

(19)



(10) **LT 5863 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patento numeris: **5863** (51) Int. Cl. (2011.01): **G01B 17/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2010 093**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2010 10 22**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2012 04 25**
- (45) Patento paskelbimo data: **2012 08 27**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:
Vytautas Kazimieras AUGUSTAITIS, LT
Vytautas BUČINSKAS, LT
- (73) Patento savininkas:
Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Vytautas EINORIS, Gerbutavičiaus g. 1/42-155, LT-04318 Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:
Tiltų būklės įvertinimo dinaminio metodu būdas ir įrenginys
- (57) Referatas:

Išradimas skirtas įvairios konstrukcijos tiltų būklės diagnostikai. Nurodytas tikslas pasiekiamas išvardintuosius kriterijus gaunant iš tilto perdangoje sužadintų jos absoliučiujų skersinių vertikaliųjų virpesių, kurių signalai registruojami ir apdorojami pagal išradime pateikiamą metodiką, taikant elektroninę, kompiuterinę ir kitokią įrangą. Išradimo esmei paaiškinti čia minima virpamoji sistema supaprastinama iki vieno laisvės laipsnio sistemos, kuri parodyta fig. 2. Supaprastinant sistemą priimta, kad perdanga ir jos atramos yra bėmasis tamprus skeletas, kurio vidurio taške A sukaupta taškinė redukuota perdangos masė M. Jos dydis, kurio konkreči reikšmė čia nenagrinėjama, turi būti toks, kad ja apkrautas perdangos bėmasis tamprus skeletas deformuotųsi tokiu pat dydžiu y_1 kaip ir fig. 1 parodyta perdanga. Tokiu atveju, tarp tilto perdangos savojo svorio sukkelto jos vidurio įlinkio y_1 ir perdangos skersinių absoliutinių vertikaliųjų virpesių savojo kampinio dažnio ω , nustatyto be perdangos slopinimo vertinimo, galioja žinoma priklausomybė. Kitu atveju diagnostinių parametrų nustatymui naudojamas žemiausias perdangos rezonansinis dažnis, kuris apytiksliai lygus tilto perdangos žemiausiajam savajam dažniui. Jų gavimui naudojamas įrenginys, susidedantis iš signalus registruojančio jutiklio, duomenis registruojančios įrangos, kompiuterio su atitinkama programine įranga ir tilto žadinimo įranga, kuria gali būti pravažiuojantis transportas, važiuojantis automobilis per specialią barjerą ant perdangos važiuojamosios dalies arba specialus vibratorius.

LT 5863 B

1. Technikos sritis

Statybinių įrenginių diagnostika, konkrečiai susijusi su tiltų techninės būklės nustatymo eksperimentiniais metodais.

2. Išradimo tikslas

Išradimo tikslas yra tilto techninės būklės vertinimui skirtos eksperimentinės diagnostikos proceso supaprastinimas šių diagnostikoje naudojamų kriterijų nustatymui: tilto perdangos savojo svorio sukkelto jos vidurio skersinio vertikalojo įlinkio; standumo koeficientu apibūdinamo perdangos vidurio vertikalojo skersinio standumo, nustatomo deformuotos savuoju svoriu perdangos padėties atžvilgiu; perdangos skersinių vertikaliųjų absoliučiuųjų virpesių žemiausiojo savojo dažnio arba jam apytiksliai lygaus žemiausiojo rezonansinio dažnio.

3. Technikos lygis

Yra žinomi tokie tiltų ir atsakingų laikančiųjų konstrukcijų patikros metodai (M. Y. H. Bangash. *Prototype bridge structures: analysis and design*, London: Thomas Telford publishing, 1999, 1195 p.; *Bridge testing: Research report (Alabama Department of Transportation)*, C. H. Yoo, J. M. Stallings, Alabama Highway Dept.], Bureau of Research and Development, 1993, 160 p.; prieiga per Internetą: <http://www.campbellsci.com/bridge>):

- 1) tilto konstrukcijos matavimas matuojant perdangos įlinkį nuo statinio apkrovimo atramos atžvilgiu (dabartinė standartais apibrėžta procedūra);
- 2) tilto konstrukcijos perdangos įlinkio matavimas lazeriniais poslinkio jutikliais statiškai apkraunant konstrukciją;
- 3) transporto srauto sukeliamų virpesių matavimas lazerio spinduliu ir jų analizė (Bridge monitoring system: United States Patent 6240783);
- 4) transporto priemonių judesio fiksavimo sistemos (Bridge movement detector : United States Patent 5801314)
- 5) tilto savybių nustatymas jungiant eksperimento metu gautas charakteristikas su virtualiuoju modeliu (Testing system and testing method for structure: United States Patent Application 20020116136).

