

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

УДК: 621.31:658.386

КОНТРОЛЬ ДЕФОРМАЦИЙ В СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ю.А. Осокин

В работе рассмотрен возможный подход к контролю напряжений и динамических деформаций на основе учета энергетических параметров в критических условиях возникновения ударных нагрузок в сложных конструкциях.

Ключевые слова: контроль, информация, ударные нагрузки, деформация, напряжения, ВТЦ.

Проблема. В сложных конструкциях при появлении неожиданных ударных нагрузок часто происходят опасные деформационные явления аварийного, разрушительного характера. При этом условия контроля критических нагрузок, деформаций, температурных, вибрационных и других параметров затруднены. В то же время появление критических ситуаций можно спрогнозировать на основе специальных методов, в частности, контроля, обеспечивающего прогнозирование и принятие решений для того, чтобы избежать катастрофических последствий [1-3].

Актуальность. Не вызывает сомнения тот факт, что причины, процессы и особенности разрушения сложных систем являются актуальным вопросом в широкой сфере высокоэнергетической мощной индустрии, а контроль над данными процессами приближает нас к решению этих вопросов. Так, до сих пор остаются загадочными процессы катастрофического разрушения конструкций на Саяно-Шушенской ГЭС, зданий ВТЦ, тяжелых и скоростных наземных, корабельных и летательных транспортных средств.

Контроль возмущений, при которых в среде передается энергия без переноса вещества, относится к числу технически востребованных, актуальных задач. В основе распространения в среде возмущений силового характера лежит движение продольных и поперечных волн. Этот процесс происходит с определенной конечной скоростью и приводит к возникновению ударных явлений.

Так, в металлических конструкциях фазовая скорость распространения волн зависит от модуля упругости первого рода E , плотности материала ρ , деформационного коэффициента Пуассона μ . При характерных для металлов значениях коэффициента μ ($\mu = 0,25 \dots 0,33$) скорость продольных волн при нор-

мальной температуре окружающей среды (для стали – до 200°C , для многих композиционных элементов – до 70°C) имеет значение [4]:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{(1-\mu)}{(1+\mu)}} \frac{1}{1-2\mu} = (1,1 - 1,2) \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 500 - 6000 \text{ м/с}$$

Для монолитных конструкций стали, имеющих характеристики: $E = 200 - 220$ ГПа и $\rho = 7800$ кг/м³, скорость движения энергии достигает: $c = 5200$ м/с

Контроль столь скоростных процессов требует адекватных по быстродействию методов и средств. При сжатии контактные напряжения σ и деформации ε зависят от скорости движения V_k ударной массы M : $\sigma = E \varepsilon = E V_k / c$, где c – скорость распространения ударной деформации.

Величина ударного коэффициента в условиях земной гравитации при падении груза массой M на конструкцию, имеющую массу M_k определится:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2hM}{\Delta_{cr}(M_k + M)}}$$

При наличии многочисленных соединительных операций, сварочных соединений, коэффициент Пуассона μ изменяется. Существенно изменяется гибкость стержневых структур и, соответственно, их устойчивость.

Деформационные волны распространяются по определенным законам. В частности, вдоль оси z при $z > ct$ закон распространения имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{V_0}{c} e^{-\alpha(t - \frac{z}{c})},$$

где $\alpha = E \cdot S / (c \cdot M)$ [5]. В опорном сопряжении возникает ударная деформация двойной величины. Если, теоретически, в момент отражения ударная сила будет иметь удвоенное значение, то становится понятным, почему первые разрушительные воздействия про-

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

изошли в основании башен WTC. При ударе на верхних этажах ударная волна достигнет основания через 0,08 ... 0,1 с. Это явление воспринимается неожиданным, так как звуковые волны придут с пятнадцатикратным опозданием (через 1,3 с.).

Как правило, предельные значения напряжений нагруженных металлических конструкций из малоуглеродистой стали в теории упругости близки к ударным напряжениям при контактной скорости $V_k = 5$ м/с и $c = 5200$ м/с. То есть, при $E = 215$ ГПа величина напряжений составляет $\sigma = E V_k / c = 215 \cdot 10^9 \cdot 5,0 / 5200 = 206,7$ МПа.

