

Вывод. Предложенная конструкция вантового виадука позволит перекрывать пролеты до 500 м, из спектрографического анализа изополей перемещений при сейсмическом воздействии видно, что в основном пролете не развиваются опасные напряжения, конструктивные элементы виадука расположены в зоне «холодных» зон деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иманалиев Т.Б. Сейсмостойкость искусственных сооружений. – Бишкек: Илим, 2010. – 211 с.
2. Городецкий А.С. "Ли́ра" - программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: основные теоретические и расчетные положения. – Киев: НИИАСС, 2002. – 147 с.

УДК 624.19

Иманалиев Темир Болотбекович – к.т.н., доцент (Бишкек, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры)

НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПОДВОДНЫХ ТОННЕЛЕЙ С ОПТИМАЛЬНЫМ ЗАГЛУБЛЕНИЕМ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Конструктивные решения тоннелей подробно описаны в трудах [1, 2, 3, 4], особенности их в том, что тоннели имеют заглубление ниже уровня судоходства, но выше уровня дна водоема, и опираются на мостовые опоры – быки. Другие конструкции подводных тоннелей основаны на традиционной проходке по породе ниже уровня дна водоема. Такие тоннели реализованы в общеизвестных проектах, таких как «Евротоннель» или тоннель «Сейкан». Традиционные технологические решения сопряжены с трудностями проходки по грунтовой толще и развитием гидростатического давления в породе, так как слой породы поверх тоннельных обделок подвержен фильтрации. Другая сложность заключается в том, что для прокладки тоннеля ниже уровня дна водоема необходимо соответствующее заглубление, а это неизбежно вызывает увеличение глубины залегания тоннельной обделки, что сопряжено с повышением статического давления.

Существуют также технологии опускных секций тоннеля, когда готовые секции опускают на дно, и трасса тоннеля проходит по дну. В этом случае, решается вопрос с трудоемкой проходкой по породе, но тоннель проходит также на низкой глубине, что чревато гидростатическим давлением всей толщи воды. Предлагаемое техническое решение подводного тоннеля решает задачу оптимального заглубления тела тоннеля в водной среде. Задачей нового технического решения является беспрепятственный проход водных преград в виде рек, озер, морских проливов и заливов автомобильными и железными дорогами по тоннелю ниже уровня судоходства без заложения тела тоннеля на дно водоема.

Поставленная задача решается тем, что согласно техническому решению тоннельная обделка, выполненная из легированной стали, жестко закреплена на двух рамповых порталах с двух концов, тело тоннельной обделки сборное и состоит из герметичных секций круглого сечения, которые закреплены между собой шарнирно. Тоннельная обделка погружена в воду ниже уровня судоходства и водоизмещения речных или морских судов и находится в плавучем состоянии. Общеизвестно, что тело в гидравлической среде стремится к всплытию. В этой связи и для противодействия турбулентным, ламинарным явлениям водной среды тоннельная обделка закреплена на двух металлических оттяжках из углеродистой стали с боковых сторон обделки, которые

жестко закреплены на водное дно посредством анкеров. Это позволяет телу тоннеля не всплыть на поверхность воды и противостоять водному течению. Резонансные явления от турбулентного течения воды и от судоходства гасятся за счет шарнирного сопряжения секций тоннеля и посредством работы металлических оттяжек. Внутри тоннельной обделки можно организовать структуры железнодорожного пути, автомобильной дороги и вентиляции исходя из технико-экономического обоснования. Заявляемое техническое решение позволяет отказаться от трудоемкой и затратной тоннельной проходки по породе ниже уровня водного дна. При такой проходке приходится заглублять трассу тоннеля на всю глубину водного массива, что отрицательно сказывается как на стоимости строительства, так и на технологических сложностях полной щитовой проходки по породе. При опускной технологии тоннельного строительства, когда секции тоннеля опускаются на водное дно, вышеуказанные проблемы не решаются, трасса тоннеля повторяет профиль водного дна, что отрицательно сказывается на трассировании тоннеля и автодорожного или железнодорожного пути в тоннелях, тогда как предлагаемое конструктивное решение позволяет, во-первых, трассировать тоннель на относительно неглубоком уровне и придерживаться прямолинейного продольного профиля тоннеля и дороги в нем, а во-вторых, отказаться от разработки грунтов и вести проходку ниже уровня водного массива. Техническое решение поясняется рисунками. На рисунке 1 показан подводный тоннель, общий вид; на рисунке 2 – поперечное сечение А-А; на рисунке 3 – узел А-А-I; на рисунке 4 – трехмерная визуализация подводного тоннеля.

