

Для цитирования: Курбацкий Е.Н., Купчикова Н.В. Способы устройства тоннелей из опускных секций при строительстве на донных структурно-неустойчивых грунтах. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (2):173-183. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-173-183

For citation: Kurbatskiy E.N., Kupchikova N.V. Methods for the arrangement of immersed tube tunnels during construction based on structurally unstable soils. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;44 (2): 173-183. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-173-183

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 627; 624.15; 624.157

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-2-173-183

СПОСОБЫ УСТРОЙСТВА ТОННЕЛЕЙ ИЗ ОПУСКНЫХ СЕКЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА ДОННЫХ СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

Курбацкий Е.Н.¹, Купчикова Н.В.²

Российский университет транспорта (МИИТ)

127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, Россия,

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,

414056, Астрахань, ул. Татищева 18, Россия,

¹e-mail: kurbatskiy@miit.ru, ²e-mail: kupchikova79@mail.ru

Резюме: Цель. Цель исследования состоит в разработке наиболее эффективных конструктивно-технологических способов 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. **Метод.** Применен метод построения комбинированных транспортных переходов, состоящих из эстакад, проходящих от берегов над относительно неглубокими протоками, до искусственных островов, на которых трасса входит в тоннели, пересекающие глубокие судоходные каналы. **Результат.** Аналитически обобщен зарубежный опыт строительства тоннелей из опускных секций при сооружении транспортных переходов через протяжённые речные и морские преграды. Выявлены особенности, преимущества и недостатки их возведения уже эксплуатируемых тоннелей из опускных секций в ряде стран мира. Предложены конструктивно-технологические способы усиления дна рек и заливов, сложенных слабыми структурно-неустойчивыми грунтами. **Вывод.** 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. При выборе варианта мостового перехода для обеспечения прохода высокотонажных судов необходимо строительство большепролётных мостов на высоких опорах. Собственные частоты колебаний большепролётных мостов попадают в область доминирующих частот землетрясений, что может привести к резонансным явлениям и повредить сооружение даже при слабых сейсмических воздействиях. Тоннели в меньшей мере подвержены сейсмическим воздействиям, так как в них, в отличие от наземных сооружений, не возникает резонансных явлений. Конструктивно-технологические решения протяжённых переходов через проливы, сложенных слабыми грунтами по дну, на территориях расчлененных ландшафтов при выборе варианта пересечения транспортными магистралями, могут быть наиболее экономичными, надежными и приемлемыми с точки зрения затрат, времени строительства и использования современных технологий.