Превышение данной скорости (скорости V_k) ведет к критическим значениям напряжений. При более высокой скорости удара V_k от 195 до 236 м/с (как это было 11.09.2001 в зданиях WTC в Нью-Йорке) элементы, принявшие на себя удар, разрушались в пыль, так как величина напряжений достигала 1,5 ГПа и более.

При большом ударном коэффициенте k_d напряжение σ на n опорах достигнет величины $\sigma = k_d F / (sn) = k_d \sigma_{кр}$ и в основании наиболее нагруженной и температурно деформированной колонны произойдет откольный слом с ударной передачей оставшейся нагрузки на остальные колонны.

При нагреве стали прочностные свойства ослабляются. При 400С° снижается предел текучести и прочности (σ_T и σ_B). При температуре более, чем 600С°, сталь теряет свои несущие механические свойства. Конструктивные элементы, которые прежде надежно держали статическую нагрузку, неожиданно деформируются (рисунок 1).

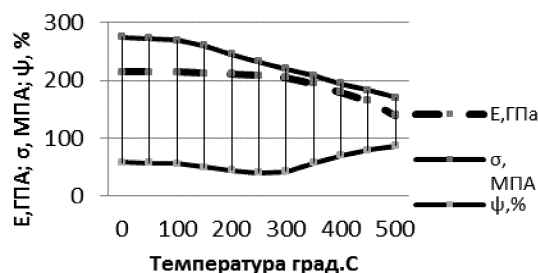


Рисунок 1 - Зависимость механических характеристик стали от температуры

При ударе по металлу искажается атомная решетка, увеличивается плотность дислокации, пластичность снижается, возрастает вероятность хрупкого разрушения, что крайне нежелательно для строительных конструкций. Удар с созданием холодного изгиба ведет к наклепу в деформируемых зонах и срываниях элементов конструкций. Наклеп возникает также при пробивке отверстий для

монтажа кабелей (в WTC их было более 3 тыс. км, это 6 млн. креплений), для крепежа перекрытий и т.п. Во внимание следует принять количество концентраторов напряжений от сварочных операций. Например, на WTC было более 50 тысяч сварочных соединений, выполненных десятками сварщиков различной квалификации.

При нагреве сталь изменяет не только свои прочностные свойства. У стали очень сильно изменяются электротехнические характеристики, достаточно важные для оперативного контроля текущего режима. При нагреве (рисунок 2) от 20 до 600С° сопротивление электрическому току увеличивается в 1,3 раза (k_1), коэффициент температурного расширения увеличивается в 3,8 раза (k_2).

Абсолютная величина температурного расширения наиболее нагретой колонны Δl нагретого на участке размером L металла с температурным коэффициентом α^{oc} определится:

$$\Delta l = L \alpha^{oc} (T_2 - T_1)$$

При этом коэффициент α^{oc} имеет свойство изменяться при изменении температуры. При нагреве до 500 С° стальная колонна длиной 10м должна удлиниться (если нет упоров на границах колонны) более чем на 65 мм. Однако, при геометрических ограничениях, например, наличии сверху связи аутригера, весом более 20 тыс. тонн (ВТЦ-1, ВТЦ-2) за счет энергии деформации увеличится внутреннее напряжение от действия силы:

$$N_t = \frac{ES \Delta l}{L}$$

При $E = 200$ ГПа, $S = 0,15$ м² величина N_t достигнет значения $195 \cdot 10^6$ Н, а контактное напряжение $\sigma_p = \sigma_{ст} + \sigma_t = \sigma_{ст} + \frac{N_t}{S} = \sigma_{ст} + 1,3$ ГПа, что более, чем в два раза превышает предел прочности материала колонны. Колонна разрушается взрывоподобно в том месте, где создается наибольшее напряжение, то есть у основания. Первый ряд несущих колонн разрушается без изгиба, так как гибкость стержневой структуры λ , которая принимается во внимание при расчете на устойчивость, существенно ниже критического значения гибкости $\lambda_{кр}$ ввиду хорошего (на этом этапе) коэффициента закрепления μ ($\mu = 0,33 \dots 1,0$). Последующее незамедлительное проваливание верхней части происходит с высоты $h = k_{под} \Delta l$, где $k_{под}$ (изменяется от 0,14 до 1,0 по мере сокращения числа стоек) – коэффициент подхвата нагрузки оставшейся в целости структурой

Анализ приведенных характеристик материалов, которые зависят от нагрузки и температуры, показывает эффективность контроля механических свойств материалов применением матричных и развертывающих методов.