1 pozicijoje nurodytas būdas yra pagrindinis tiltų konstrukcijų įvertinimo būdas, tačiau pagrindinis jo trūkumas – metodo brangumas ir jo atlikimo trukmė. Bandymo metu tiltas

apkraunamas didele apkrova, kuri gali būti pavojinga jam pačiam, stabdomas eismas tiltu, reikia atlikti daug pasirengimo darbų.

2 pozicijoje nurodytas būdas skiriasi nuo pirmojo matavimo priemonėmis, kai statinio įlinkio matavimas atliekamas nekontaktiniais, dažniausiai lazeriniais jutikliais nejudančios bazės atžvilgiu. Šio metodo matavimo įranga yra brangesnė, tačiau sutaupoma trumpinant matavimo laiką ir nebereikia prieiga iš tilto apačios matavimo priemonėms tvirtinti.

3 pozicijoje nurodytas būdas naudoja dinaminiu metodus tilto kokybei nustatyti, tačiau stebimi priverstiniai transporto sukeliami tilto virpesiai neatspindi vien tilto kokybės, o yra suminė charakteristika, todėl negali vertinti pačios tilto kokybės, o tik leidžia stebėti tilto dinaminį atsaką į konkretų žadinimo poveikį. Toks metodas reikalauja pastovaus stebėjimo bei duomenų perdavimo aparatūros, bet neteikia kokybinės charakteristikos.

4 pozicijoje paminėtas metodas skiriasi nuo 3 pozicijos stebėjimo priemonėmis, tačiau turi tuos pačius trūkumus.

5 pozicijoje nurodytas būdas, kai tilto savybės nustatomos jungiant teorinį tilto modelį su eksperimento duomenimis, leidžia įvertinti teorinių tilto savybių nuokrypį nuo nustatomų eksperimentiniu metodu, bet šis metodas reikalauja didelės personalo kvalifikacijos ir sudėtingų analizės prietaisų. Be to, tilto savybių įvertis yra santykinis, o kritinės būsenos ar tolimesnės kokybės blogėjimo juo įvertinti negalima.

Naudojant žinomą tilto konstrukcijos ir tinkamumo eksploatacijai diagnostikos būdą, kurį galima laikyti artimiausiu mūsų siūlomajam būdui, tilto konstrukcijos elementų stiprumą leidžia įvertinti tiriant jų rezonansinį dažnį, surandamą žadinant vibratoriumi kiekvieną tilto konstrukcijos strypą. Šio būdo trūkumai:

1. Šis būdas tinka tik tokiai tilto konstrukcija, kai laikantys elementai gali būti laikomi strypais su pastoviu skerspjūviu per visą jų ilgį (taikomas mediniams tiltams).
2. Strypai negali turėti tarpusavio jungčių tarp atramų (bandymo metu jungtys atlaisvinamos).
3. Bandymo metu reikia nuimti važiuojamosios dalies dangą, kad būtų priėjimas prie kiekvieną strypą.
4. Virpesiams sukelti būtinas specialus vibratorius.

4. Išradimo esmė

Nurodytas tikslas pasiekiamas išvardintuosius kriterijus gaunant iš tilto perdangoje sužadintų jos absoliučiuųjų skersinių vertikaliųjų virpesių, kurių signalai registruojami ir apdorojami pagal išradime pateikiamą metodiką, taikant elektroninę, kompiuterinę ir kitokią įrangą.

Tilto perdangos schema parodyta fig. 1. Joje pateikta ilgio l tilto perdanga, esanti deformuotoje padėtyje 1, gulinti ant perdangos savojo svorio deformuotų atramų 2, 3. Perdangos savojo svorio sukelta jos vidurio deformacija y_1 matuojama tarp perdangos ašies O-O jos nedeformuotoje teorinėje būklėje ir deformuotos perdangos ašies O_1-O_1 vidurio.

