

УДК 699.841/624/625

ЗАЩИТА ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ С ВЫКЛЮЧАЮЩИМИСЯ СВЯЗЯМИ

Косяк В.Н., к.т.н., доц.

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Существенное увеличение тектонической активности земной коры, отмеченное в последние 40-50 лет, стало причиной землетрясений силой 7-8 баллов по 12-балльной шкале в Карпатском регионе Украины, сейсмических толчков силой в 6 баллов на севере и западе Одесской области, 7-балльных землетрясений в Черновицкой области. На территории Украины наиболее сейсмически активными являются Карпатский, Юго-Западный и Крымско-Черноморский регионы. Существуют данные [1], [2] о землетрясениях интенсивностью 4-6 баллов по шкале MSK-64, которые проявлялись со средним периодом повторяемости 17-28 лет с частотой 0.06...0.035 на территории Киевской области. Для 90% территории Украинского сейсмического региона характерным является проявление техногенной сейсмичности, по данным института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины каждый пятый житель страны проживает в сейсмоопасном районе [3]. Повышение уровня сейсмичности (в среднем на 10% каждые 10...15 лет) объясняется наличием большого количества подземных пустот, образовавшихся в результате развития инженерно-геологических процессов и антропогенных факторов (развитие подземного строительства, сооружение метро, добыча полезных ископаемых и т.п.)

В зависимости от вида сооружения и инженерно-геологических условий причиной повреждения может стать один из факторов сейсмического влияния:

- силы инерции горизонтального направления, вызывающие основные сейсмические усилия в сооружении в целом и его отдельных частях;
- силы инерции вертикального направления, что ведет к появлению дополнительных сейсмических усилий, уменьшающих полезный эффект сил трения и снижению резервов устойчивости всего сооружения или его отдельных частей;
- сейсмическое боковое давление грунта и воды;
- увеличение горного давления;
- снижение прочности (несущей способности) некоторых грунтов – например, рыхлых и водонасыщенных, в условиях сейсмического влияния;
- остаточные деформации грунтов;
- вторичные явления в виде сдвигов, смещений прослоек неустойчивых грунтов;
- пересечение сооружений тектоническими нарушениями, сбросами.

Действительная реакция сооружения на сейсмические воздействия зависит от геологических характеристик основания (особенностей колебаний грунтов), соотношения жесткостных параметров элементов сооружения,

включаемых в совместную работу. Значительное количество факторов, влияющих на колебания грунтов, и случайность их сочетания не позволяют получить единый закон сейсмических колебаний с учетом изменений процесса во времени. Для правильной оценки сейсмического эффекта важно установить качественный характер сейсмического влияния. Мосты являются линейными, протяженными гибкими сооружениями, подверженными воздействию движущихся нагрузок. Часто они расположены вблизи границ перемещающихся блоков (тектонических разломов по дну рек), участки дорог в селеопасных и оползнеопасных районах. Поэтому определение преобладающего воздействия - сейсמודинамического, сейсотектонического или сейсмогравитационного, - на транспортные сооружения (мосты, путепроводы, тоннели, подпорные стены, водопропускные трубы) с целью выбора рациональной системы их защиты, наиболее целесообразно осуществлять для мостов.

Защита сооружений от разрушений при землетрясениях может быть эффективной при наличии точных данных об уровне сейсмической опасности площадки строительства и правильном выборе конструктивных решений.

Один из основных принципов проектирования сейсмостойких транспортных сооружений заключается в эффективном распределении жесткостей и масс элементов сооружения. Он направлен на обеспечение наиболее благоприятного характера сейсмических колебаний и минимальных значений сейсмических усилий. В настоящее время для обеспечения активной защиты сооружений от сейсмических воздействий при проектировании часто предусматривают использование конструкций фундаментов с сейсмоизолирующими поясами и выключающимися связями, а также обеспечение значительной податливости несущих конструкций нижней части сооружения. Целью таких решений является снижение инерционных горизонтальных нагрузок на надземную часть сооружений и уменьшение энергии сейсмических воздействий за счет развития в материале конструкции неупругих деформаций.

Применение конструктивных решений с выключающимися связями предполагает наличие жесткой защитной конструкции, к которой прикреплены связевые элементы меньшей жесткости, связывающие защитную и защищаемую конструкции.

Для решения проблемы преодоления резонансных колебаний сооружения и грунтов основания при сейсмических нагрузках и снижения влияния сейсмического воздействия на надземную часть сооружения предлагается техническое решение. Фундамент опоры моста, включающий ростверк и шарнирно связанные с ним буронабивные столбы (оболочки), дополнен связями, верхние части которых свободно расположены в скважинах и прикреплены одним концом к ростверку, а другим - к столбам (оболочкам). Сечение связей определяется расчетом для каждого сооружения в соответствии с ожидаемыми параметрами сейсмического воздействия так, чтобы при резонансе колебаний сооружения и почвы связи выключались из работы (разрывались).

