

**ДИНАМИКА – И ПРИЧИНА АВАРИЙ СООРУЖЕНИЙ,  
И ПУТЬ ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ**

УДК 624.042

*Кулябко Владимир Васильевич*

*Профессор Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры,  
г.Днепропетровск (Украина), доктор технических наук*

Тема данной статьи, конечно, обозначена чрезвычайно сложной. Но это не значит, что ее следует избегать. Ее нужно изучать и обсуждать как можно чаще, чтобы не повторять аварий типа перечисленных в работе [1], уменьшать ущерб от «динамических» катастроф типа:

- Такомской аварии висячего большепролетного моста в 1940 г. (в Интернете можно посмотреть видео-файл с демонстрацией этой аварии). Здесь причина обрушения – слабые знания инженеров-проектировщиков о взаимодействии конструкций сооружения нового типоразмера с набегающим ветровым потоком, т.е. человечество приобрело опыт в «аэродинамической задаче» – природном явлении;
- цунами в Юго-Восточной Азии с высотой волн 15 м в декабре 2004 г. Цунами унесло жизни 225 000 человек. И здесь причина – природа. (Добавим, что в середине августа 2009 г. почти в том же месте Индийского океана было зафиксировано землетрясение около 8 баллов; оно «откликнулось» на востоке России, в Японии, в Черном море);
- разрушение высоток Всемирного торгового центра в Нью-Йорке 11 сентября 2001 г. Разрушение было вызвано никак не природными воздействиями, а террористическим актом, т.е. человечество столкнулось с проявлением неустойчивого развития общества.

Если первые два случая связаны как бы с неизбежным – природными явлениями, то последний – с нарочитым: разрушительным воздействием террористов на сооружения с массовым уничтожением мирного населения. Для полной классификации динамических воздействий на сооружения здесь следовало бы упомянуть и многочисленные иные (транспортные, технологические и др.) нагрузки, однако такая задача – за рамками данной статьи и весьма широко опубликована в специализированных справочниках проектировщика [2-4].

Но, оказывается, что некоторые аварии и обрушения, произошедшие без внешних динамических нагрузок, можно было (при помощи либо грамотного модального анализа проекта сооружения, либо при специальных приемочных динамических испытаниях) предвидеть еще на предпроектной стадии и предотвратить если не в ходе проектирования, то, конечно, не позже этапа сдачи в эксплуатацию. В работе [5] был описан предложенный лет 20 назад метод динамического формообразования (МДФ), который позволил бы избежать, например, нашумевшего обрушения оригинальных (следовательно, мало изученных!) конструкций

«Трансваальпарка» в Ясенево (см. рисунок), где 14 февраля 2004 г. погибло более 60 человек.

В чем же новизна предложений по учету динамики (см. ниже п.1) и ее использованию (п.2)?

1. Традиционный подход инженера-строителя к динамике при проектировании новых зданий и сооружений до последнего времени состоял в корректных измерениях, исследованиях и учете в расчетах динамических нагрузок. А также – в «борьбе авторов конструкций и технологий» с этими нагрузками, в разработке специальных мероприятий по снижению амплитуд колебаний сооружения и его элементов.



Обрушение «Трансваальпарка» в Ясенево

История развития инженерных расчетов «на динамику» начиналась (и так долгое время преподавалась в вузах) с упрощения динамических моделей до линейных систем с одной степенью свободы и последующего вычисления частоты ее собственных колебаний. Прогресс же вычислительных средств (от логарифмической линейки, арифмометра – к компьютеру) подталкивал инженера к решению сегодня сотен дифференциальных уравнений (для описания динамики соответственно и систем с сотнями динамических степеней свободы) и к учету различных видов нелинейностей (геометрических, физических, конструкционных). К сожалению, подавляющее большинство современных вычислительных комплексов до сих пор не может выполнять такой учет в динамике. Варианты решения этих проблем даны в сборнике МОО ПК №10 в статье автора [5], а также в выпусках 9 и 11, в последнем – обосновываются состав и работы лабораторий экспериментальной динамики строительных конструкций.

Здесь следует отметить, что в последние годы в вопросах динамических расчетов и проектирования сооружений плохо стыкуются:

- возможности самой вычислительной техники;
- подготовка разработчиков профессиональных вычислительных программных комплексов (ПК) в фундаментальных дисциплинах типа строительной механики, механики грунтов, теории колебаний;

- разработка нормативных материалов чаще всего не связана ни с действующими ПК, ни с нормами соседних стран и содружеств, не создает легитимные переходы от предыдущих версий норм и ПК, не всегда базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях;
- знания современных выпускников строительных вузов, особенно в вопросах динамических расчетов на ПК, а также натурных и лабораторных испытаний, не образуют единую логическую цепь (правда, появилась надежда на воспитание нового поколения «динамиков уникальных сейсмостойких сооружений» – недавно в «Московском строительном» были введены новые учебные специальности и специализации!).

