

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА В СОЧИ

ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ И АНТИСЕЙСМИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РАЙОНЕ БОЛЬШОГО СОЧИ

К числу опасных геологических процессов и явлений в Большом Сочи, включающем Лазаревский, Центральный, Хостинский и Адлерский районы, относятся оползни, деформации слабых глинистых грунтов и землетрясения. Оползни и деформации слабых грунтов создают дополнительные нагрузки на конструкции или уменьшают их несущую способность, например, за счет образования трещин и разрывов в кирпичной (бетонной) кладке, что уменьшает способность зданий и сооружений выдерживать без разрушения сейсмические воздействия.

За последние 10 лет исследования упомянутых процессов и явлений в районе Большого Сочи с разработкой мер защиты от них транспортных сооружений выполнялись ЦНИИСом, МИИТом, инженерным центром «ПОИСК», ИФЗ РАН, «Гипротрансмостом», «Союздорпроект» и рядом других организаций, материалы которых использованы в настоящей статье.

Опасность оползней

По данным изысканий в полосе обходной автомобильной дороги г. Сочи имеется множество оползневых очагов, протяженность которых составляет на отдельных участках дороги более 30% от их длины. Мощность неустойчивых покровных отложений местами достигает 10 м. В некоторых случаях в оползневый

процесс вовлекаются толщи коренной породы (аргиллита). Оползни имеются также в полосе железной дороги (рис. 1).

В 2001 г. активизировался оползень в Раздольненской котловине. Строившаяся автомобильная дорога пересекла оползневый склон в неглубокой выемке. Подрезанные участки склона были укреплены подпорной стеной с массивным фундаментом мелкого заложения.

В предшествующий возникновению оползня период склон был раскорчеван и террасирован с целью выращивания сельскохозяйственных культур. Распаханные участки стали интенсивно поглощать воду после дождей и весеннего таяния снега. По многочисленным тре-

щинам в грунте вода проникала вглубь оползневого тела, ухудшая свойства глинистых отложений. Таким образом, работы по подготовке склона к выращиванию сельскохозяйственных культур превратили склон в мощный аккумулятор грунтовой воды, увеличивающей массу оползневого тела и изменяющей в неблагоприятную сторону свойства грунта вблизи поверхности скольжения.

После интенсивных дождей в начале 2001 г. на склоне сформировался оползень размерами в плане 300x300 кв. м, мощностью до 12-15 м и общим объемом сместившейся породы около 1 млн куб. м. Оползневая масса сдвинулась на расстояние до 30 м. При подвижке грунта в тыльной части оползня образовался ров, а перед его фронтом – выпор грунта, разрушивший путепровод, подпорную стену и дренажную систему.

Несколько раньше разрушена из-за замачивания глинистых грунтов подпорная стена на ПК91-ПК93 с фундаментом в виде высокого свайного ростверка, на котором были закреплены в вертикальном положении железобетонные плиты. Оползневым давлением сваи были деформированы, а железобетонные плиты получили недопустимые местные и общие деформации или полностью разрушились (рис. 2).

В последующие годы на обходе г. Сочи проведены значительные работы по оценке оползневой опасности, в том числе при землетрясениях. Работы включали обследование склона, дополнительное бурение разведочных скважин, уточнение методики расчета склонов на сейсмоустойчивость, геофизические исследования.

Институт «Фундаментпроект» выполнил полевые сейсморазведочные работы на четырех профилях общей длиной 568 м в Раздольненской котловине. Сейсморазведкой определены скорости про-



Рис. 1. Сползание текучепластичных глинистых масс по склону

дольных и поперечных сейсмических волн в поверхностных отложениях и коренной породе на глубину до 30 м. Данные сейсморазведки использованы при сейсмическом микрорайонировании и уточнении очертания ложа оползня.