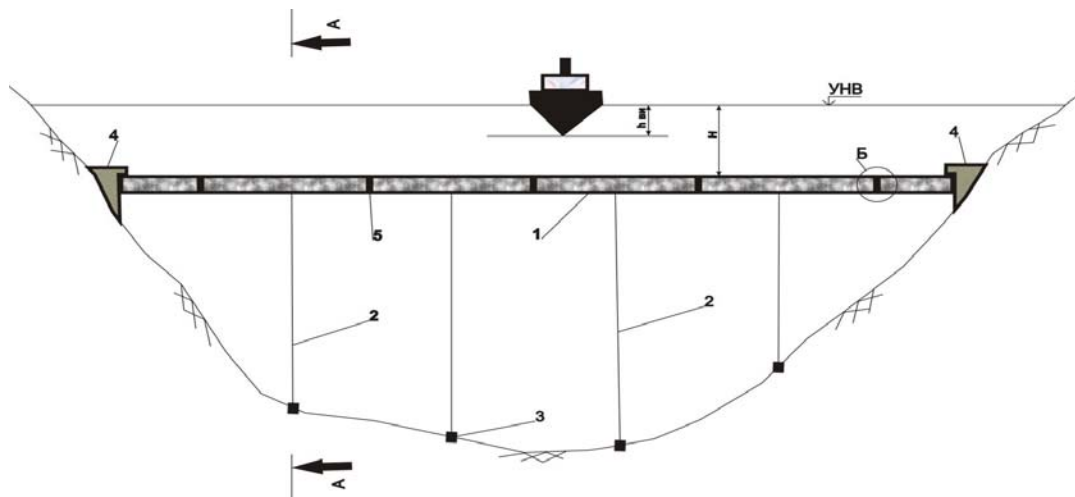
Подводный тоннель содержит следующие конструктивные элементы. Обделка состоит из сборных секций, которые выполнены из легированной стали или титана для противодействия долгосрочным коррозионным явлениям. Корпус секций подобен корпусам подводных лодок и представляет собой два корпуса – наружный прочный из листов стали толщиной 20-25 мм и внутренний легкий корпус из стали меньшей толщины. Для противодействия гидростатическому давлению предлагается внедрить систему «сэндвич», когда между двумя корпусами можно использовать пространственную замкнутую силовую структуру двутаврового сечения. Пространство между двумя корпусами предлагается заполнить дополнительной гидроизоляцией из жидкого герметика или иных материалов.

Использование в корпусе легированной стали или титана необязательно, так как в настоящее время существуют перспективные и технологичные композиционные материалы, но, ввиду их высокой стоимости, традиционные материалы выглядят более обоснованными. Секции тоннеля между собой соединены шарнирно, что позволяет обделке противостоять турбулентным течениям водной среды без развития резонансных и предельных напряжений. Тоннельная обделка с двух концов жестко закреплена к рамповым участкам, названным – рамповые порталы.

Общеизвестно, что сила, выталкивающая тело из воды, пропорциональна квадрату его диаметра, по этой причине встает вопрос балластирования тоннельной обделки. При технологии опускных секций на дно используют тяжелые железобетонные секции с балластировкой их дополнительным объемом бетона. В нашем случае, когда провозглашается задача «не топить» тоннель на дно, а дать ему возможность пребывать в плавучем состоянии на некотором заглублении, не мешая судоходству, такая задача решается использованием металлических оттяжек из углеродистой стали. Последняя применяется в мостовом строительстве против коррозии. Оттяжки жестко закрепляются с боковых сторон тоннельной обделки, где предусмотрены узлы жесткого сопряжения, каждая секция поддерживается от всплытия парой оттяжек с боковых сторон секций. Сами оттяжки анкерно закрепляются на дно водной среды на специальных фундаментах.

