

(19)



(10) **LT 5969 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **5969** (51) Int. Cl. (2013.01): **F28D 15/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2012 016**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2012 03 09**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2013 09 25**
- (45) Patent paskelbimo data: **2013 11 25**
- (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:  
**Sigitas KUDARAUSKAS, LT**  
**Saulius ŠULCAS, LT**
- (73) Patent savininkas:  
**UAB „Modernios E-Technologijos“, Taikos pr. 7, LT-31107 Visaginas, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
—

- (54) Pavadinimas:  
**Daugiacilindrio Stirlingo ciklo įrenginio tiesioginės šilumokaitos regeneratorium**

- (57) Referatas:

Įtaisas priklauso šilumos mainų įtaisams, naudojamiems realizuoti regeneracinį Stirlingo ciklą. Paprasčiausios konstrukcijos Stirlingo įrenginiuose yra dvi kintamojo tūrio darbo kameros, kurias jungiančiame kanale grįžtamai cirkuliuoja darbo agentas, ir tame kanale įrengiamas šiluminės talpos regeneratorium. Daugiacilindriame Stirlingo ciklo įrenginyje darbo agento kanalai, jungiantys skirtingų temperatūrų kintamo tūrio darbo kameras, sugrupuoti poromis taip, kad vienos poros kanaluose tuo pat metu (sinchroniškai) srūva priešingos krypties darbo agento srautai. Tarp kiekvienos tokios poros kanalų įrengiami šilumokaitos elementai, sudarantys tiesiogines šilumokaitos regeneratorium (vietoje šiluminės talpos regeneratorių). Šilumokaitos regeneratoriai gali būti naudojami įvairios paskirties ir įvairios konstrukcijos daugiacylindeuose (kai yra ne mažiau kaip dvi darbo kamerų poros) Stirlingo ciklo įrenginiuose.

### Technikos sritis

Daugiacilindrio Stirlingo ciklo įrenginio tiesioginės šilumokaitos regeneratoriums priklauso šilumos mainų įtaisams, kurie naudojami regeneracinio termodinaminio ciklo šiluminėse mašinose (įskaitant Stirlingo variklius ir atvirkštinio Stirlingo ciklo įrenginius - šaldytuvus, šilumos siurblius, kriogeninius aparatus).

### Technikos lygis

Pakaitom sekančių dviejų izochorių ir dviejų izotermių procesų uždaro termodinaminio ciklo šiluminį variklį Robertas Stirlingas išrado 1816 m. (toks termodinaminis ciklas pavadintas išradėjo vardu). Netrukus išradėjas savo variklį patobulino - įrengė regeneratorių, sukaupiantį šiluminę energiją, išskiriamą vieno izochorio proceso metu ir panaudojamą kito izochorio proceso metu. Regeneracinis procesas vyksta dujinio darbo agento kanale įrengtame atitinkamos šiluminės talpos elemente - regeneratoriuje, darbo agentui periodiškai cirkuliuojant tarp šiluminės mašinos kintančių darbo tūrių, kurių temperatūros yra skirtingos. Regeneratorius padidina ciklo termodinaminį naudingumo koeficientą, kuris idealaus regeneratoriaus atveju prilygsta Karno ciklo koeficientui. Todėl energetinės paskirties Stirlingo ciklo įrenginiuose yra naudojami regeneratoriai.

