

УДК 624.042.7

Шермухамедов Улугбек Забихуллаевич, к.т.н., доц.

*Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,  
Ташкент, Узбекистан*

Кадырова Шарофат Шавкатовна, ассистент

*Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта,  
Ташкент, Узбекистан*

## РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Вопросы о совершенствовании методики расчета транспортных сооружений, в частности мостов, на сейсмостойкость приобретают в настоящее время особую актуальность в связи с широким развитием строительства в сейсмических районах.

Началом развития теории сейсмостойкого строительства является попытка создать теоретические предпосылки для расчёта и проектирования сейсмостойких зданий и сооружений была сделана в девятнадцатом веке японским учёным Омори, предложение, которого получило название «Статической теории». Вскоре выяснилось, что расчёт зданий по этой теории во многом носил формальный характер и мало влиял на размеры несущих элементов. Это явно указывало на неполноценность «статической теории» и требовало изыскания более совершенных методов расчёта. В сознании строителей всё более созревала мысль о необходимости такого подхода к расчёту сооружений на сейсмические воздействия, который бы учитывал динамику явления. С введением в нормы проектирования динамического метода расчёта положение изменилось и позволило создать более обоснованное представление о работе конструкций при землетрясении.

По данной теории не учитывались деформации сооружения, его колебания сводились лишь к переносному движению всех точек сооружения вместе с основанием, а сейсмические силы определялись по формуле:

$$S=QK_c \quad (1)$$

где  $K_c=w_c/g$ . Здесь  $w_c$  – максимальное сейсмическое ускорение основания. Значение статической теории для развития теории сейсмостойкости состояло в том, что в ее рамках впервые удалось получить количественную, хотя и приближенную, оценку сейсмических сил, т.е. свести проектирование сейсмостойких сооружений к обычной инженерной задаче.

Однако очевидно, что статическая теория приближенно справедлива лишь для весьма жестких сооружений, деформации которых, по сравнению со смещением основания, пренебрежимо малы. Для высоких зданий, в которых неравномерность деформаций по высоте значительна, теория Омори не позволяла получать верные результаты. Опыт последующих землетрясений наглядно показал недостатки статической теории.

---

Постепенно стало очевидным, что поведение сооружения при землетрясении зависит также и от его динамических свойств. Что обоснованное решение задач сейсмостойкости возможно только в рамках динамической теории.

Японский ученый Мононобе в 1923 г. впервые предложил динамическую теорию сейсмостойкости. Он принял, что основание сооружения совершает колебания по гармоническому закону и рассмотрел вынужденные колебания сооружения, представленного в виде системы с одной степенью свободы. Мононобе была получена формула для определения сейсмической силы.

$$S = k_c \beta q \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент динамичности, определяемый выражением, Здесь  $T(\omega)$  – период (частота) собственных колебаний системы;

$T_0(\omega_0)$  – период (частота) колебаний основания при землетрясении.

Недостатком исследований Мононобе является игнорирование начальной фазы сейсмических колебаний. В общей форме основы динамического метода расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость были заложены К.С. Завриевым в 1927 году. К.С. Завриев предложил рассматривать сейсмические колебания грунта как гармонические незатухающие, начинающиеся по закону косинуса. При этом задача рассматривалась в нестационарной постановке.

Дальнейшим этапом в истории развития теории сейсмостойкости явилась спектральная теория, представляющая собой существенное усовершенствование динамической теории за счет введения в обращение спектральных кривых, представляющих собой кривые, описывающие зависимости максимальных ускорений, скоростей или перемещений линейного осциллятора в функции периода его собственных колебаний.

Идея спектрального метода определения сейсмических сил впервые была предложена американским инженером М. Био в 1933 г. Впоследствии эта идея нашла развитие в работах Хаузнера, Альфорда, И.Л. Корчинского, С.В. Медведева, А.Г. Назарова, С.В. Полякова, Н.А. Николаенко, В.Т. Рассказовского, Э.И. Хачияна, Ш.Г. Напетваридзе, Я.М. Айзенберга и др.

Био в своих опытах использовал упругую систему с одной степенью свободы с регулируемым периодом собственных колебаний в предположении отсутствия затухания. А.Г. Назаров усовершенствовал этот прием, используя сейсмограф с серией упругих маятников с разными периодами свободных колебаний и характеристиками затухания. Впоследствии С.В. Медведев и Джо Хаузнер построили спектральные кривые для ряда крупных землетрясений.

В настоящее время в соответствии с действующим СНиП II-7-81\* формула для определения сейсмических нагрузок  $S_{ij}$  на массу  $m_i$  по  $j$ -й форме колебаний имеет вид:

$$s_{ij} = K_1 \cdot A \cdot g \cdot m_i \cdot \beta_i(T_j \gamma_j) \cdot K_\psi \cdot \eta_{ij} \quad (3)$$

где  $S_{ij}$  – сейсмическая нагрузка по  $j$ -й форме колебаний, действующая на массу  $m_i$ ;

$\beta(T_j, \gamma_j)$  – коэффициент динамики, зависящий в общем случае от периода собственных колебаний по  $j$ -ой форме  $T_j$ , коэффициента неупругого сопротивления  $\gamma_j$  и вида воздействия (расчетной акселерограммы основания ( $t$ ));

$\eta_{ij}$  – коэффициент формы, учитывающий распределение инерционных нагрузок по формам колебаний;

$Q_k$  – вес сооружения, отнесенный к точке  $k$ ;

$A$  – коэффициент, значения которого следует принимать 0.1, 0.2, 0.4 для сейсмичности 7, 8, 9 баллов;

$K_I$  – коэффициент предельных состояний;

$K_\psi$  – коэффициент затухания.