Очевидно, что к решению описанных проблем для развития традиционного пути расчетов на динамику можно добавить и необходимость проведения сбора и исследований современных динамических нагрузок для высотных и большепролетных зданий и сооружений путем развития виброизмерительной приборной базы и кадрового потенциала. Инженерная практика также нуждается в конкретных рекомендациях по:

- выбору динамических моделей;
- учету нелинейностей;
- составлению и решению дифференциальных уравнений движения;
- измерению и вводу в компьютерную модель реальных возмущений: например, акселерограмм ураганных (в т.ч. при одиночных порывах ветра), сейсмических (в прямых методах расчета), технологических и других воздействий.

2. Развитие компьютерной и экспериментально-испытательной техники (виброизмерительная аппаратура, силовозбудители и т.д.) привело к совершенно новому применению динамических характеристик и свойств сооружений – к динамической диагностике, мониторингу, паспортизации. Покажем ее «возможную эффективность» на примере упомянутой аварии аквапарка в Ясенево (см. рисунок).

Из материалов акта комиссии правительства Москвы по расследованию причин обрушения аквапарка видно, что еще на стадии основных расчетов проекта авторы сооружения могли заметить из модального анализа, что массивная оболочка большого пролета относительно слабо закреплена к «диску земли». Низшей в расчетах собственных колебаний всего сооружения оказалась частота не изгибных колебаний этого железобетонного покрытия (что было бы логично для большепролетной тяжелой конструкции), а частота поступательных горизонтальных его перемещений как абсолютно твердого тела. Следующей на частотной оси расположилась форма вращательных в плане колебаний диска покрытия относительно вертикальной оси – так же «как твердого тела». И только в третьей форме основными деформациями конструкции большого пролета оказались изгибные.

Очевидно, что сложную тяжелую конструкцию, поднятую на большую высоту, следовало бы более солидно закрепить к «диску земли»! Так, чтобы третья, изгибаемая, форма перешла на первое место.

Еще одним примером необходимости и целесообразности использования МДФ является тот факт, что в настоящее время разработан и действует международный стандарт ISO с рекомендациями по контролю частот и форм собственных колебаний высотных зданий, имеющих прямоугольный план. Там, в частности, на основании анализа динамических характеристик лучших 163-х зданий мира, рекомендуются совершенно определенные частоты и, главное, – их порядок расположения на частотной оси - для трех низших собственных форм: изгиб в направлении меньшей изгибаемой жесткости здания; изгиб в направлении, перпендикулярном предыдущему; и только третье место рекомендуется для формы собственных колебаний с вращением перекрытий в плане (закручивание вокруг вертикальной оси здания).

В связи с необходимостью пропаганды методов предупреждения аварий, подобных МДФ, на наш взгляд, представляется своевременной тематика одной из подсекций 10-й Международной конференции по НК и технической диагностике (7-11 июня 2010 г., Москва) «Искусство, архитектура, строительство» (рук. Ерёмин К.И.). Там мы предполагаем более подробно обсудить эффективность и проблемы развития МДФ (в т.ч. о практике обучения этому методу студентов-архитекторов выпускных курсов) – с демонстрацией многочисленных примеров [6,7] колебаний моделей различных сооружений, динамической диагностики, динамического мониторинга и паспортизации сооружений, зонинга городских и промышленных территорий. ВТК «Резонанс» при кафедре металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры готов к сотрудничеству по затронутым вопросам в виде взаимных прочтений циклов лекций, участия в конкретных работах по нормированию, обследованию и т.п. (доклад может быть сделан на IV-й Международной конференции «Предотвращение аварий зданий и сооружений» 1-4 декабря 2009 г. в Москве).

### Библиографический список

1. Ерёмин К.И., Матвеев С.А. Особенности экспертизы и неразрушающего контроля строительных металлических конструкций: [Электронный документ] // Предотвращение аварий зданий и сооружений, – 2009. (<http://pamag.ru/pressa/expert-metall>).
2. Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика / Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.

3. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: Справочник проектировщика / Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
4. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций: Справочник проектировщика / Под ред. Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
5. Кулябко В.В. Резервы конструкторских приемов и методик расчетов нелинейного гашения колебаний зданий, сооружений и их элементов / Пространственные конструкции зданий и сооружений (Исследования, расчет, проектирование и применение): Сб. статей. Вып.10.- МОО ПК, РААСН, НИИЖБ, ЦНИИСК, ЦНИИПСК. – М.: 2006. – С.157-167.
6. Диагностирование технического состояния выхлопной трубы высотой 150м на основании компьютерного моделирования и экспериментальных исследований / В.В. Кулябко, А.П. Огурцов, Л.П. Телипко, В.М. Манько // 9 междун. семинар «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Сентябрь 2001. Ялта. – С. 47-48.
7. Установление технического состояния сооружений и машин методом интегральной динамической диагностики / В.В. Кулябко, А.П. Огурцов, Л.П. Телипко, В.М. Манько //10 междун. конф. «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» Проект УКР/98/006 Программ Развития ООН. – Ялта, 2002. – С. 72-73.