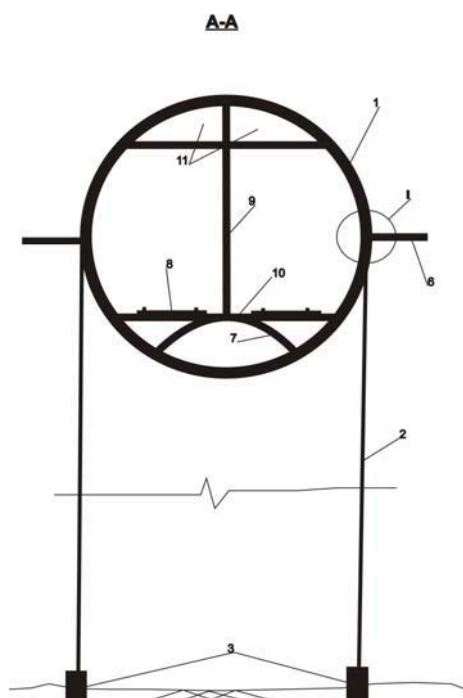
Для оптимальной работы подводного тоннеля против горизонтального гидродинамического давления используются горизонтальные кили, которые также

повышают площадь воздействия вертикальных гидродинамических сил всплытия и тем самым не допускают расслабления оттяжек. Горизонтальные кили конструктивно представляют собой металлические пластины конической формы, расположенные горизонтально с боковых сторон секций тоннеля в месте сопряжения оттяжек к секциям.



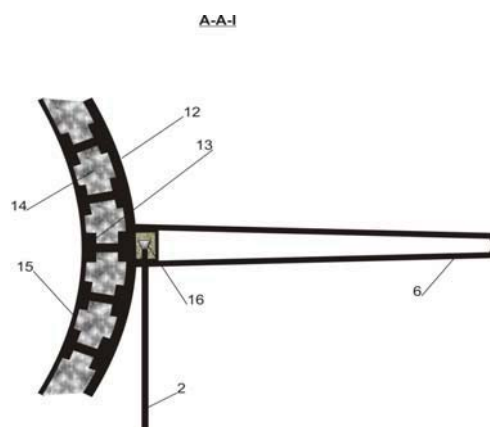
1 – секция тоннельной обделки; 2 – металлические оттяжки; 3 – анкерные опоры оттяжек; 4 – рамповые порталы; 5 – шарнирные узлы сопряжения секций; Н – глубина заложения тоннеля по верху; $h_{ви}$ – глубина водоизмещения судов; УНВ – уровень низких вод.

Рисунок 1 – Общий вид подводного тоннеля



6 – горизонтальные кили; 7 – арочная распорка основания пути; 8 – путь; 9 – вертикальное ребро жесткости; 10 – основание пути; 11 – вентиляционные шахты.

Рисунок 2 – Сечение А-А



12 – прочный внешний корпус секции тоннеля; 13 – пространственная силовая структура двутаврового сечения; 14 – гидроизоляция из жидкого герметика; 15 – легкий корпус; 16 – узел сопряжения оттяжек к корпусу.

Рисунок 3 – Узел А-А-I

Подводный тоннель размещен над уровнем низких вод УНВ на глубине по верху тоннеля H , что соответствует $H/2 = h_{\text{вн}}$, т.е. двум максимальным глубинам водоизмещения судов и судоходства. При этом подводный тоннель работает следующим образом. Он проложен по водному массиву ниже уровня судоходства, что позволяет осуществлять беспрепятственный ход как судов по воде, так и железнодорожного или автомобильного транспорта по тоннелю. Тоннель размещен в водной среде в плавучем состоянии и закреплен на оттяжках посредством анкеров ко дну, а секции тоннеля соединены между собой шарнирно, что дает тоннелю возможность упруго работать при резонансных явлениях от турбулентных, ламинарных течений и сейсмическом воздействии.

Для организации железнодорожных путей, служебных путей и вентиляции предлагается использовать вертикальные, горизонтальные и арочные ребра жесткости, что позволит, во-первых, организовать раздельные пути и продольные секции; во-вторых, повысить прочность на сжатие корпуса от гидростатического давления. Как отмечалось выше, использование композиционных материалов для изготовления корпуса предпочтительнее металла, поскольку они имеют малую массу и высокую прочность.