На рис.1 приведен вертикальный разрез сейсмостойкого фундамента, на рис.2 - вид на нижнюю плоскость ростверка фундамента и связи, выключающиеся из работы при резонансе колебаний сооружения и почвы.

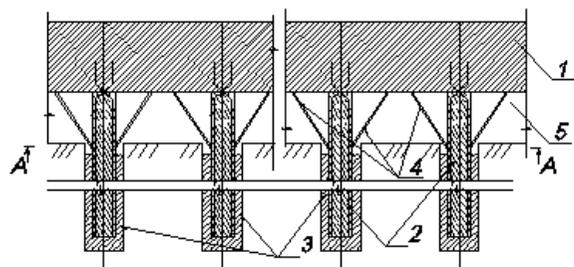


Рис. 1

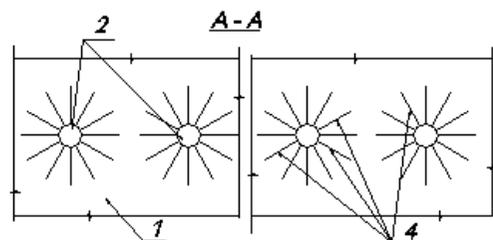


Рис. 2

Сейсмостойкий фундамент опоры моста (искусственного сооружения) состоит из ростверка 1, с которым шарнирно связаны буроопускные столбы (оболочки) 2, установленные в предварительно подготовленные скважины 3. Пространство между сваями и стенками скважин заполнено бетоном до уровня прикрепления, выключающихся связей 4. В связи с тем, что традиционные уголкового и швеллерные связевые элементы, как правило, разрушаются без развития неупругих деформаций, в конструкции предполагается применение связей в виде стержней с талрепами, пружин, шпилек, сварных стержней. Для обеспечения свободного доступа к выключающимся связям 4, скважины 3 выше места их прикрепления переходят в котлован 5, заполненный местным грунтом. В обычных условиях фундамент является жесткой системой, период собственных колебаний которой значительно меньше периода колебаний грунта. Система оказывает сопротивление сейсмической нагрузке, а наличие выключающихся связей увеличивает ее пространственную жесткость. При сейсмических воздействиях с частотами, сопоставимыми с частотами собственных колебаний фундамента, при увеличении амплитуды колебаний до заданного расчетами уровня,

разрушаются выключающиеся связи, благодаря чему система мгновенно превращается из жесткой в гибкую. Период ее колебаний резко возрастает и выходит из резонансного режима, одновременно существенно уменьшается часть нагрузки, передаваемая на надземную часть сооружения, благодаря чему сооружение остается неповрежденным. Связи, разрушенные при резонансе колебаний грунта и сооружения, по окончании сейсмического воздействия заменяют новыми. Техническое решение защищено декларационным патентом Украины на изобретение №69109.

Еще одним вариантом защиты моста от сейсмических нагрузок является конструкция опоры с элементами, противодействующими вертикальным и горизонтальным колебаниям. Суть технического решения заключается в том, что сейсмостойкая опора имеет опорный пояс с коническим углублением, ростверк стаканного типа, клин с уширенным верхним концом, шарнирно прикрепленным к ростверку. Новизна решения заключается в конструкции стакана, который выполнен раздвижным. Упругие тяги расчетной жесткости удерживают его стороны, основание стакана выполнено сферическим, а опирание предусмотрено на опорный пояс, заполненный демпфирующим материалом. Клин опоры выполнен со сферическими закруглениями, которыми он опирается на внутренние стороны раздвижного стакана.

На рис. 3 показана схема сейсмостойкой опоры моста, которая состоит из ростверка опоры 1, клина опоры с сферическими закруглениями 2, шарнира клина 3, упругих тяг 4, закрепленных горизонтально между частями раздвижного стакана 5 со сферическим основанием 7. Части стакана опираются в коническое углубление 8 опорного пояса 9, которое заполнено демпфирующим материалом 10.

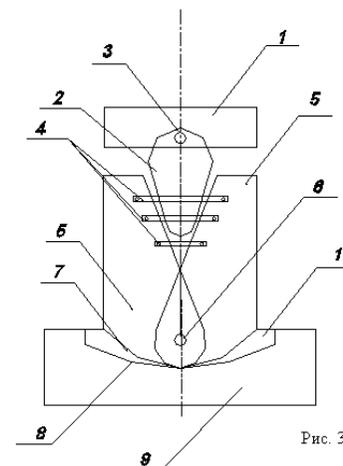


Рис. 3

В обычных условиях по оси конического углубления опорного пояса опирается сферическое основание раздвижного стакана, части которого внизу соединены шарниром раздвижного стакана.