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

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

METHODS FOR THE ARRANGEMENT OF IMMERSSED TUBE TUNNELS DURING
CONSTRUCTION BASED ON STRUCTURALLY UNSTABLE SOILS

Evgeniy N. Kurbatskiy¹, Natalia V. Kupchikova²

Russian University of Transport (RUT - MIIT),

9b9 Obrazcova Str., Moscow 127994, Russia,

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

18 Tatishcheva Str. , Astrakhan 414056, Russia,

¹e-mail: kurbatskiy@miit.ru ²e-mail: kupchikova79@mail.ru

Abstract Objectives The aim of the research is to develop the most effective construction and technological methods for strengthening the bottom of rivers and bays, composed of weak structurally unstable soils, including zones with seismic activity, using pile foundations with broadening and rock filling with micropiles. **Methods** The method of constructing combined transport transitions was applied, consisting of overpasses running over relatively shallow channels from coasts to artificial islands on which the route enters tunnels crossing deep shipping canals. **Results** The foreign experience in the construction of immersed tube tunnels in the construction of transport crossings through the extended river and sea barriers has been analytically generalised. The features, advantages and disadvantages of the construction of immersed tube tunnels in some countries of the world are revealed. **Conclusion** A large number of already constructed and operated transport transits, including immersed tube tunnels, testifies to the advantages of such projects, as compared to other types of transport transitions like bridges and tunnels constructed using mining techniques. Construction-technological methods for strengthening the bottom of rivers and bays, composed of weak structurally unstable soils, are proposed. When selecting a design of a bridge to ensure the passage of high-tonnage vessels, it is necessary to build large-span bridges on high supports. Weak, structurally unstable soils, deep bedding of bedrock and high seismicity of the area will create serious problems in the construction and operation of such structures. The natural vibration frequencies of the large-span bridges fall into the region of the dominant earthquake frequencies, which can lead to resonant phenomena and damage the structure even under weak seismic influences. Tunnels are less susceptible to seismic impacts, since, unlike ground structures, they don't experience resonance phenomena. When seismic waves pass, the tunnels are deformed in the same way as the surrounding soil massif (if the soil is solid), or much less (if the soil is weak). Deformations are usually small and do not pose a serious danger for tunnel lining. Structural and technological solutions for long transit routes through straits composed of weak soils along the bottom in the territories of disarticulated landscapes can be the most economical, reliable and acceptable when choosing the intersection by transport routes from the point of view of costs, time of construction and use of modern technologies.

Keywords: water and sea obstacles, tunnels and bridges, immersed tube tunnels, weak soils at the bottom of reservoirs, muddy viscous soils, sandy and clayey silts, stone filling, bottom reinforcement, cast-in-place piles with broadening

Введение. Традиционно протяжённые транспортные переходы через проливы и широкие реки выполнялись с использованием мостов. В некоторых случаях для пропуска высокотоннажных судов приходится располагать пролётные строения на высоких опорах [1-3]. 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 так же существуют некоторые требования, которые необходимо выполнять, поскольку они приводят к удлинению перехода: тоннель должен располагаться ниже дна водоёма на 25-30 метров и более.

Тоннели из опускаемых секций, пересекающие водные преграды, имеют целый ряд преимуществ по сравнению с тоннелями, сооружаемыми горным и щитовым способом. Протяжённость этих тоннелей сравнительно меньше, так как они расположены на дне водоёмов 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).

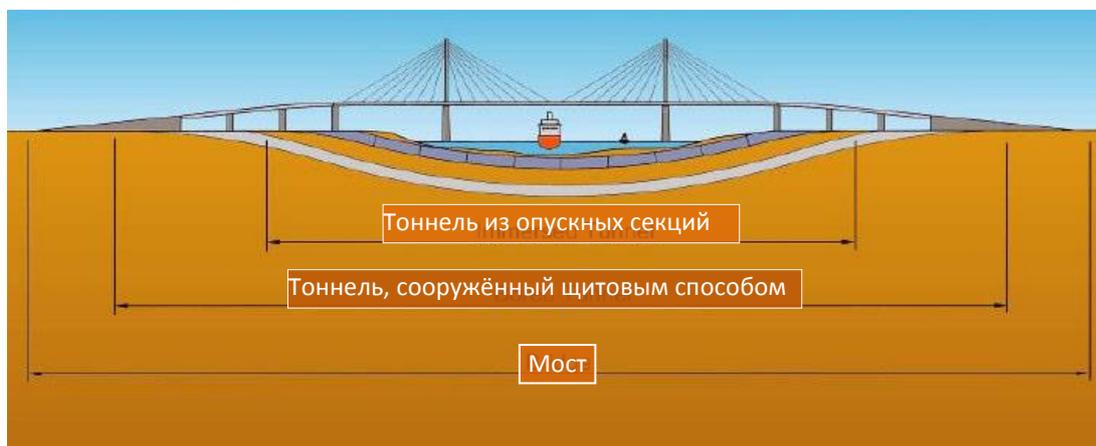


Рис. 1. Сравнение протяжённости транспортных переходов через водную преграду

Fig. 1. Comparison of the length of transport crossings through a water barrier

Постановка задачи. Цель исследования – разработка наиболее эффективных конструктивно-технологических способов 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. Тоннели из опускаемых секций сооружаются 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 большепролётных мостов.

Методы исследования. Для очень длинных переходов, когда навигация является важным фактором, комбинированные переходы «мост-тоннель» представляют собой экономически наиболее выгодное решение. Такие комбинированные переходы состоят из протяжённых 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 опускаемых секций различного назначения с разными поперечными сечениями (рис.2).

