

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 244330 B1**

(12) Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **445095**

(22) Data zgłoszenia: **2019.03.18**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2020.09.21 BUP 20/2020**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.01.08 WUP 02/2024**

(51) MKP:

G01M 5/00 (2006.01)

E01D 2/00 (2006.01)

(62) Numer zgłoszenia, z którego nastąpiło
wydzielenie:
429296

(73) Uprawniony z patentu:
**POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO
ŁUKASIEWICZA, Rzeszów, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:
**ŁUKASZ BEDNARSKI, Kielce, PL
TOMASZ SIWOWSKI, Rzeszów, PL
MATEUSZ RAJCHEL, Rzeszów, PL
RAFAŁ MAREK SIENKO, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Piotr Okarmus, Rzeszów, PL

(54) Tytuł:

System monitorowania obiektu mostowego

PL 244330 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest system monitorowania obiektów mostowych z wykorzystaniem dźwigara mostowego kompozytowo-betonowego mający zastosowanie jako element konstrukcyjny obiektów mostowych do ewaluacji ich stanu technicznego.

W stanie techniki znane są rozwiązania dźwigarów hybrydowych kompozytowo-betonowych. Przykładowo z polskiego opisu patentowego PL 231211 B znane jest przęsło mostu drogowego, składające się z dźwigarów hybrydowych, kompozytowo – betonowych oraz poprzecznie z betonu. Przęsło mostowe ma co najmniej dwa dźwigary hybrydowe o przekroju skrzynkowym, wykonane z belek z kompozytów FRP, połączonych trwale z płytą pomostu, przy czym poprzecznicę podporową i płytę pomostu są wykonane z betonu lekkiego. Skrzynkowe belki kompozytowe są połączone z betonową płytą pomostu za pomocą łączników stalowych sworzniowych oraz kleju epoksydowego.

Z chińskiego opisu zgłoszeniowego CN 201873942 U znana jest konstrukcja dźwigara z kompozytów FRP, mająca jeden lub dwa środniki połączone z betonem. Połączenie betonu z korpusem z kompozytów FRP jest zapewnione za pomocą kleju i uszorstnionej powierzchni z betonu zwykłego lub wysokowartościowego, zbrojonego podłużnie i poprzecznie prętami kompozytowymi FRP.

Z chińskiego opisu zgłoszeniowego CN 203320390 U znana jest konstrukcja hybrydowego dźwigara skrzynkowego, wykonanego z kształtownika z kompozytu FRP oraz betonu. Kształtownik jest wykonywany w procesie pultruzji. Połączenie betonu z kształtownikiem jest wykonane poprzez płaskie łączniki listwowe z otworami oraz pręty zbrojeniowe. Łączniki listwowe mogą być w kształcie „U”, „L”, „T” oraz „I”.

Z rosyjskiego opisu patentowego RU 2544028 C1 znany jest system monitorowania stanu technicznego statków powietrznych, w szczególności wiosła śmigła wykonanego z kompozytu FRP. Na każdej łopatkę kompozytowej zewnętrznych śmigieł statku powietrznego znajdują się co najmniej dwa czujniki światłowodowe Bragga oraz co najmniej dwa czujniki wibroakustyczne. Czujniki Bragga i czujniki wibroakustyczne są wbudowane w masę kompozytu w górnej części łopatek śmigieł i w panelach zewnętrznych śmigieł. Dzięki zainstalowanemu systemowi monitorowania jest możliwość kontroli stanu technicznego łopatek śmigieł i zewnętrznych paneli skrzydeł, wykonanych z kompozytów FRP.

Ze stosowania znane są systemy monitorowania obiektów mostowych wykorzystujące montowane na powierzchni tych obiektów czujniki strunowe oraz inklinometry zintegrowane z czujnikami temperatury. Instalowanie takich systemów na obiekcie mostowym jest kosztowne, w szczególności jeżeli wymagana jest wysoka dokładność pomiaru.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego mający połączony z serwerem zestaw rejestrująco-przesyłający wyposażony w rejestrator i reflektometr, do którego podłączone są czujniki dźwigara według wynalazku charakteryzuje się tym, że jego zestaw rejestrująco-przesyłający rejestruje informacje o zmierzonych za pomocą czujników dźwigara wartościach wielkości fizycznych i przesyła je na serwer, gdzie zmierzone wartości są przeliczane na wartości zdefiniowane w systemie dla określenia stanu technicznego obiektu mostowego, i na tej podstawie oceniany jest stan techniczny obiektu lub wykrywane jest jego przeciążenie.