Laikoma, kad tilto perdanga yra statiškai apibrėžtas tilto mazgas, kurio didžiausias statinis įlinkis y_1 yra perdangos tarpatramio viduryje. Priimta, kad visi perdangos nešančiosios konstrukcijos elementai ir sujungimai, atramos, yra svorio jėgų įveržti ir tokia perdanga, gulinti ant tamprių atramų, su nedidele leistina paklaida gali būti laikoma tiesine stacionariąja virpamąja sistema.

Išradimo esmei paaiškinti čia minima virpamoji sistema supaprastinama iki vieno laisvės laipsnio sistemos, kuri parodyta fig. 2. Supaprastinant sistemą priimta, kad perdanga ir jos atramos yra bemasio tamprus skeletas, kurio vidurio taške A sukaupta taškinė redukuota perdangos masė M . Jos dydis, kurio konkreči reikšmė čia nenagrinėjama, turi būti toks, kad ja apkrautas perdangos bemasio tamprus skeletas deformuotųsi tokiu pat dydžiu y_1 kaip ir fig. 1 parodyta perdanga. Tokiu atveju, tarp tilto perdangos savojo svorio sukulto jos vidurio įlinkio y_1 ir perdangos skersinių absoliutinių vertikaliųjų virpesių savojo kampinio dažnio ω , nustatyto be perdangos slopinimo vertinimo, galioja tokia priklausomybė (S. Timoshenko, D.H. Young, W. Weaver, jr. Vibration problems in engineering. John Willey&sons, N. Y.1990, 624 p.)

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{y_1}}, \quad (1)$$

čia g – laisvojo kritimo pagreitis.

Ši priklausomybė yra visiškai tiksli tada, kai perdangos bemasio skeleto su mase M taške A įlinkio nuo masės M svorio forma sutampa su žemiausiojo perdangos absoliučiuųjų skersinių vertikaliųjų savųjų virpesių forma, gauta nevertinant slopinimo. Nors šis sutapimas yra apytikslis, tačiau nesutapimo paklaida yra maža.

Išradime minimo perdangos įlinkio y_1 nustatymas pagrįstas tuo, kad jis gaunamas iš (1) formulės, žinant dažnį ω :

$$y_1 \cong \frac{g}{\omega^2}. \quad (2)$$

Dažnį ω galima gauti sužadinus perdangos absoliučiuosius skersinius savuosius virpesius, užregistravus jų signalą jutikliu ir po to jį atitinkamai apdorojus. Be to, dažnio ω galima gauti ir iš perdangos skersinių priverstinių harmoninių virpesių. Yra žinoma, kad virpamosios tiesinės stacionariosios sistemos žemiausias savasis dažnis apytiksliai, su nedidele paklaida, yra lygus žemiausiajam rezonansiniam dažniui (klaida atsiranda dėl slopinimo sistemoje; nevertinant slopinimo šie dažniai lygūs). Čia pateikiamo išradimo atveju

tai reiškia, kad dažnis ω su nedidele leistina paklaida yra lygus perdangos absoliučiuju skersinių vertikaliųjų virpesių žemiausiajam dažniui ν , t.y.

$$\omega \cong \nu, \quad (3)$$

todėl įlinkį y_1 iš (2) lygybės galima gauti ir panaudojus rezonansinį dažnį ν , gautą vibratorium perdangoje sužadinus harmoninius absoliutinius skersinius vertikaliuosius virpesius ir iš jų, keičiant žadinimo dažnį, randant reikalingąjį dažnį ν .

Eksperimentiniu būdu dažniai ω ir ν gaunami tik vertinant slopinimą. Išradime nagrinėjamu perdangų virpesių logaritminis dekrementas $\delta < (0,6 \dots 0,5)$, todėl slopinimo poveikis dažniams yra mažas ir jo galima nepaisyti.

Remiantis čia pateikta medžiaga, siūlomasis naujas būdas tilto perdangos įlinko y_1 nustatymui. Jis atliekamas tokia tvarka (fig. 1).