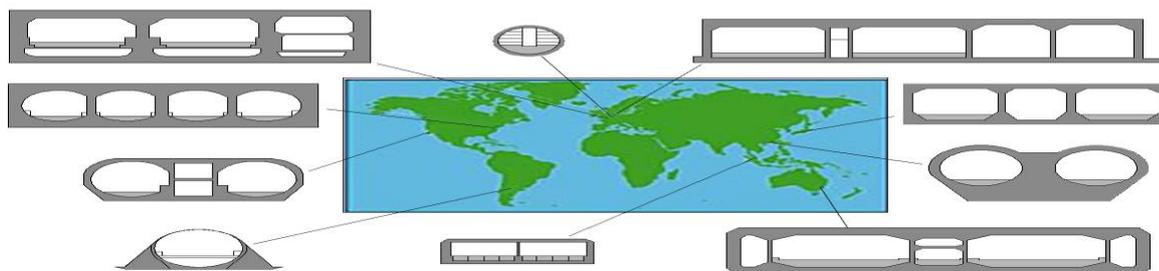


Рис.2. Типы поперечных сечений тоннелей из опускаемых секций и места их постройки

Fig.2. Types of cross-sections of tunnels from lower sections and their construction sites

Это автомобильные тоннели, железнодорожные тоннели: однопутные и двухпутные, а также, тоннели для одновременного пропуска железнодорожных поездов и автотранспорта.

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.

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



Рис.3. Тоннельно-мостовой переход через залив Chesapeake
Fig.3. Tunnel-bridge crossing over Chesapeake Bay

Первый крупный морской переход в Европе с использованием тоннеля из опускных секций был построен между Данией и Швецией на трассе Oresund. Эта трасса, длиной 16,7 км, 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 430м в море была расширена береговая зона.



Рис. 4 Транспортный переход на трассе Oresund между Данией и Швецией
Fig. 4 Transport passage on the Oresund road between Denmark and Sweden

Длина тоннеля из опускных секций под проливом Drogden на трассе Oresund составляет 3500 м. Тоннель состоит из 20 секций длиной по 176 метров каждая. Каждая секция собрана из восьми сегментов по 22 метра.

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.

