европе сооружался с 1937 по 1942 год вблизи Роттердама (Нидерланды). Теперь эта технология в мировом тоннелестроении широко известна.

В России имеется небольшой опыт сооружения тоннельного перехода из опускных секций. В 80-е годы прошлого столетия таким способом был построен тоннель в Ленинграде на Канонерский остров. Он состоит из шести секций длиной по 110 м, сечением  $13,2 \times 7,9$  м.

Большое количество построенных и эксплуатируемых в мире транспортных переходов, включающих тоннели



**Рис. 4. Варианты проезжей части.**



из опускаемых секций, свидетельствует о преимуществах таких проектов по сравнению с другими типами подобных сооружений [6-8].

1. Одно из первых преимуществ заключается в том, что детально разработаны все этапы строительства: сооружение секций, их транспортировка к месту погружения, способы погружения.

2. Одновременное производство большого количества секций тоннеля на берегу и совмещение по времени этапов строительства (сооружение секций, подготовка траншеи, транспортировка секций) позволяют существенно ускорить темпы работ, используя при этом технологические достижения, свойственные современному производству железобетонных изделий.

3. Сечение тоннеля из опускаемых секций не должно быть обязательно цилиндрическим (как это требуется при щитовой проходке), есть возможность сооружать тоннели с различными формами поперечных сечений.

4. Тоннели из опускаемых секций допустимо строить при любых типах грунтов, включая и мягкие аллювиальные, так как давление секций на грунт вследствие большой площади опирания незначительно отличается от давления замещенного тоннелем грунта.

5. Тоннельный переход из опускаемых секций короче перехода, сооруженного при помощи ТПК.

При реализации тоннельного перехода из опускаемых секций, по сути, следует решить две проблемы.

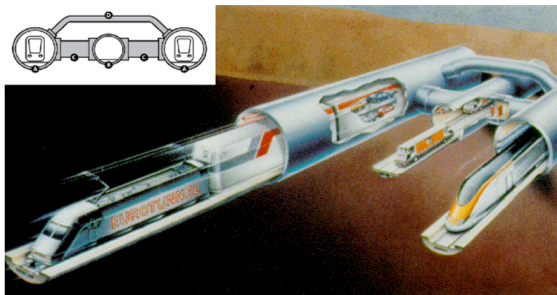
Во-первых, необходимо исключить деструктивное влияние сооружаемого

объекта на гидрологические явления в проливе (размывы аллювиальных отложений, изменение скоростей разнонаправленных течений), что достигается за счет заглубления тоннелей и последующей засыпки грунта до отметки, соответствующей первоначальному уровню дна пролива. Возможно также придание секциям внешней обтекаемой эллипсоидной формы.

Во-вторых, воздействие сдвигов в зоне разломов можно уменьшить, используя специальные прокладки между секциями, обеспечивающие герметичность, относительные смещения и повороты торцов секций тоннелей без повреждения, либо предусматривая пересечения разломов в односекционном исполнении с предварительным обжатием напрягаемой арматурой (защищенной от коррозии).

По оценке реакций на землетрясения мостов и тоннелей надо прежде всего констатировать следующее. Собственные частоты колебаний мостов могут попасть в область доминирующих частот землетрясений, что чревато возникновением резонансных явлений, способных повредить сооружение даже при слабых сейсмических воздействиях. Отметим, что в районе пролива Невельского вероятны землетрясения силой 9 и более баллов по шкале МСК-64.

Тоннели в меньшей мере подвержены сейсмическим воздействиям, поскольку в них, в отличие от наземных сооружений, не возникает резонансных явлений. При прохождении сейсмических волн тоннели деформируются так же, как и окружающий их массив грунта, если тот твердый, или значительно меньше, если грунт – слабый.



**Рис. 5. Схема расположения транспортных и технологических тоннелей под проливом Ла-Манш.**

Эти деформации преимущественно малы и не представляют серьёзной опасности для тоннельных обделок.

Обычно при одном и том же землетрясении интенсивность сейсмического воздействия на подземные сооружения в 2,5-3 раза меньше, чем на наземные.

В настоящее время в РФ отсутствуют современные нормы по расчёту сейсмостойкости транспортных сооружений. В документе СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*» в разделе, регламентирующем расчёт тоннелей на сейсмостойкость, содержится всего семь пунктов (0,5 страницы). Отсутствуют расчётные схемы, формулы, нет рекомендаций по оценке сейсмоопасных зон.