При технической реализации матричного метода применимы дифференциально - операторные структуры обработки сенсорной информации, в частности, дифференциально-операторные группы размером от 2x2 до нескольких тысяч.

Выбор оптимальных по содержанию вариантов элементных структур, в частности, дифференциально-операторных сенсорных структур приборов определяется из конкретных условий исследований.

Для данных целей имеются технические возможности идентификации энергетических границ с применением различных видов информационно-матричных. В лабораторных условиях возможно применение фотоэлектрических приборов в сложных контактно-силовых сопряжениях, в труднодоступных условиях более эффективно применение тактильных, емкостных, пьезо - матричных, электромагнитных преобразователей. Качество данных приборов определяется наличием межэлементной зоны нечувствительности, межэлементным разбросом чувствительности (от 4 до 10%), наличием перекрестных связей и коммутационного шума, что влияет на отношение "сигнал / шум". Наилучшее качество достигается применением дифференциальных схем включения сенсоров и корреляционной обработкой, а максимальное быстродействие – применением контроля на основе автоматов с жесткой логикой. У фотоэлектронных сенсоров сфера применения ограничена в виду загрязнения датчиков в нечистых условиях окружающей среды.

Для определения направления границ контролируемого потока энергии применимы дифференциальные операторы второго порядка с аналоговыми уровнями сигналов и битовыми (0;1). Если известна адекватная базовая информация о форме предметов, контуре линий с двумя уровнями градации, операторный способ позволяет эффективно и за короткое время идентифицировать большое количество (сотни) типовых форм элементов. Для 16 кодовых комбинаций сенсора характерны семь типов символов, определяющих форму и направление сенсорных границ фрагментов идентифицируемых деталей. По аналоговым измерениям параметров сигналов (a, b, c, d) определяются формализованные коэффициенты, несущие информацию о направлениях границ изменения

потока энергии, проецируемого на чувствительную поверхность матрицы:

$$ks_1 = ((a - d)n + (b - c)n)^{1/n},$$

$$ks_2 = |a - d| + |b - c|.$$

Значение коэффициентов, полученных по первому выражению, дают возможность получения более контрастной картины, проецируемой на матрицу. При хорошей четкости границ (перепадов) параметров можно применить второй, более простой и быстрый по вычислению способ (определение ks_2).

При анализе более сложных ситуаций можно применять n- разрядные матрицы. При этом направление ребра, перелома определится как $Q = \arctg(V/U)$, где U и V параметры сенсорной информации по взаимно ортогональным направлениям матрицы (нормированные разности информации до и после центра по диагоналям).

При дистанционном контроле микродеформаций эффективно применение развертывающих методов на основе координатно-чувствительных датчиков. При этом наиболее точные многоканальные преобразования достижимы применением эквидистантных схем, позволяющих осуществлять компенсацию искажений, характеризующихся в данных схемах эквипотенциальными погрешностями. При этом интегральные параметры должны быть нормализованы: $\sum C_i \cdot w_i \cdot n = \text{Const.}$, где C_i , w_i – позиционные и ранговые параметры контролируемой зоны, n - число сенсорных зон [6].

Вариант контроля деформации стальных стержневых структур, показанный на рисунке 2, производился с применением дифференциально-операторных групп. Деформация элементов конструкции производилась электромагнитной индукцией (переменным током), что обеспечивало избирательность контролируемых стержней и заданную селективность подхвата нагрузки.