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

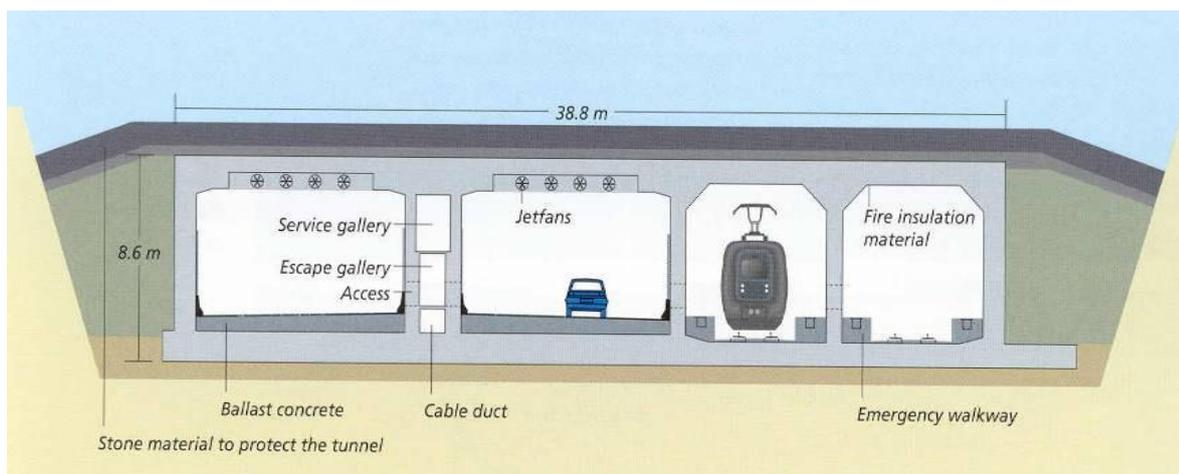


Рис. 5. Поперечное сечение туннеля Drodgenl

Fig. 5. The cross-section of the Drodgenl tunnel

Инженерно-геологические условия в месте расположения туннеля не являются благоприятными для строительства. Морское дно вдоль трассы туннеля, кроме береговых областей, состоит из слоя морской глины, мощность которого превышает 20 метров, достигая в некоторых местах 30 метров. У берегов на поверхность выходят коренные породы, а также тонкие слои песка и гравия, поэтому грунт в основании туннеля было решено усилить сваями [1-2]. Место строительства перехода расположено в Корейском проливе между Тихим океаном и Восточно-Китайским морем. Климатические условия в этом месте, открытом всем ветрам, достаточно сложные. Сильное течение до 2 м/сек, тайфуны и волны, высотой до 8 метров, серьёзно усложняли транспортировку секций туннеля на места установки. Сейсмичность района невысокая, тем не менее, туннель рассчитан на два уровня землетрясений: проектное (ПЗ) и максимальное расчётное (МРЗ).

Некоторые проблемы, с которыми столкнулись проектировщики и строители: большая глубина, разнообразные грунтовые условия, продолжительный расчётный срок эксплуатации (120 лет), необходимость сооружения искусственных островов на мягких грунтах, требование не искажать природные течения, при сооружении островов, трёхполосное движение привело к необходимости увеличить пролёт перекрытий туннеля до 14,55 м, необходимость заглубления верхней части туннельной обделки на глубину 29 метров от поверхности морского дна для обеспечения прохода танкеров водоизмещением 300 000 тонн в двух проливах с общей шириной 2,810 метров.

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

Обычно туннели выполняются из железобетонных или сталебетонных секций. Секции сооружаются в доках или в специально вырытых на берегу котлованах (рис. 6).



Рис. 6. Сооружение секции туннелей в специальном котловане (Нидерланды)

Fig. 6. Tunnel section construction in a special pit (Netherlands)

В некоторых случаях место производства секций может располагаться на больших расстояниях от места погружения секций. В качестве примера приведём вид железобетонного завода, расположенного на расстоянии 40 км от места расположения тоннеля (рис. 7).



Рис.7. Вид площадки для одновременной отливки нескольких секций тоннеля (западный берег залива Jinhae)
Fig.7. Type of site for simultaneous casting of several tunnel sections (western shore of Jinhae Bay)

После окончания сооружения секций котлован заполняется водой, для чего открываются специально смонтированные затворы. Перед заполнением котлована водой торцы секций герметизируются. Секции рассчитываются таким образом, чтобы они обладали необходимой плавучестью, поэтому секции после затопления котлована всплывают (рис. 8).



Рис. 8. Секции тоннелей подготовленные для транспортировки (Нидерланды)
Fig.8. Tunnel sections prepared for transport (Netherlands)

Готовые секции буксируются по воде к месту установки. При этом используется либо плавучесть секций, либо специальные плоты.

Наиболее распространенным методом подготовки траншей для подводных тоннелей является использование грейферов и земснарядов. В районах с повышенными экологическими требованиями для уменьшения загрязнений водной среды используются грейферы с герметичными ковшами. При разработке твёрдых скальных пород может возникнуть необходимость в выполнении буровзрывных работ, что экологически нежелательно.

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

Траншея для тоннеля должна соответствовать расчётному плану и профилю трассы с учётом возможных обвалов стен траншеи. Работы по углублению дна должны выполняться 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. После того, как секции тоннелей доставлены на ме-

сто установки, начинается процесс погружения в предварительно подготовленные траншеи (рис.9).

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. 9. Погружение секций со специальной баржи и пример поперечного сечения тоннеля с указанием обратной засыпки

Fig. 9. Submergence of sections from a special barge and an example of a tunnel cross-section with indication of backfilling

Для предотвращения повреждения тоннельных обделок, которые могут произойти при аварии судов и от повреждения якорями, при выполнении обратной засыпки, предусматривается защитный слой из твердого грунта.