Так как в районе строительства транспортного перехода на Сахалин возможны землетрясения свыше девяти баллов, необходимо срочно разработать нормативный документ, регламентирующий строительство транспортных сооружений в сейсмоопасных зонах.

В МИИТ на кафедре «Мосты и тоннели» длительное время проводятся научные исследования по оценке воздействий землетрясений на транспортные сооружения. Выполнен анализ зарубежных нормативов и подготовлен материал для создания федерального нормативного документа о транспортном строительстве в районах с повышенной сейсмической активностью.

Для принятия окончательного решения по транспортному переходу через пролив Невельского требуется провести тщательные инженерно-геологические изыскания

с использованием современных систем глубинного зондирования. Следует разработать два альтернативных эскизных проекта: мостовой и тоннельный. Эти проекты должны быть оценены не только по строительной стоимости, но и эксплуатационным затратам, надежности и срокам окупаемости инвестиций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Северные и Восточные районы России – важнейший полигон расширения сети железных дорог страны в XXI веке / В.А. Копыленко, Ю.А. Быков, В.М. Круглов, И.В. Турбин, В.В. Космин // Транспортное строительство. – 2008. – № 4. – С. 2–4.
2. Разработка научно обоснованных предложений в области повышения конкурентоспособности международного транспортного коридора «Транссиб» в направлении Европа–Россия–Япония с оценкой возможного использования территории острова Сахалин и инженерно-технической возможности создания транспортных переходов через пролив Невельского и пролив Лаперуза: отчет о НИР / Институт экономики и развития транспорта, Институт «Гипростроймост»; рук. Ф.С. Пехтерев; исполн. С.Н. Шаратов и др. – М., 2012. – пер. № 01201282379.
3. The Messina Straite Bridge: A challenge and a dream / by Fabio Brancaloni; Stretto di Messina S.p.A., Rome, Italy. – CRC Press: A Balkema Book, 2010.
4. СП 122.13330.2012: Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97. – М., 2012.
5. СП 14.13330.2014: Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. – М., 2014.
6. Курбацкий Е.Н. Преимущества тоннелей из опускных секций при сооружении транспортных переходов через протяжённые водные (морские) преграды // Метро и тоннели. – 2014. – № 4. – С. 41–50.
7. Курбацкий Е.Н., Нгуен Ван Хунг. Транспортные тоннели из опускных секций // Мир транспорта. – 2014. – № 6. – С. 160–173.
8. De Wit, J.C.W.M., Van Putten, E. Immersed Tunnels: Competitive tunnel technique for long (sea) crossings. Under City 2012 Dubrovnik, April 12–14, 2012. <http://tec-tunnel.com/wp-content/uploads/2012/11/UC2012-paper-immersed-tunnel-De-Wit.PDF.pdf>. Доступ 4.07.2015.

Координаты авторов: **Круглов В. М.** – [kruglov@niit-miit.ru](mailto:kruglov@niit-miit.ru), **Курбацкий Е. Н.** – [usd.miit@gmail.com](mailto:usd.miit@gmail.com), **Гоппе В. Р.** – [vrhoppe@mail.ru](mailto:vrhoppe@mail.ru), **Томилов А. А.** – [anton@webparts.us](mailto:anton@webparts.us).

Статья поступила в редакцию 28.07.2015, принята к публикации 9.09.2015



## CROSSING OVER NEVELSKI STRAIT: POSSIBLE SOLUTIONS

**Kruglov, Valery M.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Kurbatskiy, Evgeny N.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Hoppe, Vitaly R.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.  
**Tomilov, Anton A.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

Continuing research that has been conducted by Russian leading transport universities for many years on prospects of development of railways and roads of eastern direction [1] in Russia, the authors propose a solution to the problem of transport crossing over

Nevelski Strait from the mainland to the island of Sakhalin. Options and approaches are justified, the alternative «bridge–tunnel» is evaluated, suggesting projects with a high degree of engineering elaboration, environmental safety, economic readiness and investment responsibility.

**Keywords:** transport crossing, sea strait, Sakhalin Island, Nevelski strait, tunnel, bridge, geotechnical conditions, design alternative, railways.