Korzystnie w przypadku wykrycia krótkotrwałych odkształceń lub deformacji o wartościach przekraczających zdefiniowaną w systemie wartość graniczną, system informuje o tym zarządcę obiektu.

Dalsze korzyści uzyskuje się, jeżeli system ma podsystem czujników punktowych oraz podsystem czujników rozłożonych, przy czym jego podsystem czujników rozłożonych jest uruchamiany po wykryciu przez podsystem czujników punktowych krótkotrwałych odkształceń lub deformacji o wartości przekraczającej zdefiniowaną w systemie wartość graniczną.

Następne korzyści uzyskuje się, jeśli podsystem czujników rozłożonych jest uruchamiany w zdefiniowanych w systemie terminach.

Kolejne korzyści uzyskuje się, jeśli jego podsystem czujników punktowych zawiera, zamontowane na kompozytowym panelu, tensometryczne czujniki odkształceń.

Obiekty mostowe o konstrukcji przęsła z dźwigarów hybrydowych w sposób optymalny łączą powszechnie znane zalety kompozytów FRP jak trwałość, wytrzymałość, lekkość, z zaletami betonu, takimi jak sztywność, niski koszt oraz plastyczny sposób niszczenia. Inteligentne łączenie tych zalet oraz wbudowanie systemu monitorowania ich stanu technicznego oraz kontroli przeciążeń mostu już wkrótce może spowodować, że ten rodzaj drogowych dźwigarów zdobędzie dużą popularność w budowie obiektów mostowych w ciągu dróg publicznych krajów wysoko rozwiniętych. W szczególności w sytuacji, gdy starzejąca się infrastruktura drogowa, czy też zagraża bezpieczeństwu jej użytkowników.

Wynalazek łączy w sobie zalety dźwigara kompozytowo-betonowego z inteligentnym systemem jego monitorowania oraz tradycyjnymi zaletami prefabrykacji. Dźwigar hybrydowy umożliwia tworzenie inteligentnych systemów prefabrykowanych obiektów mostowych, które nie tylko zredukują obecne ograniczenia prefabrykacji mostowej, takie jak ograniczenia transportowe elementów, ograniczona trwałość, brak stałej kontroli stanu technicznego, lecz przede wszystkim stworzą technologię budowy mostów doskonale wpisującą się w strategię zrównoważonego rozwoju pod kątem ograniczenia energochłonności produkcji oraz zmniejszenia jej śladu węglowego. Osiągnięcie tych parametrów jest szczególnie istotne w obliczu stopniowo zaostrzanych kryteriów oceny wyrobów budowlanych w odniesieniu do ich oddziaływań na środowisko w trakcie całego cyklu życia wyrobu.

Zintegrowanie z dźwigarem systemu monitorowania poprzez zastosowanie czujników wbudowanych w strukturę wewnętrzną materiału, z którego jest zbudowany, umożliwi ciągłą w czasie analizę bezpieczeństwa konstrukcji całego mostu, zarówno w kontekście upływającego czasu i wynikającego stąd postępującego procesu destrukcji materiałów, zmieniających się oddziaływań mechanicznych i niemechanicznych, pojawiających się defektów, jak i chwilowych oddziaływań wynikających z przejazdu pojazdów ponadnormatywnych. Objęcie monitoringiem wszystkich mostów wznoszonych przy zastosowaniu dźwigarów hybrydowych umożliwi zbudowanie sieci systemów monitorowania. Wyniki pozyskiwane z pomiarów dostarczą unikalnych w skali świata informacji na temat pracy konstrukcji hybrydowych w różnych warunkach eksploatacji. Umożliwią również natychmiastowe reagowanie służb utrzymania na pojawiające się w czasie eksploatacji usterki. Uwzględnienie integracji systemu monitorowania z dźwigarem pozwoli na wykorzystanie przy ich projektowaniu analizy ryzyka, co z kolei przełoży się na optymalizację konstrukcji i wynikające z niej oszczędności finansowe przy zachowaniu tych samych parametrów związanych z bezpieczeństwem konstrukcji.

Efektom zastosowania dźwigarów według wynalazku oraz systemu wykorzystującego zintegrowane z nimi czujniki, jest możliwość odczytu i rejestracji odkształceń, temperatury, a także deformacji pionowych i poziomych dźwigara obiektu mostowego.

