

(11) Patento numeris: **6804** (51) Int. Cl. (2021.01): **G01L 1/00**
G01L 5/00

(21) Paraiškos numeris: **2019 047**

(22) Paraiškos padavimo data: **2019-07-17**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2021-01-25**

(45) Patento paskelbimo data: **2021-03-10**

(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 BUČINSKAS, LT
Ernestas ŠUTINYS, LT
Aurimas ČERŠKUS, LT

(73) Patento savininkas:

VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

—

(54) Pavadinimas:

Universalus slėgio, jėgos ir įtempių jutiklis

(57) Referatas:

Išradimas skirtas gniuždymo jėgai matuoti automobilio pakaboje, matuoti ir registruoti slėgį hidraulinėje sistemoje, pastato betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų, krosnių, betoninių kelių įtempiams nustatyti matuojant jutiklio varžą. Išradime pasiūlyta jutiklio konstrukcija ir jautrioji medžiaga. Išradimo tikslas - sukurti naują universalų slėgio, jėgos ar įtempių jutiklį, skirtą naudoti mechatroninėse sistemose, betoninių konstrukcijų įtempių nustatymą džiovinimo ir eksploatacijos metu, dinaminio poveikio konstrukcijoms vertinti. Čia pateiktas jutiklis leidžia tirti minėtas sistemas remiantis kiekvieno elemento koordinatės pokyčiu laikui bėgant. Šių sistemų dinaminės charakteristikos gaunamos jutikliu išmatavus džiovinamos betoninės konstrukcijos ar amortizatoriaus judesius varžos pokytį esantį konstrukcijos viduje.

Technikos sritis, kuriai skiriamas išradimas

Išradimas skirtas nustatyti veikiančią gniuždymo jėgą, slėgį ar apkrauto konstrukcinio elemento įtempius įvairiuose konstrukciniuose elementuose jį tvirtinant, įmontuojant ar įliejant. Jutiklio matuojamasis parametras yra netiesiškai proporcingas varžai ir ji gali būti matuojama įvairiais metodais. Šis jutiklis tinkamas struktūros gniuždymo įtempiams matuoti, pavyzdžiui pastato betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų, krosnių, betoninių kelių džiūvimo procesui kontroliuoti, įvertinti konstrukcijos viduje veikiančius įtempius, matuoti apkrovos dydį ir faktą konstrukcijos išorėje viduje įmontuotu jutikliu. Jo pritaikymo sritis apima ir bendruosius technikos įrenginius, kuriuose jutiklis gali būti įjungiamas į mechatroninių sistemų struktūrą.

Išradimo tikslas - sukurti naujos konstrukcijos fiziškai ir aplinkos poveikiui atsparų jėgos, slėgio ar įtampių jutiklį, tinkamą naudoti mašinose ir konstrukcijose su įtempiais, artimais medžiagos stiprumo ribai, tinkamą neardomosios kontrolės, monitoringo ir išorinių poveikių konstrukcijai stebėti.

Technikos lygis

Šiuo metu yra žinoma pakankamai daug jėgos ir slėgio jutiklių. Jie sukurti naudojant skirtingus fizinius fenomenus ir juo galima skirstyti į tiesioginius ir netiesioginius. Tarp tiesioginių jutiklių paplitę jėgai/slėgiui jautrios varžos (force sensitive resistors - FSR), pavyzdžiui EP 1739401. Force sensor, pjezoelektriniai jutikliai, pavyzdžiui US 4546658 A „Piezoelectric force/pressure sensor“. Netiesiogiai jėga matuojama naudojant jėgos ląsteles - struktūrinį elementą su žinoma deformacijos - jėgos charakteristika. Tokiai grupei priklauso tenzometriniai jutikliai ir jų analogijos, pavyzdžiui WO 2016149819 A1 „Temperature invariant force and torque sensor assemblies“, kuris labai išsiringai panaudoja tokią sistemą. Šiuo metu plinta ir biologiniai jutikliai, pavyzdžiui, „Micro-cavity-based force sensor“ US 2017322193 (A1), kurie skirti mažoms jėgoms ir slėgiams matuoti.