- 1) Gauna tilto perdangos absoliutinių laisvųjų skersinių vertikaliųjų virpesių žemiausiąjį savąjį dažnį ω arba jam apytiksliai lygų žemiausiąjį absoliutinių harmoninių skersinių priverstinių vertikaliųjų virpesių rezonansinį dažnį ν . Savąjį dažnį ω gauna vienu iš dviejų būdų a) ir b).

a) Dažnio ω pirmojo gavimo būdo schema parodyta fig 3, a. Jį išskiria iš perdanga 5 važiuojančio transporto jos absoliutinių skersinių virpesių. Perdanga 5 važiuojantis transportas, pavyzdžiui, automobiliai 8, sukelia jo skersinius virpesius 9, kurie registruojami prie perdangos pritvirtintu jutikliu 4, iš kurio signalo išskiria dažnį ω .

b) Dažnio ω antrojo gavimo būdo schema parodyta fig 3, b. Per perdangą važiuodami automobiliu 11 arba kita transporto priemone, pervažiuoja skersai perdangos važiuojamosios dalies padėtą barjerą 10, kurio profilis automobilio 11 judėjimo kryptimi yra toks, kad automobilio ratai 12, pervažiavę barjerą, smūgiuoja į perdangos 5 važiuojamąją dalį, ir sukelia jos absoliutinius laisvuosius skersinius vertikaliuosius virpesius 9, kuriuos registruoja jutikliu 4 ir iš jo signalo išskiria dažnį ω .

Rezonansinio dažnio ν gavimo schema pateikta fig 3, c. Jį gauna pritvirtintu prie perdangos 5 vertikaliųjų harmoninių virpesių debalansinių vibratoriumi 13 (gali būti naudojamas ir kito tipo vibratorius). Jo du debalansus 14 suka elektros variklis su valdomu sukimosi dažniu ir sukuria vertikalią harmoniškai kintančią jėgą F . Virpesius matuoja pritvirtintu prie perdangos jutikliu 4. Elektros varikliu keičia debalansų 14 sukimosi dažnį ir vertikaliųjų harmoninių skersinių priverstinių virpesių 9 dažnį, kurį keisdami, pagal jutiklio 4 parodymus, nustato perdangos 5 skersinių virpesių žemiausią rezonansinį dažnį ν .

Visais čia paminėtas dažnių ω ir v gavimo atvejais priima, kad virpesius sukeliančių įrenginių (transporto priemonių, vibratoriaus) masė yra maža, palyginus su tilto perdangos mase, ir jos galima nepaisyti.

2. Perdangos vidurio įlinkį y_1 nuo jo savojo svorio nustato pagal (2) ir (3) formules.

Tilto perdangos įlinkio standumo koeficientą k nustato pagal fig.4 parodytą schemą trimis etapais:

1. gauna perdangos įlinkį y_1 čia aukščiau pateiktu būdu;
2. perdangos vidurį apkrauna žinomo svorio kroviniumi 14 (jos svoris G), kuris deformuoja perdangą iki padėties 15; randa taip deformuotos perdangos įlinkį y_2 tokiu pat būdu kaip ir įlinkį y_1 , tačiau įvertinant krovinio 14 svorį G ;
3. turėdami 1-jame ir 2-jame gautus įlinkius y_1 ir y_2 , standumo koeficientą nustato pagal formulę:

$$k = \frac{G}{y_2 - y_1}. \quad (4)$$

Nustatydami standumo koeficientą k , krovinio 14 svorį G parenka tokį, kad tarp perdangos dažnių ω arba v , gautų su kroviniumi 14 ir be jo, būtų pakankamai didelis skirtumas, reikalingas stabiliai koeficiento k reikšmei nustatyti. Krovinio 14 svoris G bus žymiai mažesnis už perdangai apkrauti naudojamą svorį pagal apžvalgoje pateiktą 1-ąjį tilto bandymo metodą.

Tilto perdangos žemiausias savasis absoliutinių skersinių virpesių dažnis ω , arba jam apytiksliai lygus perdangos absoliutinių skersinių harmoninių priverstinių virpesių dažnis v gaunamas tilto perdangos vidurio įlinkio nustatymo eigos metu.

4. Brėžinių aprašymas

Tilto būklės įvertinimo dinaminio metodu būdas ir jam realizuoti skirtas įrenginys parodytas fig. 1, 2, 3 a, 3 b, 3 c, 4.

Fig. 1 parodyta savuoju svorius deformuotos tilto perdangos schema.

Fig 2 parodyta supaprastinta iki vieno laisvės laipsnio tilto perdangos virpamoji sistema.

Fig. 3 parodytos tilto perdangos skersinių vertikaliųjų virpesių žadinimo schemas:

- a) Žadinimas perdanga važiuojančiu transportu;
- b) Žadinimas važiuojant per specialų barjerą, gulintį ant perdangos važiuojamosios dalies;
- c) Žadinimas debalansiniu vibratoriumi.