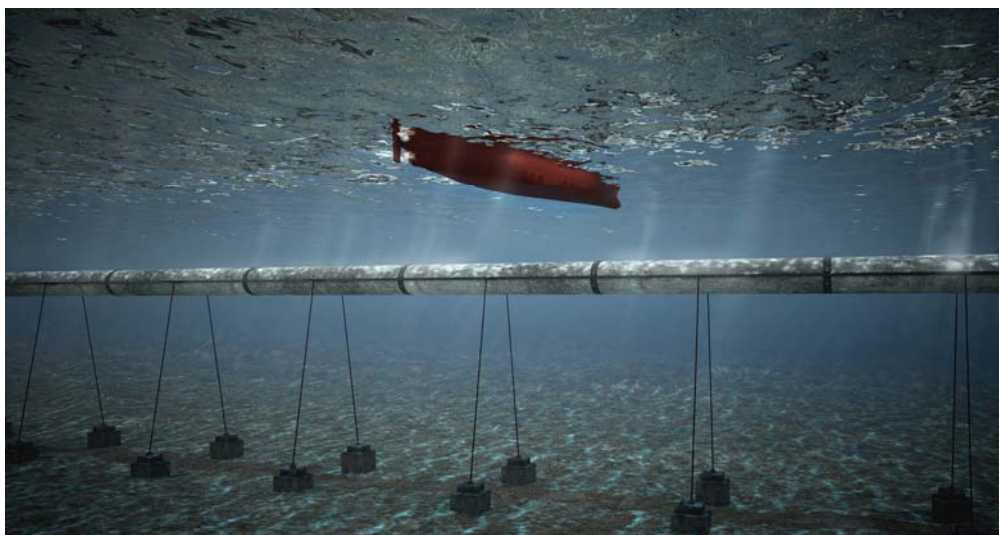


Рисунок 4 – Трехмерная визуализация подводного тоннеля, вид в воде

Расчет системы выполнен по программе Lira версии 9.4 с использованием пространственной расчетной схемы нагрузки от собственного веса конструкций, веса воды и нагрузки от подвижного состава (рис. 5-8). В результатах приведены расчетная схема, ее отдельные компоненты и результаты проверки сечений элементов по предельным состояниям.