**Background.** According to well-known literary sources, Sakhalin was opened by the Cossacks of the detachment of Ivan Moskvitin in XVII century. At the end of XVIII century, Jean François de Galaup, comte de Lapérouse (also written as La Pérouse – ed.note), moving north along the Tatar Strait, discovered that the Strait is becoming smaller and smaller. The absence of sea current led Lapérouse to the conclusion that in the north Sakhalin Island is connected to the mainland. This conclusion was confirmed later by Englishman W. Brighton and Russian navigator I. F. Kruzenshtern. Only in 1849 G. I. Nevelsky managed to get on the water along the western coast of Sakhalin.

After Sakhalin was recognized as an island, discussions began of how to connect it with the mainland.

There were different projects:

- sluice-turbine-valve dam (hydroelectric power station);
- dam with a gateway device for the passage of vessels;
- underwater tunnel crossing;
- bridge crossing.

Engineering and geological conditions in possible areas of transport crossing are very different for mainland and island parts. On the mainland igneous rocks prevail, on the island – sedimentary, going into the Strait to a depth of tens of meters. Different geological structure of continental and insular parts of the Strait presupposes the existence of a tectonic fault (perhaps even several). The high seismicity of the region (more than eight points) has a great probability of shear effects on faults, which should be taken into account when designing transport crossing.

Climatic factors, which also determine construction conditions, especially in the winter, are very harsh:

wind storms, blizzards, intense snowfalls, structural icing, ice phenomena.

The hydrological situation is characterized by the change in current's direction in the strait, its high speed, tides, significant alluvial deposits and their erosion.

**Objective.** The objective of the authors is to propose a possible engineering solution to the problem of transport crossing over Nevelski Strait.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, simulating, evaluation approach, comparative analysis.

**Results.** In previously conducted geological, hydrometric surveys three leading lines of transport crossing location were planned (Pic. 1). In 2013, «Giprostroykost» offered a leading line «new».

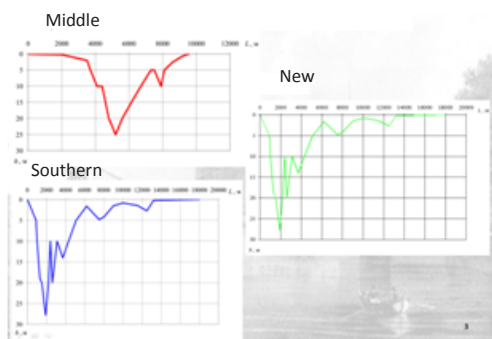
The longitudinal profiles of the axis of leading lines – «middle», «southern» and «new» – are shown in Pic. 2. For the further development the institute «Giprostroykost» offered a leading line «middle» as having a certain symmetry and minimum length. Preliminary project designs of a single-track railway bridge were also carried out [2].

Proposals focus on the design of simple frames. In the first option scheme is adopted with two continuous spans (2 x 330 m); nine continuous spans (2 x 220 m); two single spans with the length of 220 m; a single-span structure with the length of 110 m and two beam spans of 33,6 m. The total length of the bridge is 5948,04 m. Number of intermediate piers is 26.

In the second option: two continuous spans (2 x 330 m); six continuous spans (2 x 220 m); 17 single-span frames with the length of 110 m and two beam spans of 33,6 m. The total length of the bridge is 5960,04 m. The number of intermediate piers is 34.

**Pic. 1. Leading lines of transport crossings.**





**Pic. 2. Longitudinal profiles on leading lines' axis.**

In our opinion, both options in this version do not solve all problems of reliable traffic for many years between the mainland and the island. The constructions of transport communications must be adopted, providing two-track passage of rolling stock, as well as necessary road traffic flows.

In principle, the design solutions of spans of the first option (for its size: the height of frames, the distance between their axes) are possible for the arrangement of the second tier for car traffic and internal dimensions could provide a double-track rail connection.

The second option in its characteristics is not suitable for such a decision, since standard 110-meter spans by their dimensions are designed for single-track bridges. The increase in number of intermediate piers as compared to the first option (from 26 to 34 units) will cause complex erosion processes in the bed, and it is unpredictable how they will affect in future alluvial deposits in the strait.

Both options do not meet external climatic factors.

Firstly, the inevitable strong icing on numerous elements of lattice spans in the winter.

Secondly, significant seismic activity in the region possibly followed by an earthquake could generate a shift of tectonic plates of mainland and island parts. At the very least, we must not reject this assumption, which could affect the life of man-made structures.

If icing issues are disallowed, then, in our opinion, in the design of the bridge it is viable to use continuous spans (2 x 330 m), which will reduce the number of intermediate piers up to eighteen.

