

УДК 624.014.2.004.6

Некоторые вопросы обеспечения механической безопасности строительных металлоконструкций

Владимир Васильевич ЛАРИОНОВ, член редколлегии журнала «ПГС» с 1990 г., директор

ООО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 119607 Москва, Мичуринский просп., 37, e-mail: gam.tsniisk@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема обеспечения механической безопасности, которая требует решения различных вопросов исследований, проектирования и нормирования. Проведен анализ аварийности, живучести, мониторинга и долговечности металлических конструкций на примере конькобежного центра «Крылатское», радиобашни В. Г. Шухова, Главного монумента на Поклонной горе и др.

Ключевые слова: механическая безопасность, металлические конструкции, причины аварий, аварийная ситуация, критерии проектирования.



Владимир Васильевич ЛАРИОНОВ – доктор технических наук, профессор, заслуженный строитель РФ, член-корреспондент Международной и Российской инженерных академий, видный ученый в области исследования работы стальных строительных конструкций. Основным направлением его научной деятельности является изучение прочности и долговечности строительных конструкций при повторных нагрузках.

Окончил Московский авиационный технологический институт по специальности инженера-механика. С 1961 г. по 1968 г. работал в лаборатории прочности НИИ машиноведения АН СССР. С 1968 г. работает в институте ЦНИИПроектстальконструкция. В 1980 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Исследование работы стальных строительных конструкций в условиях малоциклового нагружения» (научный консультант – академик Н. П. Мельников).

В 1982–1989 гг. – главный инженер института, в 1989–2005 гг. – директор института, преобразованного в ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова».

Институт разработал конструкции всех доменных печей СССР, промышленных реакторов АЭС. Здесь созданы проекты конструкций сталеплавильных цехов, объектов судостроительной и авиационной промышленности, машино- и автомобилестроения.

По проектам института построены многие уникальные сооружения, такие как дюкер под р. Москвой, ме-

таллоконструкции высотных зданий Москвы, ракетно-космического комплекса на космодроме «Байконур», крупнейшие в мире вантовые трубопроводные переходы через реки пролетами до 900 м, прецизионные радиотелескопы, зеркальные и высотные антенные сооружения, Бакинский и Астраханский заводы стационарных морских платформ, резервуары различной вместимости, мосты и морские опоры, многочисленные объекты в 12 странах.

Под руководством В. В. Ларионова и при его личном участии разработаны проекты и осуществлялся авторский надзор на строительстве Главного монумента памятника Победы на Поклонной горе в Москве, памятника в ознаменование 300-летия Российского флота, Красноярского завода тяжелых экскаваторов, кузовного производства на ЗИЛ, доменной печи № 5 Новолипецкого металлургического завода, антенного устройства «Сосна», объектов Башкирского производственного объединения и Томского завода «Химволокно», резервуаров вместимостью 50 тыс. м³ для Кубы и Аргентины, металлургического завода в Аджакуте (Нигерия) и др.

На протяжении многих лет является одним из лидеров научной школы «Создание оптимальных конструктивных форм инженерных сооружений из металла».

Автор 130 печатных трудов, 11 авторских свидетельств на изобретения.

В 2012 г. вышла в свет книга «Безопасность России. Безопасность строительного комплекса» (руководители авторского коллектива: Н. А. Махутов, О. И. Лобов, К. И. Еремин), призванная направить строительную отрасль на обеспечение выполнения требований федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Книга посвящена вопросам комп-

лексной безопасности строительных объектов, которая включает в себя несколько видов безопасностей, в том числе и механическую, что предполагает отсутствие недопустимого риска, когда эксплуатация несущих конструкций объекта прерывается достижением предельного состояния и тем самым приводит к невозможности эксплуатации объекта или к его аварийному разрушению.