На рис. 3 показано изменение скорости поперечных сейсмических волн по глубине разреза. На отметке 8 м ниже поверхности склона график скорости V_s достигает локального максимума, ниже которого скорость поперечных волн уменьшается, указывая на разрушение породы вблизи поверхности сдвига. Локальный минимум V_s на глубине 10 м соответствует поверхности ложа оползня, совпадающей с кровлей трещиноватого аргиллита. В интервале глубин от 10 до 20 м скорость V_s увеличивается в соответствии с постепенным уменьшением трещиноватости коренной породы. Ниже отметки –20 м скорость V_s стабилизируется, достигая своего максимума 1200 м/с. Таким образом, мощность зоны выветривания на склоне составляет 20 м, а поверхность сдвига находится на глубине 10 м.

На основании выполненных исследований для закрепления оползневого склона Раздольненской котловины применены буронабивные сваи, расположенные в несколько рядов по длине склона.

Опасность деформаций сжимаемых грунтов

Влияние деформаций слабых грунтов на состояние конструкций можно показать на примере железнодорожного вокзала в Сочи, построенного в середине прошлого века. Здание вокзала относится к памятникам архитектуры федерального значения.

Вокзал построен на косогорном участке местности. Комплекс разноэтажных зданий главного корпуса занимает площадку размерами в плане 145x59 м. Здания опираются на ленточные фундаменты.

Коренная порода на территории вокзала представлена аргиллитом. Его верхний слой толщиной около 3 м разрушен выветриванием до состояния глыб, дресвы и щебня с глинистым заполнителем. Средняя мощность покровных отложений для центральной части вокзала составляет 10 м. Покровные отложения состоят из тугопластичной глины полутвердой консистенции с включением обломков аргиллита.



Рис. 2. Разрушение оползневым давлением подпорной стены на участке ПК91 – ПК93

По состоянию на конец прошлого века в кирпичных стенах вокзала имелись многочисленные трещины преимущественно вертикального направления. Ширина раскрытия трещин увеличивалась снизу вверх, достигая в отдельных местах 10-15 мм. Трещины начали возникать в первые годы эксплуатации вокзала. Они вызывались неравномерной осадкой фундаментов из-за неодинаковой мощности сжимаемой толщи глин и разного давления на грунт зданий вокзала переменной высоты. В результате сжатия глин за 45 лет эксплуатации разность осадок фасадной стены вокзала достигла 170 мм.

Изначально здания вокзала строились без антисейсмических мероприятий. Повышение сейсмичности района Сочи на картах ОСР-97 и накопление повреж-

дений конструкций из-за деформаций основания потребовали капитального ремонта вокзала с осуществлением комплекса мер антисейсмической защиты.

Проект капитального ремонта разработан с учетом данных обследований зданий, испытаний его конструкций динамическими нагрузками, имитирующими слабые землетрясения, а также выявления сейсмических свойств грунта под фундаментами с помощью сейсморазведки.

Сейсмостойкость главного корпуса повышена за счет его усиления железобетонным жестким каркасом, устроенным в виде восьми железобетонных опор коробчатого поперечного сечения, объединенных с монолитными железобе-

