

System monitorowania elementów konstrukcji pod względem przekroczenia stanów granicznych nośności i/lub użytkowania

Aktualny stan techniki w dziedzinie projektowania konstrukcji pozwala na szerokie zastosowanie komputerowych aplikacji do projektowania konstrukcji. Aplikacje te mają na celu wspomaganie procesu projektowego, ale również maksymalne wykorzystanie właściwości elementów konstrukcyjnych (w tym w konsekwencji optymalizację kosztów wytworzenia tych elementów). Proces taki prowadzi do wykorzystania właściwości elementów konstrukcyjnych w taki sposób, że praca elementów konstrukcyjnych zbliża się do stanów granicznych nośności i/lub użytkowania konstrukcji z jednoczesnym brakiem odpowiednich zapasów nośności dla tych elementów. Przykłady przekroczenia tych stanów w ostatnich latach obserwowaliśmy nie tylko na terenie naszego kraju. Celowe zatem jest stworzenie i zastosowanie systemu monitorowania konstrukcji pod względem przekroczenia granicznych stanów nośności i/lub użytkowania.

Przedmiotem opracowania jest sposób monitorowania elementów konstrukcji, przede wszystkim konstrukcji dachów hal przemysłowych, magazynowych, usługowych, użytkowych oraz wczesnego ostrzeżenia przed przekroczeniem stanów granicznych użytkowania i nośności.

Metodyka projektowa

Elementy konstrukcji jako składowe całości konstrukcji, wykonane na przykład z drewna, stali, żelbetu, żelbetu sprężonego podlegają wpływowi czynników zewnętrznych (w szczególności obciążeniom stałym i zmiennym).

Elementy konstrukcyjne pod wpływem czynników zewnętrznych zmieniają swój stan, który dla tych elementów można scharakteryzować między innymi następującymi parametrami: **szerokością rozwarcia rys, ugięciem, naprężeniami panującymi w elemencie konstrukcyjnym**; parametry te ściśle zależą od wielkości czynników zewnętrznych wpływających na te elementy.

Dla każdego elementu konstrukcji istnieje graniczny stan użytkowania, czyli stan elementów konstrukcyjnych, w którym przy określonym obciążeniu konstrukcji w danym elemencie konstrukcyjnym występują maksymalne, dopuszczalne szerokości rozwarcia rys lub element konstrukcyjny posiada maksymalne, dopuszczalne ugięcie – **wielkości te podlegają monitorowaniu**.

Dla każdego elementu konstrukcji istnieje graniczny stan nośności, czyli stan elementów konstrukcyjnych, w którym przy określonym obciążeniu konstrukcji w elemencie konstrukcyjnym występują maksymalne, dopuszczalne naprężenia – **wielkości te podlegają monitorowaniu**.

Przekroczenie stanu granicznego użytkowania lub stanu granicznego no-

śności stanowi zagrożenie dla całości konstrukcji, a tym samym zagrożenie dla życia ludzkiego. Współczesne metody obliczania konstrukcji opisane są normowym algorytmem opartym o wyniki wieloletnich badań obciążeń występujących w naturze. Wśród tych obciążeń w szczególności występują:

- **obciążenia własne konstrukcji – ciężar własny konstrukcji,**
- **inne obciążenia stałe,**
- **obciążenia zmienne, wynikające na przykład z wpływu czynników takich jak śnieg, wiatr, temperatura.**

Kombinacje sum obciążeń określają najbardziej niekorzystny wariant obciążenia konstrukcji. Na podstawie tych wyników dokonuje się doboru technologii wykonania konstrukcji, doboru materiałów z punktu widzenia ich jakości i właściwości wytrzymałościowych.

Zaprojektowana konstrukcja posiada właściwości pozwalające na bezpieczne jej użytkowanie w granicach określonych przez normy i projektanta (do momentu osiągnięcia stanu granicznego nośności i/lub użytkowania). Proces projektowania optymalizowany jest – najczęściej poprzez specjalistyczne programy komputerowe – w celu uzyskania wyniku jak najbardziej zbliżonego do określonej przez normy granicy bezpieczeństwa konstrukcji. Celem i konsekwencją tego procesu jest przede wszystkim optymalizacja kosztów inwestycji przy minimalnym, normowym bezpieczeństwie użytkowania konstrukcji.