Все громкие аварии последних лет, связанные с механической безопасностью, – результат разрушения или потери устойчивости отдельных частей сооружения с последующим достижением предельных состояний объектов:

- «Трансвааль-парк» (2004 г.) – потеря устойчивости колонны и затем полное разрушение сооружения;
- конькобежный центр «Крылат-

ское» (2007 г.) — разрушение оси шарнирного соединения при сложном-переменном напряженном состоянии, невозможность дальнейшей эксплуатации без усиления;

- балочный мост в Волгограде (2010 г.) — низкочастотный ветровой резонанс и невозможность эксплуатации без дополнительных гасителей колебаний;

- Саяно-Шушенская ГЭС (2009 г.) — усталостное разрушение шпильки фланца энергоблока с последующим гидроударом и катастрофическими повреждениями станции;

- многочисленные разрушения алюминиевых крыш резервуаров диаметром 60,7 м в 2007–2009 г. из-за местной потери устойчивости.

Другие менее масштабные и известные аварии происходят регулярно, и количество их не уменьшается. По данным К. И. Еремина, в первом полугодии 2012 г. произошло 67 аварий на жилых объектах, 42 — на объектах общественного значения и массового скопления людей, 34 — на строящихся, реконструируемых и ремонтируемых объектах, по 12 — на промышленных зданиях и подъемных механизмах, 9 — на мостах и т. д.

Колоссальный ущерб от аварий требует в первую очередь серьезного анализа причин их возникновения. Классификацией аварий и их причин занимались многие известные ученые — Ф. Д. Дмитриев, И. А. Мизюмский, А. И. Кикин, М. Н. Лашенко, К. И. Еремин и др. Среди отмечаемых ими многочисленных причин, начиная от стихийных бедствий и кончая невежеством, хотелось бы выделить одну из наиболее важных — ошибки проектирования, доля которых от общего числа аварий составляет не более 10 %. Все 90 % ошибок при изготовлении, монтаже и эксплуатации являются, как правило, отступлением от требований проектной документации.

Эти ошибки, к сожалению, будут всегда, несмотря на принятие самых строгих инспекций (экспертиза, контроль, акты приемки, инструкции по эксплуатации, обследования). Есть робкая надежда, что материальная ответственность в саморегулировании строительной отрасли и выдачи допусков на безопасное ведение работ улучшит это положение. Но нуж-

но очень долго ждать, пока рынок все это отрегулирует.

В то же время ошибки проектирования, как правило, связаны с незнанием инженерного опыта (школы проектирования) или с незнанием действительной работы нового конструктивного решения сооружения в целом, так и его частей.

Раньше, когда была государственная техническая политика и государственное регулирование проектно-сметного дела, все массовые конструкции имели типовые решения, отработанные в теоретическом и экспериментальном плане с минимальными рисками отказов. Развитие конструктивных форм происходило исключительно на основе научных исследований на моделях и экспериментальных объектах при всестороннем анализе условий работы материала, особенно в локализованных зонах по различным критериям прочности.

Сейчас новые конструктивные решения, часто диктуемые архитектурными изысканиями, используются сразу на реальных объектах. Оригинальное «веерное» решение железобетонной кровли «Трансвааль-парка» при ее деформации как незамкнутого контура вызвало потерю устойчивости шарнирной закрепленной колонны и привело к обрушению сооружения с человеческими жертвами. Теперь понятно, что разрушение закономерно и модельные испытания показали бы тот же результат.

«Танцующий» мост в Волгограде из-за резонанса частот собственных колебаний и ветровых воздействий в диапазоне 15–17 м/с прервал автомобильное движение. При обследовании моста разрушений не выявили, аэродинамический натурный эксперимент прошел удачно. Для недопущения такой ситуации в пролетах установили 20-тонные демпферы, без которых столь гибкие пролетные строения (новое конструктивное решение), не могли работать.

