

# ДОРОГИ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Дороги – это что-то вроде паутины на лике Земли, на которую мало влияют земные стихии: ни ветер, ни воды, ни тряска Земли... Но это только на первый, не очень внимательный взгляд. На Земле не так мало стран, где землетрясения время от времени разрушают все на своем пути, в том числе и дороги. И потому так ценен многовековой опыт строительства дорог в сочетании с новейшими достижениями науки, что реализуется в Строительных правилах, регламентирующих практику строительства сейсмостойких авто- и железнодорожных магистралей.

Совсем недавно появилась серия нормативных документов новейшего поколения, посвященных тематике транспортного строительства, в частности строительства дорог и мостов. В настоящей статье дается подробный анализ предложений, содержащихся в упомянутых документах.

Лишь начал писать статью, как на память пришли строчки из песни Алексея Фатьянова:

*Дорога, дорога  
Нас в дальние дали зовет,  
Быть может, до счастья  
осталось немного,  
Быть может, один поворот.*

В этих строках отмечена, может быть, самая главная особенность любой дороги – ее непредсказуемость. Никогда не знаешь, что тебя ждет за очередным поворотом. Эта же особенность характерна также для землетрясений. Землетрясения относятся к наиболее страшным по своим последствиям проявлениям природной стихии. Сильнейшие землетрясения, время от времени случающиеся в самых различных точках нашей планеты, сопровождаются многочисленными человеческими жертвами и огромными разрушениями зданий и сооружений, в том числе дорог и мостов.

Предсказать точную дату сейсмической катастрофы пока (да и в ближайшем будущем) не представляется возможным. Но определить место и силу вероятного землетрясения вполне возможно. Вот почему районирование сейсмической опасности является насущной, практически важной проблемой. Ученые определили, что чаще всего землетрясения возникают на контактах огромных плит земной коры.

Но очень часто по ослабленным зонам контактов, особенно в горных районах протекают реки и, следовательно, располагаются дороги и мосты. Задача ученых инженеров-сейсмологов при выборе места строительства дорог и мостов – найти участок наименее опасный в сейсмотектоническом отношении.

Другой возможностью противостоять стихии являются приемы и



Повреждения дороги землетрясением в Таиланде

методы сейсмостойкого строительства. Строительные правила (СП), регулирующие практику строительства и эксплуатации объектов транспорта – это не очередная «Инструкция к лопате с ручкой», как это изображено на карикатуре. В них (в СП) запечатлен многолетний опыт строительства дорог и мостов вместе с новейшими достижениями науки.

Хороший повод поговорить о связи дорог и землетрясений дает недавнее появление серии нормативных документов новейшего поколения, посвященных тематике транспортного строительства [1–3].

Прежде всего, следует отметить сам факт появления этих документов: ранее вопросы сейсмостойкости транспортных объектов рассматривались в рамках одного общего нормативного документа, относящегося к строительству всех типов гражданских объектов. При этом, по понятным причинам, не в полной мере учитывалась специфика именно транспортных объектов.

Все три документа – плод работы авторского коллектива под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора Г.С. Шестоперова, в личности которого удачно сочетаются три компонента, обеспечивших успех задуманного дела: прекрасное знание особенностей строительства и эксплуатации транспортных объектов, достаточно глубокое проникновение в проблематику инженерной сейсмологии и трезвый реализм, позволяющий совмещать требования теории и потребности практики. Этот реализм проявился, в частности, в том факте, что нормативные документы снабжены Приложениями, в которых подробно, с объяснением деталей разобраны практические примеры использования рекомендаций нормативов применительно к расчетам сейсмических нагрузок на конкретные строительные объекты. Более того, авторы свода правил сочли необходимым дополнить норматив Пособием по уточнению исходной сейсмич-

ности и сейсмическому микро-районированию транспортных объектов [4], в котором положения нормативных документов, можно сказать, «разжеваны» до мельчайших подробностей. Трудно переоценить важность таких документов для изыскателей.

После общей характеристики упомянутых нормативных документов перейдем к детальному их анализу. Мне как специалисту-сейсмологу наиболее близка тематика сейсмического микро-районирования, поэтому сосредоточу внимание именно на этом аспекте сейсмостойкости.

Традиционно в сейсмическом районировании решаются два вида задач, одна из которых – определение исходной сейсмичности. Ее параметры зависят от общей сеймотектонической обстановки, определяемой в окрестности порядка нескольких сотен километров вокруг районированного объекта.

Другая задача относится к собственно сейсмическому микро-районированию конкретной трассы. К исходной интенсивности прибавляется некоторая добавка – «приращение балльности», определяемая реакцией грунтов на исходные воздействия и зависящая от свойств верхней части грунтовой толщи.

