

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2022 553**

(22) Paraiškos padavimo data: **2022-12-15**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2024-06-25**

(71) Pareiškėjas:

**Kauno technologijos universitetas,
K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas, LT**

(72) Išradėjas:

**Liudas MAŽEIKAS, LT
Vyktas SAMAITIS, LT
Audrius JANKAUSKAS, LT
Renaldas RAIŠUTIS, LT
Olgirdas TUMŠYS, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

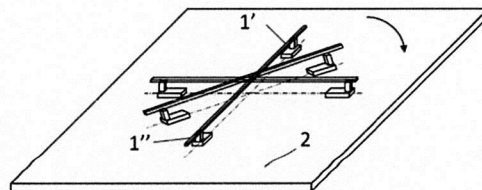
**Aušra PAKĖNIENĖ, 50, AAA Law, A. Goštauto g. 40B,
Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT**

(54) Pavadinimas:

Anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas, sistema ir programinė įranga

(57) Referatas:

Išradimas atskleidžia anizotropinių kompozitinių objektų elastinių savybių ultragarsinį matavimo būdą ir sistemą. Tai ultragarsinėmis nukreiptosiomis bangomis grįsta matavimo sistema ir matavimo duomenų analizės būdas, leidžiantys efektyviai nustatyti medžiagos elastines konstantas. Leidžia nustatyti kompozitinių plokščių standumo savybes arba atlikti stebėseną nustatant jų kitimą laike. Būdas tai įgalina atlikti santykinai lokaliaje vietoje, todėl būdas leidžia nustatyti ir elastinių savybių netolygumą didelių objektų atveju. Elastinių savybių įvertinimo sistema ir būdas pagrįstas grupinio nukreiptų bangų modų greičio matavimu. Metodui reikalingas skirtingais kampais sklindančių simetrinių, asimetrinių ir skersinių modų greičio įvertinimas, kuris leidžia atkurti erdvinį grupinio greičio pasiskirstymą. Šis pasiskirstymas naudojamas elastinių savybių įvertinimo metode, kur pagal skirtingas grupinio greičio komponentes atstatomos medžiagos elastinės savybės. Atliekant periodinius matavimus šis būdas leidžia įvertinti elastinių savybių kitimą laike.



1 pav.

ANIZOTROPINIŲ KOMPOZITINIŲ PLOKŠČIŲ ELASTINIŲ KONSTANTŲ MATAVIMO BŪDAS, SISTEMA IR PROGRAMINĖ ĮRANGA

TECHNIKOS SRITIS

Išradimas priklauso transporto ir energetikos diagnostinės įrangos sričiai, konkrečiau, atskleidžia anizotropinių kompozitinių objektų elastinių savybių ultragarsinį matavimo būdą ir sistemą.

TECHNIKOS LYGIS

Kompozitinės medžiagos pasižymi geru santykiu stiprumas/svoris, todėl jų taikymas mažina energetines sąnaudas, nesvarbu ar tai būtų lėktuvai, automobiliai, traukiniai, vėjo jėgainės ar kitokie objektai. Tačiau gamyba iš šių medžiagų turi ir problemų. Viena iš jų yra sunkiau, lyginant su metalais, kontroliuojamos medžiagos elastinės savybės. Dėl gamybos technologijos, kuri dalyje atvejų yra net rankinė, galimi įvairūs nukrypimai, dėl kurių gaminyje atsiranda netolygus savybių pasiskirstymas. Todėl elastinių savybių matavimas yra vienas iš svarbesnių kokybės užtikrinimo faktorių.

Elastinės medžiagų savybės gali būti matuojamos naudojant ultragarsines nukreiptąsias bangas (*angl. k. „ultrasonic guided waves“*). Plokščių struktūrų atveju, jų sklidimo greitis yra apsprendžiamas medžiagos elastinėmis konstantomis, tankiu ir bandinio storiu. Tuo būdu matuojant sklidimo greitį, esant žinomiems medžiagos tankiui ir bandinio storiui elastinės savybės galėtų būti nustatytos. Tačiau problema yra tame, kad anizotropinių medžiagų atveju elastinės savybės bendru atveju yra nusakomos 21 nepriklausomomis konstantomis. Šį uždavinį kiek paprastina tai, kad kompozitinių plokštėms daugeliu atvejų galima taikyti ortotropinių medžiagų modelį. Tada yra tik 9-ios nepriklausomos konstantos: 3 Jungo modulio (E_1, E_2, E_3), 3 šlyties modulio (G_{12}, G_{13}, G_{23}) ir 3 Puasono santykio ($\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$) komponentės.

Yra žinoma keletas patentinių dokumentų skirtų elastinių konstantų matavimui, naudojant nukreiptąsias ultragarsines bangas.

JAV patente Nr. US5,408,882 yra aprašytas neardomųjų bandymų būdas, skirtas nustatyti pluošto netolygumą polimerinėse kompozitinėse medžiagose. Būdas pagrįstas ultragarsinių išilginių bangų žadinimu vienu keitikliu ir jų priėmimu kitu, esančiu tam tikru atstumu nuo pirmojo. Matavimai atliekami keliais kampais ir jų pagrindu gaunama kampinė ultragarso greičio

priklausomybė, kurios pagrindu atkuriamas standumo tenzorius c_{ijkl} . Šio tenzoriaus pagrindu yra suskaičiuojamos Jungo ir šlyties modulių bei Puasono santykio komponentės. Tačiau siūlomas būdas pagrįstas tūrinių ultragarsinių išilginių bangų sklidimu, o tai atitinka tik santykinai storų kompozitinių objektų atvejį. Kompozitinių plokščių atveju (kas ženkliai plačiau paplitę) yra sužadindamos ne tūrinės, o nukreiptosios ultragarsinės bangos, kurių sklidimo dėsningumas yra 5 ženkliai sudėtingesnis ir siūlomas būdas tiesiogiai negali būti taikomas.

JAV patente Nr. US6,575,036 yra aprašytas kompozitinių plokščių elastinių savybių matavimo būdas. Būdas grįstas ištekančių Lambo bangų greičio matavimu, matuojama atliekant skirtingai žadinimo ir priėmimo kampais imersinėje aplinkoje. Šio būdo pagrindinis trūkumas yra tame, 10 kad bandinys turi būti panardintas į matavimo baseiną, t.y. matavimai atliekami laboratorinėmis sąlygomis. Tai yra pagrindinis patente siūlomo būdo trūkumas, nes ženkliai apriboja galimo tirti objekto gabaritų ir neįgalina tyrimus atlikti *in situ* sąlygose.