На рис. 10 показана схема соединения элементов с использованием стыковой камеры. Смежные тоннельные элементы притягиваются друг к другу, при этом резиновое уплотнение подвергается предварительному обжатию. Пространство стыковой камеры герметизируется и, при выпуске из него некоторого количества воды, гидростатическое давление на свободный противоположный торец стыкуемой секции становится неуравновешенным и сжимает стык с усилием в несколько десятков тысяч килоньютон [9-14].



Рис. 10. Сема соединений между секциями с помощью прокладок: а) до стыковки; б) после стыковки

Fig. 10. Seal connections between sections using gaskets: a) until docking; b) after docking

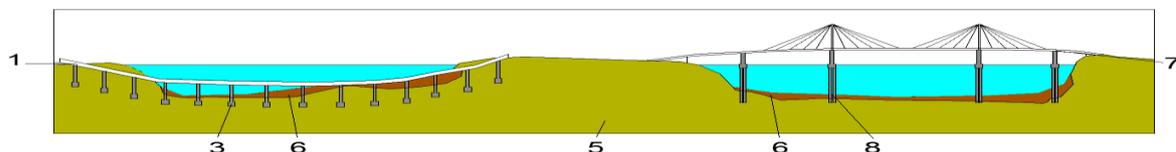
Обсуждение результатов. Большое количество построенных и эксплуатируемых в мире транспортных переходов, включающих в себя тоннели из опускных секций, свидетельствует о преимуществах таких проектов, по сравнению с другими типами транспортных переходов.

Отметим некоторые из них. Так, в настоящее время в мире хорошо разработаны все этапы строительства: сооружение секций, транспортировка секций к месту погружений, способы погружений. Одновременное производство большого количества секций тоннелей на берегу позволяет существенно ускорить строительство, используя при этом все технологии и достижения, которые используются при производстве железобетонных изделий. В процессе строительства не оказывается никакого влияния на судоходство.

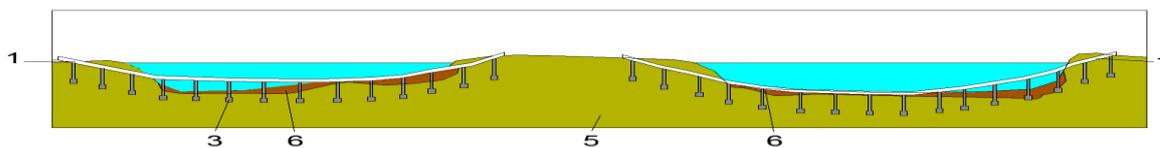
При эксплуатации транспортных переходов не ограничивается ни высота, ни тоннаж судов, проходящих по проливам, заливам и широким рекам. Проект комбинированного транспортного перехода, состоящий из мостов и тоннелей из опускных секций, может оказаться более экономичным по сравнению с проектом большепролетного 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. Исследования показывают, что условия пересечения проливов опускными тоннелями оцениваются как уникально сложными по природно-климатическим и инженерно-геологическим факторам. Поэтому по конструктив-

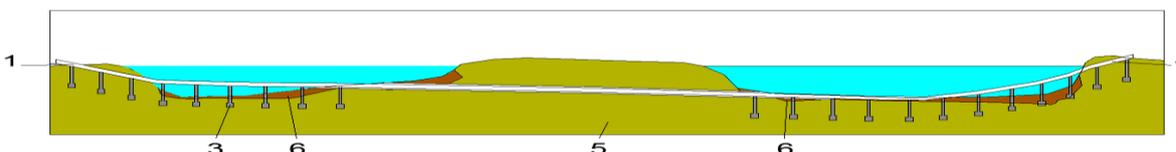
но-технологическим решениям протяжённые переходы через проливы и широкие реки, особенно на территориях расчлененных ландшафтов водными преградами можно подразделить на туннельно-мостовой вариант, совмещённый с мостами (рис. 11, а), на туннельные переходы из опускных секций совмещённые с наземными дорожными магистралями (рис. 11, б) и туннельный вариант из опускных секций, совмещённый с тоннелем, сооружённым горным способом (рис. 11, в).