В настоящее время спектральная методика принята в качестве основной в нормативных документах на проектирование и строительство сейсмостойких сооружений. Методам расчета мостов на сейсмические воздействия посвящены работы К.С. Завриева [26], А.А. Амосова [4], О.Н. Елисеева, А.М. Уздина [25, 69, 86], И.О. Кузнецовой [46] и др. До настоящего времени расчеты мостов ведут по нормам, сложившимся на анализе повреждений гражданских и промышленных зданий. В настоящее время в России проходят обсуждение актуализированные нормы по сейсмостойкому строительству СНиП 22-03-2009, базирующиеся на СНиП II-7-81\*. Однако раздел нового СНиП, касающийся мостов, практических не изменился. При этом применение двухуровневого подхода для мостов требует дополнительных рекомендаций.

После провозглашения независимости в Узбекистане разработаны нормы КМК II-7-96, основанные на российских нормах СНиП II-7-81 по сейсмостойкому строительству, однако в этих нормах отсутствует раздел по сейсмостойкости транспортных сооружений, в том числе и мостов. Поэтому в Узбекистане при проектировании мостов до настоящего времени используют нормы России, как наиболее обоснованные в СНГ.

Для большинства сооружений, в том числе и для транспортных, в частности мостов, оценка их сейсмостойкости производится на основе расчетов на действие условных сейсмических нагрузок [1].

Следует отметить, что в настоящее время в мировой практике сейсмостойкого строительства сложился многоуровневый подход к проектированию сейсмостойких конструкций. В соответствии с этим подходом сооружение рассчитывается на несколько уровней сейсмического воздействия при соответствующих предельных состояниях. Такой подход принят в частности в Еврокоде-8, где рекомендуется рассматривать как минимум два уровня воздействия и два предельных состояния – нарушение нормальной эксплуатации (serviceability limit state или SLS) и обрушение конструкции. Идея многоуровневого проектирования была представлена на XII Европейской конференции по сейсмостойкому строительству в лекции М. Фардиса [2].

Специалисты многих стран пришли к выводу, что нецелесообразно, экономически невыгодно, а иногда и невозможно проектировать мосты таким

образом, чтобы при воздействии сильных и редких землетрясений конструкции работали без повреждений. Поэтому допускаются разрушения отдельных элементов, которые относительно легкодоступны для обследования, ремонта и не приносят большого вреда конструкции в целом. Это, так называемые, допустимые и контролируемые разрушения.

Важным нововведением при совершенствовании многих норм за рубежом стал переход на многоуровневое проектирование конструкций. При этом сооружения рассчитываются на два типа землетрясений. К первому относят средние и умеренные, которые с большой вероятностью могут произойти за время службы сооружений. Мосты необходимо рассчитать так, чтобы при подобном сейсмическом ударе они бы совсем не пострадали - ни трещин, ни опасных деформаций. Второй тип землетрясений – редкие, катастрофические. Сооружения должны быть рассчитаны и построены так, чтобы они сохранили остаточную несущую способность, чтобы сразу после землетрясения ими могли бы воспользоваться аварийные службы.

Сейчас имеется большое количество предложений сейсмозащитных устройств как отечественного, так и зарубежного производства. Решение принимается, базируясь либо на использовании традиционных малоэффективных методов усиления, либо на разрезамированных средствах сейсмоизоляции. При этом не проводится оптимизация сейсмозащитных опорных частей, а при использовании специальных систем защиты и ее расчет. Зарубежные фирмы рекламируют свои устройства без всестороннего анализа их работы, что затрудняет выбор целесообразного решения. Комплексный анализ предлагаемых средств сейсмозащиты и их возможностей до настоящего времени отсутствует.

Поэтому очень остро стоят вопросы анализа и расчета специальных сейсмозащитных опорных частей мостов. В заключении можно сделать следующие выводы:

- необходимо надо провести расчеты оптимизации опорных частей на действие ПЗ и МРЗ;
- распространение многоуровневого подхода на задачу проектирования мостов позволяет учесть многие характерные особенности их сейсмических колебаний, такие как наличие временной нагрузки, степень ответственности, особенности сейсмоизоляции и сейсмогашения мостов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецова И.О., Шермухамедов У.З. Методы защиты мостов от сейсмических воздействий //61-я Международная научно-техническая конференция молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» – СПб: СПбГАСУ. – Ч.III. 2008. – С. 38-43.

2. Fardis M.N.Code developments in earthquake engineering. Published by Elsevier Science Ltd. 12th European Conference on Earthquake Engineering. Paper Reference 845, 2002.