Авторы нормативов не ограничиваются данными карт общего сейсмического районирования (ОСР), а выделяют задачу определения исходной сейсмичности в особый раздел, называемый уточнение исходной сейсмичности (УИС). В соответствии с этим разделением, в первую очередь, рассмотрим методику УИС. Тут следует отметить три особенности методов расчета, нашедших отражение в рассматриваемых нормативных документах.

Первая особенность связана с недостаточностью определений исходной сейсмичности по картам общего сейсмического районирования (картам ОСР). Этот вопрос имеет важнейшее значение для

объектов повышенной ответственности, в частности мостов. Вообще говоря, для этих целей лучше всего использовать методику детального сейсмического районирования (ДСР). Но ДСР делается не везде и не всегда. Поэтому приобретает актуальность вопрос: а что же принять в этом случае? Авторы рекомендуют повышать точность оценок исходной сейсмической интенсивности введением дробного балла с применением методики расчета соответствующей добавки. В этом проявляется отмеченный выше реализм авторов рекомендаций: хотя методика УИС в чем-то уступает методике ДСР, но все-таки это лучше, чем мириться с недостаточной детальностью карт ОСР!

Другая особенность методики расчета исходной сейсмичности связана с учетом региональных черт сейсмического режима. Авторы используют формулу макросейсмического поля с коэффициентами, отражающими специфику сейсмического режима каждого региона. Это обстоятельство позволяет уточнить параметры макросейсмического поля и соответственно величину исходной сейсмичности.

Наконец, третья особенность оценки параметров исходных сейсмических воздействий заключается в том, что помимо значений ускорений нормативный документ определяет также значения скоростей смещений и сами смещения для каждого значения сейсмической интенсивности в баллах (или долях балла). Это имеет особое значение для расчетов сейсмобезопасности мостов, поскольку помимо инерционных усилий при землетрясениях особую опасность представляют квазистатические перемещения опор моста. Такие компоненты движений в явном виде ранее не учитывались в нормативных документах по антисейсмическому строительству мостов.

Перейдем теперь к нормативным рекомендациям по собственно сейсмическому микро-

районированию (СМР). И в этой части нормативные рекомендации содержат множество новаторских предложений. Причем сделано это без излишнего пафосного шума, что практически не вызвало сколько-нибудь серьезных возражений при обсуждении в профессиональном сообществе. А между тем эти новации весьма значительные.

Например, много споров в свое время вызывало предложение убрать из нормативов таблицу 1, с помощью которой по совокупности геологических признаков определялась категория грунтовой толщи, а по ней, в свою очередь, – приращение сейсмической интенсивности. Кое-кто использует такую методику (под именем метода инженерно-геологических аналогий) до сих пор – в эпоху компьютерного моделирования и уникальных методов расчета сейсмических нагрузок! А в СП 269 без лишнего шума эта таблица опущена. К тому же понятие категории грунта используется только при определении коэффициентов динамичности. И никаких возмущенных криков или восторженных отзывов, словно в СМР не произошло ничего особенного!

Или учет обводненности грунтов путем поправки за уровень грунтовых вод. Сколько споров в экспертизе вызывало неиспользование ее, с каким трудом надо было обосновывать ее отсутствие. А тут тихо-мирно, но в транспортных нормах нет этого нелепого атавизма эпохи исключительного использования продольных волн в практике СМР!

Очень важной особенностью рассматриваемого документа представляется уточнение понятия «средний грунт». Вместо весьма расплывчатой описательной характеристики в терминах инженерной геологии, «средний грунт» в СП 269.1325800 2016 определяется краткой, однозначно понимаемой характеристикой сейсмической жесткости  $R = 655 \text{ тм}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Это положение подобно утверждению, что для

правильного измерения температуры необходимо использовать шкалу, нулевая отметка которой привязана к температуре таяния льда или для правильного определения веса товаров использовать стандартные гири, аналоги которых хранятся в Палате мер и весов.

Другой важной отличительной особенностью является рекомендация заменить в некоторых случаях измерение скорости поперечных волн с помощью сейсмозаписки оценками  $V_s$  по инженерно-геологическим данным. В качестве информативного инженерно-геологического параметра выбрана величина сопротивления грунта сжатию. Приведенные соотношения, связывающие сопротивление грунта сжатию и скорость поперечных волн, дополняют характеристики, известные из ранее проведенных работ. Заметно расширен перечень грунтов, для которых возможно использование отмеченных корреляционных соотношений. В частности, это относится к характеристикам крупнообломочных грунтов.

Особенно приятно отметить, что аналогичные идеи о коррекции понятия среднего грунта и возможности использования для целей СМР данных инженерной геологии уже довольно давно были предметом моих докладов на конференциях, журнальных статей, приведены в недавно вышедшей книге [5], а также в нормативном документе по СМР объектов повышенной ответственности [6]. Это и не удивительно, поскольку мосты (особенно уникальные!) относятся к объектам повышенной ответственности.