Žinomi ir plačiai aprašyti betoninių konstrukcijų kokybės kontrolės metodai, pagrįsti betono deformacijos matavimais, pvz. patentas CN 202928556 U, ar patentas CN 202870024 U. Šie metodai teoriškai apibendrinti ir plačiai aprašyti, pvz. Dong, B., Liu, Y., Qin, L., Wang, Y., Fang, Y., Xing, F., & Chen, X. (2015), „*In situ stress monitoring of the concrete beam under static loading with cement-based piezoelectric sensors*“, Nondestructive Testing and Evaluation, 30(4), 312-326.

Minėtas metodas yra taikomas stebėti betono struktūrą, taikant dinamines ir statines jėgas. Šiam metodui realizuoti naudojami jutikliai, kurie yra mažų sąnaudų, didelio tikslumo ir ilgaamžiški, tačiau pagrindinis trūkumas - šių jutiklių negalima naudoti aukštesnėse kaip 400 °C temperatūrose. Pavyzdžiui, norint pagreitinti iš betono išlietos krosnies džiūvimą, ją reikia kaitinti iki 600 °C ir išlaikyti tam tikrą laiką.

Egzistuoja jutikliai, skirti įtempimams medžiagoje matuoti, tokioje kaip betonas, pavyzdžiui, US 5817944 A „Composite material strain/stress sensor“, kuriame elektrinis signalas formuojamas pagal įtrūkių atsiradimą kompozitinėje medžiagoje. Gniuždymo jėgai matuoti dažniausiai naudojamos apkrovos ląstelės, tinkančios ir tempimo jėgoms matuoti. Įvairiuose jutikliuose ir įrenginiuose, paremtuose elektrinės varžos pokyčiu, naudojami įvairių medžiagų milteliai, dribsniai ar granulės. Pavyzdžiui, US 4205206 A „Carbon granule microphone with molded resin-conductive carbon electrode“, naudojamos anglies granulės tarp esančių elektrodų. Kontaktiniame jėgos jutiklyje, „Contact sensor“, US 6724195 B2, naudojami grafito milteliai sumaišyti su aukso ar sidabro milteliais, kurie pagerina elektrinį laidumą. Jėgos jutikliuose, „Force sensor“, US 5305644, naudojamos elektrai laidžios medžiagos susidedančios iš anglies miltelių, grafito miltelių, sidabro miltelių, sidabro dribsnių, tauriųjų metalų miltelių, tauriųjų metalų dribsnių, sidabru padengtų vario miltelių, sidabru dengto nikelio. Artimiausias mūsų siūlomam jutikliui yra pateikiami JAV patentuose pėdos slėgio matuoklis US 5408873 A „Foot force sensor“, kuris matuoja jėgą pagal kieto kūno ir skysčio sąveikos sukeliama medžiagos varžos pokytį nuo jį veikiančio slėgio ir slėgio jutiklis US 20110198712 A1 „Pressure Sensor“, skirtas matuoti slėgio pasiskirstymą komponente vertikale kryptimi, kai paviršius veikiamas išorine jėga. Pastarajame slėgio jutiklyje yra naudojami elektrai laidūs kelių dešimtųjų mikrometrų skersmens sferiniai aliuminio oksido milteliai. Mūsų siūlomas jutiklis remiasi elektrinės varžos kitimo nuo slėgio efektu sudėtingos struktūros terpėje.

Išradimo esmė ir naujumas

Pateikiamas slėgio, jėgos ir įtempimų matavimo jutiklis remiasi nevienalytės medžiagos kontaktinio paviršiaus ploto pokyčiu spaudžiant jį tarp dviejų elektrai laidžių plokščių ir tuo pačiu kintant elektrinei varžai tarp šių plokščių. Šis efektas pasireiškia naudojant aktyviąją medžiagą - neorganinės medžiagos miltelius. Elektrinės varžos priklausomybė nuo slėgimo jėgos jutiklyje yra netiesinė ir artima

antro laipsnio kreivei. Kadangi naudojama labai didelio stiprumo bei standumo medžiaga, jutiklio poslinkis yra labai mažas, todėl jį galima naudoti įtempiams matuoti ištisinėje medžiagoje, nes bendrasis jutiklio standumas artimas plieno standumui. Toks jutiklis reikalingas daugelyje techninių įrenginių, dėl savo paties ir signalo registravimo įrenginio pigumo jis gali būti naudojamas kaip vienkartinis įliejamas jutiklis betone, gniuždymo jėgos matavimui automobilio pakaboje, slėgio registravimui hidraulinėje sistemoje ir daugelyje kitų taikymo sričių. Jutiklis, pritaikius kai kuriuos konstrukcinius pokyčius - privirinus prie korpuso elektrodus yra tinkamas dirbti aukštoje aplinkos temperatūroje, kuri gali siekti nuo 450 °C iki 850 °C. Jautrioji medžiaga tokią temperatūrą atlaiko.