Zastosowanie czujników punktowych pozwala na pomiar wartości zmieniających się w sposób dynamiczny. Czujniki rozłożone pozwalają natomiast na wykonywanie pomiarów statycznych realizowanych w dowolnym czasie, przykładowo w zaplanowanych odstępach czasowych, a także gdy wartości zmierzone czujnikami punktowymi przekraczają zdefiniowane wartości graniczne. Pomiaru wykonywane oboma rodzajami czujników są wykorzystywane do monitoringu i oceny zachowania się konstrukcji dźwigara pod kątem przeciążenia oraz oceny stanu technicznego obiektu mostowego pod wpływem obciążeń i oddziaływań zmiennych w czasie.

Światłowody pełniące rolę czujników rozłożonych pozwalają na ciągły geometryczny pomiar odkształceń, deformacji, temperatury kompozytu lub betonu. Wielkości pomierzone za pomocą rozłożonych czujników światłowodowych, generowane przez dowolne oddziaływanie mechaniczne lub niemechaniczne obiektu mostowego, w szczególności przez oddziaływanie reologiczne lub środowiskowe, służą do ciągłej w czasie oceny stanu technicznego obiektu mostowego oraz jego ewentualnego przeciążenia.

Wbudowanie czujników w wewnętrznej strukturze materiału korpusu dźwigara, czy też w kompozytowych prętach zbrojeniowych płyty betonowej, podczas ich wytwarzania, przykładowo poprzez pultruzę, infuzję czy też nawijanie, co zapewnia współodkształcalność czujników i materiału pod obciążeniem. Przekłada się na wysoką dokładność pomiarów.

System monitorowania obiektu mostowego, w przykładach wykonania został bliżej wyjaśniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia stosowany w systemie dźwigar w przekroju poprzecznym w pierwszym wariantcie wykonania, fig. 2 – w drugim wariantcie wykonania, fig. 3 – w trzecim wariantcie wykonania, fig. 4 – w czwartym wariantcie wykonania, fig. 5 – w piątym wariantcie wykonania, fig. 6 – połączenie korpusu dźwigara z płytą za pomocą sworzni, w przekroju poprzecznym, fig. 7 – w przekroju wzdłużnym, fig. 8 – połączenie korpusu dźwigara z płytą za pomocą listew łączących w przekroju poprzecznym, fig. 9 – w przekroju wzdłużnym, fig. 10 – dźwigar w trzecim wariantcie wykonania z pokazanym rozmieszczeniem czujników w przekroju poprzecznym, fig. 11 – poglądowo rozmieszczenie czujników na pasach korpusu dźwigara, fig. 12 – poglądowo rozmieszczenie czujników na środnikach korpusu dźwigara, fig. 13 – lity laminat zbrojony włóknami w przekroju poprzecznym z czujnikami wbudowanymi w jego wewnętrzną strukturę, fig. 14 – kompozyt warstwowy w przekroju poprzecznym z czujnikami wbudowanymi w jego strukturę, fig. 15 – poglądowo dźwigary zastosowane w moście, fig. 16 – dźwigar podłączony do zestawu rejestrująco-przesyłającego.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego według wynalazku w pierwszym przykładzie wykonania wykorzystuje dźwigar mostowy zawierający belkę o kompozytowym korpusie 1, z litych laminatów zbrojonych włóknami szklanymi z polimerową osnową, o pryzmatycznym przekroju poprzecznym otwartym dwuteowym, oraz połączoną z tym korpusem 1 płytę 2 z betonu zwykłego. Płyta 2 jest przykręcona do korpusu 1 za pomocą sworzni 3 z nakrętkami 4. Dźwigar ma czujniki 5 światłowodowe, które są trwale połączone z jego korpusem 1 w wewnętrznej strukturze kompozytu, z którego jest wykonany, w średniku tego korpusu 1. Czujniki 5 obejmują czujniki 5 punktowe oraz czujniki 5 rozłożone w postaci siatek Bragga. Czujniki 5 są połączone do zestawu rejestrująco-przesyłającego 6, zawierającego rejestrator oraz reflektometr, zamocowanego na obiekcie mostowym oraz połączonego za pomocą sieci światłowodowej z serwerem, który przelicza wartości pomiarowe na wielkości służące do oceny stanu technicznego lub przeciążenia obiektu mostowego. System ma podsystem czujników 5 punktowych oraz podsystem czujników 5 rozłożonych. Podsystem czujników 5 punktowych obejmuje punktową siatkę Bragga utworzoną przez czujniki 5 wbudowane w materiał dźwigarów. Punkty pomiarowe siatki Bragga rozmieszczone są w miejscach najbardziej wrażliwych na zmiany odkształceń powodowanych oddziaływaniami mechanicznymi i niemechanicznymi. Zmierzone wartości zapisywane są w pamięci chwilowej zestawów rejestrująco-przesyłających 6 zlokalizowanych na obiekcie mostowym. Zestawy rejestrująco-przesyłające 6 połączone są siecią światłowodową z serwerem, na którym wartości pomiarowe są przeliczane na zdefiniowane w systemie wartości służące ocenie stanu technicznego lub przeciążenia obiektu mostowego. W przypadku wystąpienia krótkotrwałych oddziaływań skutkujących większymi od zdefiniowanych w systemie odkształceniami lub deformacjami, system wysyła wiadomość informującą o tym na wskazany adres e-mail oraz numer telefonu. Z wykorzystaniem danych zbieranych przez czujniki 5 punktowe prowadzone są również analizy statystyczne reakcji konstrukcji na zmieniające się w czasie oddziaływania.

