

## СЕЙСМОСТОЙКАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВИАДУКА

*Сунуш кылынат асылма конструктивдуу схема виадуктарга колдонуу копуру куру окшош техникалык чечим. Жаны техникалык чечим асылма система тажрыйба болбойт жайылтуу тоо копуру куру геологиялык структура аркылуу.*

*Предлагается подвесная конструктивная схема для виадуков с применением аналогичных технических решений мостового строительства. Новизна технического решения в том, что висячая система не имеет опыта внедрения в горном мостовом строительстве через геологические структуры.*

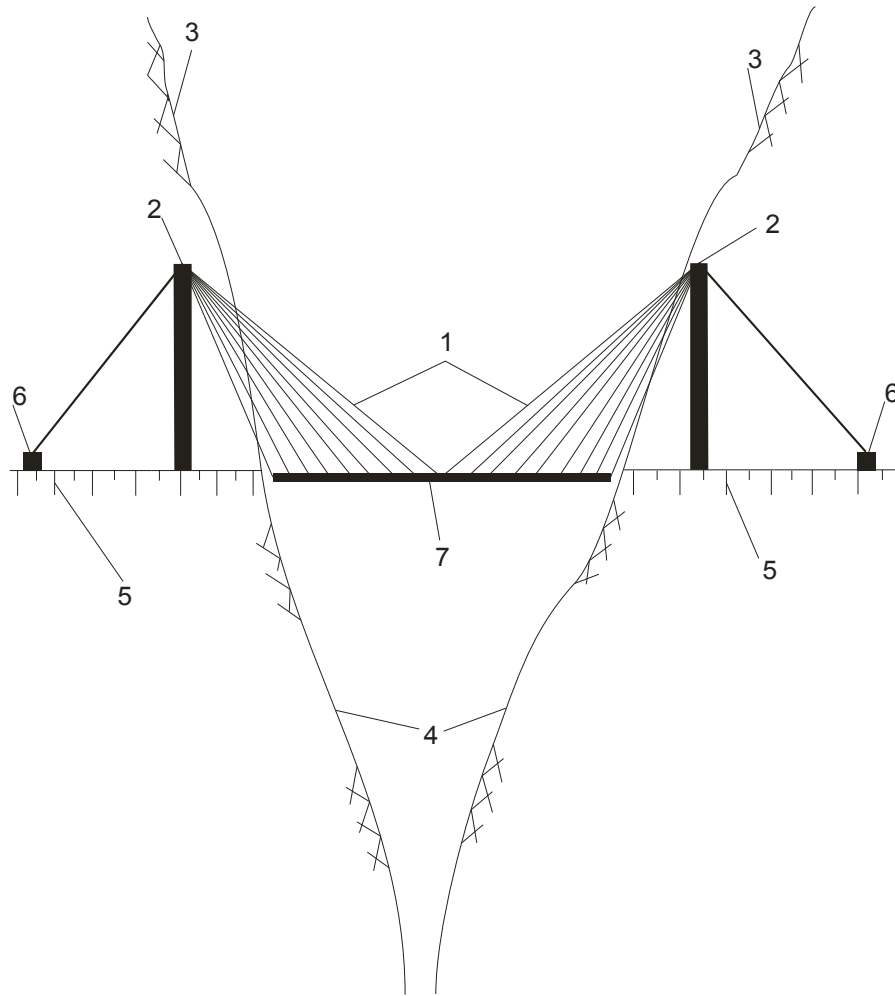
*Suspended proposed constructive scheme for viaducts using similar technical solutions bridge construction. The novelty of the technical solutions that hanging the system has no implementation experience in a mountain bridge construction through the geological structures.*

Строительство железных дорог на горных участках неизбежно вызовет потребность в устройстве специальных горных искусственных сооружений – виадуков. Виадуки представляют собой мостовые сооружения через впадины и ущелья. В высокогорных условиях, где сейсмическая составляющая динамических нагрузок является преобладающей, обеспечение сейсмостойкости искусственных сооружений и самих железных дорог весьма актуально. Как и любое другое мостовое сооружение, виадуки требуют устройства массивных несущих конструкций преимущественно арочного или балочного типа, а также их фундаментов, что, в свою очередь, снижает сейсмическую устойчивость всего сооружения, так как устройство массивных опор и фундаментов вызовет резонансные колебания при сейсмическом воздействии. В этих условиях актуальной задачей обеспечения сейсмоустойчивости сооружения являются, во-первых, сокращение массы виадука, что в свою очередь вызовет снижение резонансных явлений, во-вторых, обеспечение упругих смещений конструкции в пространстве с периодом собственных колебаний соответствующим преобладающим периодам сейсмических колебаний /1/. Эти требования может обеспечить предлагаемая конструкция виадука с **висячей** конструктивной схемой. Ясно, что пилоны не требуют устройства массивных опорных частей и их фундаментов по всей длине мостового сооружения, а ванты способны воспринимать нагрузки от пролетного