В конькобежном центре в Крылатском палец оттяжки диаметром 500 мм и четырехкратным запасом прочности был срезан, как бритвой, кольцеобразно развивающейся трещиной. Причина аварии — неисследованность условий работы пальца в

наклонной цепной оттяжке с рекордной длиной звена цепи 7 м (в 14 раз больше диаметра пальца) при переменном натяжении. Такое решение впервые применено в инженерной практике.

Механическая безопасность разработанных в соответствии с проектом указанных сооружений не была обеспечена, т. е. формально, согласно принятой классификации, причиной аварии стали ошибки при проектировании. Однако хотелось бы отметить, что как таковых ошибок в проектах не было, поскольку они были выполнены в соответствии с индивидуальными нормами, т. е. по специальным техническим условиям, которые разрабатывались для установления дополнительных требований по надежности и безопасности и прошли экспертизу.

В данном случае ошибки связаны с незнанием, с отсутствием инженерного опыта и научных проработок. Публичный анализ технической стороны таких аварий не проводится, и, как правило, все сводится к борьбе мнений участников строительства в комиссиях по расследованию причин аварий с целью уменьшения своей вины.

Студентам в вузах этот бесценный опыт аварий не преподается, так как нет публикаций, обобщений, задач, методических пособий. Тем самым это положение не направлено на снижение риска аварий и является системной недоработкой. Для того чтобы как-то обеспечить механическую безопасность объектов, бурное развитие получило направление мониторинга работоспособности сооружений, или натурного эксперимента с участием, а следовательно, и риском для людей.

Основная цель мониторинга — контроль технического состояния конструкций и ранняя диагностика дефектов, влияющих на механическую безопасность объектов. Для этого создано бесчисленное количество систем мониторинга: «Содис», «Базис», «Интус», «ВЕМО», «МИНС», «Мониторинг центр», «Конус», «СМ-2», «Квант» и др. С учетом систем диагностики и периодических освидетельствований строительных объектов, предусмотренных законом № 116-ФЗ «О промышлен-

ной безопасности опасных производственных объектов», риски техногенных катастроф должны снижаться.

В то же время при наличии на объекте мониторинга и периодических освидетельствований нет гарантии их механической безопасности. Тем самым можно констатировать, что системы мониторинга, обеспечивающей выполнение требований закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в части механической безопасности, не создано, что вытекает из анализа причин аварий.

Например, в конькобежном центре «Крылатское» была и есть обширная система мониторинга, но тем не менее разрушение пальца оттяжки произошло, т. е. «слабое звено» никем не было заранее определено и оценено, а значит, и не подлежало мониторингу. Следовательно, одна из первых и основных задач системы мониторинга по оценке модели угроз (аварийной ситуации) из-за конструктивных особенностей сооружения не была решена.

В этой связи еще раз хотелось бы отметить, что при использовании апробированных конструктивных решений никаких задач у системы мониторинга нет.

Это в первую очередь относится к запроектированным по СНиП объектам (без разработки СТУ), на основе имеющегося опыта строительства и эксплуатации, закрепленного этими нормами. Отступление от них приводит к авариям по небрежности и халатности. Например, разрушение покрытия бассейна «Дельфин» в г. Чусовом Пермского края в декабре 2005 г. из-за некачественного обследования или падение балки массой 700 кг на автобус в аэропорту «Внуково» в 2012 г. вследствие неверного распределения температурного допуска в зависимости от температуры монтажа.

Определение слабого звена не имеющей аналога конструкции, с которого начнется разрушение, — сложная, скорее научная, нежели проектная задача. Время разрушения, долговечность, ресурс сооружения в этом случае приобретают критерияльное значение.

Разрушение может иметь про-

грессирующий катастрофический характер (первое предельное состояние) или, если конструкция обладает повышенной живучестью (второе предельное состояние), то после определенного ремонта разрушение может быть предотвращено и эксплуатация продолжена. Для сооружений повышенного уровня ответственности законом № 384-ФЗ предусмотрено требование учета при проектировании аварийной расчетной ситуации, в том числе за счет отказа одной из несущих конструкций (слабого звена). Оценка отказа слабого звена для традиционных (апробированных) конструктивных форм уже заложена в нормы проектирования или соответствующие системы мониторинга. Взять хотя бы хорошо известный пример слабого звена промышленных зданий с мостовыми кранами — подкрановые балки.