Podsystem czujników 5 rozłożonych obejmuje czujniki 5 światłowodowe mierzące odkształcenia, deformacje, lub temperaturę wzdłuż dowolnie zdefiniowanych linii pomiarowych. Rozłożone czujniki 5 światłowodowe rejestrują wielkości fizyczne wzdłuż długości światłowodów z rozdzielczością geometryczną rzędu 5mm co pozwala dla każdego odcinka światłowodu o długości 5 mm uzyskanie informacji o zmianie odkształcenia, deformacji lub temperatury konstrukcji. Pomiar zmian odkształceń, deformacji lub temperatury konstrukcji jest wykonywany z wykorzystaniem reflektometru należącego do zestawu rejestrująco-przesyłającego 6. Zestaw rejestrująco-przesyłający 6 umożliwia wykonywanie pomiarów zarówno w sposób statyczny jak i dynamiczny.

Pomiar rozłożonymi czujnikami 5 światłowodowymi prowadzony jest w zaplanowanych terminach oraz w przypadkach gdy zmierzone czujnikami 5 punktowymi wartości odkształceń deformacji przekraczają zdefiniowane w systemie wartości graniczne.

Rozłożone czujniki 5 światłowodowe służą do pomiaru odkształceń, deformacji i temperatury wzdłuż dowolnie zdefiniowanych linii pomiarowych. Pomiar wielkości wzdłuż długości światłowodów prowadzony jest z rozdzielczością 5mm. Wartości mierzonych wielkości są zapisywane w pamięci chwilowej rejestratorów zestawu rejestrująco-przesyłającego 6. Na podstawie pomiaru odkształceń z trzech czujników 5 światłowodowych poprowadzonych wzdłuż linii prostej o znanym położeniu wyznaczana jest względna deformacja dźwigara w dwóch prostopadłych płaszczyznach. Pomiar zmian odkształceń, deformacji lub temperatury jest prowadzony reflektometrami. Pomiar prowadzi się w zaplanowanych terminach oraz w przypadku, gdy przekroczone zostaną wartości graniczne wielkości mierzonych przez czujniki 5 punktowe. W pomiarze wykorzystywane są zjawiska rozproszenia światła: Rayleigha, Brillouina oraz Ramana.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego według wynalazku w drugim przykładzie wykonania wykorzystuje dźwigar mostowy zawierający belkę o kompozytowym korpusie 1, z litego laminatu zbrojonego włóknami węglowymi z polimerową osnową o pryzmatycznym przekroju poprzecznym zamkniętym prostokątnym. Płyta 2 dźwigara jest z betonu lekkiego. Z pasami i środkami korpusu 1 belki są trwale połączone światłowodowe czujniki 5, w wewnętrznej strukturze kompozytu, z którego jest wykonany. Czujniki 5 obejmują czujniki 5 punktowe oraz czujniki 5 rozłożone w postaci siatek Bragga. W pozostałym zakresie system jest wykonany tak jak w przykładzie pierwszym.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego według wynalazku w trzecim przykładzie wykonania wykorzystuje dźwigar mostowy zawierający belkę o kompozytowym korpusie 1, o pryzmatycznym przekroju poprzecznym otwartym U-kształtnym, wykonanym z kompozytu warstwowego z warstwą zbrojoną włóknem szklanym oraz o rdzeniu piankowym. Płyta 2 wykonana jest z betonu wysoko wartościowego, zbrojonego prętami 7 kompozytowymi wykonanymi metodą pultruzji,

a czujniki 5 światłowodowe są wbudowane w te pręty 7 na etapie ich wytwarzania. W pozostałym zakresie system jest wykonany tak jak w przykładzie pierwszym.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego według wynalazku w czwartym przykładzie wykonania wykorzystuje dźwigar mostowy zawierający belkę o kompozytowym korpusie 1, z laminatu z warstwami kompozytu zbrojonego włóknami szklanymi oraz węglowymi, o przekroju poprzecznym zamkniętym trapezowy, a czujniki 5 są wbudowane w pręty 7 kompozytowe, którymi zbrojona jest płyta 2 betonowa, a także w korpusie 1. Korpus 1 i płyta 2 są ze sobą trwale połączone za pomocą listew 8, które mają ścianki boczne wpuszczone w płytę 2 betonową, przy czym w tych ściankach bocznych, są otwory 9, przez które przechodzą pręty 7 zbrojące płytę 2. Listwy 8 połączone są z korpusiem 1 za pomocą skleiny 10. W pozostałym zakresie system jest wykonany tak jak w przykładzie pierwszym.