JAV patente Nr. US6,092,421 yra aprašytas neardomųjų bandymų įtaisas skirtas matuoti plokščių objektų Jungo modulį. Įtaisas yra tinkamas matuoti ir *in situ* sąlygose. Būdas pagrįstas 15 S0 Lambo bangų modos sklidimo greičio matavimu. Bangų generavimui ir priėmimui naudojami du kontaktiniai keitikliai. Būdo trūkumas yra tame kad matuojant šios vienos modos greitį galima nustatyti tik Jungo modulį atitinkama kryptimi. Kitos elastinės savybės nusakančios konstantos nėra išmatuojamos, t.y. pilnas standumo tenzorius c_{ijkl} nėra atstatomas. Be to kaip teigia patento autoriai būdas tinkamas tik izotropinėms ar kvazi-izotropinėms medžiagoms tirti.

20 Apžvelgti elastinių savybių matavimo sprendimai pasižymi mažiausiai šiais trūkumais:

- Dalis būdų yra tinkami tik laboratoriniams tyrimams ir nėra tinkami matavimui *in situ* sąlygomis;
- Kiti sprendimai yra orientuoti į tūrinių objektų tyrimus ir netinka plokščių objektų elastinių savybių nustatymui;
- 25 • Nei vienas iš išvardintų būdų neįgalina elastinių savybių matavimo anizotropinėse kompozitinėse plokštėse ir neatstato pilno standumo tenzoriaus.

Technikos lygio dokumentuose atskleisti elastinių savybių tyrimo ir nustatymo būdai apima įvairaus tipo ultragarsinių bangų generavimo ir priėmimo konfigūracijas, tačiau suteikia ribotas, nepilnas standumo tenzoriaus matavimo funkcijas bei taikymo galimybes. Elastinių savybių

vertinimas žinomais techniniais sprendimais yra nepakankamas, techniškai sudėtingas ar netinka matavimui *in situ* sąlygose.

Išradimas neturi aukščiau išvardintų trūkumų ir apima papildomus privalumus.

IŠRADIMO ESMĖ

- 5 Išradimas yra anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas, ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo sistemą ir programinę įrangą, naudojami būdui įgyvendinti. Techninis sprendimas pagrįstas kelių ultragarsinių nukreiptųjų bangų modų sklidimo laiko ir greičio matavimu.

Anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas apima:

- 10
- ultragarsiniais keitikliais atliekamas keleto nukreiptųjų bangų modų žadinimas,
 - kiekybinių parametrų rinkinių, aprašančių ultragarsinio žadinimo sąlygas, sklidimą bei šių rinkinių duomenų bazę,
 - atliekamas skaitmeninis ultragarsinis modeliavimas ir realaus matavimo duomenų apdorojimas, bei pirminis signalų apdorojimas, signalų segmentų atitinkančių skirtingas
- 15
- modas išskyrimas ir matuojamas sklidimo laikas,
 - išrenkami kiekybiniai ultragarso nukreiptųjų bangų skirtingų modų parametrai, kur minėti parametrai yra gaunami matuojant skirtingomis keitiklių poromis,
 - atliekamas modeliavimas ir matavimo duomenų sugretinimas, nustatant reikimas elastinių savybių konstantas.
- 20
- Signalų generavimui ir priėmimui naudojami keitikliai gebantys vienu metu žadinti ir priimti kelias, žinomas nukreiptųjų bangų modas. Būdo apimtyje vykdomas skaitinis modeliavimas sklidimo greičių palyginimui su išmatuotais ant tiriamo objekto. Būdas analizuoja ultragarsinius matavimo duomenis ir išskiria atskirų modų segmentus signaluose bei jų pagrindu nustato modų grupinius greičius. Analizuojant skirtingų modų sklidimo greičius atstatomi standumo
- 25
- tenzorių rezultatai, sugretinant su rezultatais, gautais modeliuojant.

Būdui įgyvendinti skirta ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo sistema apima:

- adaptyviai konfigūruojamas erdvėje paskirstytų ultragarsinių keitiklių poras, mažiausiai vieną porą, orientuotas nustatytais kampais,
- ultragarsinių signalų generatorius, stiprintuvus, analoginius-skaitmeninius keitiklius,

- kompiuterinį įrenginį su programine įranga, vykdančia ultragarsinių matavimo procesų valdymą, matavimo duomenų analizę ir elastinių konstantų skaičiavimą.

5 Ultragarsinėje matavimo sistemoje pakanka minimalaus ultragarsinių keitiklių porų skaičiaus, t.y., izotropinių medžiagų atveju užtenka vienos poros, o ortotropinių medžiagų atveju užtenka trijų porų. Vienos poros konfigūraciją sudaro vienas siunčiantis ir vienas priimantis ultragarsiniai keitikliai, pridėti pasirinktoje tiriamo objekto vietoje. Sistema generuoja kelias nukreiptųjų bangų modas. Paprasčiausiu atveju tai yra fundamentinė simetrinė, asimetrinė ir skersinė (S_0, A_0, S_{ho}). Sistema gali būti naudojama ir elastinių savybių kitimo stebėsenai, keitikius pritvirtinant ilgalaikiam matavimui.

10 TRUMPAS BRĖŽINIO APRAŠYMAS

Išradimo esminiai aspektai paaiškinti brėžinyje. Brėžinys yra išradimo aprašymo sudedamoji dalis ir pateikiamas kaip nuoroda į galimą išradimo įgyvendinimą ar vizualų paaiškinimą, bet neturi riboti išradimo apimtį. Brėžinys yra schematinis ir principinis, jame pavaizduotų objektų dydžiai, proporcijos ir konkretūs realizacijos variantai gali skirtis išradimo apimtyje.

- 15 1 pav. Ultragarsinių keitiklių ($1'$, $1''$) išdėstymo tiriamajame objekte (2) schema. Minimalią keitiklių konfigūraciją atitinka vienas siunčiantis ultragarsinis keitiklis ($1'$) ir vienas priimantis ultragarsinis keitiklis ($1''$). Ultragarsinių keitiklių ($1'$, $1''$) konfigūracija yra adaptyviai konfigūruojama, keičiant keitiklių padėtį erdvėje pasukant tam tikru kampu.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

- 20 Turėtų būti suprantama, kad daugybė konkrečių detalių yra išdėstytos, siekiant pateikti pilną ir suprantamą išradimo pavyzdinio įgyvendinimo aprašymą. Tačiau srities specialistui bus aišku, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžių detalumas neapriboja išradimo įgyvendinimo, kuris gali būti įgyvendintas ir be tokių konkrečių nurodymų. Gerai žinomi būdai, procedūros ir sudedamosios dalys nebuvo detalai aprašyti, kad išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai nebūtų klaidinantys.
- 25 Be to, šis aprašymas neturi būti laikomas apribojančiu pateiktus įgyvendinimo pavyzdžius, o tik kaip jų įgyvendinimas.

