

УДК 627; 624.15; 624.157

## ПРЕИМУЩЕСТВА ТОННЕЛЕЙ ИЗ ОПУСКНЫХ СЕКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕХОДОВ И ОСОБЕННОСТИ ИХ СООРУЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРОТЯЖЕННЫЕ РЕЧНЫЕ И МОРСКИЕ ПРЕГРАДЫ, СЛОЖЕННЫЕ НА ДНЕ СЛАБЫМИ ГРУНТАМИ

**Е. Н. Курбацкий, Н. В. Купчикова, А. С. Синицын**

*Московский государственный институт путей сообщения,*

*Астраханский инженерно-строительный институт*

Рассмотрен опыт зарубежного строительства тоннелей из опускных секций при сооружении транспортных переходов через протяженные речные и морские преграды. Выявлены особенности, преимущества и недостатки их возведения в результате анализа уже эксплуатируемых тоннелей из опускных секций во всем мире. Предлагаются конструктивно-технологические способы усиления дна рек и заливов, сложенных слабыми структурно-неустойчивыми грунтами, в том числе в зонах с сейсмической активностью, с помощью свайных фундаментов с уширениями и каменной наброски с микросваями. Большое количество построенных и эксплуатируемых в мире транспортных переходов, включающих в себя тоннели из опускных секций, свидетельствует о преимуществах таких проектов по сравнению с другими типами транспортных переходов – мостов и тоннелей, сооружаемых горной проходкой.

**Ключевые слова:** водные и морские преграды, тоннели и мосты, тоннели из опускных секций, слабые грунты на дне водоемов, илистые вязкие грунты, песчаные и глинистые илы, каменная наброска, дноукрепление, набивные сваи с уширениями.

## TUNNEL ADVANTAGES FROM TRANSPORT CROSSOVER IMMERSSED TUBES AND THEIR CONSTRUCTION PECULIARITIES THROUGH CONTINUOUS RIVER AND MARINE OBSTACLES WITH SOFT SOILS BEDS

**E. N. Kurbatskiy, N. V. Kupchikova, A. A. Sinitsyn**

*Moscow State Institute of Railway Engineering,*

*Astrakhan Institute of Civil Engineering*

In the article there is considered foreign experience of tunnel construction from immersed tubes within transport crossovers construction through continuous river and marine obstacles. There are found out peculiarities, advantages and disadvantages of their construction as analysis result of tunnels from immersed tubes already operated worldwide. There are offered construction and technological methods of river and marine beds reinforcement; the beds are formed with structurally unstable soil including the ones in zones of high seismicity; reinforcement is planned to be done with bell piles foundation and riprap with micropiles. A large number of transport crossovers built and operated worldwide including the tunnels from immersed tubes demonstrate the benefits of such projects in comparison with other types of transport crossovers – bridges and tunnels, constructed with mountain penetration.

**Keywords:** aquatic and marine obstacles, tunnels and bridges, immersed tube tunnels, soft soil at water bodies' beds, muddy heavy soils, sandy and clayey silts, rock riprap, bed reinforcement, in-situ piles with bells.

Традиционно протяженные транспортные переходы через проливы и широкие реки выполнялись с использованием мостов. В некоторых случаях для пропуска высокотоннажных судов приходится располагать пролетные строения на высоких опорах. Это усложняет конструкцию и приводит к необходимости удлинять подходы к мостам.

Одним из возможных вариантов решения этой транспортной проблемы является сооружение тоннеля горным способом. Однако в этом случае также существуют некоторые требования, которые необходимо выполнять и которые приводят к удлинению перехода: тоннель должен располагаться ниже дна водоема на 25–30 м и более.

Тоннели из опускных секций, пересекающие водные преграды, имеют целый ряд преимуществ по сравнению с тоннелями, сооружаемыми горным и щитовым способом. Протяженность этих тоннелей сравнительно меньше, так как они расположены на дне водоемов с небольшим заглублением. Вследствие этого подходы могут быть относительно короткими. Подходы к мостам, которые необходимо располагать на высоких опорах при пересечении судоходных проливов и рек, обычно значительно длиннее. Длина мостового перехода при пересечении

водной преграды на равнинной местности существенно увеличивается (рис. 1).

Тоннели из опускных секций возможно сооружать практически при любых грунтовых условиях. Коренные породы в проливах и реках могут располагаться под слабыми водонасыщенными грунтами на большой глубине. Такие условия обычно создают существенные проблемы при сооружении опор большепролетных мостов.

Для очень длинных переходов, когда навигация является важным фактором, комбинированные переходы «мост – тоннель» представляют собой экономически наиболее выгодное решение. Такие переходы состоят из протяженных эстакад, которые начинаются на берегу, пересекают сравнительно узкие водные преграды и заканчиваются на искусственно созданных островах. Далее трасса входит в тоннели, которые начинаются на островах и пересекают судоходные части проливов и рек.

В настоящее время в мире построено и эксплуатируется более 100 тоннелей из опускных секций различного назначения с разными поперечными сечениями (рис. 2): автодорожные, железнодорожные тоннели (однопутные и двухпутные), а также тоннели для одновременного пропуска железнодорожных поездов и автотранспорта.