Еще одно новое предложение, реализованное в сейсмических нормативах по транспортному строительству, – это использование для оценки влияния особен-



ностей рельефа соответствующих коэффициентов. Важно также, что максимальные значения этих коэффициентов не выходят за рамки, предсказанные модельными экспериментами.

То же можно отметить относительно учета нелинейности, и здесь предложенные поправки в целом соответствуют теоретическим оценкам. Все это подтверждает сделанное выше замечание о реализме, свойственном инженерной интуиции ответственного исполнителя рассматриваемых документов.

Весьма ценным представляется материал, относящийся к учету активизации оползневых явлений при сейсмических нагрузках. Расчет сейсмоустойчивости склонов имеет некоторые особенности, отличающие его от расчета склонов на устойчивость с учетом исключительно гравитационных и гидростатических сил. К этим особенностям относятся:

- появление дополнительных (сейсмических) сил, сдвигающих покровные отложения относительно коренной породы и изменяющих давление оползневого тела на основание;
- изменение физико-механических свойств грунта при сейсмическом воздействии;
- снижение требований к запасу устойчивости склона до  $K_{уст} = 1,2$ , учитывающее кратковременность действия сейсмических сил.

Следует подчеркнуть, что сведения относительно оползневых явлений при землетрясениях почти полностью отсутствуют, несмотря на очевидную их важность.

Порой авторы СП не боятся идти против течения, высказывая предложения, находящиеся не в русле «общепринятого мнения». Как пример можно привести несогласие авторов с определением мощности активной зоны величиной 30 м, как это принято в современных отечественных и большинстве зарубежных норм.

Авторы транспортных норм придерживаются мнения, принятого со времен С.В. Медведева, оценивать мощность грунтов, определяющей основные явления при сейсмических воздействиях, величиной 10 м. Это положение обосновывается условием, что мощность исследуемых при СМР грунтов должна согласовываться с мощностью дорожного покрытия.

Любопытно, что даже в области, далекой от профессиональных интересов авторов СП 269.1325800.2016, относящейся к рекомендациям по оптимальному выбору методов геофизических исследований для целей СМР, сде-

ланные предложения совершенно согласуются с моим мнением профессионала-геофизика.

Это дополнительное свидетельство высокого качества рассматриваемых нормативных документов. В них представлены весьма точные и сбалансированные предложения, и к ним следует относиться с высокой степенью доверия.

Значит ли это, что со всем сказанным в рассматриваемых документах можно безоговорочно согласиться? Отнюдь нет. Сейсмическое микрорайонирование в нашей стране долгое время не развивалось. Причин тому, по нашему мнению, было несколько. Во-первых, как это ни покажется парадоксальным, высокий научно-методический уровень, заданный работами отечественной сейсмологией, в первую очередь – С.В. Медведевым.

Созданный им корпус инженерной сейсмологии, основанный на достижениях макросейсмологии, инженерной геологии и сейсмо-разведки малых глубин, оказался настолько совершенным, что казалось (а многим кажется до сих пор), что нет никакой необходимости в нем что-то усовершенствовать, а тем более менять.

Но время движется вперед, появились новые технические возможности, расширился набор методов исследования свойств грунтов, углубилось понимание процессов, происходящих в грунтах под действием сейсмических нагрузок. Это не могло отразиться на содержании нормативных документов. Инженерная сейсмология и сейсмостойкое строительство в настоящее время разбилось на несколько направлений, и не всегда достижения какого-то одного направления усваиваются остальными.

О многих новых положениях транспортного строительства, которые вполне подходят и для объектов гражданского строительства, мы уже сказали выше. Но в деле согласования достижений отдельных направлений сейсми-

ческого районирования и сейсмостойкого строительства предстоит еще долгое приращение и трудно рассчитывать на скорое и полное понимание.

В качестве примера можно привести достижения сейсмостойкости в области атомных объектов. Разработанные здесь методы расчетов на сейсмостойкость намного опережают методы, принятые в гражданском, а тем более в транспортном строительстве. Но всегда ли это оправданно? Так ли уж надо повторять атомные нормы? Это вопрос не праздный, с ним связаны неоправданные затраты. С учетом сказанного приведем здесь несколько замечаний, имеющих характер дружеских пожеланий от товарищей по цеху.

Первое, о чем необходимо упомянуть, это категорическое неприятие авторами норм и Пособия новой сейсмической шкалы ШСИ [7] и использование шкалы MSK-64. Понятно, почему это произошло: параметры сейсмических воздействий по шкале ШСИ значительно превышают аналогичные значения по шкале MSK-64, что представляется неприемлемым авторам норм по транспортному строительству.

Но тут следует заметить, что в ШСИ приводятся пиковые значения, в то время как значения в MSK-64 близки к средним или эффективным. Думается со временем придет осознание этих различий.

