

# ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕВРОКОДОВ



## Факты истории

С середины 80-х годов прошлого столетия «Институт Гипростроймост», в то время государственное учреждение, постоянно принимал участие в зарубежных проектах. Так, в 1987 году, когда до подписания Маастрихтского договора оставалось несколько лет и процесс разработки евростандартов еще не завершился, инженерами института было построено пять пролетных мостов через канал Кейтеле — Пяйянне в Финляндии. Работы производились под надзором финских коллег, и наши специалисты в первый раз столкнулись с необходимостью увязки европейских и советских нормативных требований.

Сотрудничество с финской компанией KORTES Ltd. в 1995 году также потребовало использования еврокодов при разработке металлоконструкций сталежелезобетонных пролетных строений. Совместно с этой фирмой в 2002 году были выполнены расчеты для проекта известного моста Стоун-Катерс в Гонконге.

Спустя год «Гипростроймост» выступил в качестве субпроектировщика при

**ЗАО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург» является одной из ведущих организаций по проектированию транспортных сооружений и мостов, среди которых — знаменитый мостовой переход через бухту Золотой Рог во Владивостоке. Инженерам института приходилось решать немало сложнейших проблем, в том числе касающихся соотношения отечественной и европейской нормативных баз, и этот опыт, безусловно, представляет большую ценность для всех специалистов отрасли.**

строительстве офшорных платформ на Сахалине (проект «Сахалин-2»). Генеральным проектировщиком являлась норвежская компания Aker Kværner. В задачи специалистов института входила адаптация европейской документации к действующим российским стандартам, которую они успешно осуществили.

В 2004–2011 годах разрабатывался проект Южного моста вместе с двумя транспортными развязками на подходах к нему (Рига, Латвия). Он был полностью выполнен по европейским нормам. Кроме того, по заданию ОАО «Трансмост» инжене-

ры института сделали расчет сталежелезобетонного пролетного строения рижского железнодорожного путепровода по улице Славу. При расчетах этих крупных сооружений пришлось использовать огромный объем европейских нормативных документов, в частности EN 1991-2, EN 1992-1-1, EN 1992-2, EN 1994-2:2005, EN 1993-1-9:2005.

Южный мост через реку Даугаву (рис. 1) представляет собой экстрадозную конструкцию длиной 803 м, с пролетами по 110 м; трехуровневые развязки с пролетами 20–42 м возводились из преднапряженных желе-

зобетонных балок. Введенный в строй в ноябре 2008 года, мост стал крупнейшим инфраструктурным объектом в Латвии после обретения этой страной государственной независимости.

Габарит путепровода Славу (бывший Стахановский мост) через железную дорогу:  $42,0 + 2 \times 56,0 + 42,0$  м. Этот виадук имеет выход на кольцевую развязку на правом берегу Даугавы.

В связи с обозначенной темой необходимо упомянуть еще один проект «Института Гипростроймост», уже ставший частью отечественной истории. Речь идет о владивостокском Золотом мосте, который входит в пятерку крупнейших вантовых мостов мира. Для разработки этого уникального проекта также использовались еврокоды. В течение трех дней после торжественного открытия по мосту прошло огромное количество людей. Очевидцы могли своими глазами наблюдать описываемую в европейских нормах модель загрузки толпой по всей ширине проезжей части, с интенсивностью  $500 \text{ кг/м}^2$ .

## Проектирование антисейсмических устройств

Золотой мост оборудован восемью шок-трансммитерами с предельной нагрузкой по 1500 т на каждый. Они выполнены итальянской компанией Fip Industriale по EN 15129, который предусматривает два уровня сейсмичности с разной вероятностью наступления события: проектные землетрясения (ПЗ) и максимальнорасчетные землетрясения (МРЗ). В наших нормативных документах это не отражено. Кроме того, при расчете перемещений не учитывается сочетание сейсмического и температурного воздействий, что является большим упущением. Еще один минус: отечественные стандарты рекомендуют работать по линейно-спектральной теории, так называемой ЛСТ, и в то же время оговаривают возможность использования генерированных акселерограмм. При этом отсутствует целый ряд параметров, необходимых для правильного генерирования, такие как продолжительность, спектральный состав, остаточные скорости и перемещения.