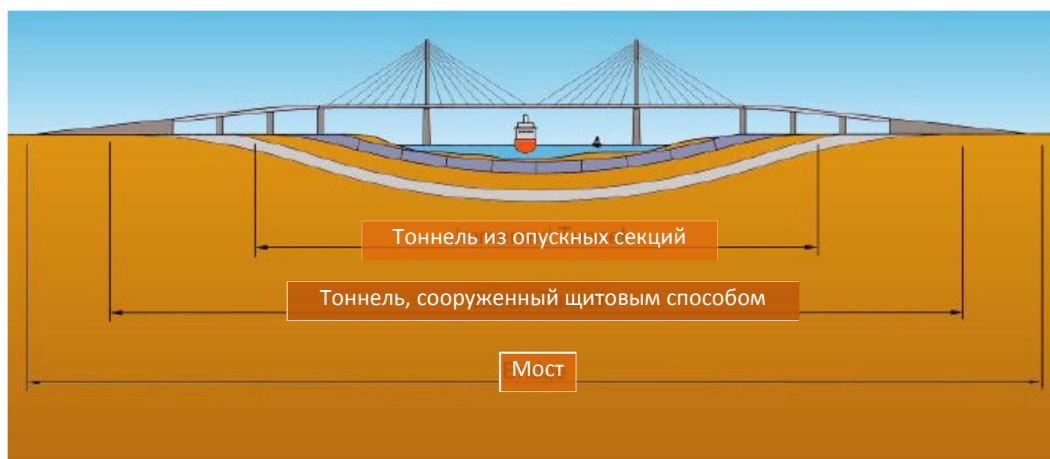


Рис. 1. Сравнение протяженности транспортных переходов через водную преграду

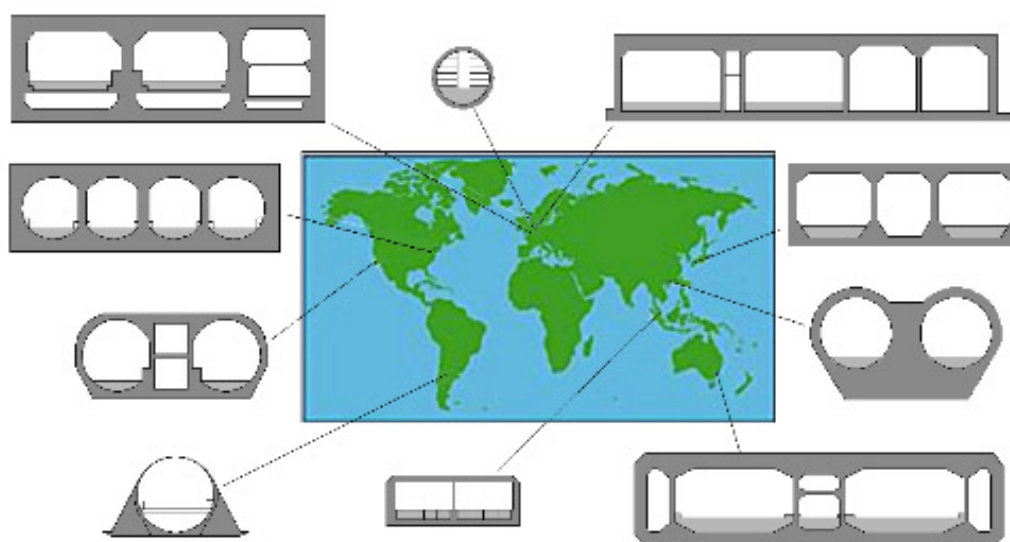


Рис. 2. Типы поперечных сечений тоннелей из опускаемых секций и места их постройки

Наиболее часто строятся комбинированные транспортные переходы, состоящие из эстакад, проходящих от берегов над относительно неглубокими протоками, до искусственных островов, на которых трасса входит в тоннели, пересекающие глубокие судоходные каналы.

**Примеры реализованных и строящихся сооружений**

Транспортный переход через залив Chesapeake у Норфолка (Вирджиния) был построен в 1964 г. Тоннельно-мостовой переход протяженностью 17 миль включает в себя мост и два тоннеля из опускаемых секций, пересекающих два основных судоходных канала (рис. 3).

Первый крупный морской переход в Европе с использованием тоннеля из опускаемых секций был сооружен между Данией и Швецией

на трассе Oresund длиной 16,7 км, которая обеспечила автомобильное и железнодорожное сообщение между Копенгагеном и Мальме (рис. 4). Переход из тоннеля на мост выполнен на большом искусственном острове длиной около 4 км. В Дании в месте перехода на 430 м в море была расширена береговая зона.

Длина тоннеля из опускаемых секций под проливом Drogden на трассе Oresund составляет 3500 м. Тоннель состоит из 20 секций. Каждая секция длиной 176 м собрана из восьми сегментов по 22 м. Тоннель предназначен для двух железнодорожных и двух автомобильных линий. Кроме того, предусмотрена спасательная галерея. Размеры поперечного сечения 8,6 x 38,5 м. Поперечное сечение тоннеля представлено на рис. 5.