Normowe wartości występujących w naturze obciążeń określone zostały jako średnie wartości obliczone w określonym przedziale czasowym. Oznacza to zarówno występowanie wartości niższych od średniej jak i wyższych. W ekstremalnych przypadkach wartości te mogą być przekroczone, co z kolei powoduje przekroczenie stanów granicznych – normowych, bezpiecznych warunków użytkowania konstrukcji. **Pomimo, że konstruk-**

cja była projektowana zgodnie z przepisami i metodyką projektową te ekstrema obciążeń konstrukcji mogą spowodować lub powodują katastrofę budowlaną.

Każda budowla czy budynek musi zapewniać bezpieczeństwo osób w niej przebywających. Niekorzystne warunki, jakim jest poddana konstrukcja budowli czy budynku mogą spowodować bezpośrednie zagrożenie katastrofą budowlaną. Anormalne zjawiska atmosferyczne powodujące przekroczenie stanów granicznych, które nie były przewidziane na etapie projektowania elementów konstrukcyjnych, stają się zagrożeniem dla bezpiecznego użytkowania obiektów budowlanych.

Nasilenie się tych zjawisk powoduje, iż użytkownicy obiektów budowlanych zaczynają zdawać sobie sprawę z zagrożeń, jakie nieść mogą potencjalne przekroczenia stanów granicznych. Nadmierne obciążenia zmienne działające na konstrukcję mogą potencjalnie doprowadzić do katastrofy budowlanej oraz stanowić bezpośrednie zagrożenie dla życia ludzkiego.

Cel opracowania systemu monitorowania

Celem nadrzędnym było opracowanie sposobu monitorowania elementów konstrukcji, pozwalającego na wczesne ostrzeżenie i reagowanie na przekroczenia dopuszczalnych stanów granicznych, w głównej mierze od obciążeń zmiennych, na przykład wynikających ze znacznych opadów śniegu.

Sposobem tym monitoruje się stany konstrukcji (ich charakterystyczne parametry), porównuje się te stany ze stanami granicznymi i ostrzega w razie zbliżania do ich przekroczenia. Sposób monitorowania według opracowania pozwala na wczesne wykrycie niekorzystnych zjawisk lub ich trendów powodujących przekroczenie stanów granicznych i dzięki temu umożliwia podjęcie działań zmniejszających lub eliminujących skutki przekroczenia tych stanów.

Rozwiązanie takie dotychczas nie było stosowane do wczesnego ostrzeżenia o zagrożeniu w przypadku przekroczenia dopuszczalnych stanów granicznych w którymkolwiek z monitorowanych elementów konstrukcyjnych.

Istota opracowania

Istota opracowania polega na tym, że na elementach konstrukcyjnych montuje się czujniki rejestrujące stany elementów kon-



strukcyjnych, czujniki te łączy się z systemem przetwarzania danych z czujników zaopatrzonego w urządzenie wczesnego ostrzegania o zagrożeniu w przypadku przekroczenia w którymkolwiek z monitorowanych elementów konstrukcyjnych (za pośrednictwem danych przekazanych z czujników) stanów granicznych, przy czym czujniki dobierane są dla konkretnej konstrukcji, a urządzenie wczesnego ostrzegania skaluje się dla konkretnej konstrukcji tak, aby przed przekroczeniem stanów granicznych wyliczonych dla konkretnej konstrukcji uruchamiał się alarm.

Korzystnie jest, jeżeli czujniki montuje się w miejscach występowania najbardziej niekorzystnych stanów elementów konstrukcyjnych.

Jako urządzenie alarmowe możliwe jest zastosowanie alarmu wizualnego, akustycznego, graficznego lub tekstowego przekazu elektronicznego za pomocą sieci komputerowych lub komórkowych.

Pojedyncze systemy monitorowania można łączyć w jeden system dostępny dla poszczególnych użytkowników za pomocą aplikacji komputerowych dostępnych przez internetową sieć komputerową.

Metody wykonania

Najwrażliwszym elementem sposobu jest poprawne skalibrowanie czujników. Czujniki te muszą zostać dobrane tak, aby ich zakres pomiarowy, w jakim pracują i przekazują wyniki, odpowiadał zmianom stanów elementów konstrukcyjnych od zakresu pracy normalnej, ustabilizowanej, to jest bez występujących obciążeń zmiennych, do zakresu stanów granicznych (maksymalnych dopuszczalnych obciążeń zmiennych). Tylko takie dobranie czujników pozwala na poprawną interpretację wyników oraz poprawne przetworzenie i przekazanie wyników oraz na wczesne ostrzeganie o zbliżających się stanach granicznych.