Пренебрежение этими требованиями приводит к определенным ошибкам. Например, в ходе испытаний на



Рис. 1. Южный мост через реку Даугаву

мосту через пролив Босфор Восточный акселерограмма соответствовала спектру отклика с продолжительностью от 0 до 2 с, в то время как первый период собственных колебаний конструкции составлял 16 с. В то же время в европейских стандартах указано, что эта величина должна находиться в интервале от 0 до 2 периодов собственных колебаний.

В результате было решено пересмотреть подход к демпфирующим устройствам. Используя еврокоды, сотрудники института создали программы с алгоритмами генерации искусственных акселерограмм.

Другая проблема заключается в том, что использование ЛСТ, по сути, исключает применение любых демпфирующих или диссипирующих энергии устройств из-за того, что они превращают систему в нелинейную, находящуюся вне нормативного поля.

## Ветровые нагрузки и аэродинамика

Евростандарты содержат вероятностный метод определения ветровой нагрузки, и это достаточно удобно. Российские нормы с их условными коэффициентами трудно использовать для проектирования уникальных, сложных сооружений.

Допустим, нужно построить вантовый мост. Для монтажной стадии по EN 1991-1-4 определяются параметры ветра с вероятностью на 10 лет. Когда речь идет об эксплуатации, нельзя сбрасывать со счетов ветровой резонанс, бафтинг. Здесь рассматривается период повторяемости 100 лет. Если мы говорим об аэродинамической устойчивости, то это 10 тыс. лет.

Кроме того, в евро нормах есть указания по пульсациям, по спектрам воздействия ветрам, по профилям турбулентности, что позволяет более точно и надежно производить натурные аэродинамические исследования и облегчает аналитический расчет конструкции. Конечно, для строительства примитивных сооружений жесткой необходимости в этом нет.

Еврокоды также предлагают схемы расчетов вихревого резонанса и флаттера. В нормах РФ таковые отсутствуют. При этом надо отметить, что и в европейских документах нет критериев оценки — расчет можно произвести, но ограничения на амплитуды или ускорения не приведены, так же как и числа Струхала.

## Вантовая система

Современные ванты представляют собой пряди из семи гальванизированных проволок или канаты типа PWS (параллельного соединения). Например, ванта на мосту через бухту Золотой Рог — это сложная и на разные воздействия тестируемая конструкция, включающая демпфер для гашения ее колебаний.

Все расчеты на прочность, выносливость, водонепроницаемость вант регламентируются, как и система их антикоррозионной защиты, еврокодами EN 10138, EN 1993-1-11:2006, EN 1993-1-11:2006 или рекомендациями SETRA/CIP. СНиПы этого не содержат.

Самый большой вантовый мост в мире на сегодняшний день — это мост на остров Русский. Что использовалось из еврокодов при его проектировании? Прежде всего все требования, касающиеся систем демпфирования



**Рис. 2. Система сейсмобезопасности на путепроводе в Туркменистане**



**Рис. 3. Путепровод через железнодорожные пути в створе пр. Александровской Фермы**

и предварительного напряжения вант, были несколько спорными. Специалисты института столкнулись с тем, что в соответствующих европейских нормах ряд параметров отражен слабо. Возможно, затруднение вызвал сам подход. Например, рассмотрим требования к амплитуде вант — данные по разным источникам необъяснимо расходятся: то ли 1/1500 длины вант, то ли 1/1750.

Нет достаточной ясности и в отношении параметрического резонанса вант, когда демпфирование нулевое. Данная проблема характерна для очень длинных мостов. То же происходит с так называемой дождевой вибрацией и при галопировании обледеневших вант. А как на Русском мосту, уникальнейшем сооружении, учесть совместное воздействие ветровых и автомобильных временных нагрузок на выносливость вант? Евронормы

достаточно четко ограничивают углы их перелома при временных нагрузках. Но ветровой цикл во внимание не принимается. Иными словами, еврокод дает отсылку к какой-то общей модели без конкретных указаний.