Рис. 3. Тоннельно-мостовой переход через залив Chesapeake



Рис. 4. Транспортный переход на трассе Oresund между Данией и Швецией

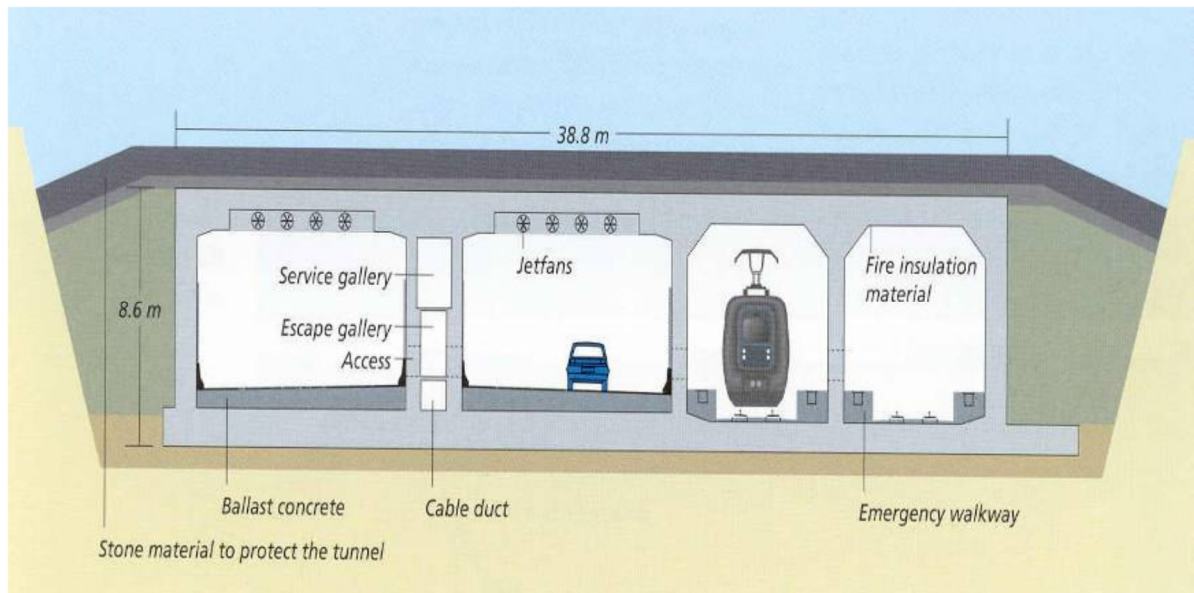


Рис. 5. Поперечное сечение тоннеля Drodgen



Рис. 6. Транспортный переход между городом Пусаном (Южная Корея) и островом Геоге

В 2010 г. построен транспортный переход между вторым по величине городом Южной Кореи Пусаном, расположенным на юго-востоке, и островом Геоге (рис. 6). Переход состоит из двух вантовых мостов и тоннеля из опускных секций. Тоннель длиной 3,2 км включает 18 секций по 180 м каждая и является самым глубоким (максимальная глубина воды 48 м) в мире.

На пересечении главных судоходных путей между островами Daejuk и Gaduk не допускалось никаких ограничений по высоте судов, поэтому тоннельный переход был единственно возможным решением. Первоначально рассматривался проект горного тоннеля, но относительно крутые берега островов и необходимость большой глубины заложения тоннеля (от 25 до 30 м ниже морского дна) сделали этот вариант неприемлемым. По этой причине второй вариант тоннеля



из опускаемых секций, глубина заложения которого немного ниже морского дна, был логичным выбором.

Инженерно-геологические условия в месте расположения тоннеля не являются благоприятными для строительства. Морское дно вдоль трассы тоннеля, кроме береговых областей, состоит из слоя морской глины, мощность которого превышает 20 м, достигая в некоторых местах 30 м. У берегов на поверхность выходят коренные породы, а также тонкие слои песка и гравия, поэтому грунт в основании тоннеля было решено усилить сваями.

Место строительства перехода расположено в Корейском проливе между Тихим океаном и Восточно-Китайским морем. Климатические условия в этом районе, открытом всем ветрам, достаточно сложные. Сильное течение (до 2 м/с), тайфуны и волны высотой до 8 м серьезно усложняли транспортировку секций тоннеля на места установки. Сейсмичность района невысокая; тем не менее, тоннель рассчитан на два

уровня землетрясений: проектное (ПЗ) и максимальное расчетное (МРЗ).

В настоящее время сооружается один из наиболее сложных транспортных переходов от границы с Гонконгом до материкового Китая (рис. 7). Весь переход составляет около 30 км, пересекая устье реки Pearl River, и состоит из нескольких мостов, искусственных островов и тоннелей. Запроектированы сооружения с двусторонним движением, с тремя полосами движения в каждом направлении; для обеспечения прохода морских судов предполагается строительство вантового моста. На пересечении основных судоходных путей у восточного берега реки будет построен тоннель протяженностью 6750 км. Шесть километров этого тоннеля будут выполнены из опускаемых секций. Съезды с мостов в тоннели будут реализованы на искусственных островах, длина каждого из которых 625 м. Длина всей трассы между городами Гонконг, Чжухай и Макао составляет около 50 км, предполагаемая стоимость 10 млрд долларов.