Fig. 4 parodyta tilto perdangos vidurio skersinio standumo koeficiento vertikaliąja kryptimi nustatymo schema.

Fig. 1 parodytos dalys: 1 – savuoju svoriu deformuota tilto perdanga, gulinti ant deformuotų atramų; 2, 3 – deformuotos tilto atramos nuo perdangos savojo svorio; 4 – perdangos vertikaliuosius virpesius registruojantis jutiklis; O-O – perdangos ašis jos teorinėje nedeformuotoje būklėje, O₁-O₁ – deformuotos savuoju svoriu tilto perdangos ašis; y₁ – savuoju svoriu deformuotos tilto perdangos vidurio deformacijos dydis; l – tarpatramio ilgis; A – perdangos ašies vidurio taškas.

Fig. 2 parodyta dalis, kuri skiriasi nuo fig. 1 parodytų dalių: M – redukuota taške A tilto perdangos masė.

Fig. 3 a parodyta dalis, besiskirianti nuo fig. 1, 2 paveiksluose parodytų dalių: 5 – sąlyginai nedeformuotoje padėtyje esanti tilto perdanga, 6, 7 – tilto perdangos atramos, sąlyginai parodytos nedeformuotoje būklėje, 8 – važiuojantis tilto perdanga transportas, 9 – sąlyginai parodytas virpančios tilto perdangos būseną.

Fig. 3 b parodytos dalys, kurios skiriasi nuo fig. 1 ir fig. 3 parodytų dalių: 10 – barjeras, skirtas žadinti virpesiams, 11 – važiuojanti per barjerą ir sukianti virpesius transporto priemonė, važiuojančios per barjerą transporto priemonės ratas.

Fig. 3 c parodytos dalys, kurios skiriasi nuo fig. 1 ir fig. 3 parodytų dalių: 13 – pritvirtintas prie tilto perdangos debalansinis vibratorius, 14 – vibratoriaus debalansai.

Fig. 4 parodytos dalys, kurios skiriasi nuo fig. 1, 2, 3, 4, 5 parodytų dalių: 14 – papildomas perdangos kroviny, 15 – savuoju ir krovinio svoriu deformuota tilto perdanga, gulinti ant deformuotų atramų, 16, 17 – savuoju perdangos ir krovinio svoriu deformuotos perdangos atramos, O₂-O₂ – deformuotos savuoju ir krovinio svoriu perdangos ašis, y₂ – deformuotos savuoju ir papildomu svoriu tilto perdangos vidurio deformacijos dydis, G – papildomo krovinio svoris.