Развитие разрушения (рост трещин усталости) происходит в зоне перехода от стенки к верхней полке балки. Однако аварийная ситуация с разрушением подкрановых балок исключена, поскольку исследованиями их действительной работы и конструктивных требований (решений) надежность эксплуатации подкрановых балок в пределах заданной долговечности может быть обеспечена. При этом следует отметить, что для оценки долговечности аварийный критерий — появление трещин малых размеров был заменен на другой — критическую длину трещины.

Это позволило повысить расчетную долговечность подкрановых балок, а следовательно и частоту освидетельствования, более чем в 2 раза. В данном случае выполнено требование регламента о том, что расчетные модели должны учитывать возможность образования трещин.

Для уникальных и особо сложных конструктивных форм сооружений аварийная ситуация, требующая расчета и последующего мониторинга, становится понятной только после их разрушения.

Самый характерный этому пример — частичное разрушение Саяно-Шушенской ГЭС. Для японской атомной станции «Фукусима» аварийная ситуация описана после во всех деталях, но расчетной она не

была, так как в модели угроз (затопления) она отсутствовала, видимо, из-за ничтожно малого риска. Тем самым нормировать (конкретизировать) аварийную ситуацию — сложная и не всегда выполнимая задача.

Если же при проектировании не учтены все возможные варианты отказов, а это происходит, когда нет накопленного инженерного опыта, то никакие системы мониторинга не могут гарантировать механическую безопасность работы сооружения.

Даже если сооружение эксплуатируется, то данные системы мониторинга должны постоянно анализироваться для принятия решений по оценке текущего технического состояния объекта и прогнозу обеспечения долговечности сооружения. Сложность принятия таких решений очевидна хотя бы потому, что для каждого типа сооружений необходимы свой подход и уровень знаний, свой алгоритм и критерии.

Сейчас перед научным миром такая задача стоит для Шуховской радиобашни в Москве. На основании 90-летнего опыта эксплуатации и результатов периодических обследований и частичных реконструкций установлено, что основной критерий механической безопасности — степень коррозионного повреждения башни. Усталостные повреждения, вызываемые пульсациями ветра, не были выявлены, что объясняется хорошими аэродинамическими характеристиками сооружения. Что касается коррозионных повреждений, то главная опасность состоит в том, что идет интенсивная межщелевая коррозия в заклепочных узловых соединениях. Наблюдается даже разрыв заклепок из-за расклинивающих усилий в стыках продуктами коррозии. Без разборки (хотя бы наиболее поврежденных узлов) установить количественную величину коррозии невозможно, и это при обследованиях почему-то не проводилось. Расчетная аварийная ситуация с учетом предельной (критической) величины коррозии в опасном узле (или нескольких узлах) не рассматривалась.

Тем самым механическая безопасность и остаточный ресурс радиобашни не оценены. Однако на основе простейших оценок превышения

фактических напряжений допускаемых значений за счет уменьшения сечения в подверженных коррозии элементах сделан вывод о том, что состояние башни в любой момент может перейти из недопустимого в аварийное. Несмотря на неизвестность этого момента, предлагается разобрать башню и все клепаные узлы, удалить коррозионные повреждения, нанести антикоррозионную защиту и заново собрать на болтах, внешне имитирующих заклепки. Вопрос о механической безопасности и долговечности такой башни остается открытым и неопределенным, ибо напряжения в сечениях с удаленной частью металла остаются выше допустимых (предаварийная ситуация). Нарастивание всех поврежденных сечений до проектного значения (например, методом плакирования или напыления) превращает этот реставрационный подход в иррациональную затею. Сразу возникает поддерживаемый многими специалистами вариант строительства радиобашни по чертежам и патенту В. Г. Шухова. Уровень безопасности, надежности и живучести данного конструктивного решения гарантирован 90-летней эксплуатацией без всяких систем мониторинга. При этом цена нового строительства будет в 3 раза меньше реставрационного варианта. Сделать это придется неизбежно, так как любое инженерное сооружение обладает конечной долговечностью и, оценив все риски, нужно определить лишь срок начала строительства.