Nors išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai, ar jų aspektai, taip kaip parodyti ir aprašyti, apima daugybę komponentų, kurie yra pavaizduoti esantys tam tikroje bendroje erdvėje ar vietoje, kai kurie komponentai gali būti ir nutolę. Taip pat turėtų būti suprantama, kad pateikti pavyzdžiai

neapsiriboja tik aprašytais komponentais ir apima ir kitus, jų funkcionavimui ir sąveikai su kitais komponentais, reikalingus elementus, kurių buvimas yra savaime suprantamas, todėl nedetalizuojamas.

Išradimas apima anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdą, ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo sistemą ir programinę įrangą, skirtus įgyvendinti būdo žingsnius.

Anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas apima signalų ir duomenų apdorojimo žingsnius. Būdo žingsniai dalinai ar pilnai realizuojami kompiuteriniais algoritmais ir atitinkamais programiniais moduliais, realizuotais bet kokia programavimo kalba.

Būdas pagal išradimą, apima šiuos žingsnius :

- atliekamas kiekybinių parametrų rinkinių, atitinkančių tiriamą objektą ir medžiagą, suformavimas;
- atliekamas skaitmeninių modelių suformavimas, apimantis:
 - sudaromas nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo modelis ,
 - parenkama ultragarsinių nukreiptųjų bangų modos ir dažnių diapazonas ,
 - parenkami ultragarsinės matavimo sistemos parametrai, reikalingi numatytų nukreiptųjų bangų generavimui;
- matuojamas ultragarsas ir apdorojami signalai , apimant
 - apdorojamas pirminis signalas,
 - signale išskiriamos skirtingos modos ir
 - matuojamas išskirtų modų grupinis greitis matavimo;
- palyginamos išmatuotos ir suskaičiuotos elastinės konstantos, sugretinant elastines savybes;
- atliekama modelio parametrų korekcija;
- matuojamas ultragarsas tiriamame objekte (2), su parinktais kiekybiniais parametrais, apimant:
 - generuojamos nukreiptos ultragarsinės bangos ir registruojami ultragarso matavimo signalai;
 - registruotų ultragarsinių matavimo signalų pirminį apdorojimą,
 - atstatomos tiriamo objekto elastinės savybės iš ultragarso matavimo signalų.

Ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo sistema pagal išradimą, skirta medžiagos elastinėms savybėms įvertinti tiriamame objekte (2), pavyzdžiui, kompozitinėje anglies ar stiklo pluošto medžiagoje, apima aparatinčius-sisteminčius komponentus.:

- erdvėje paskirstytą ir ant tiriamo objekto (2) montuojamą ultragarsinių keitiklių rinkinį (1', 1''), ultragarsinių signalų generatorius (brėžinyje nepavaizduota), imtuvus-stiprintuvus (brėžinyje nepavaizduota), analoginius-skaitmeninius keitikius (brėžinyje nepavaizduota);
- kompiuterį/kompiuterinį įrenginį (brėžinyje nepavaizduota), su bent vienu procesoriumi ir bent vienu atminties moduliu, kur
 - atminties modulyje yra talpinami parametrai, duomenų bazės, modeliai, matavimo rezultatai, užregistruoti signalai, PĮ moduliai, ir kiti duomenys, reikalingi įgyvendinti būdą pagal išradimą;
 - procesorius vykdo būdo žingsnius, valdo ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo procesus, apdoroja duomenis, vykdo modeliavimą, mašininį mokymą bei klasifikavimą, ir užtikrina vykdymą visų veiksmų, kurie būtini metodui įgyvendinti.

- 15 Sistemoje nėra naudojamas tiriamo objekto (2) fizinis etalonas, kurio atžvilgiu būtų vertinamos tiriamo objekto (2) elastinės savybės. Fizinis etalonas yra pakeistas skaitmeniniu etalonu, saugomu ir modeliuojamu kompiuterio atmintyje, bei analitiškai aprašytu kiekybinių parametru rinkiniu, saugomu duomenų bazėje.

- 20 Ultragarsinių nukreiptųjų bangų matavimo sistemoje naudojami ultragarsiniai keitikliai (11', 1'') yra vienalemenčiai, formuojantys nukreiptąsias ultragarsines bangas. Vienalemenčių ultragarsinių keitiklių darbiniai dažniai ir generuojamų/priimamų signalų dažnių intervalas apima 30kHz-1MHz.

- 25 Svarbi išradimo savybė yra tiriamo objekto (2) skenavimas/matavimas nukreiptosiomis ultragarsinėmis bangomis. Ultragarsiniai keitikliai (1', 1'') tvirtinami ant tiriamo objekto (2) ir žadinami taip, kad objekto (2) numatytame regione kurtų nukreiptąsias ultragarsines bangas, kaip pavaizduota 1 pav..

- 30 Visais išradimo įgyvendinimo atvejais, ultragarsinių keitiklių (1', 1''), ar jų gardelių rinkinys, apima bent vieną siunčiantį (1') ir vieną priimantį (1'') ultragarsinius keitikius, įrengtus ant tiriamo objekto (2), pozicionuojant juos vienas priešais kitą. Tokių porų skaičius nėra ribojamas. Siųstuvo ir imtuvo pora yra sukama tam tikru kampu, siekiant atkurti nukreiptųjų bangų greičio

pasiskirstymą tiriamo objekto paviršiuje priklausomai nuo bangų sklaidimo kampo. Matavimo pozicijų skaičius įvairiais kampais priklauso nuo siekiamo elastinių savybių atstatymo tikslumo. Svarbu, kad naudojami keitikliai ir ultragarsinė matavimo sistema galėtų žadinti visų trijų tipų – asimetrines, simetrines ir skersines nukreiptųjų bangų modas.

- 5 Ultragarsinė matavimo sistema gali būti adaptyviai konfigūruojama erdvėje, konfigūruojant paskirstytą ultragarsinių keitiklių rinkinį, sudarytą iš siunčiančio ultragarsinio keitiklio (1') ir priimančio ultragarsinio keitiklio (1'').

- Būde pagal išradimą yra naudojami kiekybinių parametrų rinkiniai, talpinami duomenų bazėje, apimančioje daug skirtingų rinkinių. Šie parametrų rinkiniai, tai konstrukciniai (geometriniai-
10 medžiaginiai) aprašai ir objektų teorinės elastinės konstantos.