### Туркменские мотивы

«Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург» запроектировал для транспортной инфраструктуры Туркменистана 14 крупных объектов (некоторые длиной до 1,5 км), включая разработку и утверждение СТУ в государственных экспертных органах. В рамках создания транспортного коридора Восток — Запад возведены двухуровневые развязки, мостовые переходы через Каракум-реку и связывающие их магистрали, оснащенные современными инженерными коммуникациями. В архитектурных

решениях активно использовались национальные мотивы.

Надо отметить, что в этой стране достаточно высокая сейсмическая активность, нередко происходят землетрясения магнитудой свыше 9 баллов. Кроме того, территория Туркмении характеризуется сложными геологическими и климатическими условиями. В технических решениях, выполненных специалистами института, были максимально учтены местные особенности. Каждый объект оснащался системами сейсмобезопасности (рис. 2). Для этого были применены сферические маятниковые опорные части, опорные части со свинцовым сердечником; в конструкцию мостов и эстакад внесены демпфирующие устройства и шок-трансммиттеры, которые гасят горизонтальные колебания пролетов и передают их на массивные устои.

При введении в конструкцию подобных элементов необходимо опираться на еврокоды. Для того чтобы решить поставленные задачи наиболее полно, сотрудники института разработали специальные технические условия, содержащие как принципы генерирования акселерограмм, так и положения, связанные с устройствами, которые диссипируют энергию.

СТУ также включали двухуровневый расчет на сейсмическое воздействие (на ПЗ и МРЗ), при расчете перемещений было учтено даже совместное влияние температуры и сейсмических колебаний, что особенно важно при проектировании деформационных швов, опорных частей, собственно демпферов (использованы EN 15129; EN 1998-1; EN 1998-2). Расчет свайных ростверков с учетом взаимодействия с грунтом был сделан по EN 1998-5.

Последняя норма по сейсмике, действующая в Туркмении, датирована 1991 годом, поэтому специалисты института создали новый норматив, который был утвержден экспертными органами. Первые сооружения, построенные в Туркмении с демпфирующими и диссипирующими устройствами, были разработаны в ЗАО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург».

### Расчет с использованием каркасно-стержневой модели

Данный метод расчета по EN 1992-1-1 был применен в проекте путепровода, расположенного в створе



Таблица

Нормативные и расчетные значения интенсивности нагрузки и расчетных сопротивлений материалов по СНиП vs EN

| СНиП |                         | СВ                  | АК          |                  | Сталь<br>10ХСНД   | Бетон В40                          | Сталь А600                          |                      |
|------|-------------------------|---------------------|-------------|------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|
|      |                         |                     | Р           | ν                |                   |                                    |                                     |                      |
| СНиП | Норм.                   |                     | 2×28=56     | 1,4+0,6×1,4=2,24 | 390               | 29                                 | 590                                 | Норм.                |
|      | $(1+μ) \times \gamma_f$ | 1,1; 1,3; 1,5 (2,0) | 1,4×1,5=2,1 | 1×11,15=1,15     | $\frac{1}{1,125}$ | $\frac{0,9}{1,3} = \frac{1}{1,44}$ | $\frac{0,95}{1,2} = \frac{1}{1,26}$ | $\frac{m}{\gamma_m}$ |
|      | Расчет                  |                     | 118         | 2,6              | 350               | 20                                 | 465                                 | Расчет.              |
| EN   | Норм.                   |                     | 60+40=100   | 2,7+0,75=3,45    | 355               | 30                                 | 500                                 | Норм.                |
|      | $\gamma_f$              | 1,35                | 1,35        | 1,35             | 355               | 20                                 | 435                                 | Расчет.              |
|      | Расчет.                 |                     | 135         | 4,7              | $\frac{1}{1}$     | $\frac{1}{1,5}$                    | $\frac{1}{1,15}$                    | $\frac{1}{\gamma}$   |
|      |                         | SW                  | TS          | UDL              | S355              | C30/37                             | B500B                               |                      |
|      |                         |                     | LM1         |                  |                   |                                    |                                     |                      |

проспекта Александровской Фермы (Санкт-Петербург) (рис. 3). Каркасно-стержневая модель (КСМ) предназначена для анализа несущей способности:

■ D-регионов — областей, не подчиняющихся теории изгиба стержней (коротких консолей, высоких балок, ростерков, мест резкого изменения сечений и т. п.);

■ обычных балок при расчете на поперечную силу. КСМ представляет собой систему сжатых подкосов, моделирующих потоки главных сжимающих напряжений в бетоне, и растяжек, моделирующих арматуру.