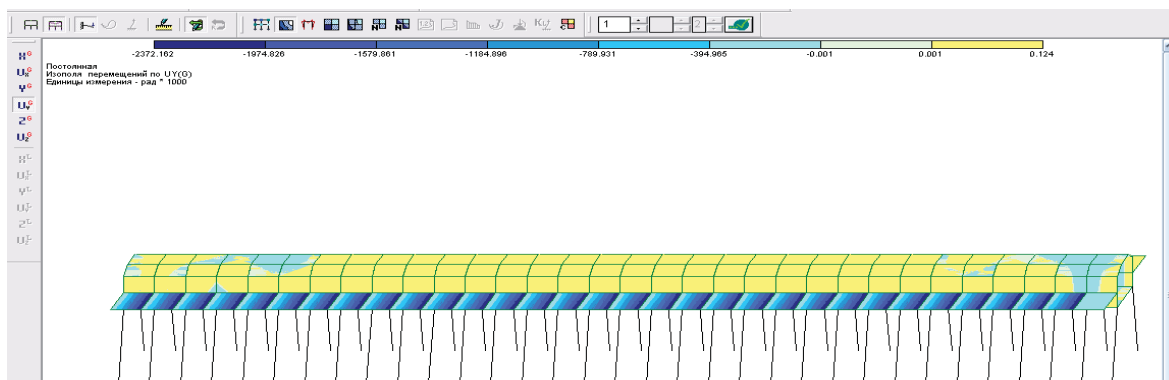


Рисунок 5 – Изополя перемещений от веса конструкций

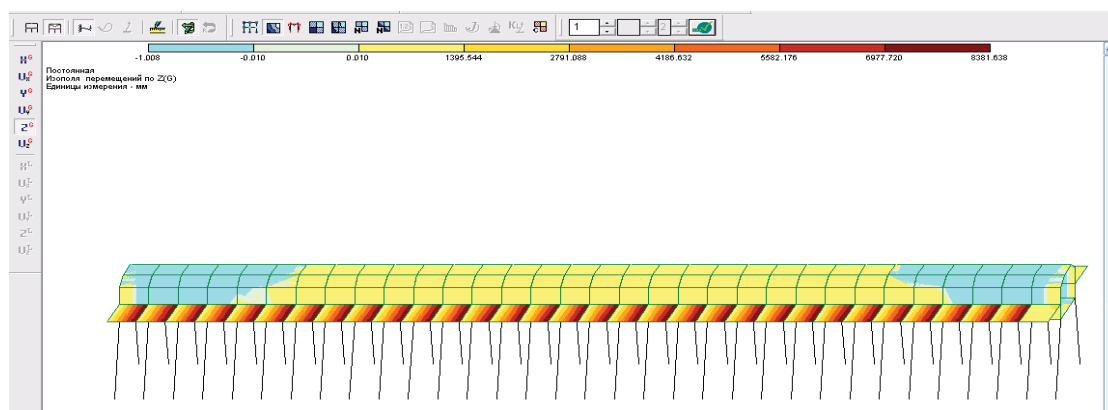


Рисунок 6 – Изополя перемещений от веса воды

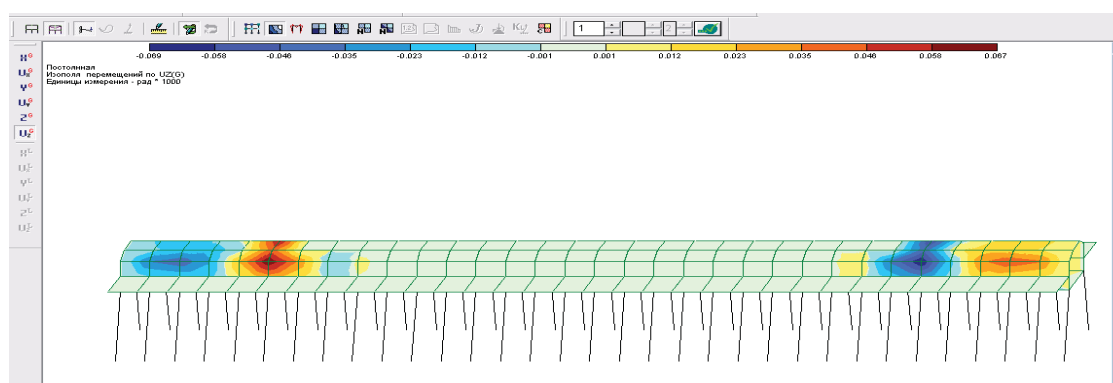


Рисунок 7 – Изополя перемещений от сочетанных постоянных нагрузок

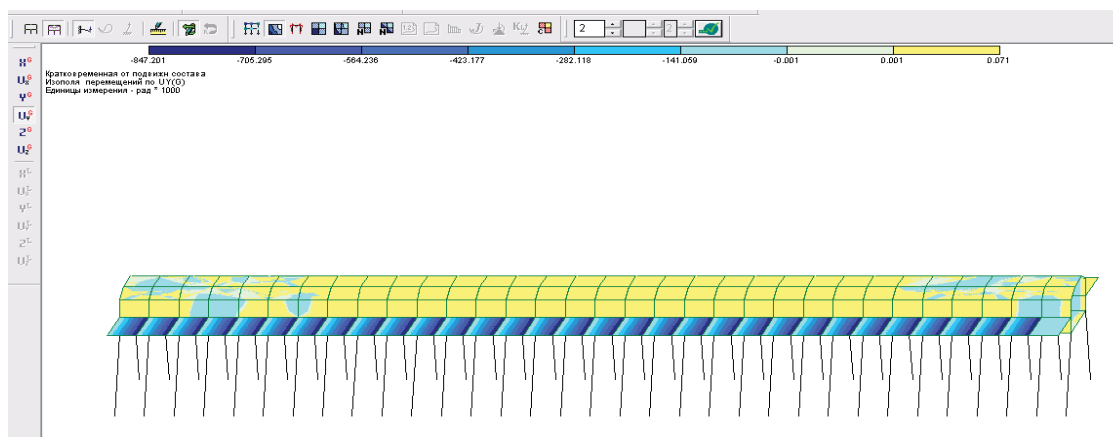


Рисунок 8 – Изополя перемещений от подвижного состава

Вывод. Предложенная конструкция подводного тоннеля позволит производить тоннельную проходку в водной среде с оптимальным профилем продольного трассирования железнодорожных путей и автомобильных дорог. Устойчивость тоннеля от динамических сил подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями с математической моделью сооружения, что видно из спектрографического анализа результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тоннели и метрополитены. Под ред. В.П. Волкова. 2 изд. – М., 1975.
2. Гишман М.Е. Проектирование транспортных сооружений – М.: Транспорт, 1988.
3. Автор. свид. на изобр. RU № (11) 2110007 (51) МПК⁶ F16L 1/12.
4. Автор. свид. на изобр. RU № (11) 2270297 (51) МПК E02D 29/063 (2006.01).