

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВЫ, СЛОЖЕННЫЕ СЛАБЫМИ ГРУНТАМИ ПО ДНУ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАСЧЛЕНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

*Е. Н. Курбацкий\**, *А. С. Сеницын\*\**

*\*Московский государственный институт путей сообщения (Россия)*

*\*\*Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)*

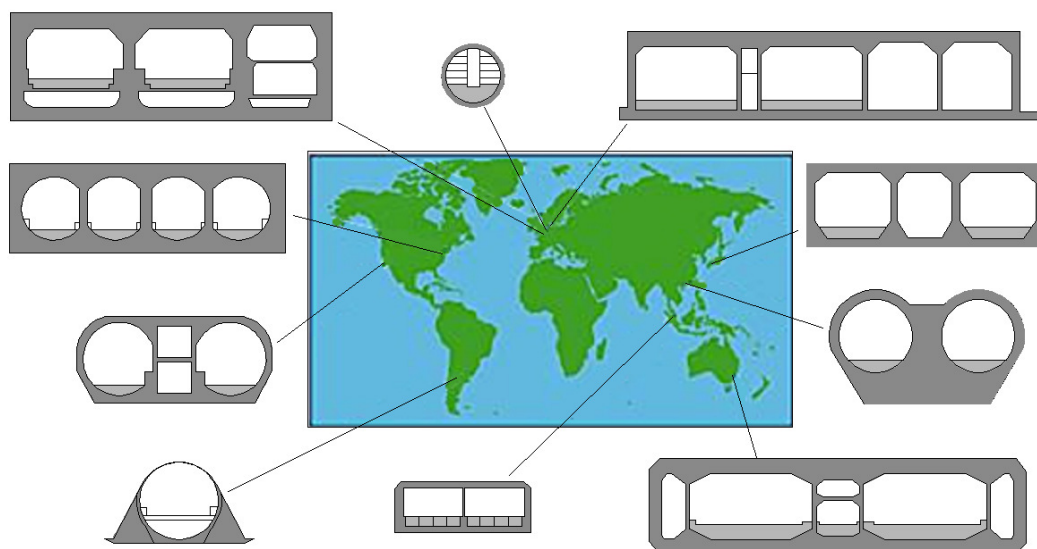
Предлагаются конструктивно-технологические способы усиления дна рек и заливов, сложенных слабыми структурно-неустойчивыми грунтами, в том числе в зонах с сейсмической активностью с помощью свайных фундаментов с уширениями и каменной наброски с микросваями. Большое количество построенных и эксплуатируемых в мире транспортных переходов, включающих в себя тоннели из опускаемых секций, свидетельствует о преимуществах таких проектов по сравнению с другими типами транспортных переходов – мостов и тоннелей, сооружаемых горной проходкой.

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

In the paper are offered constructive-technological ways of strengthening the bottom of rivers and bays, stacked weak, structurally unstable soils, including in seismic zones with pile foundations with a broadening and riprap with micropiles. A great number of vehicle crossings are constructed and operated in the world, including tunnels of movable sections, demonstrates the benefits of such projects compared to other types of vehicle crossings – bridges and tunnels, constructed by the mountain tunneling.

**Keywords:** *tunnels of movable sections, weak soils at the bottom of reservoirs, viscous silty soils, sandy and clayey silts, rock placement, strengthening of the bottom, printed pile with the broadening.*

Строительство тоннелей из опускаемых секций, пересекающих водные преграды, имеет целый ряд преимуществ по сравнению с тоннелями, сооружаемыми горным и щитовым способом, особенно активно они возводятся в зарубежных странах. 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. В настоящее время в мире построено и эксплуатируется более 100 тоннелей из опускаемых секций различного назначения с разными поперечными сечениями (рис. 1). Это автодорожные тоннели, железнодорожные тоннели: однопутные и двухпутные, а также, тоннели для одновременного пропуска железнодорожных поездов и автотранспорта [1–3].



*Рис. 1. Типы поперечных сечений тоннелей из опускных секций и места их постройки*

Исследования показывают, что условия пересечения проливов опускными тоннелями оцениваются как уникально сложными по природно-климатическим и инженерно-геологическим факторам. Поэтому по конструктивно-технологическим решениям протяженные переходы через проливы и широкие реки, особенно на территориях расчлененных ландшафтов водными преградами можно подразделить на тоннельно-мостовой вариант, совмещенные с мостами (рис. 2а), на тоннельные переходы из опускных секций, совмещенные с наземными дорожными магистралями (рис. 2б), и тоннельный вариант из опускных секций, совмещенный с тоннелем, сооруженным горным способом (рис. 2в).

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 в основном на поверхность выходят 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 усиливать.