Solution of mentioned problems can be achieved, we believe, also due to other design schemes, including those already known in the world. Tectonic fractures in the area of transport crossing as a threat are extinguished with cable (hanging) or hybrid cable beam (Pic. 3) systems. Our studies have shown that such systems are effective to skip the train load on the spans of a thousand meters or more.

In world practice of bridge building were designed, constructed and are being built dozens of cable three-span bridges with central spans of 1000 to 2000 m or more [3]. Some of them provide a passage of combined (road and rail) traffic. Currently, through the Bosphorus strait the third hybrid cable beam bridge is being built with a central span of 1408 m (see. Pic. 3), which provides a double-track rail connection and four lanes of road crossings in each direction.

Problems of structural icing are easily removed by laying heating cables along main load-bearing elements. In cable-stayed girders closed cavities are projected blown by warm air if necessary (Pic. 4).

Design load of railway rolling stock in the construction of bridges can be lowered from the 14<sup>th</sup> to the 12<sup>th</sup> class according to specially applied technical requirements.

In all versions of bridge crossings it is necessary to have sufficiently complete and objective information on fractures (location and depth of their distribution) at the site of the planned construction.

Transport crossing of the sea strait shall be governed by regulations [4, 5], which specify the conditions for facilities constructed in areas (zones) with seismicity of 7 points or more. In accordance with paragraphs 7.5.1 and 7.9.1 SP 14.13330.2014 [5] when choosing a route for transport crossings it is necessary to avoid intersection zones of tectonic faults. Although it should be understood that such a recommendation is practically almost unrealizable. All major rivers flow in areas of tectonic fractures and straits generally coincide with their active and inactive zones.

The ability of tunnel intersection with tectonic faults according to [5], is subject to respective feasibility study and the inevitable increase in cross-section of the face.

In principle, the tunnel crossing can be implemented in two options.

Option 1. The transport crossing is constructed with mechanized tunnel boring complexes (MTBC).

One possible solution is construction of three tunnels: two transport single-track railway and service one of small diameter.

In this case the scheme of relative position of structural elements will be similar to the scheme used in the passage under the English Channel (Pic. 5).

Vehicles are transported by rail on the platforms.

Based on the geological structure of the array on the proposed route of tunnel crossing approximately this scheme of construction is realized.

And underflow part and areas adjacent to areas of open type of work, are proposed to be constructed with shield tunneling driving from both ends (excavation work should be carried out simultaneously from the island and the mainland sides) using MTBC mixshield type.

Tunnel linings are combined: they can be made of prefabricated high-precision concrete blocks with polymer seals in joints as well as of prefabricated cast-iron liners (at the junction of cross headings and tunnel structures to the tunnels). In all cases, additional internal waterproofing with supporting bearing monolithic reinforced concrete protective jacket is required.

MTBC mixshield type has a sealed bottom hole camera with a combined type of bottom hole cantledge – soil excavation can be carried out with hydrau-







**Pic. 3. The hybrid cable beam bridge over Bosphorus strait.**

lic cantledge, with the system for maintaining pressure on bottom hole by means of compressed air, with soil cantledge, as well as in the open cut of rocks with transportation of excavated soil by a conveyor.

In this case, it is necessary to use mixschields of two modifications:

- For driving from the mainland – mixschield must be equipped with a gripper device for extraction of soils in hard rocks;

- For driving from the island part – it should be equipped with a gripper device intended to be used in sedimentary rocks.

Technology of shield driving was repeatedly tested (domestic tunnel-boring organizations have considerable experience in design and construction). In such an embodiment the tunnel has no significant effect on the environment and practically does not depend on climatic conditions. Construction of tunnel lining and the nature of their embedding to a great depth in the uniform tectonic plate provide them with a high seismic resistance. But it must be emphasized that the shield driving increases the tunnel length.

Option 2: a water obstacle is overcome by tunnel constructions made of immersed tubes.

The first tunnel crossing of immersed tubes had been built in Europe from 1937 to 1942 near Rotterdam (Netherlands). Now this technology in the world tunneling is widely known.

In Russia, there is little experience in the construction of a tunnel crossing of immersed tubes.

In the 80ies of last century a tunnel was built in Leningrad to Kanonersky island. It consists of six sections with the length of 110 m, cross-section of  $13,2 \times 7,9$  m.

Worldwidely a large number of built immersed tube tunnels prove the advantages of such projects, compared with other types of similar structures [6-8].

1. One of the first advantages is that all construction stages are developed in detail: construction of sections, their transportation to the diving site, methods of diving.