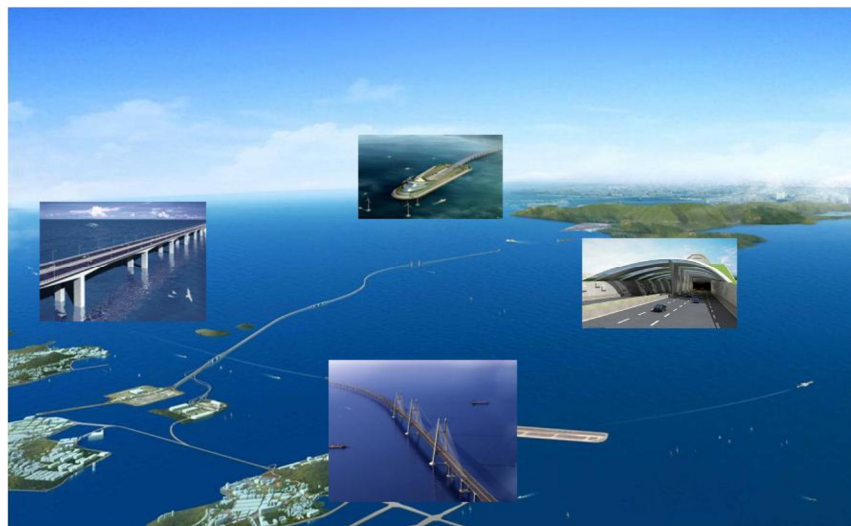


Рис. 7. Основные объекты транспортного перехода между материковым Китаем и Гонконгом

Некоторые проблемы, с которыми столкнулись проектировщики и строители при сооружении транспортного перехода:

- большая глубина;
- разнообразные грунтовые условия;
- продолжительный расчетный срок эксплуатации (120 лет);
- необходимость сооружения искусственных островов на мягких грунтах;
- требование не искажать природные течения при сооружении островов;
- необходимость увеличить пролет перекрытий до 14,55 м из-за трехполосного движения;
- необходимость заглубления верхней части тоннельной обделки на глубину 29 м от поверхности морского дна для обеспечения прохода

танкеров водоизмещением 300 000 тонн в двух проливах с общей шириной 2810 м.

После анализа и сравнения различных вариантов было принято решение сооружать тоннель из железобетонных секций [1, 2].

#### Сооружение секций тоннелей

Обычно железобетонные или сталебетонные секции сооружаются в доках или в специально вырытых на берегу котлованах (рис. 8). В некоторых случаях место производства секций может располагаться на больших расстояниях от места их погружения. В качестве примера приведем вид железобетонного завода, находящегося на расстоянии 40 км от тоннеля (рис. 9).

После окончания сооружения секций котлован заполняется водой, для чего открываются

специально смонтированные затворы. Перед заполнением котлована водой торцы секций герметизируются.

Поскольку секции рассчитываются таким образом, чтобы они обладали необходимой плавучестью, после затопления котлована секции всплывают (рис. 10).



Рис. 8. Сооружение секции тоннелей в специальном котловане (Нидерланды)

Готовые секции буксируются по воде к месту установки. При этом используется либо собственная плавучесть секций (рис. 11), либо специальные плоты (рис. 12). При строительстве транспортного перехода через Босфор применялись сталебетонные секции, которые также обладали достаточной плавучестью (рис. 13).



Рис. 9. Вид площадки для одновременной отливки нескольких секций тоннеля (западный берег залива Jinhae)



Рис. 10. Секции тоннелей, подготовленные для транспортировки (Нидерланды)



Рис. 11. Транспортировка железобетонной секции к месту погружения (Нидерланды)



Рису. 12. Транспортировка стальных секций тоннеля (Бостон)



Рис. 13. Транспортировка сталебетонной секции (Турция)

### Подготовка оснований для установки секций тоннелей

Наиболее распространенным методом подготовки траншей для подводных тоннелей является использование грейферов и земснарядов (рис. 14). В районах с повышенными экологиче-

скими требованиями для уменьшения загрязнений водной среды используются грейферы с герметичными ковшами. При разработке твердых скальных пород может возникнуть необходимость в выполнении буровзрывных работ, что экологически нежелательно.





Рис. 14. Многофункциональная баржа с оборудованием для углубления и выравнивания траншеи и земснаряд для разработки твердых пород грунта

Работы по углублению дна, как правило, проводятся по меньшей мере в два этапа: удаление сыпучего материала и срезка грунта. Последняя должна включать удаление как минимум 1-метрового слоя грунта после окончания выемки породы земснарядом или грейфером. Ил, песок или другие наносные материалы, которые могут накапливаться на дне траншеи, удаляются непосредственно перед опусканием секции.