System monitorowania stanu technicznego obiektu mostowego według wynalazku w piątym przykładzie wykonania wykorzystuje dźwigar mostowy zawierający belkę o kompozytowym korpusie 1, o przyrządowym przekroju poprzecznym okrągłym. W pozostałym zakresie system jest wykonany tak jak w przykładzie pierwszym.

Zastrzeżenia patentowe

1. System monitorowania obiektu mostowego mający połączony z serwerem zestaw rejestrująco-przesyłający wyposażony w rejestrator i reflektometr, do którego podłączone są czujniki dźwigara mostowego zawierającego belkę o kompozytowym korpusie, do której zamocowana jest betonowa płyta, **znamienny tym**, że jego zestawem rejestrująco-przesyłającym (6) rejestrowane są informacje o zmierzonych za pomocą czujników (5) dźwigara wartościach wielkości fizycznych i przesyłane są na serwer, gdzie zmierzone wartości są przeliczane na wartości zdefiniowane w systemie dla określenia stanu technicznego obiektu mostowego, i na tej podstawie oceniany jest stan techniczny obiektu lub wykrywane jest jego przeciążenie, przy czym czujniki (5) dźwigara są wbudowane w strukturę kompozytowego materiału korpusu (1) jego belki.
2. System według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w przypadku wykrycia krótkotrwałych odkształceń lub deformacji o wartościach przekraczających zdefiniowaną w systemie wartość graniczną, zarządca obiektu jest o tym informowany przez system.
3. System według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że ma podsystem czujników (5) punktowych oraz podsystem czujników (5) rozłożonych.
4. System według zastrz. 3, **znamienny tym**, że jego podsystem czujników (5) rozłożonych jest uruchamiany po wykryciu przez podsystem czujników (5) punktowych krótkotrwałych odkształceń lub deformacji o wartości przekraczająca zdefiniowaną w systemie wartość graniczną.
5. System według zastrz. 3 albo 4, **znamienny tym**, że jego podsystem czujników (5) rozłożonych jest uruchamiany w zdefiniowanych w systemie terminach.
6. System według zastrz. 26 albo 27 albo 28, **znamienny tym**, że jego podsystem czujników (5) punktowych zawiera, zamontowane na kompozytowym panelu, tensometryczne czujniki (5) odkształceń.