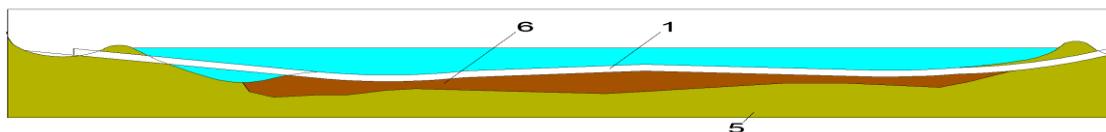
А) – туннельно-мостовой вариант, совмещённый с мостами



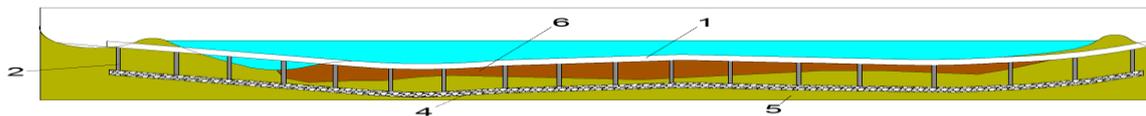
Б) – туннельный вариант из опускных секций, совмещённый с наземными дорожными магистралями



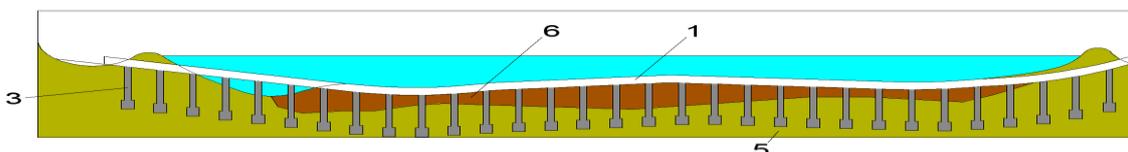
В) – туннельный вариант из опускных секций, совмещённый с тоннелем, сооружённым горным способом



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

Рис.11. Конструктивно-технологические решения протяжённых переходов через проливы на территориях расчлененных ландшафтов: 1 – туннель из опускных секций; 2 - микросваи; 3 – свая с концевым уширением; 4 – каменная наброска; 5 – мели; 6 – слабые грунты дна водоёма; 7 – мост; 8 – опоры мостов

Fig.11. Structural and technological solutions of long transitions through the straits in the territories of dismembered landscapes: 1 - a tunnel from lower sections; 2 - microcavities; 3 - pile with end widening; 4 - stone outline; 5 - shallows; 6 - weak bottom of the bottom of the water; 7 - the bridge; 8 - bridge supports

Одним из способов усиления слабых илистых оснований на дне водоёмов является каменная наброска. Большое значение в мире стало придаваться исследовательским работам по выявлению более новых способов применения каменно-набросных плотин способом наброской камня или мелких каменных материалов (щебня, галечника и др.).

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 результатам анализа проектной документации и рекомендаций авторов [4-14] по проектированию дна и берегоукрепления илистых оснований, следует выделить следующие особенности усиления каменной наброской:

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

2) Содержание частиц в илистом грунте меньше 0,01 мм, что составляет 10-30% по массе, т.е. 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 марок по прочности 600-300 - 1,3-1,5;

4) Коэффициент запаса шлама на уплотнение в зависимости от его плотности следует ориентировочно принимать 1,3-1,5.

На рис. 11 (д) представлен конструктивно-технологический вариант усиления слабых грунтов на дне водоёма при прокладке тоннелей из опускных секций каменной наброской и микросваями.

Конструктивно-технологическим способом, часто применяемым в гидротехническом строительстве на донных 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, где под напором водных потоков ствол сваи на отдельных участках может быть разрушен во время твердения бетонной смеси.