Išradimo apibrėžtis

1. Tilto techninės būklės diagnostikos būdas, kuriuo analizuoja jo kiekvienos, laikomos simetriška tarpatramio vidurio atžvilgiu perdangos vidurio statinį skersinį vertikalųjį įlinkį, kurį sukelia jos savasis svoris, standumo koeficientu apibūdinamą perdangos vidurio vertikalųjį skersinį standumą, kurį nustato deformuotos savuoju svoriu perdangos padėties atžvilgiu, ir perdangos absoliutinių skersinių vertikalųjų virpesių žemiausiąjį savąjį dažnį, arba jam apytiksliai lygų rezonansinį dažnį, *b e s i s k i r i a n t i s t u o*, kad savuoju svoriu apkrauto tilto perdangos vidurio statinio vertikalaus įlinkio nustatymui panaudoja tilto perdanga pravažiuojančio transporto sukeliamus jos absoliučiuosius vertikaluosius skersinius virpesius, arba dirbtinai sukelia minėtuosius virpesius pravažiuojančia per specialiai sudarytą kliūtį perdangos važiuojamoje dalyje transporto priemone, arba virpesius žadina vibratoriumi, arba įvairiomis kitomis priemonėmis smūgiuoja į perdangą su sąlyga, kad virpesius sukeliančių įrenginių svoris yra mažas, lyginant su tiriamosios perdangos svoriu ir jo galima nepaisyti; matuoja minėtuosius virpesius jutikliu ir iš jo gauto signalo išskiria, priklausomai nuo matuojamųjų virpesių rūšies, žemiausiąjį laisvųjų virpesių savąjį dažnį arba harmoninių priverstinių virpesių žemiausiąjį rezonansinį dažnį, laikydami, kad šie dažniai yra lygūs; ieškomąjį įlinkį apskaičiuoja laisvojo kritimo pagreitį padalinę iš čia minimo savojo arba rezonansinio dažnio kvadrato; tilto perdangos vidurio vertikaliojo skersinio standumo koeficientą nustato radę čia minimą įlinkį, po to apkrauna perdangos vidurį žinomo svorio papildoma apkrova; tokiu pat būdu, tačiau jau vertindami papildomą apkrovą, randa perdangos vidurio įlinkį ir standumo koeficientą apskaičiuoja papildomos apkrovos svorio jėgą padalinę iš čia paminėtų įlinkių, gautų su tilto perdangos papildoma apkrova ir be jos, skirtumo.
2. Tilto techninės būklės diagnostikos būdas pagal 1 punktą, *b e s i s k i r i a n t i s t u o*, kad kliūtį virpesiams sukelti per perdangą važiuojančio transporto priemone, pavyzdžiui, automobiliu, sudaro iš statmenai tilto važiuojamajai kryptčiai paguldyto barjero, kurio skersinis profilis transporto važiavimo kryptimi yra toks, kad pravažiuodami kliūtį transporto priemonės ratai smūgiuoja į perdangos važiuojamąją dalį ir sukelia jos vertikaluosius laisvuosius virpesius.
3. Tilto techninės būklės diagnostikos būdas pagal 1 punktą, *b e s i s k i r i a n t i s t u o*, kad tilto perdangos virpesių žadinimui skirtą vibratorių tvirtina prie perdangos, juo sužadina perdangos besikeičiančio dažnio harmoninius priverstiniu virpesius,

jutikliu matuoja sužadintų virpesių intensyvumą, pagal kurio pokyčius randa mažiausią rezonansinį perdangos dažnį.

4. Tilto techninės būklės diagnostikos būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s t u o , kad tilto perdangos skersinius vertikaliuosius absoliutinius virpesius matuojantį absoliutinių virpesių jutiklį tvirtina prie perdangos, jutiklio signalą perduoda į duomenų kaupiklį, iš kurio jį perduoda registruojančiajai įrangai, kurioje iš jutiklio signalo spektrinės analizės arba kitu būdu, nustato perdangos absoliutinių skersinių vertikaliųjų virpesių žemiausiąjį savąjį dažnį, arba, kitu atveju, žemiausiąjį rezonansinį dažnį.
5. Tilto techninės būklės diagnostikos įrenginys, skirtas būdui pagal p. 1, 2, 3, 4 realizuoti, b e s i s k i r i a n t i s t u o , kad turi absoliutinių jutiklį, duomenų kaupimo įrangą, kompiuterį su atitinkamomis programomis ir tilto perdangos virpesių žadinimo įrangą – pravažiuojantį transportą, arba barjerą ir automobilį, arba vibratorių.