строения виадука, что подтверждается практикой вантового мостостроительства во всем мире. Пилоны предлагается размещать в пространстве вертикально для оптимальной реализации их несущих характеристик. Они должны быть жестко закреплены в грунт основания, так как требуемые упругие смещения пролетного строения от сейсмических колебаний и ветровых нагрузок обеспечат ванты. Само пролетное строение имеет вид висячей балки или рамы, являющейся основанием верхнего строения пути железной дороги. Особых требований к подрельсовым основаниям нет, и могут быть применены их классические конструктивные схемы, соответствующие другим мостовым сооружениям. Предлагаемое конструктивное решение показано на рис. 1.

Для задач по периодам и формам собственных колебаний существует широкий спектр решений. Основные затруднения носят принципиальный характер и обусловлены сложностью адекватного описания возбуждающей причины – сейсмических колебаний грунта. Функция  $W_0(t)=Y_0(t)$ , представляющая закон изменения ускорений грунта в расчетных формулах, носит нестабильный случайный характер и не поддается удобному аналитическому описанию. Имеющиеся в настоящий момент акселерограммы далеко не достаточны для полной характеристики колебаний грунта в различных региональных и местных условиях /2/.

По указанной причине для практического вычисления сейсмических сил применяются различные методы. Исторически первой сложилась так называемая статическая теория, которая предполагает, что деформации сооружения пренебрежимо малы и ускорения его точек совпадают с ускорениями грунта. Тогда наибольшие значения сейсмических сил можно непосредственно вычислить по максимальным ускорениям грунта:



**Рис. 1**  
 1 - ванты, 2 - пилоны, 3 - верховой откос, 4 - низовой откос,  
 5 - земляное полотно, 6 - вантовые опоры, 7 - пролетное строение

$$S_k = \max |S_k(t)| = m_k \max W_0 = \frac{\max W_0}{g} Q_k = K_c Q_k. \quad (1)$$

Здесь  $Q_k$  – вес сосредоточенного груза в точке  $k$ .

Для практических расчетов, как правило, применяется спектральный метод, принятый в нормах разных стран. Метод спектральных кривых не ставит целью описать изменения сейсмических сил во времени, он определяет только максимальные значения сейсмических сил для отдельных нормальных составляющих колебаний. Для вывода расчетных формул спектрального метода абсолютное значение максимальных во времени сейсмических сил  $i$ -того нормального колебания запишется в виде:

$$S_{ik} = \max_t |S_{ik}(t)| = m_k X_{ik} D_i \left( \frac{2\pi}{T_i} \max_t |I_i(t)| \right) \quad (2)$$

$(k = 1, 2, \dots, n)$

Сейсмические колебания сооружений носят сложный пространственный характер. При интенсивном сейсмическом воздействии деформации сооружений выходят за рамки упругих характеристик самих сооружений. Они носят, как правило, нелинейный характер. Методика определения сейсмических сил базируется на линейной теории и допускает независимое рассмотрение трех взаимно перпендикулярных компонентов колебаний. Для аналитического описания сейсмических колебаний сооружение заменяется расчетной схемой в виде невесомой стержневой системы с закрепленными на ней массами. Применяются дискретные схемы с конечным числом сосредоточенных масс и континуальные схемы, несущие распределенные массы. Традиционные расчетные схемы дискретного и континуального вида, принятые в теории сейсмостойкости, приведены на рис. 2, а и 3, а. В общем случае предполагается, что вертикальный стержень, изображающий сооружение на этих схемах, имеет переменное сечение и может испытывать упругие деформации переменного вида /32/.