Траншея для тоннеля должна соответствовать расчетному плану и профилю трассы с учетом возможных обвалов стен траншеи. Работы по углублению дна следует выполнять таким образом, чтобы ширина дна траншеи и профиль сохранились при подготовке основания и опускании секций. Дно траншеи должно быть заполнено грунтом, удовлетворяющим проектным требованиям к материалам основания.

С целью выравнивания и формирования дна траншеи разработано специальное оборудование для укладки слоя гравия. Процесс является непрерывным. Оборудование установлено на барже и позволяет формировать дно траншеи с точностью до 25 мм от расчетной отметки, что достигается лазерной системой управления гидравлическими цилиндрами на подающем трубопроводе.

После того как секции тоннелей доставлены на место установки, начинается процесс погружения в предварительно подготовленные траншеи (рис. 15). Обычно погружаемая секция опускается на некотором расстоянии от уже установленной секции и затем медленно перемещается до соприкосновения с ранее установленной секцией; после этого производятся монтажные работы по соединению секций.

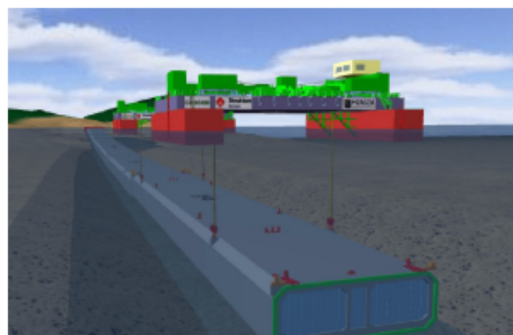


Рис. 15. Погружение секций со специальной баржи

#### Обеспечение безопасности тоннелей от воздействия затонувших судов

Для предотвращения разрушения тоннельных обделок, которые могут произойти при аварии судов и от повреждения якорями, при выполнении обратной засыпки предусматривается защитный слой из твердого грунта (рис. 16). Для обеспечения герметичности и необходимых относительных смещений между секциями в настоящее время широкое распространение

получили соединения с прокладками типа Gina и Omega. Вид конструкций соединения секций с такими устройствами показан на рис. 17.

Соединения с подобными прокладками обеспечивают отсутствие повреждений при относительных смещениях торцов секций тоннелей, возникающих вследствие осадок, ползучести бетона, изменений температуры и при землетрясениях. Гарантийный срок службы таких соединений составляет 100 лет.

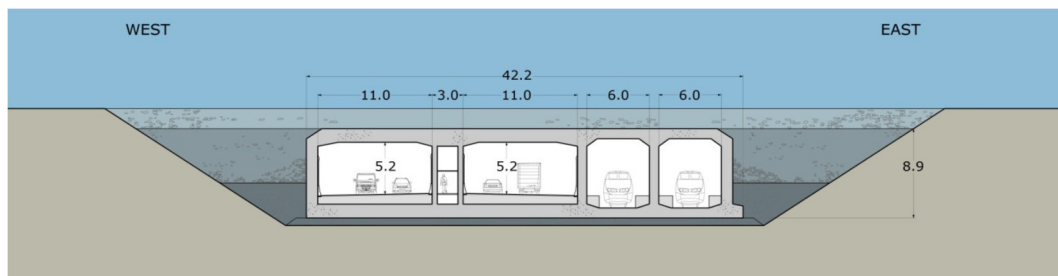


Рис. 16. Пример поперечного сечения тоннеля с указанием обратной засыпки

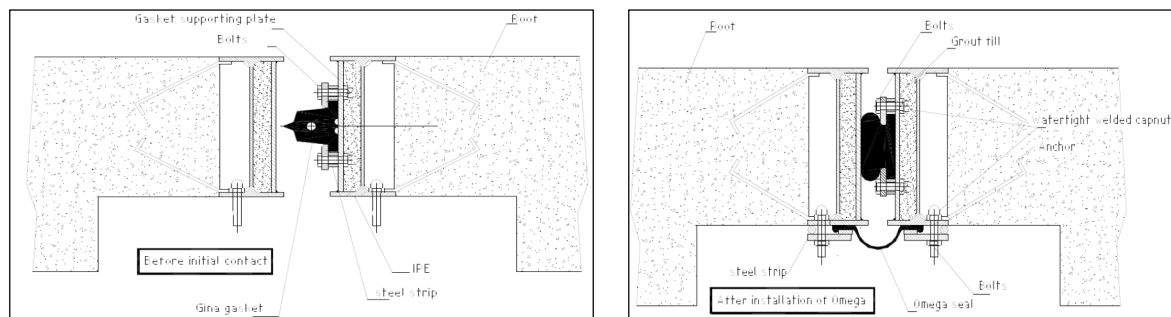


Рис. 17. Соединение между секциями с использованием прокладок типа Gina и Omega: прокладка типа Gina в свободном состоянии - левый рисунок; прокладки типа Gina и Omega в рабочем состоянии - правый рисунок

### Конструктивно-технологические решения протяженных переходов через проливы, сложенные слабыми грунтами по дну, на территориях расчлененных ландшафтов

Исследования показывают, что условия пересечения проливов опускными тоннелями оцениваются как уникально сложные по природно-климатическим и инженерно-геологическим факторам. Поэтому по конструктивно-технологическим решениям протяженные переходы через проливы и широкие реки, особенно на территориях ландшафтов, расчлененных водными преградами, можно подразделить на тоннельно-мостовой вариант, совмещенный с мостами (рис. 18а), на тоннельные переходы из опускных секций, совмещенные с наземными дорожными магистралями (рис. 18б), и тоннельный вариант из опускных секций, совмещенный с тоннелем, сооруженным горным способом (рис. 18в).