Второе замечание касается оценки роли и вида формулы сейсмической жесткости. Формула 6.4 в п. 6.37 СП 269 не учитывает возможных резонансных явлений в рыхлом слое, залегающем на жестком полупространстве. Более правильный вид этой формулы сейсмической жесткости приведен в книге [5].

Несколько критических замечаний относительно второстепенных по важности утверждений, большинство из которых так или иначе связано с недостаточно последовательным воплощением во

всех пунктах СП основных новаторских идей, о которых было написано выше. Новаторство всегда связано с риском быть непонятым, а это так не согласуется с буквой и духом нормативных документов...

Кажется, что это обратная сторона того реализма, который с положительным оттенком был отмечен в этой рецензии. Дело касается тонкой материи: что опаснее – перекрутить или не докрутить гайку нормативных требований?

Приведу конкретные примеры. Выше было отмечено как положительный момент введение строгого понятия «средний грунт». Но это понятие, помимо использования в формуле расчета приращения сейсмической интенсивности, определяет также в п. 4.10 область, в которой исходная сейсмичность соответствует нормативной. В этом случае ограничение «средних грунтов» очень узким диапазоном значений сейсмической жесткости резко сокращает возможность его использования. По этой причине авторы СП расширили понятие «средних грунтов», введя неопределенное словечко «близки» (п. 3.26).

Или другой отмеченный мной момент – исключение из текста СП таблицы 1 и определяемой с помощью этой таблицы понятия «категория грунта», которое в рецензируемом нормативе сохранилось исключительно для определения коэффициента динамичности  $\beta$  (см. п. 3.10). Но неожиданно в п. 6.45 понятие категории грунта возрождается в прежнем смысле, как это представлено прежним нормативным документом [8], где они (категории) определяются по величине сейсмической

жесткости. Тем самым продолжается употребление устаревшего термина. Заметим попутно, что в любом случае трудно согласиться с авторами норм в отношении способа деления на категории по величине сейсмической жесткости: нельзя «средние» грунты определять значением, находящимся на границе II и III категорий. «Средние» грунты надо в любом случае характеризовать значением, находящимся в середине II («средней») категории.

Авторы сделали шаг в правильном направлении, уточнив вид графика коэффициента динамичности для менее жестких по отношению к «средним» грунтов. Однако при этом они переняли из прежних нормативов максимальное значение  $\beta$ , ограничив его величиной 2,5.

Между тем в ряде работ [5, 6] было показано, что вид графика  $\beta$  зависит от резонансных свойств грунтовой толщи, подстилаемой жесткими скальными породами, и может при определенных условиях заметно превышать приведенные значения – 2,5 – «главного» нормативного документа по сейсмостойкому строительству [8]. Вообще кажется странным, что, несмотря на многие пересечения и совпадающие оценки, авторы транспортных норм и Пособия не сочли необходимым указать на это в списке литературы. Или (что трудно предположить) они не знакомы с многочисленными работами автора этой заметки?

Имеются другие мелкие замечания к тексту норматива [2]. В п. 6.5 [2] приведена неверная формула определения усредненной сейсмической жесткости для случая, когда грунтовая толща сложена слоями с

различными параметрами плотности и скорости поперечных волн.

Определение понятия «сейсмический риск» в Пособии [4] отличается от общепринятого, как мера ущерба в результате последствий землетрясения.

Несмотря на сделанные замечания, еще раз повторим, что в целом практика определения антисейсмических мероприятий объектов транспортного строительства обогатилась весьма ценными нормативными документами. Надежность строительства и эксплуатации мостов заметно повысится с внедрением разработанных и утвержденных Строительных правил. Особо следует отметить ценность Пособия по уточнению исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию транспортных объектов, в котором приведены примеры работ на множестве транспортных объектов страны, включая лавиноопасный участок БАМа и отрезок трассы Крымского моста в районе острова Тузла.

В заключение обратимся к общеизвестной фразе (кому только не приписываемой, начиная с Гоголя): «В России две беды – дураки и дороги». Если попытаться отнести эту фразу к антисейсмическому строительству, то с этим согласиться никак нельзя. Нормативы по защите дорог и мостов от последствий землетрясений написаны очень компетентными и умными людьми.

**А.С. Алешин,**  
д-р физ.-мат. наук,  
главный научный сотрудник  
ИФЗ РАН

#### Литература

1. СП 268.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования.
2. СП 269.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования.
3. СП 270.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила оценки повреждений дорог при землетрясениях в отдаленных и труднодоступных районах.
4. Пособие по уточнению исходной сейсмичности и сейсмическому микрорайонированию транспортных объектов. М., 2018.
5. Алешин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. М., Научный мир, 2017.
6. СП 283.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования.
7. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М., Наука и образование. 2012. 176 с.
8. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М., 2014.