Пространство между раздвижным стаканом и коническим углублением заполнено демпфирующим материалом. Между верхними частями раздвижного стакана узкой стороной вниз размещен клин опоры, который удерживают горизонтально закрепленные к частям раздвижного стакана упругие тяги и окружающий грунт. К клину опоры шарниром клина прикреплен ростверк опоры. Вертикальные нагрузки от сейсмических колебаний или неравномерного проседания грунта через опорный пояс воздействуют на сферическую основу раздвижного стакана.

Части раздвижного стакана под давлением веса клина опоры раскрываются в стороны при повороте относительно оси шарнира раздвижного стакана. При этом происходит перераспределение энергии вертикальной нагрузки на горизонтальную плоскость и ее поглощения материалом упругих тяг, демпфирующих материалов и грунтом основания. На ростверк опоры влияет энергия вертикальной нагрузки значительно меньшей величины.

При возникновении горизонтальных нагрузок сферическое основание раздвижного стакана смещается в сторону от оси конического углубления опорного пояса. Раздвижной стакан при этом передвигается вверх. Происходит перераспределение энергии горизонтальной нагрузки на вертикальную плоскость и ее поглощение демпфирующим материалом. Угловые перемещения при вертикальных и горизонтальных нагрузках гасятся за счет наличия закругления сферического основания и клина опоры со сферическими закруглениями, которые через части раздвижного стакана передают энергию грунту основания. Если нагрузки на части раздвижного стакана превышают несущую способность упругих тяг, то упругие тяги разрываются. Жесткость и несущая способность упругих тяг и последовательность их разрушения назначается для каждого сооружения на основании предварительных расчетов и может регулироваться усилиями натяжения. Техническое решение защищено декларационным патентом Украины на полезную модель № 70627.

При использовании в проектных решениях систем с выключающимися связями для каждого сооружения (опоры моста) необходимо выполнить ряд действий:

1 – определить нормальные напряжения в поперечном сечении, изгибающие моменты и силы сдвига;

2 – назначить предварительные размеры в соответствии с требованиями нормативных документов;

3 – добавить к значению изгибающего момента в уровне подошвы фундамента величину изгибающего момента, возникающего вследствие примыкания выключающихся связей (с минимальными размерами сечения) к конструкции опоры;

4 – определить несущую способность системы «опора – связь» с учетом возможности образования пластического шарнира, величину эксцентриситета и максимальную сдвигающую силу;

5 – для известных сдвига и момента определить максимальное напряжение в выключающихся связях и, при необходимости, уточнить

размеры их поперечного сечения, чтобы исключить возможность выгиба, наступления текучести при растяжении до образования пластического шарнира, или хрупкого разрушения. Соединение выключающихся связей с основными элементами конструкции должно обеспечивать достаточную податливость системы и повышать упругие свойства связей.

Применение сейсмостойких опор и фундаментов при строительстве искусственных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях позволит повысить их устойчивость и надежность при землетрясениях и неравномерных проседаниях грунтов при техногенных воздействиях и существенно уменьшить время проведения и стоимость восстановительных работ.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Немчинов Ю.И. Сейсмическая опасность в Украине. Система предупреждения и ликвидации последствий землетрясений. – В сб. матер. „Аварії на будівлях та спорудах та їх попередження”, - Киев, 1997г. – с. 51-61.
2. Научно-технический отчет НИИСК, МНТЦ, НИИМБП, КиЭП по разд. 5 доп. Соглашения №1/96: „Определение перечня исходных событий (опасных воздействий) и расчет их последствий при эксплуатации и преобразовании объекта „Укрытие” – Киев, 1996. – 209с.
3. Кендзера А. В. Сучасний стан та основні напрямки сейсмологічних досліджень в Україні. – В с. Будівництво в сейсмічних районах України. – К.: 2004, - с. 14-21.
4. Авторское свидетельство СССР №554388.
5. Авторское свидетельство СССР №156110.
6. Казакевич М.И., Косяк В.Н. Декларационный патент Украины на изобретение №69109 «Сейсмостойкий фундамент».
7. Бондаренко Б.М., Косяк В.Н., Бондаренко Н.Б. Декларационный патент Украины на полезную модель № 70627 «Сейсмостойкая опора».

УДК 624.012.35

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ В НАКЛОННОМ СЕЧЕНИИ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ РОССИИ

Р.О. Красновский, к.т.н.

ЗАО "Институт "Оргэнергострой", г. Москва, Россия

До введения в действие НиТУ 123-55 [1] расчет железобетонных конструкций в Советском Союзе проводился по методу допускаемых напряжений, основанному на представлении об упругой работе материалов. В методе предельных состояний железобетонный элемент рассматривался на стадии близкой к разрушению с учетом трещин, которые могли изменять статическую схему элемента по сравнению с исходной при упругой работе.