Rysunki

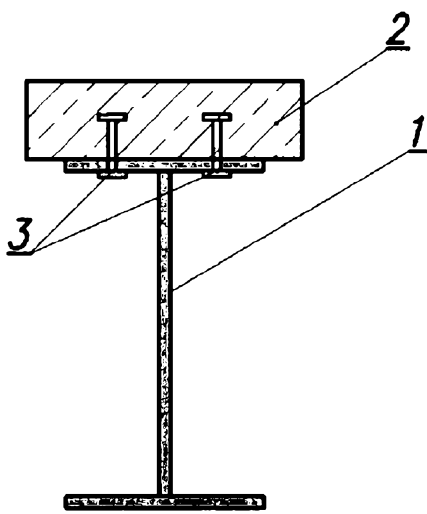


Fig. 1

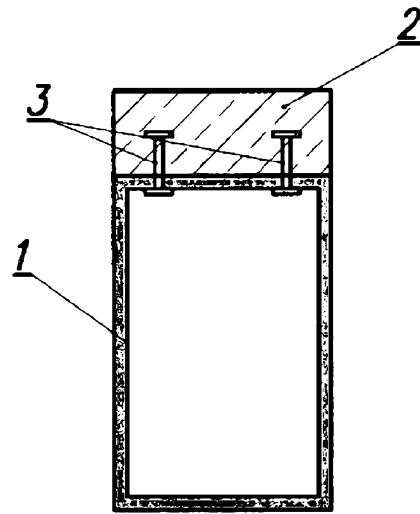


Fig. 2

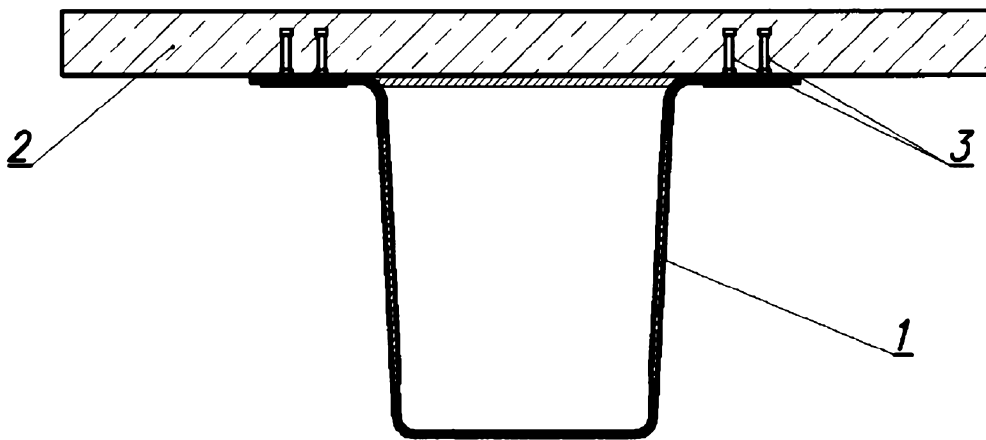


Fig. 3

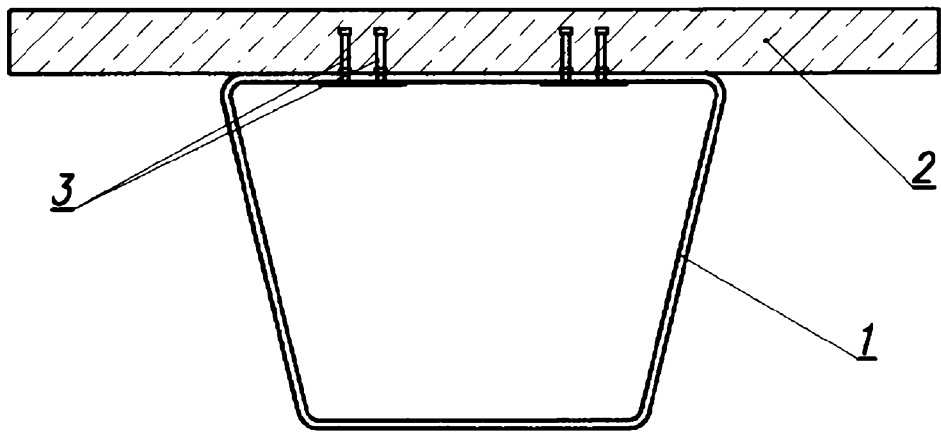


Fig. 4

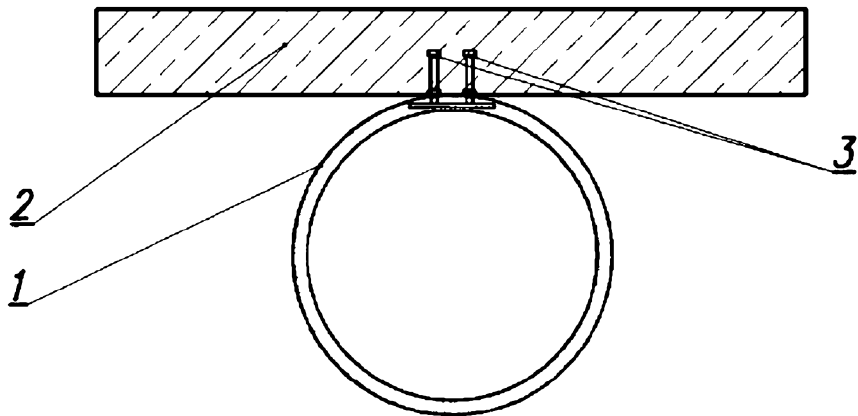


Fig. 5