Одной из проблемной задач, с которой сталкиваются исследователи, проектировщики и строители при сооружении тоннелей из опускных секций, являются структурно-неустойчивые толщи грунта на дне водоемов. Грунтом называют поверхностный слой дна водоема, и инженерно-геологические условия в месте расположения тоннеля зачастую не являются благоприятными для строительства, а твердые грунты

залегают, как правило, на глубине 20–30 м. У берегов на поверхность выходят в основном коренные породы, а также тонкие слои песка и гравия, а морское дно вдоль трассы тоннеля, кроме береговых областей, состоит из вязких мягких пород – глинистых, песчаных илистых оснований или илов со слоями морской глины, поэтому грунт в основании тоннеля необходимо усилить.

Одним из способов усиления слабых илистых оснований на дне водоемов является каменная наброска. Каменной наброской чаще всего принято считать плотину из набросанного или отсыпного камня, имеющую форму трапеции с равными откосами, ширина которой составляет не менее 3 м. Большое значение в мире стало придаваться исследовательским работам по выявлению более современных способов применения каменно-набросных плотин.

В гидротехническом строительстве очень часто выполняют каменную кладку без применения вяжущих веществ следующими способами:

- наброской камня или мелких каменных материалов (щебня, галечника и др.);
- сухой кладкой, когда камни подбираются таким образом, чтобы получился более или менее плотный массив с перевязкой рядов камня;
- укладкой сетчатых ящиков, так называемых габионов, заполненных мелким камнем.