Statinė tokio jutiklio charakteristika, gauta išmatavus keletą jų ir apdorojus rezultatus pateikiame paveiksle Fig.1.

Siūlomasis įrenginys skiriasi nuo iki šiol naudojamų įrenginių konstrukcija. Jutiklio jautriosios medžiagos pagrindas - separuotas geležies oksidas su neorganinio užpildo priedais, tokiais kaip grafitas ir silicio dioksidas. Priklausomai nuo darbo temperatūros ir apkrovos dinamiškumo, komponentų proporcijos gali kisti. Jutiklio korpusas pagamintas iš plieno (nerūdijančio plieno), todėl galvaninė sąveika tarp užpildo ir korpuso kontakto nevyksta. Korpuso dalys tarpusavyje elektriškai izoliuotos karščiui atspariu silikonu. Elektrodai yra paties korpuso vidinės dalys, prie kurių elektrodai prilituojami arba privirinami.

Jutiklio konstrukcija, kai deformuojamos plonasienės jutiklio šoninės sienelės, gali užtikrinti tokią deformacijos priklausomybę nuo slėgio arba gniuždymo jėgos, kad varža taptų beveik tiesiškai proporcinga jėgai. Tokia jutiklio charakteristika vadinama kvazitiesine.

Matuojama jutiklio elektrinė varža yra dešimčių - šimtų kiloomų eilės, todėl jutiklio jungiamieji laidai nykstamai mažu dydžiu įtakoja elektrinės varžos dydį. Dinaminės tokio jutiklio charakteristikos, kurios leidžia jį naudoti sistemose, kurių virpesių dažnis siektų keletą kilohercų, smūgio laisvu kroviniu atveju, pateikiamos paveiksle Fig. 2.

Elektrinis signalas - išmatuotas įtampos kritimas ant jutiklio jautriosios medžiagos varžos matuojamas ir analoginiu-skaitmeniniu keitikliu paverčiamas skaitmeniniu bei perduodamas į vartotojo sąsają arba tolimesniam duomenų

kaupimui.

Brėžinių aprašymas

Betoninių konstrukcijų, krosnių, betoninių kelių džiūvimo statinės ir dinaminės charakteristikos iliustruojamos 1 ir 2 figūromis, o procesą kontroliuoti naudojama įranga iliustruojama 3, 4, 5 ir 6 figūromis.

Fig. 1 parodyta siūlomo naujo jutiklio statinė charakteristika gauta išmatavus vienuolikos sukurtų naujų jutiklių varžas juos veikiant įvairioms apkrovoms.

Fig. 2 parodyta siūlomo naujo jutiklio dinaminė charakteristika gauta išmatavus vienuolikos sukurtų naujų jutiklių pagreičius juos veikiant įvairiems virpėjimo dažniams.

Fig. 3 parodytas siūlomas naujas jutiklis, kuris turi du vienas kito atžvilgiu judamus vertikalia kryptimi elektrai laidžius elementus, kurie yra geometriškai sujungti vienas su kitu ir veikiant jėgai leidžia judėti tik ašine kryptimi - artėti elektrodams vienas prie kito; elektrodų lygiagretumas užtikrinamas geometrine jungtimi.

Fig. 4 parodytas siūlomas naujas jutiklis, kuris skiriasi nuo Fig. 3 tuo, kad į cilindrinį nejudamą elektrai nelaidų korpusą yra sumontuojamas vertikalia kryptimi judamas cilindrinis elektrai nelaidus elementas, kuris leidžia veikti esant didesnei jutiklio eigai. Korpuso dugne ir ant judamo elemento galo yra sumontuoti elektrai laidūs elementai.

Fig. 5 parodytas siūlomas naujas jutiklis, kuris skiriasi nuo Fig. 3 ir 4 tuo, kad dvi elektrai laidžios sferinio paviršiaus formos plokštelės periferijoje tarpusavyje sujungtos nejudamai, tačiau plokštelės gali judėti vertikalia kryptimi centrine dalimi.

Fig. 6 parodytas jutiklio elektrinio signalo surinkimo ir apdorojimo įrenginys, kuris skirtas jutiklio signalui apdoroti ir toliau naudoti, saugoti arba perduoti.