Проверяются следующие требования:

■ усилия в элементах КСМ, полученные в результате приложения внешней нагрузки, не должны превосходить максимально допустимые, зависящие от прочности бетона (арматуры);

■ напряжения в узлах не должны превышать прочность бетона с учетом вида узла (всесторонне сжатый, сжато-растянутый).

То есть еврокод предлагает механизм, в котором элементы делятся на сжатые и растянутые. Здесь достаточно подробно и точно регламентированы их виды, условия присоединения в зависимости от арматуры бетона и проч. Для решения частных задач это оптимальный вариант.

**EN 1992-1-1. Классы элементов по степени воздействия агрессивной окружающей среды:**

■ Х0 — отсутствие риска коррозии и химического воздействия;

■ ХС1...ХС4 — коррозия, вызванная карбонизацией;

■ XD1...XD3 — коррозия, вызванная хлоридами;

■ XS1...XS3 — коррозия, вызванная хлоридами морской воды;

■ XF1...XF4 — воздействие попеременного замораживания и оттаивания;

■ ХА1...ХА3 — химическое воздействие.

Для каждого класса устанавливается минимальное значение проектной прочности бетона на сжатие, которое может быть больше полученного по расчету.

Здесь у проектировщика есть определенная «свобода маневра». Суть в том, что элементы в составе конструкции могут быть подвержены разному риску воздействия коррозии, и в зависимости от этого можно выбрать тот или иной тип бетона для определенной конструкции.

**EN 1992-1-1. Кручение железобетонных элементов**

При расчете прочности на кручение по контуру сечения выделяется полоса толщиной  $t_{ef} = A/u$  (площадь/периметр). Для каждой грани вычисляется перерезывающая сила  $T_t \cdot t_{ef} = T_{Ed}/2 \cdot A_k$ ,  $V_{Ed} = T_t \cdot t_{ef} \cdot z$ . Эта сила добавляется к перерезывающей силе от изгиба, и производится расчет прочности по КСМ (рис. 4).

Сравнивая приведенные в таблице значения, можно сделать следующие выводы. Все величины и методы расчета, касающиеся сопоставления, подбора сечений, предельных состояний, напряжений, прочности, близки, и существенных расхождений между ними нет. Здесь можно применять как российские, так и европейские нормы. Что касается расчета уникальных

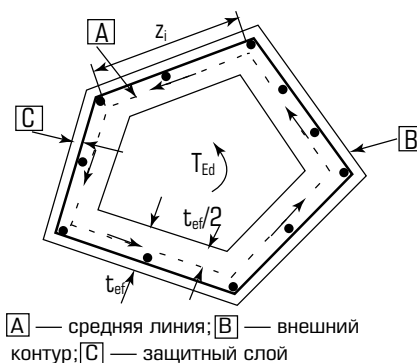


Рис. 4. Кручение железобетонных элементов

сооружений, то необходимо использовать специальные разделы, например по аэродинамике, сейсмике. В этом случае еврокоды могут помочь проектировщику значительно больше, чем отечественные стандарты.

В отношении нагрузок для автодорожных мостов евронормы жестче, и сегодня их применение, особенно для некрupных сооружений, привело бы к удорожанию конструкции за счет более значительного расхода материала.

И наконец, хочется обратить внимание еще на одно различие между нашими и европейскими нормативными документами. Трудно сказать, в чью пользу оно говорит. Еврокоды предоставляют больше свободы заказчику для принятия решения, что предполагает его профессионализм, умение варьировать нормы и одновременно накладывает на него более высокую ответственность.

**И.Е. Колюшев, генеральный директор ЗАО «Институт Гипростроймост — Санкт-Петербург»**