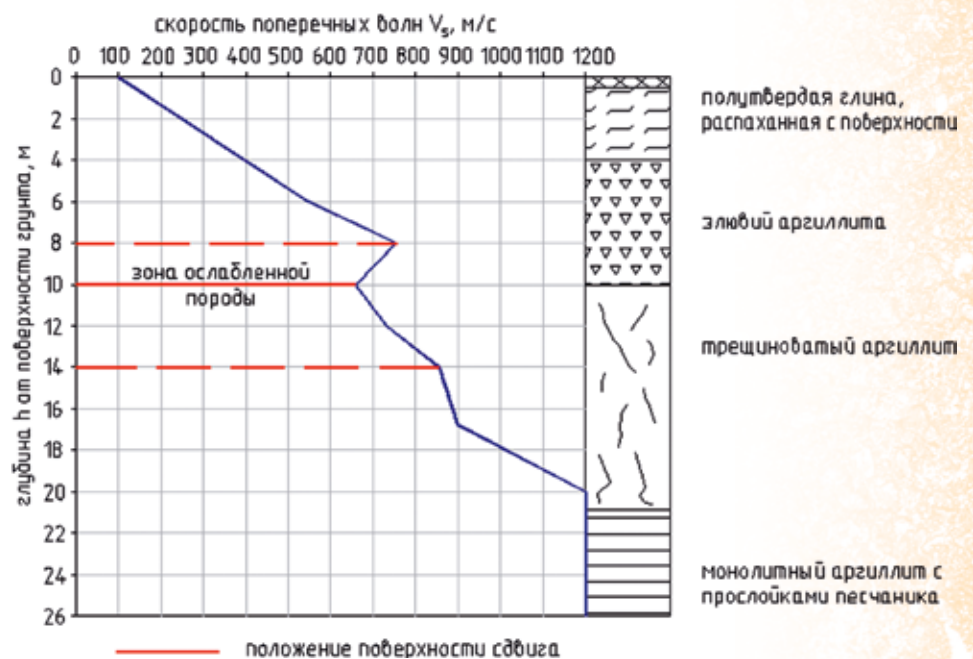


Рис. 3. Изменение скорости поперечных волн V_s в зависимости от глубины h от поверхности грунта

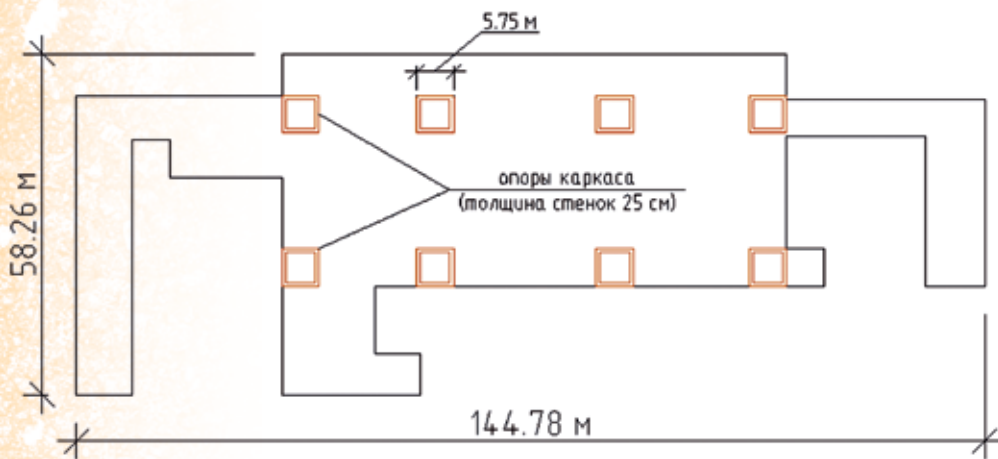


Рис. 4. Размещение опор антисейсмического железобетонного каркаса внутри здания вокзала

тонными перекрытиями. Опоры каркаса размещены в лестничных шахтах и в других внутренних помещениях вокзала (рис. 4). Наружные размеры опор в лестничных шахтах 5,75х6,69 м, в других помещениях вокзала 5,75х6,30 м. Высота опор вместе с фундаментными плитами около 20 м, толщина стенок 25 см. Стенки опор армированы вертикальными и горизонтальными стержнями прочностью 330 МПа. Расход арматуры в опорах выше обреза фундамента составил 236 кг/м³, ниже обреза 71 кг/м³.

Антисейсмические мероприятия при усилении часовой башни высотой более 45 м включали устройство железобетонных обойм стоек каркаса, армирование внутренних и наружных поверхностей стен арматурными сетками с нанесением на внутренние поверхности стен торкретбетона. Наружные поверхности стен покрывались цементно-песчаным раствором толщиной 35 мм с последующим устройством декоративной штукатурки.