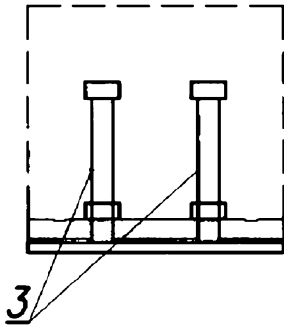


Fig. 6

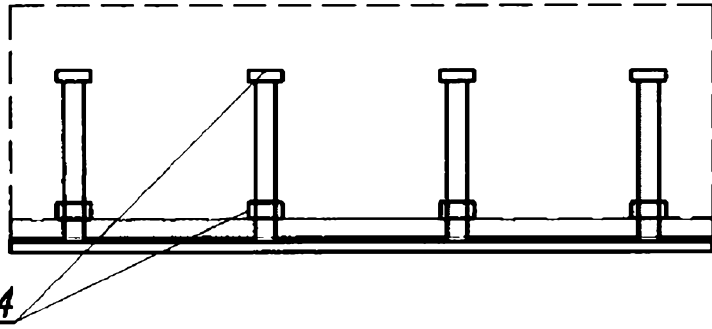


Fig. 7

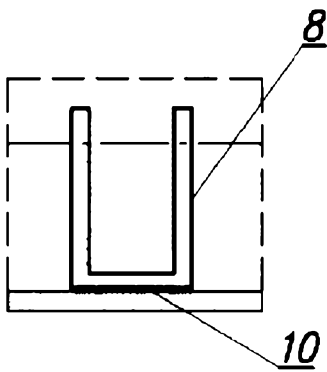


Fig. 8

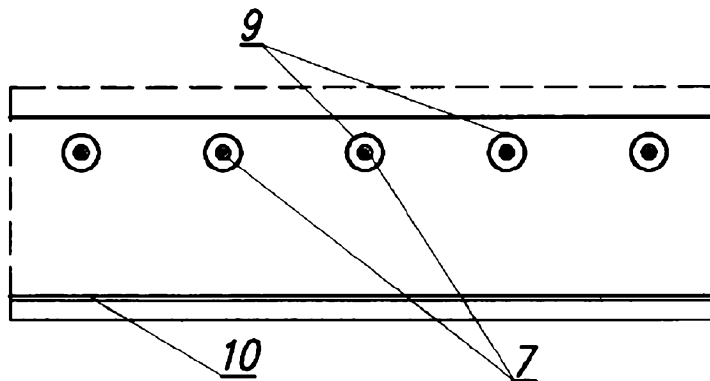


Fig. 9

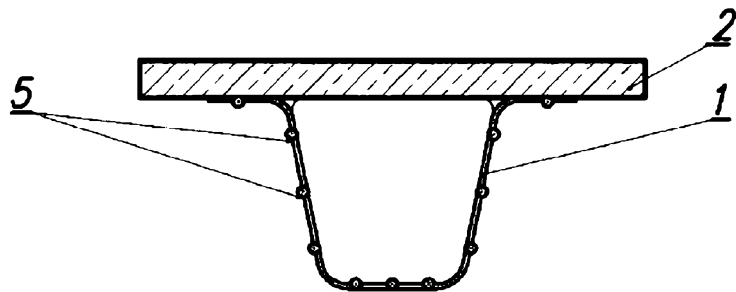


Fig. 10

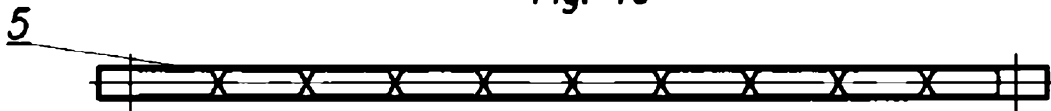