Figūrose 3 ir 5 parodytos dalys: 1 - betonas (įtempius matuojant įlietame būvyje), 2 - pirmas judantis plieninis elementas, 3 - antras judantis plieninis elementas, 4 - slėgiui jautrūs milteliai, 5 - elektrai nelaidus žiedas, 6 ir 7 - elektrodai.

Figūroje 4 parodytos dalys skiriasi nuo Fig. 5 parodytų dalių: 5 ir 8 - plieninės plokštelės.

Figūroje 6 parodytos dalys: 9 - judančiosios korpuso dalys, kurias veikia

slėgis ar suspaudimo jėga, 10 -jutiklio aktyvioji medžiaga, 11 -jutiklio korpusas, įlietas į ištisinę terpę arba įtaisytas korpuse, 12 - elektrodai su jungimo prievadais (naudojamos įvairaus ilgio jungtys), 13 - stiprintuvas ir signalo ribotuvas, 14 - analoginio-skaitmeninio signalo keitiklis, 15 - registruojantis kompiuteris, 16 - kontrolieris.

Išradimo realizavimo aprašymas

Bendroji dalis

Siūlomas gniuždymo jėgos, slėgio arba įtempių jutiklis, kuris yra tinkamas struktūriniams pastato betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų įtempiams ir terminiams krosnių, betoninių kelių džiūvimo sukeltiems įtempiams matuoti. Dėl savo fizinės prigimties keičiantis varžą nuo jį veikiančios gniuždymo jėgos, elektrodais perduodamas jutiklio signalas gali būti matuojamas įvairiais prietaisais - multimetru, varžos matuokliu ar per duomenų surinkimo sistemą į kompiuterį skaitmeniniu signalu tolimesniam duomenų apdorojimui, vertinimui ir saugojimui. Kompiuteryje iš jutiklių gauti duomenys yra apdorojami ir gaunamos tiriamos struktūrinės betoninės konstrukcijos charakteristikos arba sistemą veikiančios jėgos.

Būdo ir jam realizuoti skirtos įrangos veikimo aprašymas

Galimo siūlomos diagnostikos realizacijos būdo schemos parodytos Fig. 3, 4, 5 ir 6.

Pagal Fig. 3 ir 5 sukurtas jutiklis yra sumontuojamas į skystą betoną arba įrengiamas konstrukcijoje taip, kad neliktų tarpų tarp korpuso ir matuojamo paviršiaus. Jutiklis sudarytas iš pirmojo ir antrojo elektrai laidžių judamų elementų 2 ir 3. Tarp dviejų judamų elementų 2 ir 3 yra įdėti supresuoti slėgiui jautrūs milteliai 4. Prie judamų elementų 2 ir 3 yra prijungti 6 ir 7 elektrodai (išvadai), prie kurių galų jungiamas multimetras (jis nepažymėtas figūroje). Betonui 1 greitai džiūvant, jis pakankamai greitai traukiasi ir spaudžia judamų elementų 2 ir 3 išorinius paviršius. Judėdami elementai 2 ir 3 vienas link kito vertikalia kryptimi, vidiniais judamų elementų paviršiais spaudžia slėgiui jautrius miltelius 4. Spaudžiant slėgiui jautrius miltelius 4, jų sluoksnio elektrinė varža sumažėja. Elektrinės varžos sumažėjimas stebimas matavimo prietaisu - multimetru ar kompiuteriu (šie elementai nepažymėti figūrose). Kad nebūtų trumpojo jungimo jutiklyje tarp dviejų judamų elektrai laidžių elementų 2 ir 3 yra montuojamas elektrai nelaidus žiedas 5. Tokiu būdu stebėdami

spaudžiamo slėgiui jautrių miltelių 4 varžos kitimą, galima stebėti betono džiūvimo greitį ar konstrukciją veikiančias jėgas.