На рис. 11 (е) представлен вариант усиления слабых грунтов на дне водоёма при прокладке тоннелей из опускных секций буронабивными сваями с концевыми уширениями, что способствует значительному увеличению несущей способности и требуемой устойчивости свайного основания под тоннелем.

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

Собственные частоты колебаний большепролётных мостов попадают в область доминирующих частот землетрясений, что может привести к резонансным явлениям и повредить сооружение даже при слабых сейсмических воздействиях. Отметим, что в районе Керченского пролива, где ведётся строительство моста 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 твёрдый, или значительно меньше, если грунт - слабый. Эти деформации обычно малы и не представляют серьёзной опасности для тоннельных обделок.

Конструктивно-технологические решения протяжённых переходов через проливы, сложенных слабыми грунтами по дну, на территориях расчлененных ландшафтов и рассмотренные в статье при выборе варианта пересечения транспортными магистралями, могут быть наиболее

экономичными, надежными и приемлемыми с точки зрения затрат, времени строительства и использования современных технологий.

Библиографический список:

1. De Wit, J.C.W.M. Van Putten, E. «Immersed Tunnels: Competitive tunnel technique for long (sea) crossings»// De Wit, J.C.W.M. Van Putten, E 12 апреля 2012г.
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 Купчикова Н.В. Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 36-39.
4. Купчикова, Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жёсткость основания / Н. В. Купчикова // Журнал «Промышленное и гражданское строительство» №10 / -Москва, 2007 г.
5. Сборник нормативных показателей расхода материалов. Берегоукрепительные работы. Сборник 42., Государственный комитет Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике (Госстрой России) (Удк [691.004.18+69.059]).
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.
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,15 окт. 2010 г.). 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 свайные фундаменты // Энергоресурсосберегающие технологии: Наука. Образование. Бизнес. Производство: сб.тр.V Междунар. науч. - практ. конф. (Астрахань,24-28 окт. 2011 г.). С. 173-178.
9. Храпов, В. Г. Тоннели и метрополитены: Учебник для вузов/ , В. Г. Храпов, ЕАДемешко, СННаумов и др. – Под ред. В. Г. Храпова. – М.: Транспорт, 1989,383с.
10. Vucetic M, Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response. J Geotech Eng Div ASCE 1991; 117:89-107.
11. Kramer, Steven L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentive Hall, 653 pp.
12. Hwang, H. and Lee, C.S. (1991). "Parametric Study of Site Response Analysis." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 10 (6), 383-290.
13. Hwang, H. and Huo, J-R,(1991). "Parametric Study of Site Response Analysis." Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 10(6), 382-290.
14. Idriss I.M. (1990). "Response of Soft Soil Sites During Earthquakes." Proceedings of the H. B. Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, 2, 273-289.

References:

1. De Wit J.C.W.M., Van Putten E. Immersed Tunnels: Competitive tunnel technique for long (sea) crossings. Under City 2012 Dubrovnik. <http://tec-tunnel.com/wp-content/uploads/2012/11/UC2012-paper-immersed-tunnel-De-Wit.PDF.pdf>. Access date: 12.04.2012.
2. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels Civil Elements. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
3. Kupchikova N.V. Osobennosti beregoukrepleniya naberezhnoy reki Volgi svaynymi obolochkami, kamennoy nabroskoy i stroitel'stva na namyvnykh gruntakh vdol' beregovoy zony. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014;6:36-39. [Kupchikova N.V. The features of bank protection of the river Volga embankment by pile shells, stone filling, and building on the washed soils along the coastal zone. Industrial and Civil Engineering. 2014;6:36-39. (in Russ.)]
4. Kupchikova N.V. Vliyanie uplotneniya grunta so shchebnem na zhestkost' osnovaniya. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007;10:29 [Kupchikova N.V. Vliyanie uplotneniya grunta so shchebnem na zhestkost' osnovaniya. Industrial and Civil Engineering. 2007;10:29 (in Russ.)]
5. Sbornik normativnykh pokazateley raskhoda materialov. Beregoukrepiteľnye raboty. Sbornik 42. Gosudarstvennyy komitet Rossiyskoy Federatsii po stroitel'noy, arkhitekturnoy i zhilishchnoy politike