Parinkus iš duomenų bazės tinkamiausią kiekybinių parametrų rinkinį, po to, pagal šį parinktą parametrų rinkinį:

- o sudaromas objekto dispersinių kreivių modelis, kuriuo identifikuojamos objekte sklindančios nukreiptųjų bangų modos, jų poslinkiai, pasiskirstymai per objekto storį bei
15 sklaidimo nuostoliai;
- o nustatomi atitinkamų pasirinktų modų dažniai, faziniai ir grupiniai greičiai.

- Jei pirmą kartą matuojamas nežinomas objektas, kuriam duomenų bazėje nėra tinkamo kiekybinių parametrų rinkinio, tada pradinis kiekybinių parametrų rinkinys gali būti sudaromas iš pirmojo ultragarsinio matavimo rezultatų, pagal juos įvertinus pradines kiekybinių parametrų
20 reikšmes.

- Kiekybinių parametrų rinkinys gali būti išrenkamas keliais būdais. Vienu atveju, į sistemą rankiniu būdu įvedamas konkretus medžiagos tipas: pagal šiuos parametrus, paieškos algoritmas duomenų bazėje suras artimiausią kiekybinių parametrų rinkinį. Kitu atveju, sistema atlieka pirmąjį ultragarsinį matavimą, suformuoja parametrų rinkinį, ir pagal minimalius
25 matavimo ir duomenų bazės parametrų rinkinių skirtumus, išrenka iš duomenų bazės artimiausią kiekybinių parametrų rinkinį. Dar kitu atveju, kai duomenų bazėje nesama tinkamo kiekybinių parametrų rinkinio, sistema atlieka pirmąjį matavimą, ir automatiškai iš matavimo rezultatų suformuoja pradinį parametrų rinkinį, kurį įrašo į duomenų bazę.

- Šiame išradime etalono funkciją atlieka virtualus skaitmeninis tiriamo objekto modelis. Tai yra,
30 skaitmeninėje aplinkoje paruošiamas tiriamo objekto etalonas, pakankamai tiksliai aprašantis

objekto konstrukcines (geometrinės-medžiagines) savybes, ultragarsinių keitiklių ($1'$, $1''$) charakteristikas, ultragarsinių keitiklių ($1'$, $1''$) išdėstymą atžvilgiu objekto (2), modelį sudarančių baigtinių elementų tipus, ultragarsinių nukreiptųjų bangų sklaidimo ir sąveikos su modeliu charakteristikas. Vykdamas realaus objekto tyrimus, skaitmeninis modelis lyginamas su ultragarso signalų sklaidimo charakteristikomis, išmatuotomis realiame tiriamame objekte.

Skaitmeninis modelis gali būti paruoštas ir pritaikytas, panaudojus specialias tokio modeliavimo priemones ir sistemas. Pavyzdžiui, gali būti naudojamas Baigtinių Elementų būdas (angl. *Finite Element method*), pusiau analitinis baigtinių elementų būdas (angl. *Semi analytical finite element method*), globalinės matricos būdas (angl. *Global matrix method*) bei juos realizuojančios modeliavimo sistemos. Išradimo apimtyje, būdai ir priemonės paruošti ir naudoti skaitmeninį modelį neribojamos.

Elastinių savybių įvertinimo būdas pagrįstas grupinio nukreiptųjų bangų modų greičio matavimu. Būdui reikalingas skirtingais kampais sklindančių simetrinių, asimetrinių ir skersinių modų greičio įvertinimas, kuris leidžia atkurti erdvinį grupinio greičio pasiskirstymą. Šis pasiskirstymas naudojamas elastinių savybių įvertinimo būde, kur pagal skirtingas grupinio greičio komponentas atstatomos medžiagos elastinės savybės. Atliekant periodinius matavimus šis būdas leidžia įvertinti elastinių savybių kitimą laike.

Įrengus ultragarsinius matavimo keitikius ($1'$, $1''$) ant tiriamo objekto (2), sistemoje adaptyviai nustatomi matavimo parametrai: ultragarsinių keitiklių koordinatės, atstumai tarp keitiklių, ultragarso bangų sklaidimo greičiai, slopinimai, ir kt. Adaptyviai konfigūruojamos sistemos erdvėje paskirstyti ultragarsiniai keitikliai ($1'$, $1''$) uždedami rankiniu būdu, reguliuojant jų tarpusavio padėties kampo vertę. Keitiklių poros (siųstuvo-imtuvo) kampinei padėčiai keisti gali būti naudojami specialūs skeneriai. Po to sistema žadina ultragarsines bangas ir apdoroja priimtus signalus.

Išradimas taip pat apima programinę įrangą. Programinė įranga, realizuojanti būdą pagal išradimą, apima šiuos žingsnius:

- iš kiekybinių parametrų išrenkamas parametrų rinkinys, atitinkantis tiriamą objektą ir medžiagą;
- skaičiuojamas skaitmeninis modelis, apimant žingsnius:

- sudaromas nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo skaitmeninis modelis,
 - parenkamos ultragarsinių nukreiptųjų bangų modos ir dažnių diapazonas,
 - ultragarsinėje sistemoje suderinami ir parenkami parametrai nukreiptųjų bangų generavimui;
- 5
- atliekamas ultragarsinis matavimas ir signalų apdorojimas, apimant žingsnius:
 - pirminis signalų apdorojimas,
 - skirtingų modų signale išskyrimas,
 - išskirtų modų grupinio greičio matavimas;
- 10
- sugretinamos išmatuotos ir suskaičiuotos elastinės konstantos,
 - koreguojami modelio parametrai,
 - suskaičiuotos elastinės konstantos priimamos kaip atitinkančios tiriamos medžiagos savybės.