Кроме упомянутых мер защиты от землетрясений осуществлены меры по усилению (замене) поврежденных или недостаточно прочных конструкций. К ним относится нагнетание цементно-полимерного раствора в трещины кирпичных стен, замена деревянных перекрытий на монолитные железобетонные, усиление стальными рамами оконных (дверных) проемов и т.п. В целом на антисейсмические мероприятия израсходовано около 1300 куб. м бетона и 250 тонн стали.

Опасность землетрясений. Уточнение исходной сейсмичности

Доинструментальные (описательные) сведения о землетрясениях в районе Большого Сочи имеются с 1870 г., когда вблизи Дагомыса по данным А.А. Никонова произошел подземный толчок силой 7 баллов по шкале MSK-64. Сотрясения грунта при этом толчке ощущались в 14 пунктах Черноморского побережья Кавказа. Основные параметры этого

землетрясения: магнитуда $M=6,2 (\pm 0,2)$; глубина очага $h=20$ км (от 15 до 30 км); координаты эпицентра $43^{\circ}33'N, 39^{\circ}45'E (\pm 0,2)$; сила в эпицентре $I_0=7,5 (\pm 0,5)$. Это сильнейшее землетрясение в районе Сочи за последние 150 лет.

По назначению и размерам транспортные развязки и мосты в районе Сочи относятся к сооружениям повышенной ответственности, для которых согласно гл. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» вероятность превышения расчетного сейсмического воздействия принята равной 5% за 50 лет эксплуатации (средний интервал времени между землетрясениями расчетной силы $T=1000$ лет).

Силу сейсмического воздействия, соответствующую риску 5%, определяют по списку населенных пунктов Российской Федерации, расположенных в сейсмических районах. В этом списке, приложенном к СНиП II-7-81*, для участков строительства сооружений повышенной ответственности в Сочи, сложенных средними по сейсмической опасности грунтами, указана сейсмичность 9 баллов по шкале MSK-64.

На картах ОСР-97 сейсмичность участков Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа показана с большей детальностью, чем в списке населенных пунктов. Фрагмент карты ОСР-97-В для проектирования сооружений повышенной ответственности показан на рис. 5.

На фрагменте карты граница между зонами сейсмичностью 8 и 9 баллов на участке от Дагомыса до границы с Абхазией проходит по суше, оставляя в 8-балльной зоне прибрежную полосу шириной до 5 км в Центральном районе Сочи и до 10 км в районе Адлера. За пределами этой полосы в предгорьях Главного Кавказского хребта сейсмичность увеличивается до 9 баллов на участках, сложенных средними по сейсмической опасности грунтами.

Обходная автомобильная дорога в Сочи и несколько проектируемых в городе транспортных развязок располагаются примерно в 3 км от берега моря, то есть относятся по местоположению к зоне сейсмичностью 8 баллов. Однако принимать для этих сооружений уточненную сейсмичность 8 баллов не рекомендуется, учитывая, что расчет балльности для