2. The simultaneous production of a large number of sections of the tunnel on shore and combing of construction stages timing-wise (construction of sections, trench preparation, transportation of sections) can significantly accelerate the pace of work, using technological advances inherent in modern production of concrete products.

3. The cross-section of immersed tube tunnel should not necessarily be cylindrical (as required by the shield driving), it is possible to build tunnels with different cross-sectional shapes.

4. Immersed tube tunnels can be built in all types of soil, including soft and alluvial, since the pressure of sections on the soil due to the large bearing area is slightly different from the pressure of soil substituted by the tunnel.

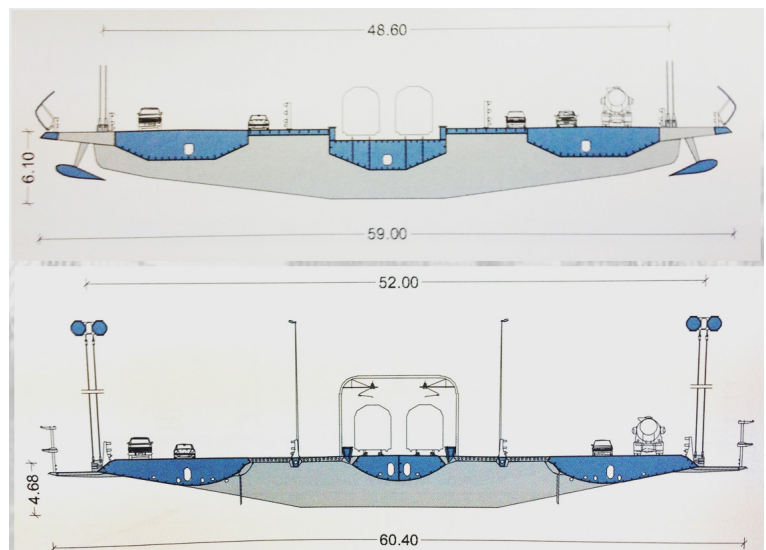
5. Tunnel crossing of immersed tubes is shorter than a crossing, built using MTBC.

In implementing immersed tube tunnels, in fact, two problems should be solved.

Firstly, it is necessary to eliminate the destructive effect of the object being built on hydrological phenomena in the strait (washouts of alluvial deposits, change in the speed of multidirectional currents), which is achieved due to the deepening of tunnels and subsequent soil backfill to the level corresponding to the original level of the bottom of the strait. It is also possible to give sections outer streamlined ellipsoid shape.

Secondly, the impact of changes in the fracture zone can be reduced by using special gaskets between the sections to ensure tightness, relative displacement and rotation of the ends of the tunnel sections without damage or possible intersection of faults in a single-section design with a preliminary compression by prestressing reinforcement (protected against corrosion).

**Pic. 4. Options of roadway.**



According to the responses to the earthquake of bridges and tunnels it is necessary to state the following. The natural frequencies of bridge vibrations can get into the dominant frequency range of earthquakes, which is fraught with appearance of resonance phenomena that may damage the building, even with weak seismic impacts. Note that in the area of Nevelski Strait earthquakes of more than 9 points on the MSK-64 scale are possible.

Tunnels are less susceptible to seismic effects, since they, in contrast to aboveground facilities, have no resonance. With the passage of seismic waves tunnels deform as well as an array of surrounding soil if that is hard, or much less, if the ground is weak. These deformations are mostly small and do not pose a serious danger to the tunnel lining.

Usually as a result of the the same earthquake, intensity of the seismic impact on underground structures is by 2, 5-3 times less than at the surface.

Currently in Russia there are no standards for the calculation of resistance of transport facilities to on the seismic effects. The document SP 14.13330.2014 "Construction in seismic areas. The updated edition of SNiP II-7-81\*" in the section regulating the calculation of seismic stability of tunnels, provides a total of seven points (0,5 pages). There are no design diagrams, formulas, no recommendations for evaluation of seismic regions.

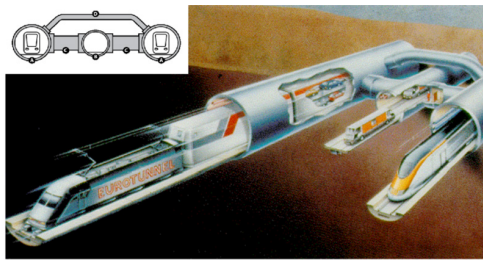
Since in the area of construction of transport crossing earthquake over nine points can occur, there is an urgent need to develop regulatory documents governing the construction of transport facilities in seismic regions.