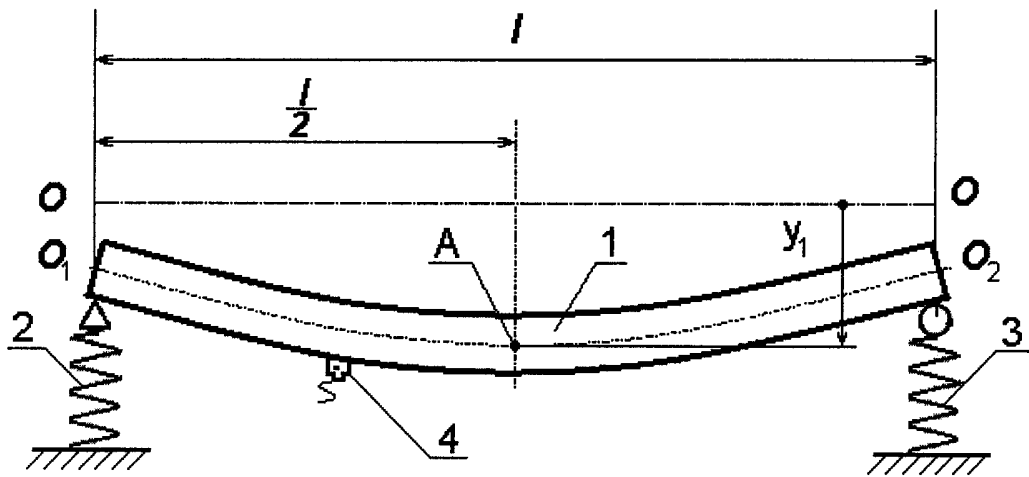


Fig. 1

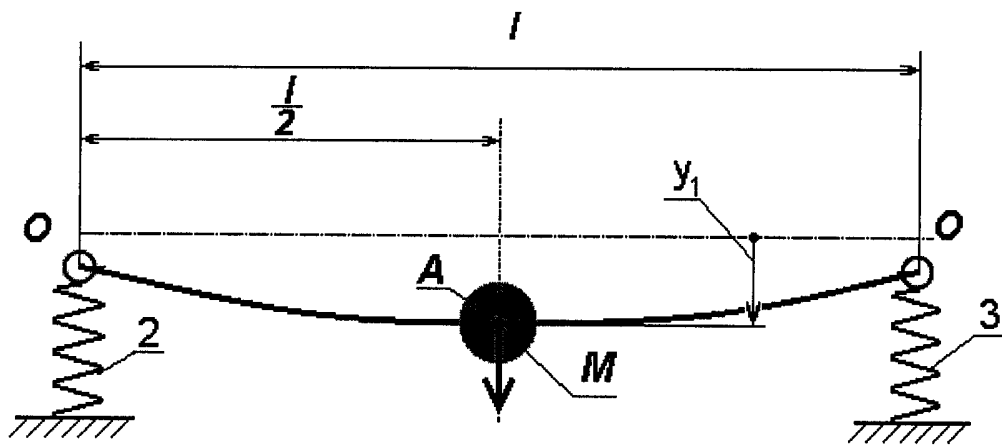


Fig. 2

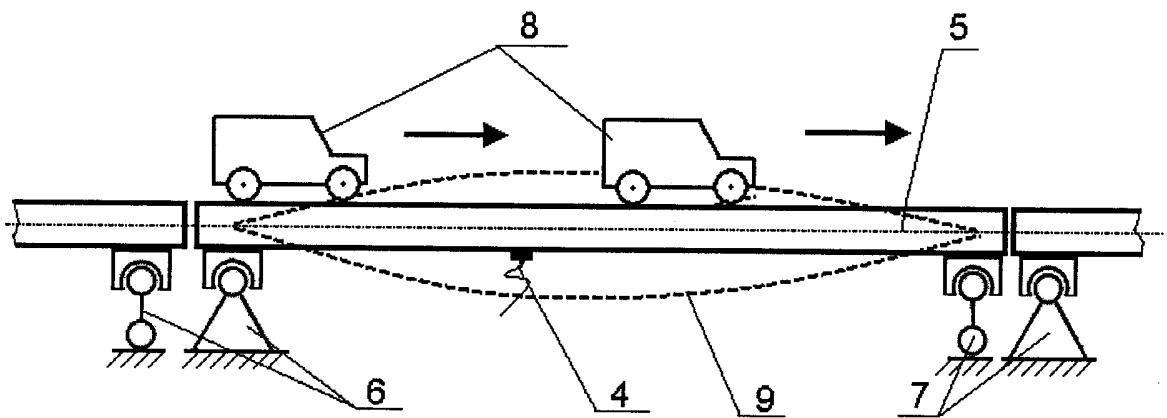


Fig. 3, a