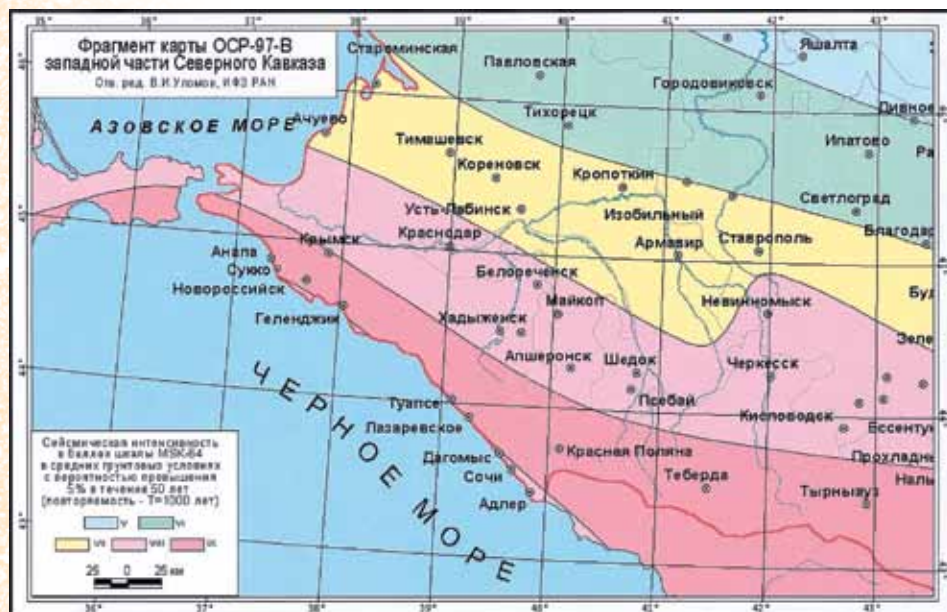


Рис. 5. Фрагмент карты ОСР-97-В западной части Северного Кавказа

карт ОСР-97 производился дискретно по сетке размерами 25x25 кв. км и с использованием целочисленных значений баллов.

В силу указанных причин для сооружений транспортного комплекса в г. Сочи исходная сейсмичность уточнялась расчетом с использованием исходных сейсмологических данных разных авторов (А.И. Захаровой, А.И. Лутикова и др.).

Полученные оценки уточненной сейсмичности имеют расхождение в 0,3 балла. Для проектирования транспортных развязок мы рекомендуем наиболее высокое значение уточненной сейсмичности из ряда значений, полученных расчетом, $I_{уточ}=8,5$ балла (рис. 6).

Таким образом, опасность землетрясений в районе строительства транспортных сооружений в Сочи на участках со средними грунтами существенно ниже, чем принято в гл. СНиП II-7-81* (9 баллов). Расхождение в 0,5 балла объясняется методикой общего сейсмического районирования, согласно которой показываемые на картах ОСР баллы округлялись до целых чисел. В данном случае округление было произведено в сторону увеличения сейсмичности района с 8,5 до 9,0 балла.

Уточнение сейсмичности района строительства позволяет уменьшить сейсмическую нагрузку от масс сооружений примерно на 30%. При этом вероятность превышения уточненных параметров колебаний грунта равна 5% за интервал времени 50 лет, то есть установленная нормами надежность объектов обеспечена.

Инженерно-геологические условия. Сейсмическое микрорайонирование

Коренные породы на участках транспортных сооружений представлены аргиллитом, мергелем, песчаником и известняком, в кровле выветрелыми до состояния щебня и дресвы. Мощность зоны выветривания в коренных породах обычно 10-15 м.

Покровные отложения состоят, как правило, из глинистых грунтов и галечников с песчано-глинистым заполнителем. Строение приповерхностной толщи покровных отложений от простого в виде одного-двух различных по литологии слоев, залегающих со слабым наклоном,

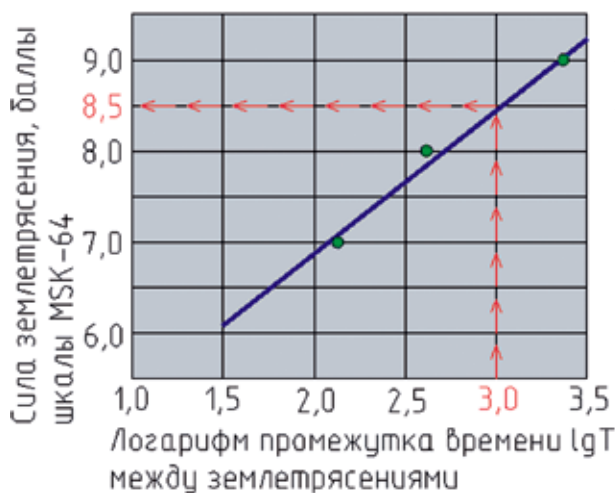


Рис. 6. График сейсмического режима для участка проектирования транспортной развязки № 1 в г. Адлере

Обозначения: ● повторяемость землетрясений по данным В.И. Уломода;
— график сейсмического режима, построенный методом наименьших квадратов.