Fig. 11

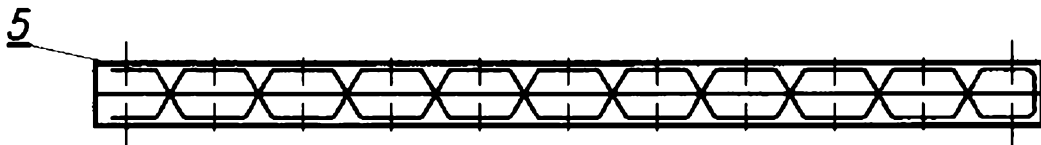


Fig. 12

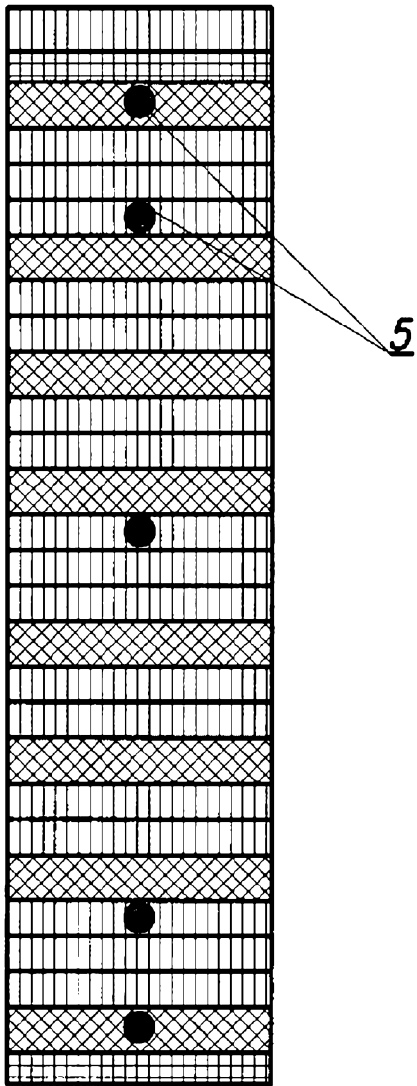


Fig. 13

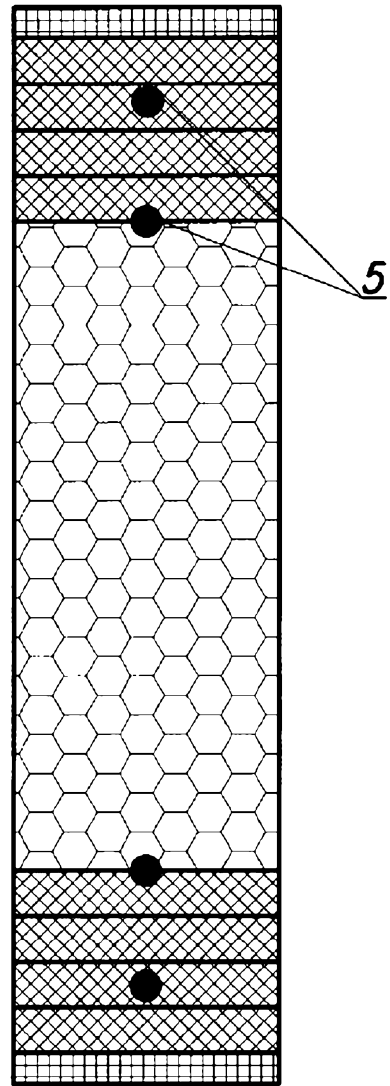


Fig. 14

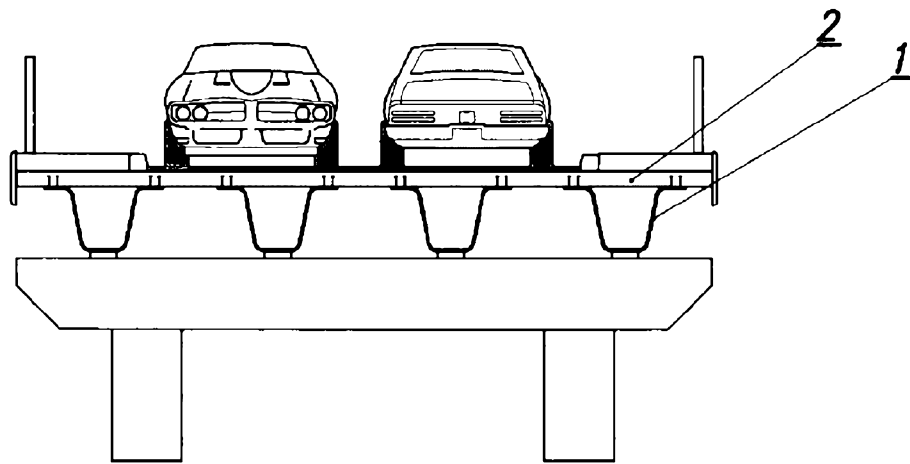


Fig. 15

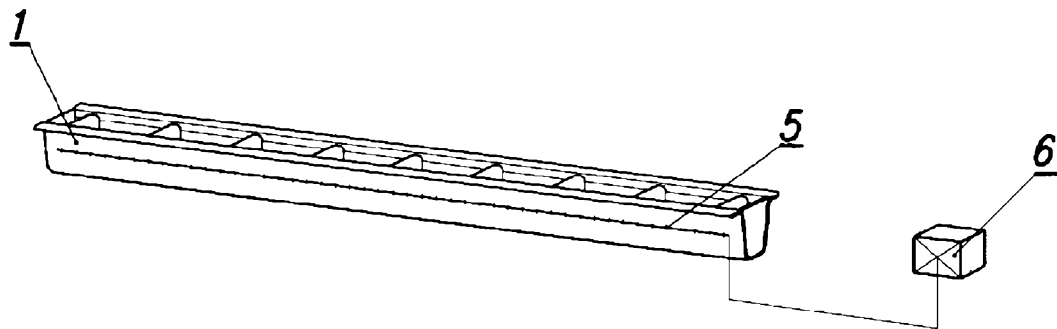


Fig. 16