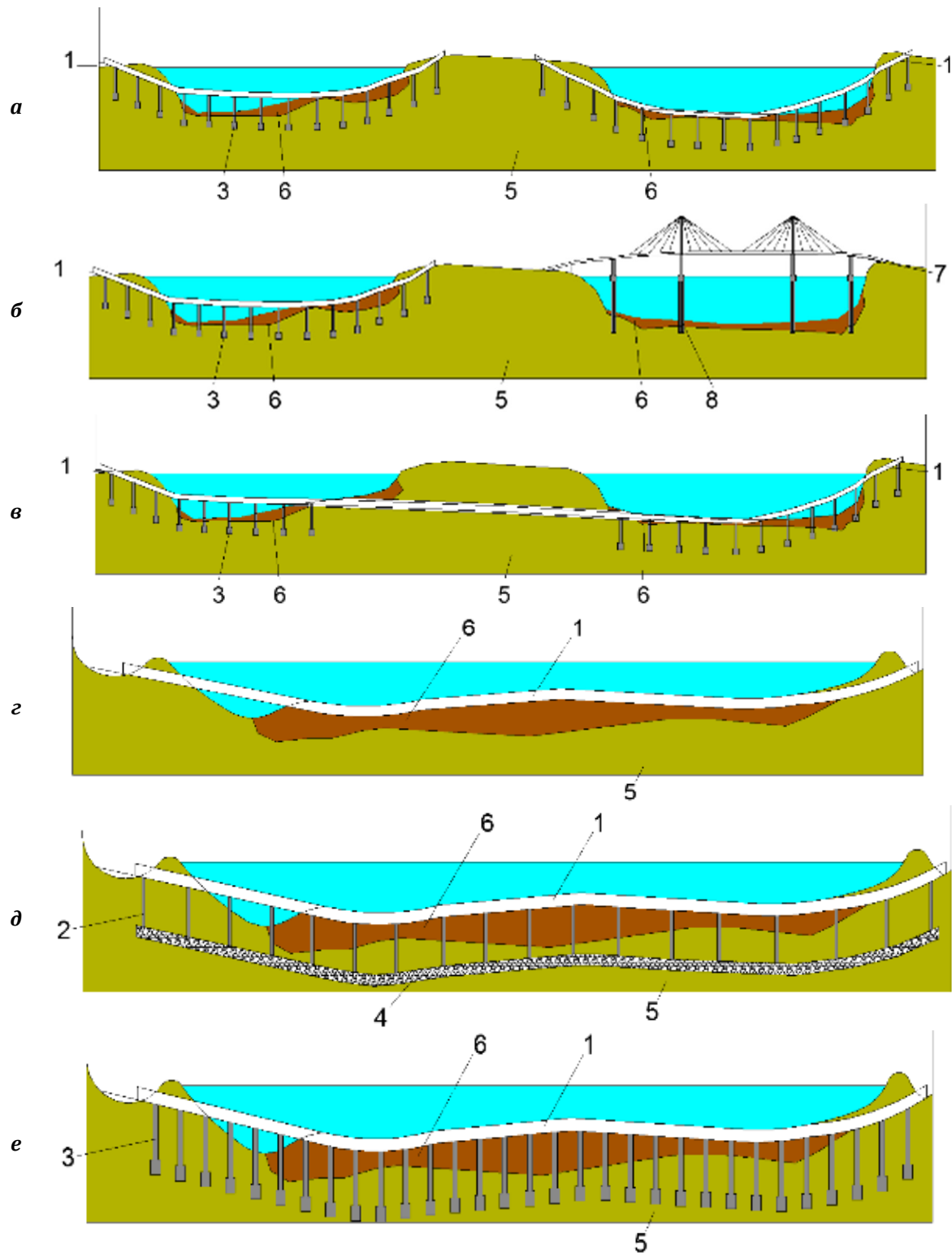


Рис. 18. Конструктивно-технологические решения протяженных переходов через проливы на территориях расчлененных ландшафтов: 1 – тоннель из опускных секций; 2 – микросваи; 3 – свая с концевым уширением; 4 – каменная наброска; 5 – мели; 6 – слабые грунты дна водоема; 7 – мост; 8 – опоры мостов

- а) тоннельно-мостовой вариант, совмещенный с мостами;
- б) тоннельный вариант из опускных секций, совмещенный с наземными дорожными магистралями;
- в) тоннельный вариант из опускных секций, совмещенный с тоннелем, сооруженным горным способом;
- г) прокладка тоннелей по дну без закрепления грунта;
- д) дноукрепление мягких и вязких грунтов каменной наброской и микросваями;
- е) дноукрепление мягких грунтов сваями с уширенной нижней пятой



Каменная наброска для укрепления берегов и дна применяется, когда на месте строительства или вблизи него имеется в достаточном количестве пригодный камень из плотных изверженных, осадочных и метаморфических пород, обладающих необходимой прочностью, способный противостоять разрушению от фильтрационных потоков, морозостойкий в течение длительного времени и водостойкий. Крупность камней и толщина наброски определяются проектом в зависимости от скорости течения, высоты волн, крутизны откоса и объемного веса камня.

Каменную наброску устраивают отсыпкой камней прямо в воду, важно лишь соблюдать соответствие массы камней скоростям движения воды. В ходе дноукрепительных работ камень отсыпают в воду с плавсредств, что обеспечивает высокий темп строительства. Основным недостатком остается высокая стоимость каменной наброски, однако во многих случаях данная конструкция дно- и берегоукрепления оказывается единственно возможной.

Согласно анализу проектной документации, результатам обследования авторами [3, 4] и материалам ряда пособий и рекомендаций по проектированию дно- и берегоукрепления илистых оснований [5, 6], следует выделить следующие особенности усиления каменной наброской:

1) илистые грунты водоемов относят к структурно-неустойчивым грунтам, структура которых не обладает прочностью и устойчивостью и может быть нарушена любым действием добавочного (сверхприродного) давления (часто весьма незначительной величины);

2) содержание частиц в илистых грунтах меньше 0,01 мм, что составляет 10–30 % по массе, то есть такое основание практически не имеет веса и может быть вытеснено давлением веса каменной наброски;

3) объем каменного материала в наброске следует определять с учетом коэффициента запаса на уплотнение: для песчано-гравийных (щебеночных) смесей оптимального зернового состава и щебня фракций 40–70 и 70–120 мм марки по прочности 800 и более коэффициент запаса материала на уплотнение следует ориентировочно принимать 1,25–1,3, а для щебня марки по прочности 600–300 – 1,3–1,5;

4) коэффициент запаса шлака на уплотнение в зависимости от его плотности следует ориентировочно принимать 1,3–1,5.

На рис. 18д представлен конструктивно-технологический вариант усиления слабых грунтов на дне водоема при прокладке тоннелей из опускных секций каменной наброской и микросваями.

Следующим конструктивно-технологическим способом, часто применяемым в гидротехническом строительстве на слабых грунтах, является возведение буронабивных свай с уширенной пятой в нижней части, принцип устройства которых в основном основывается на способе с неизвлекаемой оболочкой, когда отсутствует возможность качественного изготовления свай с извлекаемой обсадной трубой. Такие условия создаются в гидротехническом строительстве, где под напором водных потоков ствол сваи на отдельных участках может быть разрушен во время твердения бетонной смеси. На рис. 18е представлен вариант усиления слабых грунтов на дне водоема при прокладке тоннелей из опускных секций буронабивными сваями с концевыми уширениями, что способствует значительному увеличению несущей способности и требуемой устойчивости свайного основания под тоннелем.

#### **Достоинства и недостатки тоннелей из опускных секций**

Большое количество построенных и эксплуатируемых в мире транспортных переходов, включающих в себя тоннели из опускных секций, свидетельствует о преимуществах таких проектов по сравнению с другими типами транспортных переходов. Отметим некоторые из них.

1. В настоящее время в мире хорошо разработаны все этапы строительства: сооружение секций, транспортировка секций к месту погружений, способы погружений.