до сложного, характеризующегося большим числом различных по составу и свойствам слоев, их линзовидным залеганием, сильным наклоном, переменной мощностью, большой (более 40-50 м) суммарной мощностью.

При выполнении работ по СМР участков строительства транспортных сооружений применялся метод сейсмических жесткостей в редакции, изложенной в «Методических рекомендациях по сейсмическому микрорайонированию участков строительства транспортных сооружений» (МДС 22-1.2004).

Приращение балльности за счет местных грунтовых условий определялось по формуле

$$\Delta I = 1,67 \lg \frac{(\rho V_s)_{cp}}{(\rho V_s)_{мест}}$$

где $(\rho V_s)_{cp} = 655 \text{ т/м}^2\text{с}$ – сейсмическая жесткость среднего по сейсмической опасности грунта;

$(\rho M_s)_{мест}$ – сейсмическая жесткость расчетной толщи грунта строительной площадки;

ρ – плотность грунта, т/м^3 ;

V_s – скорость поперечных сейсмических волн в расчетной толще, м/с.

В простых случаях скорости поперечных волн V_s определялись по данным сейсморазведки в инженерно-геологических условиях, близких к исследуемому участку.

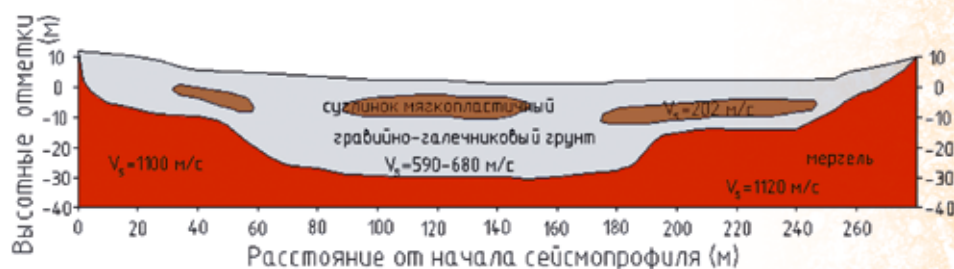


Рис. 7. Скорости сейсмических волн в створе моста через долину р. Чемитоквадже

В сложных инженерно-геологических условиях для определения скоростей поперечных волн в расчетной толще использовались данные сейсморазведки на исследуемом участке (рис. 7).

Объем сейсморазведочных работ в Сочи на объектах транспортного строительства, выполненный геофизиками института «Фундаментпроект», составляет более 2700 пог. м скоростных разрезов грунтовых толщ на глубину до 30-40 м от поверхности участков работ.

По данным сейсморазведки грунты, залегающие на приморской равнине в районе г. Адлера, менее благоприятны по сейсмическим свойствам по сравнению с грунтами на участках строительства мостов и транспортных развязок в Центральном районе Сочи. В случае преобладания в составе расчетной толщи выветрелых аргиллитов и гравийно-галечниковых отложений над глинистыми грунтами, как это имеет место в пределах надпойменных террас реки Сочи, сейсмичность площадок строительства мостовых опор может быть заметно уменьшена по сравнению с уточненной сейсмичностью района строительства.

Антисейсмические мероприятия при строительстве мостов

К числу наиболее значительных мостов в районе Большого Сочи относятся виадуки через долины рек Чемитоквадже

и Мацеста. Первый из них (рис. 8) сдан в эксплуатацию в конце 1999 г. Длина мостового перехода 576 м. Над дном долины на опоры высотой до 70 м установлено сталежелезобетонное пролетное строение с разбивкой на пролеты по схеме 63,3+4x84,0+63,3 м. Пролеты над верхними частями бортов долины перекрыты железобетонными разрезными балками длиной по 21,0 м и сталежелезобетонным пролетным строением длиной 42,5 м. Фундаменты опор выполнены в виде ростверков из вертикальных буронабивных свай диаметром 0,72 м, объединенных железобетонной плитой. Нижние концы свай заделаны в коренную породу.