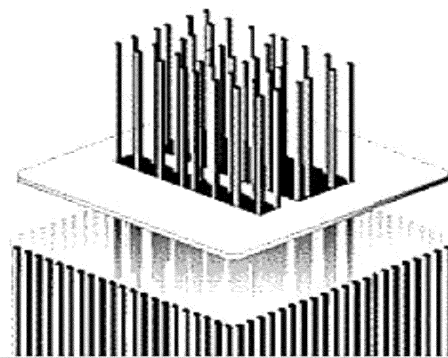


Рисунок 2 - Вариант стержневой структуры конструкций

Внешняя статическая нагрузка, характерная для аутригера, создавалась калибровано

РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

от 4800Н. Более высокие нагрузки создавались ударно (ударный коэффициент K_d от 2 до 100).

Заключение

Результаты контроля осевой деформации с применением дифференциально - операторных сенсорных структур показывают, что в сложных конструкциях, характерных для ВТС, практически не действует принцип Сен-Венана, то есть отсутствует выравнивание напряжений в сечении структуры по мере удаления от точки приложения нагрузки.

Данное обстоятельство приводит к увеличению напряжений до $\sigma_k = n \cdot \sigma_c$, где n – число элементов структуры. При этом возникают условия создания косоугольного изгиба. Непостоянство качества материала увеличивает разрушительный эффект косоугольного изгиба. Однако, тяжелый монолитный ауриггер, создающий торцевую нагрузку, не становится разрушительно опасным, если в сопряжениях создана демпферная зона, обеспечивающая выравнивание нагрузки. Контроль ударных деформаций с оценкой контактной деформации дает наиболее эффективную оценку при измерениях с учетом скорости движения деформационных волн.

УДК: 621.3.08

ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

А.Е. Гольдштейн, Г.В. Вавилова

Описана техническая реализация электрического метода измерения погонной емкости электрического кабеля непосредственно в производственной линии. Осуществлен анализ влияния на результаты измерения изменения электропроводности воды. Предложен способ отстройки от влияния этого изменения на результаты контроля.

Ключевые слова: кабель, погонная емкость, электропроводность воды.

Введение

Погонная электрическая емкость и связанное с ней волновое сопротивление относятся к основным характеристикам ряда кабельных изделий, таких как кабели связи, кабели управления, радиочастотные кабели. Значение погонной емкости нормируется стандартами на соответствующие виды кабелей [1].

Метод измерения емкости кабеля регламентируется ГОСТ 27893-88 [2]. Данный стандарт определяет порядок выходного кон-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осокин, Ю.А. Особенности контроля движения в субкритических фазах / Ю.А. Осокин. - Ползуновский вестник - № 2, 2010. С. - 145-148.
2. Осокин, Ю.А. Особенности температурного контроля в сложных технологических процессах / Ю.А. Осокин, М.В. Халин, Г.А. Литвиненко. – Ползуновский вестник - №2/2, 2005. С. - 173-174.
3. Осокин, Ю.А. Сенсорно-программные устройства в робототехнике / Ю.А. Осокин. - Ползуновский вестник № 2/2. Барнаул: Изд-во АГТУ, 2005. С. 145-148.
4. Порошков И.В. Курс лекций по физике. / И.В. Порошков. - М.: Высш. шк. 1965. - 496 с.
5. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова. М.: Высш. шк., 2003. - 560 с.:
6. Осокин Ю.А. Экстремальные параметры при сканирующей развертке пространственно разнесенного кода РПК. Ю.А. Осокин. / Оптические сканирующие устройства и измерительные приборы на их основе. – Барнаул: АПИ, 1988, - с.82 – 83.

Россия, 656049, Барнаул, пр. Ленина 46, АлтГТУ, кафедра информационных технологий, Осокин Ю.А., тел. 629026. E-mail: y-osokin@mail.ru

троля, который производится на отрезке готового кабеля. Данная методика не дает возможность контролировать емкость кабеля по всей его длине. Заключение о качестве изделия выносится уже после завершения изготовления кабеля.

В случае проведения контроля емкости в процессе производства указанные недостатки устраняются. Для измерения емкости используется трубчатый электрод, погруженный в воду, заполняющую охлаждающую ванну экструзионной линии. В результате измеряется

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013