In MIIT department of Bridges and Tunnels have for a long time conducted research on the assessment of the effects of earthquakes on transport facilities. The analysis of international standards was conducted and necessary material was prepared for creation of Federal Regulations of transport construction in areas with high seismic activity.

**Conclusion.** In order to make any sort of a final decision on the transport crossing over Neveski Strait it is required to carry out detailed geological and engineering research using modern systems of deep probing. It is necessary to develop two alternative draft designs: bridge and tunnel. These projects should be evaluated regarding not only the construction cost, but also operating costs, reliability, and payback period.

## REFERENCES

1. Kopylenko, V. A., Bykov, Yu. A., Kruglov, V.M., Turbin, I. V., Kosmin, V.V. The northern and eastern regions of Russia – a major polygon for expansion of the country's railway network in XXI century [Severnye i Vostochnye rajony Rossii – vazhnejshij poligon rasshirenija seti zheleznih dorog strany v XXI veke]. *Transportnoe stroitel'stvo*, 2008, Iss. 4, pp. 2–4.



**Pic. 5. Arrangement of transport and technological tunnels under the English Channel.**

2. Development of science-based proposals for enhancing the competitiveness of the international transport corridor «Transsiberian» in the direction Europe–Russia–Japan with an estimate of the possible use of Sakhalin island and engineering possibility of construction of transport crossings over Nevelski Strait and La Pérouse Strait: research report [Razrabotka nauchno obosnovannyh predlozhenij v oblasti povyshenija konkurentosposobnosti mezhdunarodnogo transportnogo koridora «Transsib» v napravlenii Evropa–Rossija–Japonija s ocenкой vozmozhnogo ispol'zovanija territorii ostrova Sahalin i inzhenerno-tehnicheskoi vozmozhnosti sozdanija transportnyh perehodov cherez proliv Nevel'skogo i proliv Laperuza: ochet o NIR]. Institute of Economy and Transport Development, Institute «Giprostroykost»; guided by Pekhterev, F.S.; executed by Sharapov, S.N. et al. Moscow, 2012, reg. number 01201282379.

3. The Messina Strait Bridge: A challenge and a dream. Brancalonei, Fabio et al. Stretto di Messina S.p.A.; CRC Press: A Balkema Book, Rome, Italy, 2010, 324 p.

4. SP 122.13330.2012: rail and road tunnels. The updated edition of SNiP [Russian construction rules and regulations] 32-04-97 [SP 122.13330.2012: Tonneli zheleznodorozhnye i avtodorozhnye. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 32-04-97]. Moscow, 2012.

5. SP 14.13330.2014: Construction in seismic regions. The updated edition of SNiP [Russian construction rules and regulations] II-7-81\* [SP 14.13330.2014: Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-7-81\*]. Moscow, 2014.

6. Kurbatskiy, E. N. Advantages of immersed tube tunnels in the construction of transport crossings over extended water (sea) obstacles [Preimushhestva tonnej iz opusknyh sekcij pri sooruzhenii transportnyh perehodov cherez protjazhjonnye vodnye (morskie) pregrady]. *Metro i tonneli*, 2014, Iss. 4, pp. 41–50.

7. Kurbatskiy, Evgeny N., Nguyen, Van Huhg. Transport Immersed Tube Tunnels. *World of Transport and Transportation*, Vol. 12, 2014, Iss. 6, pp. 160–173.

8. De Wit, J.C.W.M., Van Putten, E. Immersed Tunnels: Competitive tunnel technique for long (sea) crossings. Under City 2012 Dubrovnik, April 12–14, 2012. <http://tec-tunnel.com/wp-content/uploads/2012/11/UC2012-paper-immersed-tunnel-De-Wit.PDF.pdf>. Last accessed 4.07.2015.

Information about the authors:

**Kruglov, Valery M.** – D.Sc. (Eng.), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, kruglov@niit-miit.ru.

**Kurbatskiy, Evgeny N.** – D.Sc. (Eng.), professor at the department of Bridges and tunnels of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, usd.mii@gmail.com.

**Hoppe, Vitaly R.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, vrhoppe@mail.ru.

**Tomilov, Anton A.** – Ph.D. student at the department of Economics of construction of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, anton@webparts.us.

Article received 28.07.2015, accepted 9.09.2015.