Высотные сооружения, оснащенные системами гашения колебаний, требуют наличия мониторинга, объем и уровень которого закладывается на стадии проектирования и строительства. Это связано с тем, что при выходе из строя гасителя колебаний сооружение может разрушиться из-за резонанса (первое предельное состояние) или получить чрезмерные усталостные поврежде-

ния в виде трещин в зонах концентрации напряжений (второе предельное состояние).

Яркий пример использования системы мониторинга и анализа его результатов — Главный монумент на Поклонной горе. С технической точки зрения это — сложнейшее инженерное сооружение, при строительстве которого решены все задачи проявления масштабного фактора. Монумент высотой 141 м и диаметром основания 3,8 м представляет собой увеличенный в десятки раз штык винтовки, на котором на высоте 90 м установлена скульптура «Богиня Победы с ангелами». Явная аэроупругая неустойчивость объекта потребовала исследований (продувок) динамически подобной модели (в масштабе 1:10) с целью определения характеристик гасителей колебаний.

Установленная система мониторинга непрерывно отслеживает и записывает амплитуды колебаний верхней точки монумента с помощью луча, а система акустической эмиссии — возникновение несплошностей (усталостных трещин). Штатная работа гасителя колебаний гарантируется соблюдением инструкций по эксплуатации и регламентированными работами. Металлизационная коррозионная защита рассчитана на 100-летний срок службы сооружения.

Результаты этого мониторинга и их анализ, как и для многих других сооружений, неизвестны. В то же время их публичное обсуждение и обобщение могло бы представлять научный и практический интерес.

Требования Технического регламента о безопасности зданий и сооружений в части обеспечения механической безопасности должны реализовываться через нормативную базу, обязательную к применению (распоряжение правительства РФ от 21 июня 2010 г. № 1047р).

Попытка перехода на еврокоды с

национальными приложениями взаим существующих российских нормативных документов оказалась неудачной: получилась большая нестыковка по многим параметрам. Например, по такому основному технико-экономическому показателю, как расход стали, при проведении расчетов несущих конструкций производственного здания с мостовыми кранами получается расхождение до 30 %. Можно и дальше продолжать эти «упражнения», чтобы получить правильный ответ, который заключается в реально запроектированных, построенных и эксплуатируемых по соответствующим нормам конструкциях.

Иными словами, прежде чем переходить на новый уровень нормирования, необходим анализ недостатков и расхождений в подходах к проектированию и конструированию реальных объектов. Нормы вторичны. По затронутым вопросам аварийности ни евро нормы, ни отечественная нормативная база не анализировались; нет ни алгоритмов, ни критериев такой оценки. Рассчитать современными методами и программами можно сооружение любой формы и габарита, но это не означает, что можно обеспечить его механическую безопасность без развития науки и школы проектирования. В области металлостроительства истоки такой школы — в работах В. Г. Шухова, ее развитие — в трудах Н. П. Мельникова и его учеников. Результаты работы этой школы — миллионы тонн уникальных объектов. Сейчас школа металлостроительства распылена, перешла на саморегулирование. Каким образом и под чью ответственность требования Технического регламента о безопасности зданий и сооружений будут воплощаться в практику проектирования — не определено ни в структурном, ни в финансовом плане. В таком контексте механическая безопасность — остается в опасности. ■

Авторам, желающим опубликовать статьи в журнале «ПГС», необходимо ознакомиться с требованиями, приведенными на сайте журнала pgs1923.ru в разделе «Авторам».