Для определения сейсмических сил используются дифференциальные уравнения сейсмических колебаний. Рассмотрим общий ход составления и решения этих уравнений для вышеуказанных схем. Предполагается, что основание сооружения колеблется горизонтально в плоскости чертежа (рис. 2, б, 3, б). Закон изменения смещений основания во времени  $Y_0=Y_0(t)$  считается заданным. При заданном сейсмическом воздействии поведение сооружения как колебательной системы полностью определяется его инерционными свойствами и способностью необратимого поглощения энергии. При дискретной расчетной схеме (см. рис. 2) инерционные свойства сооружения заданы величинами масс  $m_k$  и ординатами точек их закрепления  $x_k$  ( $k=1,2,3,\dots,n$ ).

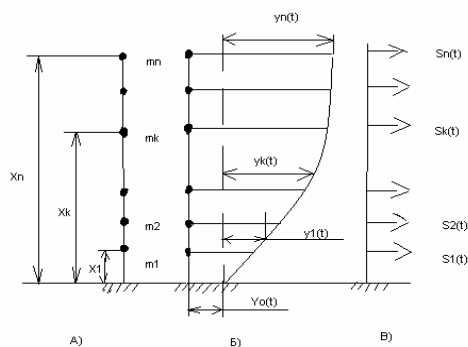


Рис. 2. Дискретная расчетная схема

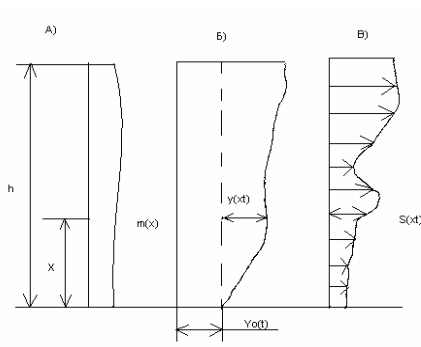


Рис. 3. Схема с распределенными параметрами

Деформационные свойства можно описать с помощью единичных перемещений  $\delta_{kv}$ , заданных для точек прикрепления сосредоточенных масс, они составляют квадратную симметричную матрицу вида  $\delta=[\delta_{kv}]^n$ . Напряженно-деформированное состояние дискретной схемы в каждый момент времени полностью определяется совокупностью относительных

смещений  $u_k(t)$  сосредоточенных масс от состояния равновесия. Число  $n$  этих координат есть число степеней свободы системы. Функции  $u_k$  являются искомыми факторами задачи. В процессе сейсмических колебаний каждая масса системы порождает сосредоточенную силу инерции, которая равна

$$S_k(t) = -m_k [y_k(t) + Y_0(t)] \quad (3)$$

( $k=1,2,3,\dots,n$ ).

Опыт строительства виадуков подтверждает технологичность применения горных мостовых сооружений, так как локализация автомобильных и железных дорог в обход существующих геологических условий значительно превышает стоимость их строительства. Существующие виадуки представляют собой арочные, балочные и вантовые конструкции. В районе Мийо (Франция) применена конструкция вантового виадука, пролетное строение которого опирается на 7 опор и поддерживается 154 вантами (11 пар на одной оси), рис. 4. Длина виадука Мийо – 2460 м, ширина – 32 м, высота (по опоре P2) – 343 м, давление на ванты – 900 т, вес дорожного полотна – 36 000 т, вес всего сооружения – 206 000 т, срок эксплуатации – 120 лет, стоимость виадука – 400 млн евро /3/. Как видно из технико-экономических показателей, стоимость виадука несопоставима с другими мостовыми сооружениями, которые исчисляются миллиардами в долларовом эквиваленте, и понятно, что бюджет строительства напрямую зависит от длины всего сооружения. Локализация производства строительных материалов в Киргизии и низкая оплата труда позволят значительно сократить стоимость устройства виадуков. Также маловероятно в наших геологических условиях использование значительных линейных конструкций, что также влечет снижение себестоимости.



Рис. 4. Виадук Мийо

### Список литературы

1. Иманалиев Т.Б. Сейсмостойкость лавинозащитных галерей. – Бишкек: КГУСТА, 2005. – 147 с.
2. Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений. – М.: Транспорт, 1974. – 263 с.
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B0%D0%B4%D1%83%D0%BA\\_%D0%9C%D0%B8%D0%B9%D0%BE](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%B0%D0%B4%D1%83%D0%BA_%D0%9C%D0%B8%D0%B9%D0%BE)