Pagal Fig. 4 parodytą diagnostikos schemą naujai sukurtas jutiklis taip pat yra sumontuojamas į skystą betoną 1. Jutiklis sudarytas iš elektrai nelaidaus judamo korpuso 2 ir antrojo elektrai nelaidžių judamo elemento 3, kurie yra sudėti vienas į kitą ir gali judėti vienas kito atžvilgiu. Prie judamo korpuso 2 vidinės plokštumos ir judamo elektrai nelaidaus elemento 3 vidinės plokštumos yra priklijuotos elektrai laidžios plieninės plokštelės 5 ir 8, o prie jų privirinti elektrodai (išvadai) 6 ir 7. Tarp judamo korpuso 2 ir judamo elemento 3 yra įdėti supresuoti slėgiui jautrūs milteliai 4. Betonui 1 greitai džiūvant, jis pakankamai greitai traukiasi ir spaudžia judamą korpusą 2 ir judamą elementą 3 išorinius paviršius. Jutiklio judamas korpusas 2 ir judamas elementas 3 slenka vienas kito atžvilgiu jutiklio išilgine kryptimi, o vidiniai judamo korpuso 2 ir judamo elemento 3 su priklijuotomis elektrai laidžiomis plieninėmis plokštelėmis 5 ir 8 spaudžia slėgiui jautrius miltelius 4. Spaudžiant juos, aktyviojo sluoksnio elektrinė varža sumažėja. Elektrinės varžos sumažėjimas stebimas matavimo prietaisu multimetru ar duomenų kaupimo įranga ir kompiuteriu (šie elementai nepažymėti figūrose), kurie yra prijungti prie elektrodų (išvadų) 6 ir 7. Tokiu būdu stebėdami spaudžiamo slėgiui jautrių miltelių 4 varžos kitimą, galima stebėti betono džiūvimo greitį.

Pagal Fig. 6 parodytą schemą jutiklio korpuso judančiosios dalys 9 yra spaudžiamos slėgio ar gniuždymo jėgos, kurios keičia slėgiui jautrių miltelių sluoksnio 10 elektrinę varžą.

Visas jutiklio korpusas 11 yra elektriškai izoliuotas nuo išorės aplinkos, elektrodai 12 su jungtimis prijungiami prie duomenų signalo stiprintuvo-ribotuvo 13, kuris signalo reikšmę paverčia tinkama perduoti į analoginio - skaitmeninio signalo keitiklį 14, po kurio skaitmeninis signalas perduodamas kompiuteriui 15 arba kontrolieriui (PLC) 16 tolimesniam duomenų kaupimui, apdorojimui ar jų perdavimui.

Išradimo apibrėžtis

1. Universalus slėgio, jėgos ir įtempių jutiklis, sudarytas iš korpuso su elektrai laidžiais elektrodais, tarp kurių yra slėgiui jautrūs milteliai, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jis pagamintas iš elektrai laidaus korpuso su elektrodais ir naudoja geležies oksidą kaip slėgiui jautrius miltelius, kontaktuojantys tiesiogiai su korpuso vidine dalimi ir turi signalo apdorojimo bei duomenų perdavimo sistemą.

2. Jutiklis pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad korpusas pagamintas iš plieno ir elektrodai prie korpuso prijungiami juos privirinant, todėl jutiklis matuoja struktūrinius ir terminius įtempius esant temperatūrai nuo 450 °C iki 850 °C.

3. Jutiklis pagal 1 ir 2 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad jo korpusas pagamintas iš išgaubtos lanksčios plieninės skardos, tarpusavyje izoliuotos ir deformuojančios slėgiui jautrią medžiagą dėl korpuso tamprumo bei leidžianti suformuoti kvazitiesinę slėgio-varžos charakteristiką.

4. Jutiklio pagal 1, 2 ir 3 punktus signalo apdorojimo įrenginys, susideda iš duomenų surinkimo įrangos su kalibruojančiu stiprintuvu, analoginio signalo keitikliu į skaitmeninį ir registruojančio kompiuterio arba jį pakeičiančio mikroprocesoriaus su atitinkama programine įranga.

5. Jutiklis pagal 4 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad signalo apdorojimo įrenginys turi autonominį maitinimo šaltinį ir sujungtas su tolimo arba vietinio duomenų perdavimo sistema.