Išradimo įgyvendinimo pavyzdžiai:

- 15 Anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas skirtas įvertinti medžiagos elastines savybes objekte (2), būdas apima ultragarsinės matavimo sistemos panaudojimą, kur ultragarsinė matavimo sistema apima:
- erdvėje paskirstytus ir ant tiriamo objekto (2) paviršiaus sumontuotus ultragarsinius keitiklius (1', 1''), ultragarsinių signalų generatorius, imtuvus-stiprintuvus, analoginius-skaitmeninius keitiklius;
- 20
- kompiuterinį įrenginį, su bent vienu procesoriumi ir bent vienu atminties moduliu, kur
 - atminties modulyje talpinami parametrai, duomenų bazės, modeliai, matavimo rezultatai, užregistruoti signalai, PĮ moduliai, ir kiti duomenys, reikalingi įgyvendinti metodą,
- 25
- procesorius vykdo būdo žingsnius, valdo ultragarsinio matavimo procesus, apdoroja duomenis, vykdo modeliavimą, mašininį mokymą bei klasifikavimą, ir užtikrina vykdymą visų veiksmų, kurie būtini metodui įgyvendinti,
 - , kompiuterio atmintyje saugomas ir modeliuojamas skaitmeninis etalonas , bei duomenų bazėje saugomas analitiškai aprašytas kiekybinių parametru rinkinys,

- ultragarsinio matavimo sistemos siunčiantysis (1') ir priimantysis (1'') vienalemenčiai ultragarsiniai keitikliai panaudojami ultragarsinio matavimo sistemoje nukreiptųjų ultragarsinių bangų formavimui, kur vienalemenčių ultragarsinių keitiklių darbiniai dažniai ir generuojamų/priimamų signalų dažnių intervalas apima 30kHz-1MHz.

Siunčiantys (1') ir priimantys (1'') ultragarsiniai keitikliai yra pozicionuojami vienas priešais kitą, o siųstuvo ir imtuvo pora yra sukama tokiu kampu, kad atkurtų nukreiptųjų bangų greičio pasiskirstymą tiriamo objekto paviršiuje, priklausomai nuo bangų sklaidimo kampo, kur ultragarsinė matavimo sistema žadina visų trijų tipų – asimetrines, simetrines ir skersines nukreiptųjų bangų modas. Būdas taip pat apima žingsnius: siunčiantis ultragarsinis keitiklis (1') žadinimas generuojamais signalais, registruojami tiriamą objektą (2) perėję ultragarsiniai nukreiptųjų bangų signalai priimančiu ultragarsiniu keitikliu (1''); atliekamas registruotų ultragarsinių signalų pirminis apdorojimas ir signalų segmentų atitinkančių skirtingas modas išskyrimas, sklaidimo laiko matavimas; išrenkami kiekybiniai ultragarsinių nukreiptųjų bangų skirtingų modų parametrai, gauti matuojant skirtingomis keitiklių poromis; atliekamas modeliavimo ir matavimo duomenų sugretinimas, nustatant reikiamas elastinių savybių konstantas.

Kaip tiriamo objekto (2) etalonas yra naudojamas skaitmeninis etalonas, formuojamas kompiuteriniu modeliavimu iš kiekybinių parametrų rinkinio, apimančio objekto (2) konstrukcines charakteristikas, ultragarsinių signalų ir jų sklaidimo objekte (2) charakteristikas. Skaitmeninio etalono palyginimo su ultragarsinių matavimų rezultatais žingsnyje suformuojamas daugiamatis duomenų modulis (DDM), apimantis skirtuminį tomografinį vaizdą ir jo kiekybinių parametrų rinkinį. Vykdomas skaitinis modeliavimas sklaidimo greičių palyginimui su išmatuotais ant tiriamo objekto (2). Izotropinių medžiagų matavimams naudojama viena siųstuvo imtuvo pora, ortotropinių medžiagų atveju naudojamos trys siųstuvo imtuvo poros.

Kiekybinių parametrų rinkinys apima, bent:

- tiriamą objektą ir medžiagą;
- sudarytą objekto dispersinių kreivių modelį, kuriuo identifikuojamos objekte sklindančios nukreiptųjų bangų modos, jų poslinkiai, pasiskirstymai per objekto storį bei sklaidimo nuostoliai;

- nustatytus atitinkamų pasirinktų modų dažnius, fazinius ir grupinius greičius;
- jei pirmą kartą matuojamas nežinomas objektas, kuriam duomenų bazėje nėra tinkamo kiekybinių parametru rinkinio, tada pradinis kiekybinių parametru rinkinys gali būti sudaromas iš pirmojo ultragarsinio matavimo rezultatų, pagal juos įvertinus pradines kiekybinių parametru reikšmes.

Naudojama duomenų bazė, apimanti daugiau nei vieną kiekybinių parametru rinkinį, tokį, kaip konstrukciniai (geometriniai-medžiaginiai) aprašai ir objektų teorinės elastinės konstantos.

Skaitmeniniai modeliai, apima:

- nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo modelį,
- ultragarsinių nukreiptųjų bangų modas ir dažnių diapazoną,
- ultragarsinės matavimo sistemos parametrus, reikalingus numatytų nukreiptųjų bangų generavimui;

Būdas pagal išradimą tai pat apima ultragarsinį matavimą ir signalų apdorojimą, kuris susideda iš pirminio signalų apdorojimo, skirtingų modų signale išskyrimo ir išskirtų modų grupinio greičio matavimo; išmatuotų ir suskaičiuotų elastinių konstantų palyginimą sugretinant elastines savybes; modelio parametru korekciją; ultragarsinį matavimą tiriamame objekte (2), su parinktais kiekybiniais parametrais:

- generuojamos nukreiptos ultragarsinės bangos ir registruojami ultragarsiniai matavimo signalai;
- atliekamas pirminis registruotų ultragarsinių matavimo signalų apdorojimas,
- atstatomos tiriamo objekto elastinės savybės iš ultragarsinių matavimo signalų.

Parinkus iš duomenų bazės tinkamiausią kiekybinių parametru rinkinį, po to pagal šį parinktą parametru rinkinį:

- sudaromas objekto dispersinių kreivių modelis, kuriuo identifikuojamos objekte sklindančios nukreiptųjų bangų modos, jų poslinkiai, pasiskirstymai per objekto storį bei sklidimo nuostoliai,
- nustatomi atitinkamų pasirinktų modų dažniai, faziniai ir grupiniai greičiai.

Jei pirmą kartą matuojamas nežinomas objektas, kuriam duomenų bazėje nėra tinkamo kiekybinių parametru rinkinio, tada pradinis kiekybinių parametru rinkinys gali būti sudaromas

iš pirmojo ultragarsinių matavimo rezultatų, pagal juos įvertinus pradinės kiekybinių parametrų reikšmes.

Kiekybinių parametrų rinkinys gali būti išrenkamas:

- į sistemą rankiniu būdu įvedant konkretų medžiagos tipą, kur pagal šiuos parametrus, paieškos algoritmas duomenų bazėje suranda artimiausią kiekybinių parametrų rinkinį, arba
- yra atliekamas pirmas ultragarsinis matavimas ultragarsinio matavimo sistema, suformuojamas parametrų rinkinys, ir pagal minimalius matavimo ir duomenų bazės parametrų rinkinių skirtumus, išrenkamas iš duomenų bazės artimiausias kiekybinių parametrų rinkinys, arba
- kai duomenų bazėje nesama tinkamo kiekybinių parametrų rinkinio, sistema atlieka pirmąjį matavimą, ir automatiškai iš matavimo rezultatų suformuoja pradinį parametrų rinkinį, kurį įrašo į duomenų bazę.