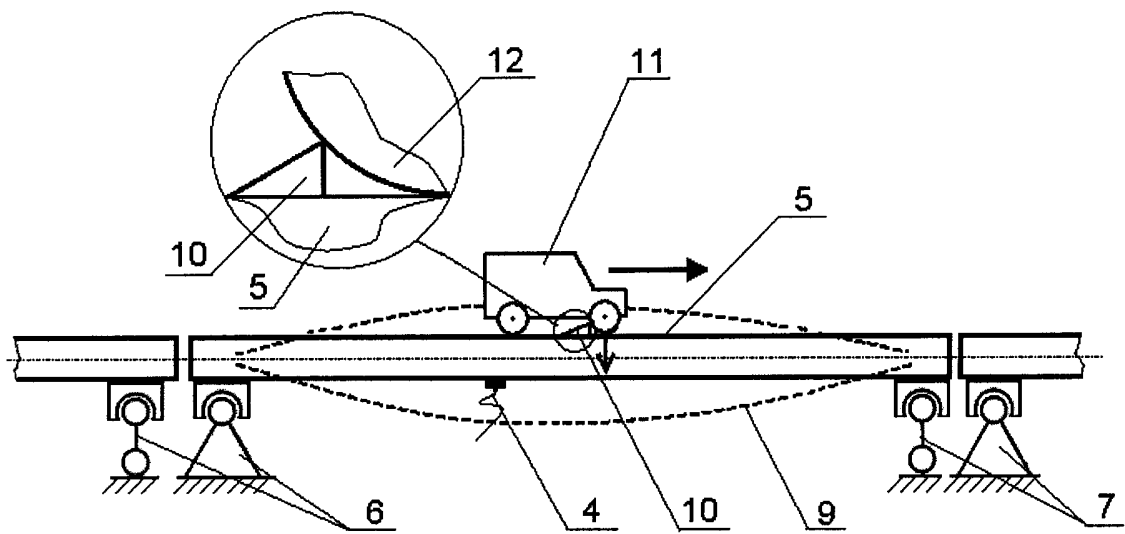


Fig. 3, b

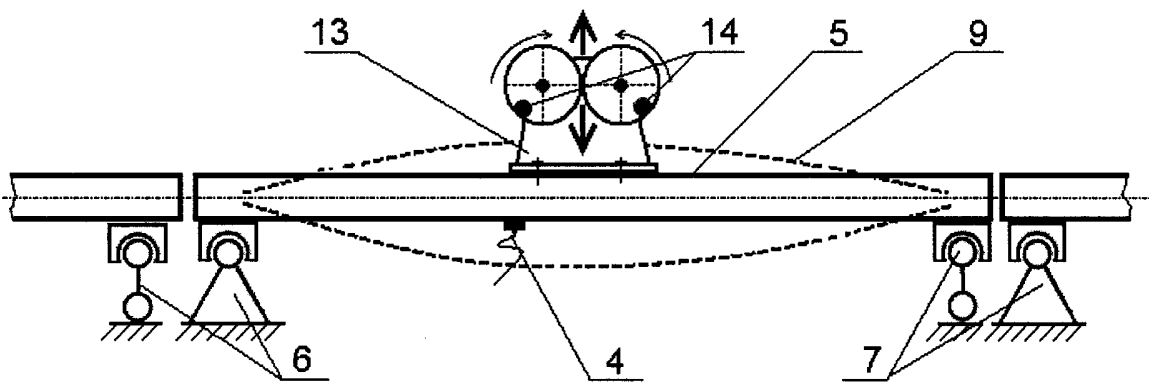


Fig. 3, c

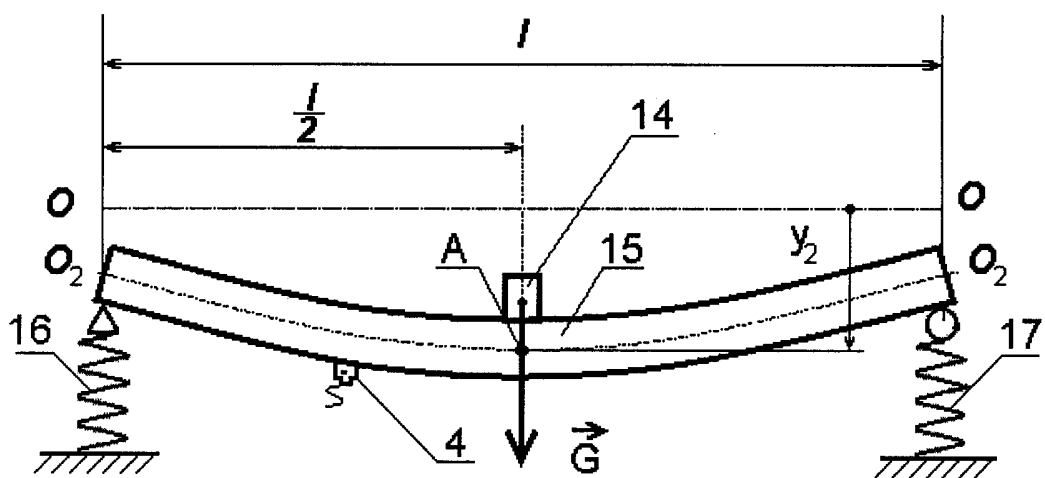


Fig. 4