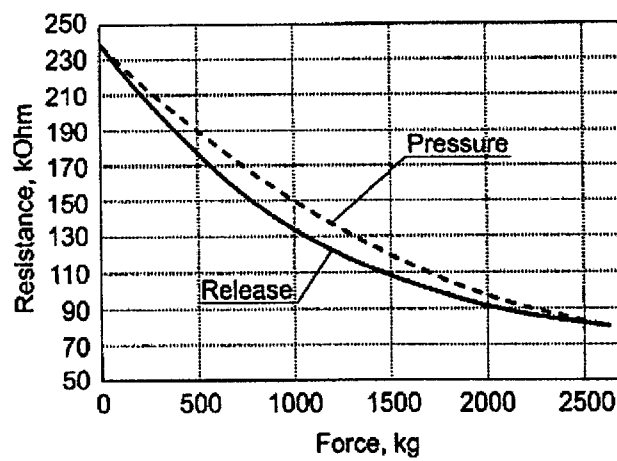


Fig. 1

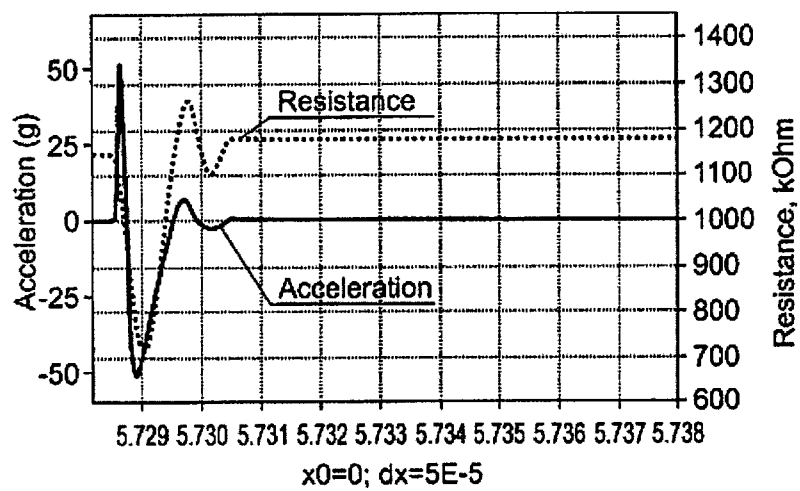


Fig. 2

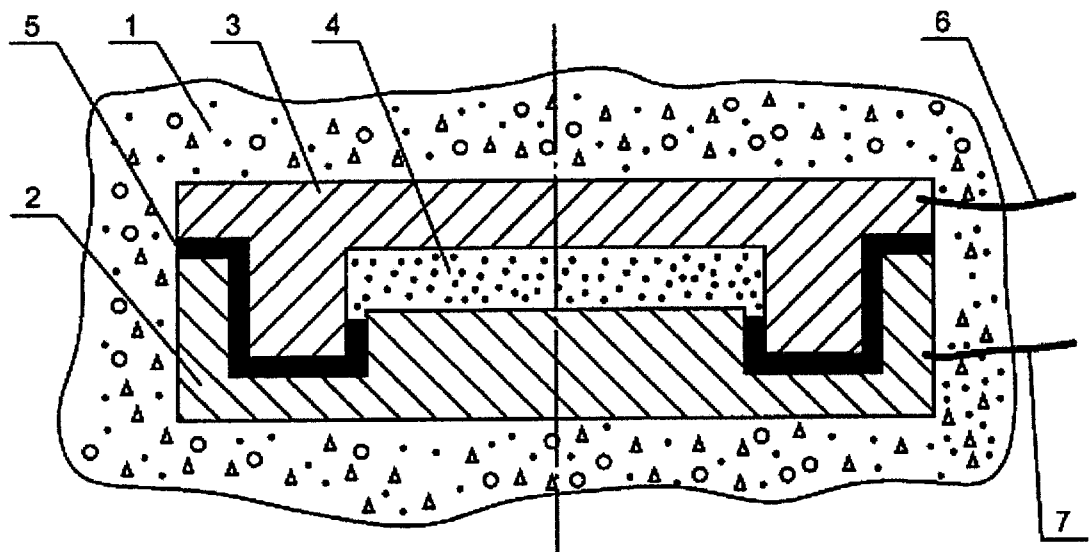


Fig. 3