2. Одновременное производство большого количества секций тоннелей на берегу позволяет существенно ускорить строительство, используя при этом все технологии и достижения, которые применяются при производстве железобетонных изделий.

3. В процессе строительства не оказывается никакого влияния на судоходство.

4. При эксплуатации транспортных переходов не ограничивается ни высота, ни тоннаж судов, проходящих по проливам, заливам и широким рекам.

5. Проект комбинированного транспортного перехода, состоящий из мостов и тоннелей из опускных секций, может оказаться более экономичным по сравнению с проектом большепролетного моста и горного тоннеля, построенных щитовым способом.

Следует отметить, что тоннели из опускных секций имеют и недостатки, которые заключаются в воздействии на окружающую среду: они могут оказывать влияние на места обитания рыб, изменять течения и уменьшать прозрачность воды.

Но самый главный недостаток на данный момент – это отсутствие опыта строительства тоннелей подобного типа в РФ, а также отсутствие необходимой техники. Тем не менее пришло время начинать возведение такого типа тоннелей, тем более, что в России существует большое количество водных (морских и речных) преград, которые надо пересекать транспортными переходами, не нарушая при этом судоходства.

**Выводы**

Анализ построенных и проектируемых транспортных переходов, в которых используются тоннели из опускаемых секций, показывает, что при выборе варианта пересечения транспортными магистралями проект тоннеля из опускаемых секций может быть наиболее экономичным, надежным и приемлемым с точки зрения затрат, времени строительства и использования современных технологий.

При выборе варианта мостового перехода для обеспечения прохода высокотоннажных судов необходимо строительство большепролетных мостов на высоких опорах. Слабые структурно-неустойчивые грунты, глубокое заложение коренных пород и высокая сейсмичность района создаст серьезные проблемы при сооружении и эксплуатации таких сооружений.

Собственные частоты колебаний большепролетных мостов попадают в область доминирующих частот землетрясений, что может привести к резонансным явлениям и повредить сооружения даже при слабых сейсмических воздействиях. Отметим, что в районе Керченского пролива, где сейчас решается вопрос о варианном

проектировании переправы, возможны землетрясения силой 9 баллов по шкале МСК-64.

Тоннели в меньшей мере подвержены сейсмическим воздействиям, так как 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 грунт твердый, или значительно меньше, если грунт слабый. Эти деформации обычно малы и не представляют серьезной опасности для тоннельных обделок.

По нашему мнению, для выбора наиболее оптимального транспортного перехода через Керченский пролив необходимо, кроме мостовых переходов, детально разработать варианты переходов с использованием тоннелей из опускаемых секций и комбинированного перехода мост-тоннель. При использовании последнего варианта въезд с моста в тоннель можно запроектировать на естественном или искусственном острове.

Для оценки возможной стоимости проекта приведем пример более сложного транспортного перехода, который сооружается между материковым Китаем и Гонконгом. Весь переход (мост, искусственные острова, тоннели из опускаемых секций) составляет около 30 км. Общая длина трассы между городами Гонконг, Чжухай и Макао составляет около 50 км, предполагаемая стоимость – 10 млрд долларов. При этом переход через Керченский пролив будет значительно короче и проще в инженерно-техническом смысле.

**Список литературы**

1. De Wit, J. C. W. M. Van Putten E. Immersed Tunnels: Competitive tunnel technique for long (sea) crossings.
2. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels Civil Elements / U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
3. Купчикова Н. В. Особенности берегоукрепления набережной реки Волги свайными оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 36–39.
4. Купчикова Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жесткость основания // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10.
5. Сборник нормативных показателей расхода материалов. Берегоукрепительные работы. Сборник 42 / разработ. Гос. комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике (Госстрой России). МДС 81-20.2000 // Информативно-справочная система «Гарант-ИНФО».
6. РД 31.31.55-93. Р 31.3.02-98. Пособие к инструкции по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений. Рекомендации по проектированию морских портовых гидротехнических сооружений в сейсмических районах при наличии в основании слабых грунтов (пособие к инструкции по проектированию морских причальных и берегоукрепительных сооружений, разработанных Департаментом морского транспорта Минтранса РФ). Владивосток, 1998.
7. Курбацкий Е. Н., Купчикова Н. В., Сан Лин Тун. Методика расчета свайных фундаментов с уширениями на статические и динамические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций // Модернизация регионов России: инвестиции в инновации : сб. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2010. С. 3–6.
8. Курбацкий Е. Н., Купчикова Н. В., Сан Лин Тун. Соотношение между интегралом Фурье и спектрами ответов при оценке сейсмического воздействия на свайный фундаменты // Энергоресурсосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство : сб. тр.V Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2011. С. 173–178.

© Е. Н. Курбацкий, Н. В. Купчикова, А. А. Сеницын

**Ссылка для цитирования:**

Курбацкий Е. Н., Купчикова Н. В., Сеницын А. А. Преимущества тоннелей из опускаемых секций транспортных переходов и особенности их сооружения через протяженные речные и морские преграды, сложенные на дне слабыми грунтами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2015. № 1 (11). С. 41–50.