Выше обреза фундаментов опоры неразрезного пролетного строения имеют форму пустотелого многогранника с толщиной стенок 30 см. Стенки коробки армированы со стороны наружных и внутренних граней вертикальной арматурой периодического профиля и горизонтальной гладкой арматурой. Анкерная опора № 4 располагается в верхней части правобережного борта долины на участке выхода на поверхность коренной породы (мергеля).

Для предотвращения поперечного сдвига верхнего строения моста на опорах устроены железобетонные выступы (стопоры), а к домкратным балкам неразрезной конструкции прикреплены стальные упоры. Расход стали на специальные антисейсмические устройства около 2500 кг.

Виадук через долину реки Мацеста (рис. 9) имеет общую длину более 900 м при высоте опор в средней части перехода около 40 м. Пролетное строение запроектировано «Гипротрансмомостом» из стали, имеет коробчатое поперечное

сечение, ширину проезжей части 11,5 м и два тротуара по 1,5 м каждый. Деформационный шов, устроенный над одной из промежуточных опор, делит пролетное строение на две неравные части длиной 810 м и 100 м.

Большая секция пролетного строения устроена в виде неразрезной балки, перекрывающей десять пролетов. Величина пролетов над склонами долины изменяется от 53 до 85 м. Дно долины перекрыто тремя пролетами по схеме 91+126+114 м. Расчетная масса 10-пролетной неразрезной балки превышает 10 000 тонн.

Как известно, при использовании неразрезных пролетных строений с большой массой в сейсмических районах возникают значительные трудности при проектировании анкерной опоры. Продольная сейсмическая нагрузка от массы пролетного строения, которую должна воспринимать анкерная опора, делает ее неэкономичной, если в основании опоры залегают на значительную глубину нескальные грунты. Поэтому при проектировании неразрезных мостов в таких условиях целесообразно распределять продольную сейсмическую нагрузку на несколько опор.

В данном случае большая секция пролетного строения запроектирована с неподвижными опорными частями на семи промежуточных опорах и с подвижными опорными частями на четырех крайних опорах. Для уменьшения сейсмической нагрузки на анкерные опоры и снижения температурных напряжений в системе конструкция опор принята в виде рам с гибкими стойками, имеющих небольшую массу и жесткость. Кроме того, такая конструкция имеет несомненные архитектурные достоинства.

Большая гибкость стоек (высота стоек до 28,5 м, отношение высоты стоек к их толщине до 24) позволила принять при расчете моста минимальное значение коэффициента динамичности. При этом амплитуда упругих сейсмических колебаний пролетного строения в продольном к оси моста направлении достигает 12 см. С учетом влияния трещин в бетоне стоек, которые возникнут при расчетном сейсмическом воздействии, можно ожидать увеличения амплитуды колебаний верха моста относительно грунта до 25 см.

Для предотвращения расстройств подвижных опорных частей, исключения напряжений от ударов конструкций, разделенных деформационными швами, и снижения сейсмической нагрузки от масс на торцах большой секции пролетного строения установлены гидравлические демпферы. Демпферы поставлялись на строительство немецкой фирмой Maurer Sohne. Конструкция демпферов не создает препятствий для медленных температурных перемещений пролетного строения. Напротив, при быстрых колебательных движениях в демпферах возникают силы вязкого трения, гасящие колебания моста.

Аналогичные с виадуком через долину реки Мацеста технические решения по сейсмозащите мостов были осуществлены на нескольких объектах второй очереди строительства обходной автомобильной дороги (виадук на ПК36, эстакада на ПК54, мост через реку Бзуга).

Г.С. Шестоперов,
доктор геол.-мин. наук, профессор
С.Г. Шестоперов,
инженер (ООО «ИЦ ПОИСК»).



Рис. 8. Виадук через долину р. Чемитоквадже



Рис. 9. Виадук через долину р. Мацеста