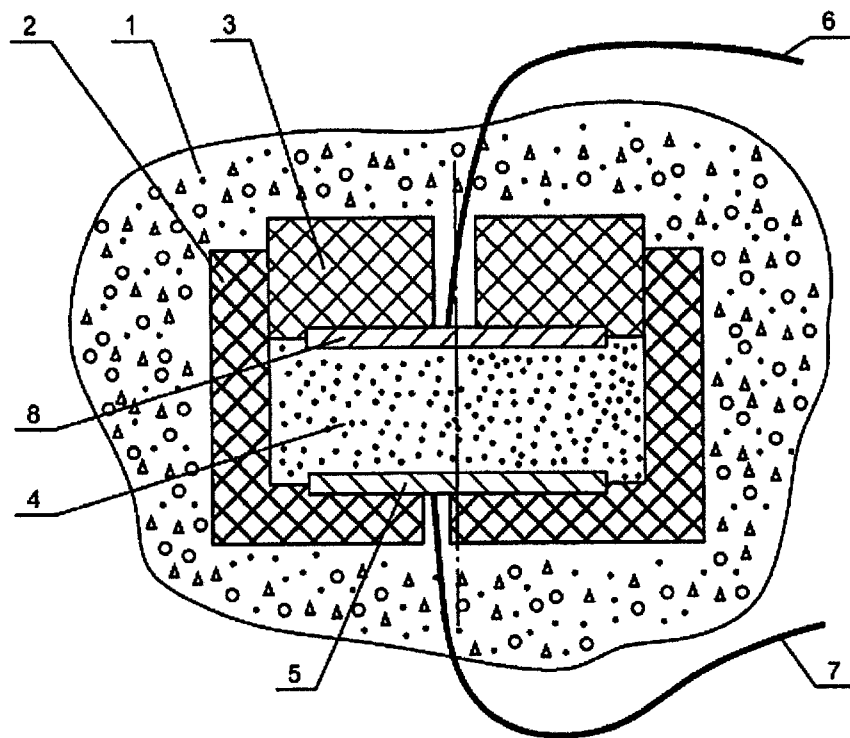


Fig. 4

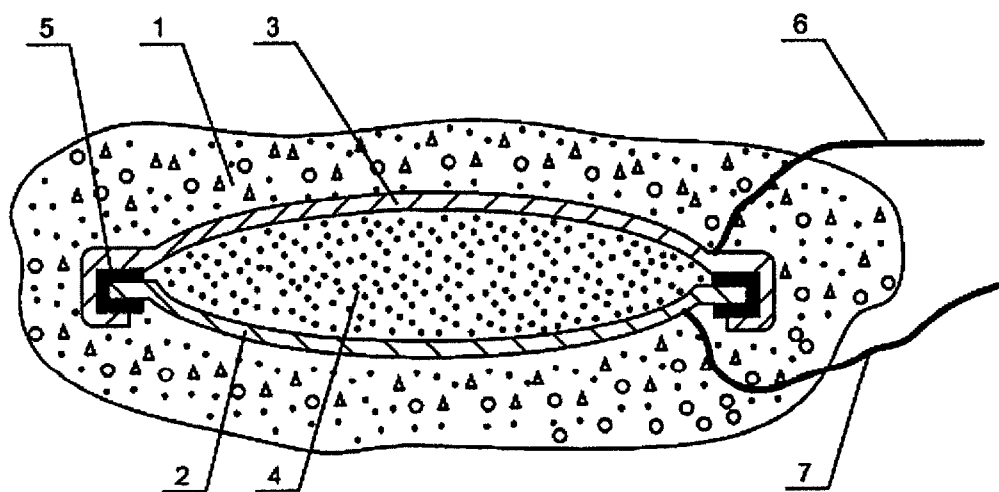


Fig. 5

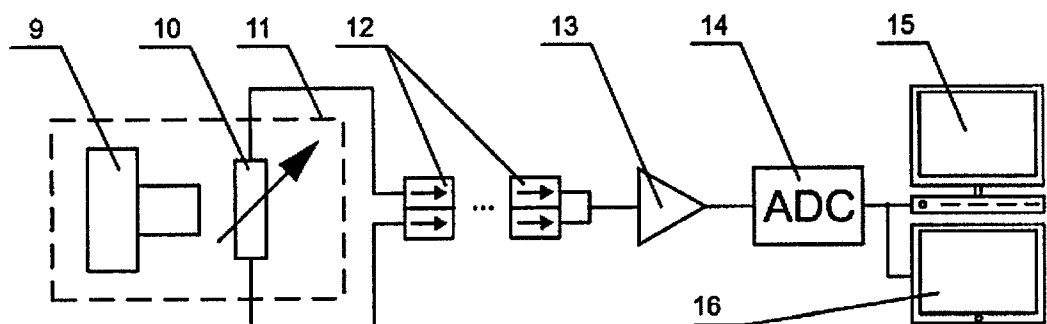


Fig. 6