Kiekybinių parametrų rinkiniai ir jų duomenų bazė yra formuojami bet kuriuo šių būdų ar jų kombinacija:

- rankiniu būdu įvedus ir koreguojant kiekybinių parametrų rinkinio vertes;
- įvedus duomenis iš kitų eksperimentų, matavimų bei modeliavimo rezultatų;
- vykdant matavimus naujame nežinomame objekte ir kaupiant jo matavimo istorinius-statistinius duomenis.

Objekto matavimui kiekybinių parametrų rinkinys išrenkamas bet kuriuo šių būdų ar jų kombinacija:

- rankiniu būdu įvedus ir koreguojant kiekybinių parametrų rinkinio vertes,
- atlikus kalibracinį objekto (2) ultragarsinį matavimą, suformavus matavimo parametrų rinkinį, ir pagal jo bei duomenų bazės rinkinių minimalius skirtumus, išrenkamas artimiausias kiekybinių parametrų rinkinys;
- atlikus kalibracinį objekto ultragarsinį matavimą, iš šio matavimo rezultatų suformuojamas kiekybinių parametrų rinkinys, kuris laikomas etaloniniu kiekybinių parametrų rinkiniu, įrašomu ir į duomenų bazę.

Skaitmeninis etalonas ir ultragarsinis signalų sklaidimas jame yra modeliuojami:

- baigtinių elementų būdu, arba
- pusiau analitiniu baigtinių elementų būdu, arba

- globalinės matricos būdu.

Būdas pagal išradimą taip papildomai apima ultragarsinių matavimų sistemos adaptavimo žingsnį, kuriuo, pagal ant tiriamo objekto (2) įrengtais ultragarsiniais keitikliais atliktus kalibracinius matavimus, koreguoja skaitmeninio modelio parametrus, minimizuodamas skirtumines paklaidas tarp matuojamo objekto (2) ir skaitmeninio modelio.

Skaitmeninio modelio palyginimas su ultragarsinio matavimo rezultatu atliekamas prieš išmatuotų ir suskaičiuotų elastinių konstantų sugretinimą ir /arba po jo.

Ultragarsinio matavimo sistema, skirta išmatuoti anizotropinių kompozitinių plokščių elastines konstantas būdu pagal išradimą apima:

- bent vieną siunčiantį (1') ir bent vieną priimantį (1'') ultragarsinius keitiklius ar jų gardeles, įrengtus ant tiriamo objekto (2),
- ultragarsinius generatorius,
- stiprintuvus,
- analoginius-skaitmeninius keitiklius,
- kompiuterinį įrenginį, apimantį bent vieną procesorių ir bent vieną atminties modulį, , duomenų bazes, ir vykdančius programiškai būdo žingsnius.

Sistemoje matavimo etaloną realizuoja skaitmeninis etalonas, suformuotas kompiuteriniu modeliavimu atmintyje iš kiekybinių parametrų rinkinio. Ultragarsiniai keitikliai (1', 1'') yra išdėstyti ant tiriamo objekto (2) ir sukonfigūruoti taip, kad tiriamo objekto (2) numatytame regione generuotų nukreiptąsias ultragarsines bangas, sklindančias numatytomis kryptimis.

Ultragarsinių keitiklių arba jų gardelių ir ultragarsinių bangų dažnių efektyvus diapazonas apima nuo 30kHz iki 1MHz.

Vieno siunčiančio ir priimančio ultragarsinių keitiklių konfigūracijoje, siunčiantis ultragarsinis keitiklis (1') ir/arba priimančias ultragarsinis keitiklis (1'') yra adaptyviai konfigūruojami, keičiant keitiklių padėtį erdvėje, pasukant tam tikru kampu ir užregistruojant sklindančių ultragarsinių bangų signalus.

Programinė įranga, skirta realizuoti būdą pagal išradimą, naudojant sistemą, skirtą įgyvendinti būdai pagal išradimą, apimanti kompiuterinius algoritmus ir programinius modulius, apima žingsnius:

- iš kiekybinių parametų išrenkamas parametų rinkinys, atitinkantis tiriamą objektą ir medžiagą;
- skaičiuojamas skaitmeninis modelis:
 - sudaromas nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo skaitmeninis modelis,
 - parenkamos ultragarsinių nukreiptųjų bangų modos ir dažnių diapazonas,
 - ultragarsinėje sistemoje suderinami ir parenkami parametrai nukreiptųjų bangų generavimui;
- atliekamas ultragarsinis matavimas ir signalų apdorojimas:
 - pirminis signalų apdorojimas,
 - skirtingų modų signale išskyrimas,
 - išskirtų modų grupinio greičio matavimas;
- sugretinamos išmatuotos ir suskaičiuotos elastingės konstantos;
- koreguojami modelio parametrai,
- suskaičiuotos elastingės konstantos priimamos kaip atitinkančios tiriamos medžiagos savybės.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Anizotropinių kompozitinių plokščių elastinių konstantų matavimo būdas skirtas įvertinti medžiagos elastines savybes objekte (2) naudojant ultragarsinius keitiklius, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad:

- 5
 - vienas arba daugiau vienalementis ultragarsinis siunčiantis keitiklis (1') ir vienas arba daugiau ultragarsinis priimantis keitiklis (1'') paskirstomi erdvėje ir montuojami ant tiriamojo objekto (2), sudarant keitiklių poras apimančias po vieną vienalementį ultragarsinį siunčiantį keitiklį (1') ir vieną vienalementį ultragarsinį priimantį keitiklį (1''),

- 10
 - kur
 - vienalemenčių ultragarsinių keitiklių (1', 1'') darbiniai dažniai ir generuojamų/priimamų signalų dažnių intervalas apima 30kHz-1MHz,
 - siunčiantys (1') ir priimantys (1'') ultragarsiniai keitikliai yra pozicionuojami vienas priešais kitą, o siunčiančio keitiklio (1') ir priimančio keitiklio (1'') pora yra sukamos tokiu kampu, kad atkurtų nukreiptųjų bangų greičio pasiskirstymą tiriamo objekto (2) paviršiuje, priklausomai nuo bangų sklidimo kampo,
 - yra žadinamos asimetrinės, simetrinės ir skersinės nukreiptųjų bangų modos;
 - ultragarsinė matavimo sistema yra valdoma kompiuteriniu įrenginiu, apimančiu bent vieną procesorių ir bent vieną atminties modulį, kur:

- 20
 - atminties modulyje talpinami parametrai, duomenų bazės, modeliai, matavimo rezultatai, užregistruoti signalai, PĮ moduliai,
 - procesorius vykdo būdo žingsnius, valdo ultragarsinio matavimo procesus, apdoroja duomenis, vykdo modeliavimą, mašininį mokymą bei klasifikavimą,

- 25
 - vienalementis siunčiantis ultragarsinio keitiklis (1') yra žadinamas generuojamais signalais,
 - tiriamą objektą (2) perėjusių ultragarsinių nukreiptųjų bangų signalai yra registruojami priimančiu ultragarsiniu keitikliu (1'');
 - atliekamas registruotų ultragarsinių signalų pirminis apdorojimas ir signalų segmentų atitinkančių skirtingas modas išskyrimas, sklidimo laiko matavimas;
- 30

- išrenkami kiekybiniai ultragarsinių nukreiptųjų bangų skirtingų modų parametrai, gauti matuojant skirtingomis keitiklių poromis;
- modeliavimo ir matavimo duomenys yra sugretinami, nustatant reikiamas elastinių savybių konstantas;

- 5
- skaitmeninis etalonas yra naudojamas kaip tiriamo objekto (2) etalonas, kur skaitmeninis etalonas (2) yra formuojamas kompiuteriniu modeliavimu iš kiekybinių parametų rinkinio (1), apimančio objekto konstrukcines charakteristikas, ultragarsinių signalų ir jų sklidimo objekte (2) charakteristikas,
 - skaitmeninio etalono palyginimo su ultragarsinių matavimų rezultatais žingsnyje suformuojamas daugiamatis duomenų modulis (DDM), apimantis skirtuminį tomografinį vaizdą ir jo kiekybinių parametų rinkinį,
- 10
- vykdomas skaitinis modeliavimas sklidimo greičių palyginimui su išmatuotais ant tiriamo objekto (2).

2. Būdas pagal 1 punktą, kur kiekybinių parametų rinkinys apima, bent:

- 15
- tiriamą objektą ir medžiagą;
 - sudarytą objekto dispersinių kreivių modelį, kuriuo identifikuojamos objekte sklindančios nukreiptųjų bangų modos, jų poslinkiai, pasiskirstymai per objekto storį bei sklidimo nuostoliai;
 - nustatytus atitinkamų pasirinktų modų dažnius, fazinius ir grupinius greičius;
- 20
- jei pirmą kartą matuojamas nežinomas objektas, kuriam duomenų bazėje nėra tinkamo kiekybinių parametų rinkinio, tada pradinis kiekybinių parametų rinkinys gali būti sudaromas iš pirmojo ultragarsinio matavimo rezultatų, pagal juos įvertinus pradines kiekybinių parametų reikšmes.

3. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, kur duomenų bazė apima daugiau nei vieną kiekybinių parametų rinkinį, tokį, kaip konstrukciniai (geometriniai-medžiaginiai) aprašai ir objektų teorinės elastinės konstantos.

25

4. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, kur:

- sudaromas nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo modelis ,
- parenkami ultragarsinių nukreiptųjų bangų modos ir dažnių diapazonas ,

- parenkami ultragarsinės matavimo sistemos parametrai, reikalingi numatytų nukreiptųjų bangų generavimui.

5. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima žingsnius:

- atliekamas ultragarsinis matavimas ir signalų apdorojimas, kuris susideda iš pirminio signalų apdorojimo, skirtingų modų signale išskyrimo ir išskirtų modų grupinio greičio matavimo;
- palyginamos išmatuotos ir suskaičiuotos elastinės konstantos sugretinant elastines savybes;
- koreguojami modelio parametrai ;
- atliekamas ultragarsinis matavimas tiriamame objekte (2), su parinktais kiekybiniais parametrais:
 - nukreiptų ultragarsinių bangų generavimas ir ultragarsinių matavimo signalų registravimas,
 - registruotų ultragarsinių matavimo signalų pirminis apdorojimas,
 - tiriamo objekto elastinių savybių atstatymas iš ultragarsinių matavimo signalų.

6. Būdas pagal bet kurį vieną iš 1 - 5 punktų, kur:

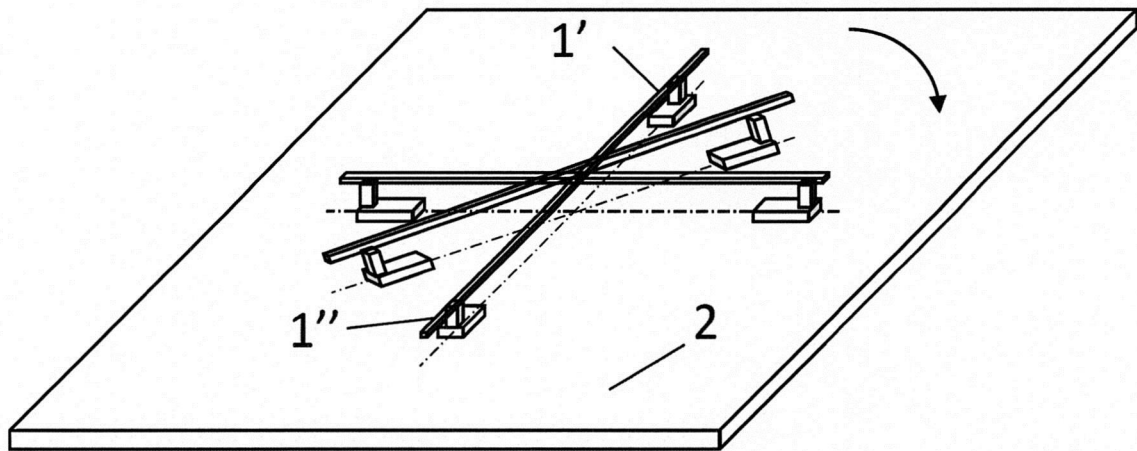
- parinkus iš duomenų bazės tinkamiausią kiekybinių parametų rinkinį, po to pagal šį parinktą parametų rinkinį:
 - sudaromas objekto dispersinių kreivių modelis, kuriuo identifikuojamos objekte sklindančios nukreiptųjų bangų modos, jų poslinkiai, pasiskirstymai per objekto storį bei sklidimo nuostoliai,
 - nustatomi atitinkamų pasirinktų modų dažniai, faziniai ir grupiniai greičiai,
- jei pirmą kartą matuojamas nežinomas objektas, kuriam duomenų bazėje nėra tinkamo kiekybinių parametų rinkinio, tada pradinis kiekybinių parametų rinkinys gali būti sudaromas iš pirmojo ultragarsinių matavimo rezultatų, pagal juos įvertinus pradines kiekybinių parametų reikšmes.