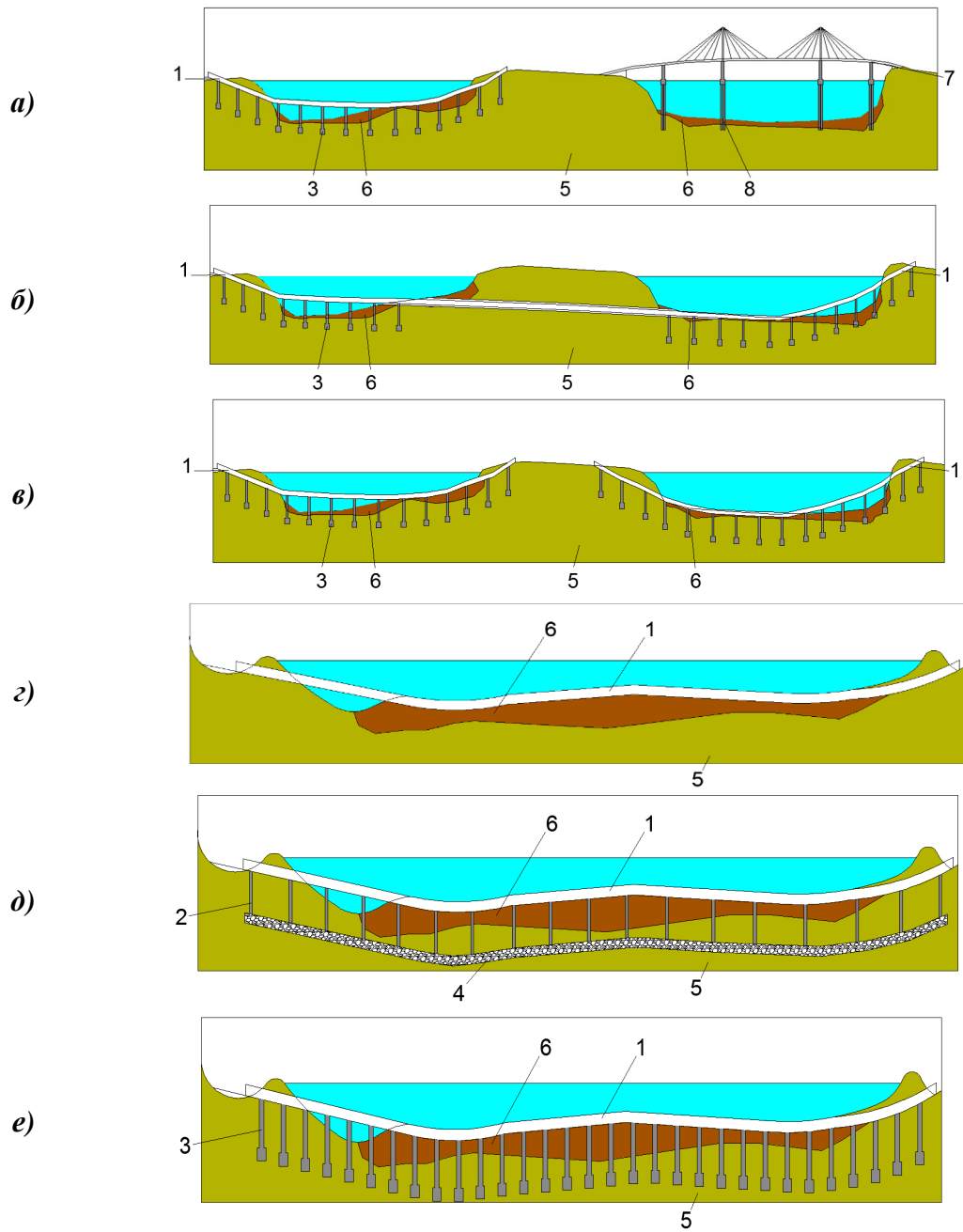


Рис. 2. Конструктивно-технологические решения протяженных переходов через проливы на территориях расчлененных ландшафтов:  
 1 – тоннель из опускных секций; 2 – микросваи; 3 – свая с концевым уширением;  
 4 – каменная наброска; 5 – мели; 6 – слабые грунты дна водоема; 7 – мост;  
 8 – опоры мостов;

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

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, имеющего форму трапеции с равными откосами, ширина которой составляет не менее 3 метров. Большое значение в мире стало придаваться исследовательским работам по выявлению более новых 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.

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, противостоянию от разрушения фильтрационных потоков, морозостойкостью в течение длительного времени и водостойкостью. 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 дна и берегоукрепления оказывается единственно возможной.

Согласно анализу проектной документации [3, 4], результатам обследования авторами [5, 6] и ряду пособий и рекомендаций по проектированию дно- и берегоукрепления илистых оснований [7–9], следует выделить следующие особенности усиления каменной наброской:

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

2) содержание частиц в илистых грунтах 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 шлака на уплотнение в зависимости от его плотности следует ориентировочно принимать 1,3–1,5.

На рис. 2д 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. 2е 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.

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 используются 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 опускаемых 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 такого типа в РФ, а также и отсутствие необходимой техники. Тем не менее пришло время начинать строительство 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.

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 сооружение даже при слабых сейсмических воздействиях. Отметим, что в районе Керченского пролива, где сейчас решается вопрос о вариантном 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.

#### **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 : разраб. Гос. комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике (Госстрой России). МДС 81-20.2000.

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, 15 октября 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 октября 2011 г.). С. 173–178.

УДК 72.727

## КАРКАС ГОРОДА: ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА

*Н. В. Купчикова*

*Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)*

В статье приведены базовые компоненты структурной организации городского пространства с учетом развития исторического центра и трассировки основных магистралей, а также модели развития каркасов современных городов, которые рассмотрены на примере улучшения архитектурного облика и изменения каркаса города Астрахани.

*Ключевые слова:* каркас города, модели развития планировочного каркаса, территориально-пространственное развитие города.

The article presents the basic components of the structural organization of the urban space taking into account the development of the historic centre, and traces of major highways, as well as the development models of the skeletons of modern cities, which is considered on the example of improvement of architectural shape and frame modifications of Astrakhan.

*Keywords:* the frame of the city, models of development planning framework, spatial development of the city.

В настоящее время градостроительная теория владеет широким спектром методов моделирования эффективной системы территориально-пространственного развития современных городов и поселений.

Стадийность и цикличность развития современного города в наши дни подвержена целому ряду изменений внешней и внутренней сред, а