- (Gosstroy Rossii). [Compilation of normative characteristics of material consumption. Bank protection works. Compilation №42. Gosstroy Rossii. (in Russ.)]
6. RD 31.31.55-93. R 31.3.02-98. Posobie k instruktsii po proektirovaniyu morskikh prichal'nykh i beregoukrepitel'nykh sooruzheniy. Rekomendatsii po proektirovaniyu morskikh portovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v seysmicheskikh rayonakh pri nalichii v osnovanii slabykh gruntov. Departament morskogo transporta MINTRANSА RF. [RD 31.31.55-93. R 31.3.02-98. A Tutorial for the Instruction to design of sea berth and bank protection constructions. Recommendations for design of sea port hydro-technical constructions in seismic districts based on the weak soils. Department of Sea Transport of RF MINTRANS (in Russ.)]
 7. Kurbatskiy E.N., Kupchikova N.V., San Lin Tun. Metodika rascheta svaynykh fundamentov s ushirennyami na staticheskie i dinamicheskie vozdeystviya, osnovannaya na svoystvakh izobrazheniya Fur'e finitnykh funktsiy. Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Modernizatsiya regionov Rossii: investitsii v innovatsii". Astrakhan'; 2010. S. 3-6. [Kurbatskiy E.N., Kupchikova N.V., San Lin Tun. Calculation method of pile foundations with broadenings with static and dynamic impacts, based on the features of Fourier finite function images. Proceedings of IV International scientific-practical conference "Modernisation of Russia's Regions: investments and innovations". Astrakhan'; 2010. P. 3-6. (in Russ.)]
 8. Kurbatskiy E.N., Kupchikova N.V., San Lin Tun. Sootnoshenie mezhdru integralom Fur'e i spektrami otvetov pri otsenke seysmicheskogo vozdeystviya na svaynye fundamenty. Sbornik trudov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Energoresursosberegayushchie tekhnologii: Nauka. Obrazovanie. Biznes. Proizvodstvo". Astrakhan; 2011. S. 173-178. [Kurbatskiy E.N., Kupchikova N.V., San Lin Tun. Fourier's integral and response spectra correlation during the evaluation of seismic impact on pile foundations. Proceedings of V International scientific-practical conference "Energy- and resource saving technologies: Science. Education. Business. Production". Astrakhan; 2011. P. 173-178. (in Russ.)]
 9. Khrapov V.G., Demeshko E.A., Naumov S.N. i dr. Tonneli i metropoliteny: Uchebnik dlya vuzov. Pod red. V. G. Khrapova. M.: Transport; 1989. 383 s. [Khrapov V.G., Demeshko E.A., Naumov S.N. et al. Tunnels and underground: a tutorial for Higher Education Institutions. Khrapov V. G. (Ed.). Moscow: Transport; 1989. 383 p. (in Russ.)]
 10. Vucetic M., Dobry R. Effect of soil plasticity on cyclic response. J Geotech Eng Div ASCE 1991;117:89-107.
 11. Kramer S. L. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall; 1996. 653 pp.
 12. Hwang H. and Lee C.S. Parametric Study of Site Response Analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1991;10(6):383-290.
 13. Hwang H. and Huo J.-R. Parametric Study of Site Response Analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1991;10(6):382-290.
 14. Idriss I.M. Response of Soft Soil Sites During Earthquakes. Proceedings of the H.B. Seed Memorial Symposium. Berkeley, California; 1990. P.273-289.

Сведения об авторах:

Курбацкий Евгений Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели».

Купчикова Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Промышленное и гражданское строительство».

Information about the authors:

Evgeniy N. Kurbatskiy – Dr. Sci.(Technical), Prof., Department of Bridges and Tunnels.

Natalia V. Kupchikova – Cand. Sci.(Technical), Assoc. Prof., Department Industrial and civil construction.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.05.2017.

Принята в печать 01.06.2017.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 19.05.2017.

Accepted for publication 01.06.2017.