Każda konstrukcja wykonana jest z innych elementów konstrukcyjnych, więc i stany tych elementów są różne. Istnieją dwie metody określenia stanów granicznych, a co za tym samym idzie doboru odpowiednich czujników:

a. metoda obliczeniowa – metodę tę można stosować, gdy możliwe jest obliczeniowe zdefiniowanie dopuszczalnych naprężeń w elemencie konstrukcyjnym przy określonym maksymalnym obciążeniu elementu konstrukcyjnego (czyli gdy dysponujemy dokumentacją projektową i obliczeniami dla danej konstrukcji):

b. metoda obciążeń próbnych – metodę tę można stosować gdy nie jest możliwe obliczeniowe zdefiniowanie dopuszczalnych naprężeń w elemencie konstrukcyjnym przy określonym maksymalnym obciążeniu elementu konstrukcyjnego. W takim wypadku należy elementy konstrukcyjne próbnie obciążyć, czyli świadomie zasymulować maksymalne dopuszczalne obciążenia i w ten sposób określić stan graniczny nośności poprzez odpowiednie pomiary.



Widok hali wystawienniczej Międzynarodowych Targów Katowickich po katastrofie

Wykonanie odpowiednich badań oraz określenie odpowiadających wartości naprężeń od obciążeń próbnych i obliczeniowych wykazuje, że są one bardzo zbliżone. Różnica otrzymanych wartości jest rzędu 1% i może wynikać z niedokładności przyłożonej siły, niedokładności pomiarów wymiarów belki, niedokładności związanej z odczytem względnego przyrostu napięcia tensometru, niejednorodności struktury materiału. Właśnie z tych względów poziom, przy jakim opisany system winien informować użytkownika o zbliżającym się stanie granicznym, powinien zawierać taką tolerancję, która pozwoli wyeliminować ewentualne błędy metod obliczeniowych i rzeczywistego próbnego obciążenia, jak również przewidzieć czas na reakcję użytkownika na zbliżający się stan graniczny (poprzez na przykład ograniczenie działania obciążeń na element konstrukcyjny).

Jako elementy pomiarowe (czujniki) wykorzystywane do monitorowania elementów konstrukcyjnych stosuje się czujniki tensometryczne – czujniki zmieniające swoją rezystancję wraz ze zmianą swoich wymiarów, służące do pomiarów stanów nośności (pomiar naprężeń konstrukcji) oraz stanów użytkowania (pomiar szerokości rozwarcia rys) oraz czujniki zegarowe wychyleń – czujniki do pomiarów stanów użytkowania (pomiar ugięcia konstrukcji).

Zakończenie

1. Opracowanie dotyczy sposobu monitorowania konstrukcji przede wszystkim konstrukcji dachów hal przemysłowych, magazynowych, usługowych, użytkowych oraz wczesnego ostrzegania przed przekroczeniem stanów granicznych użytkowania i nośności.
2. Sposobem tym na elementach konstrukcyjnych montuje się czujniki rejestrujące stany elementów konstrukcyjnych, czujniki te łączy się z systemem przetwarzania, przekazywania i wizualizacji da-

nych z czujników tak, aby przed przekroczeniem stanów granicznych uruchamiał się alarm.

3. System monitorowania konstrukcji znamiennej jest tym, że na elementach konstrukcyjnych montuje się czujniki rejestrujące stany elementów konstrukcyjnych, czujniki te łączy się z systemem przetwarzania danych z czujników zaopatrzonego w urządzenie wczesnego ostrzegania o zagrożeniu w przypadku przekroczenia w którymkolwiek z monitorowanych elementów konstrukcyjnych (za pośrednictwem danych przekazanych z czujników) stanów granicznych, przy czym czujniki dobierane są dla konkretnej konstrukcji, a urządzenie wczesnego ostrzegania skaluje się dla konkretnej konstrukcji tak, aby przed przekroczeniem stanów granicznych wyliczonych dla konkretnej konstrukcji uruchamiał się alarm.
4. Czujniki montuje się w miejscach występowania najbardziej niekorzystnych stanów elementów konstrukcyjnych.
5. Stosuje się alarm wizualny, akustyczny, graficzny, tekstowy przekaz elektroniczny za pomocą sieci komputerowych i/lub komórkowych.
6. Pojedyncze systemy monitorowania i ostrzegania łączy się w jeden system dostępny dla poszczególnych użytkowników za pomocą aplikacji komputerowych dostępnych przez internetową sieć komputerową.

Ochrona intelektualna

„Sposób monitorowania elementów konstrukcji” został zgłoszony jako wynalazek pod numerem zgłoszenia P-381670 i podlega ochronie prawnej w Urzędzie Patentowym RP.

Opracowanie:
mgr inż. Makuch Krzysztof



KONSTRUKCJE
stalowe

kwiecień 2007

2(85)