7. Būdas pagal bet kurį vieną iš 1 - 6 punktų, kur kiekybinių parametų rinkinys gali būti išrenkamas:

- į sistemą rankiniu būdu įvedant konkretų medžiagos tipą, kur pagal šiuos parametrus, paieškos algoritmas duomenų bazėje suranda artimiausią kiekybinių parametrų rinkinį, arba
 - yra atliekamas pirmas ultragarsinis matavimas ultragarsinio matavimo sistema, suformuojamas parametrų rinkinys, ir pagal minimalius matavimo ir duomenų bazės parametrų rinkinių skirtumus, išrenkamas iš duomenų bazės artimiausias kiekybinių parametrų rinkinys, arba
 - kai duomenų bazėje nesama tinkamo kiekybinių parametrų rinkinio, sistema atlieka pirmąjį matavimą, ir automatiškai iš matavimo rezultatų suformuoja pradinį parametrų rinkinį, kurį įrašo į duomenų bazę.
- 10 8. Būdas pagal bet kurį vieną iš 1-3 punktų, kur kiekybinių parametrų rinkiniai ir jų duomenų bazė yra formuojami bet kuriuo šių būdų ar jų kombinacija:
- rankiniu būdu įvedus ir koreguojant kiekybinių parametrų rinkinio vertes;
 - įvedus duomenis iš kitų eksperimentų, matavimų bei modeliavimo rezultatų;
 - vykdant matavimus naujame nežinomame objekte ir kaupiant jo matavimo istorinius- statistinius duomenis.
- 15 9. Būdas pagal bet kurį vieną iš 1-3 ir 6-7 punktų, kur objekto matavimui kiekybinių parametrų rinkinys išrenkamas bet kuriuo šių būdų ar jų kombinacija:
- rankiniu būdu įvedus ir koreguojant kiekybinių parametrų rinkinio vertes,
 - atlikus kalibracinį objekto (2) ultragarsinį matavimą, suformavus matavimo parametrų rinkinį, ir pagal jo bei duomenų bazės rinkinių minimalius skirtumus, išrenkamas artimiausias kiekybinių parametrų rinkinys;
 - atlikus kalibracinį objekto ultragarsinį matavimą, iš šio matavimo rezultatų suformuojamas kiekybinių parametrų rinkinys, kuris laikomas etaloniniu kiekybinių parametrų rinkiniu, įrašomu ir į duomenų bazę.
- 20 10. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur skaitmeninis etalonas ir ultragarsinis signalų sklidimas minėtame skaitmeniniame etalone yra modeliuojami:
- baigtinių elementų būdu, arba
 - pusiau analitiniu baigtinių elementų būdu, arba
 - globalinės matricos būdu.
- 25

11. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kuris papildomai apima ultragarsinių matavimų sistemos adaptavimo žingsnį, kuriuo, pagal ant tiriamo objekto (2) įrengtais vienalemenčiais ultragarsiniais keitikliais (1', 1''), atliktus kalibracinius matavimus, koreguoja skaitmeninio modelio parametrus, minimizuodamas skirtumines paklaidas tarp matuojamo objekto (2) ir skaitmeninio modelio.
12. Būdas pagal bet kurį ankstesnį punktą, kur skaitmeninio modelio palyginimas su ultragarsinio matavimo rezultatu atliekamas prieš išmatuotų ir suskaičiuotų elastinių konstantų sugretinimą ir /arba po jo.
13. Ultragarsinio matavimo sistema, skirta išmatuoti anizotropinių kompozitinių plokščių elastines konstantas būdu pagal bet kurį vieną iš 1-12 punktų, apimanti ultragarsinius keitiklius, ultragarsinius generatorius, stiprintuvus, analoginius-skaitmeninius keitiklius,
b e s i s k i r i a n t i t u o , k a d s i s t e m a a p i m a
 - vieną arba daugiau siunčiantį vienalementį ultragarsinį keitiklį (1') ir vieną arba daugiau priimantį vienalementį ultragarsinį keitiklį (1'') ar jų gardeles, poromis po viena siunčiantį vienalementį ultragarsinį keitiklį (1') ir vieną priimantį vienalementį ultragarsinį keitiklį (1''), įrengtus ant tiriamo objekto (2),
 - kompiuterinį įrenginį, apimantį bent vieną procesorių ir bent vieną atminties modulį, duomenų bazes, ir vykdančius programiškai būdo žingsnius;
 - skaitmeninį etaloną, suformuotą kompiuteriniu modeliavimu, atmintyje, iš kiekybinių parametrų rinkinio, ir
 - kur vienalemenčiai ultragarsiniai keitikliai (1', 1'') yra išdėstyti ant tiriamo objekto (2) ir sukonfigūruoti taip, kad tiriamo objekto (2) numatytame regione generuotų nukreiptąsias ultragarsines bangas, sklindančias numatytomis kryptimis.
14. Sistema pagal 13 punktą, kur vienalemenčių ultragarsinių keitiklių (1', 1'') arba jų gardelių ir ultragarsinių bangų dažnių efektyvus diapazonas apima nuo 30kHz iki 1MHz.
15. Programinė įranga, realizuojanti būdą pagal 1-12 punktą, veikianti kompiuteriniame įrenginyje, apimančiame bent vieną procesorių ir bent vieną atminties modulį, apimanti žingsnius:

- iš kiekybinių parametrų išrenkamas parametrų rinkinys, atitinkantis tiriamą objektą ir medžiagą;
- skaičiuojamas skaitmeninis modelis apimant tokius būdo žingsnius:
 - sudaromas nukreiptųjų bangų dispersinių kreivių skaičiavimo skaitmeninis modelis,
 - parenkamos ultragarsinių nukreiptųjų bangų modos ir dažnių diapazonas,
 - ultragarsinėje matavimo sistemoje suderinami ir parenkami parametrai nukreiptųjų bangų generavimui;
- atliekamas ultragarsinis matavimas su ultragarsine matavimo sistema ir signalų apdorojimas:
 - atliekamas pirminis signalų apdorojimas,
 - atliekamas skirtingų modų signale išskyrimas,
 - atliekamas išskirtų modų grupinio greičio matavimas;
- sugretinamos išmatuotos ir suskaičiuotos elastingės konstantos,
- koreguojami modelio parametrai,
- suskaičiuotos elastingės konstantos priimamos kaip atitinkančios tiriamos medžiagos savybės.



1 pav.