Nors šiluminės talpos regeneratoriai didina Stirlingo ciklo įrenginio naudingumo koeficientą, tačiau jų naudojimas turi ir trūkumų: regeneratoriums sukelia pasipriešinimą (slėgio kritimą) cirkuliuojančiam darbo agentui, kas blogina termodinaminio ciklo rodiklius; regeneratoriaus vidinis tūris didina nekintantį (taip vadinamą žalingąjį) tūrį, taip pat bloginantį ciklo rodiklius; specifinių savybių (didelės šiluminės talpos, anizotropinio šilumos laidžio ir pan.) regeneratoriaus naudojimas komplikuoja konstrukciją, brangina Stirlingo įrenginį; be to, toks regeneratoriums grąžina tik dalį šiluminės energijos. Todėl iki šiol patentuojama daugybė išradimų, tobulinančių šiluminės talpos regeneratorių konstrukciją bei medžiagas. Pavyzdžiui, patentai US 4429732, 1984.02.07 "Regenerator structure for Stirling-cycle, reciprocating thermal machine" ("Stirlingo ciklo stūmoklinės šiluminės mašinos regeneratoriaus struktūra"); US 6474075, 2002.11.05 "Regenerator for a Stirling cycle based system" ("Stirlingo ciklu pagrįstos sistemos regeneratoriums"); US 6591609, 2003.07.15 "Regenerator for a Stirling engine" ("Stirlingo variklio regeneratoriums").

Pirmasis Stirlingo variklis buvo vieno cilindro su jame įrengtais dviem stūmokliais, kurių periodinio judesio fazės skyrėsi ketvirčiu periodo. Naudojami dviejų atskirų cilindrų su vienpusės veikos stūmokliais Stirlingo įrenginiai (taip vadinami alfa tipo), kai stūmoklių periodinio judesio fazės taip pat skiriasi ketvirčiu periodo. Kompaktiškiausi ir tobuliausi yra šiuolaikiniai daugiacylinčiai Stirlingo įrenginiai, turintys keturis cilindrus su dvipusės veikos stūmokliais. Principinė tokio įrenginio schema pavaizduota Fig. 1a, kai alkūninio veleno mechanizmas suteikia stūmokliams periodinį judesį, besiskiriantį po ketvirtį periodo. Yra naudojami ir kitokie mechanizmai, suteikiantys stūmokliams analogišką (kaip taisyklė, kvazisinusinį) judesį. Toks keturių cilindrų įrenginys atitinka keturių dviacylinčių alfa tipo Stirlingo įrenginių komplektą.

Yra žinomi daugiacylinčiai šešių cilindrų Stirlingo įrenginiai: pavyzdžiui, patentas US 3811283, 1974.05.21 "Multi-cylinder Stirling gas motor with double-acting pistons" ("Daugiacylinčias Stirlingo dujų variklis su dvipusės veikos stūmokliais"). Nors toks įrenginys atrodo dar labiau kompaktiškesnis, bet jo gretimų stūmoklių švytavimo fazių skirtumo kampas nėra optimalus (vietoje optimalaus ketvirčio periodo skirtumo gaunamas šeštadalio periodo skirtumas).

Taip pat žinomi Stirlingo šiluminės mašinų ir švytuojamųjų elektros mašinų junginiai, leidžiantys gauti optimesnį judesio spektrą. Pavyzdžiui, patente US 7134279, 2006.11.14 "Double acting thennodynamically resonant free-piston multicylinder Stirling system and method" ("Dvipusės veikos termodinamiškai rezonansinė laisvų stūmoklių daugiacylinčias Stirlingo sistema ir metodas") numatytas švytuojamųjų tiesiaiegių elektros generatorių naudojimas daugiacylinčiame Stirlingo variklyje. Patente LT 5404, 2007.03.26 "Laisvų svyruojančių stūmoklių šiluminė mašina" numatytas švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų naudojimas su Stirlingo ciklo įrenginiais.

Visais nurodytais (ir žinomais) daugiacylinčių Stirlingo įrenginių atvejais kiekvieną darbo tūrių porą jungiančiame kanale įrengiamas atskiras šiluminės talpos regenerorius (neskaitant kaitintuvo ir aušintuvo elementų), kaip tai parodyta Fig. 1a. Todėl tokiems daugiacylinčiams Stirlingo ciklo įrenginiams būdingi šių regeneratorių sukelti aukščiau aprašyti trūkumai.

Yra žinomi ir sudėtingesnės konstrukcijos daugiacylinčiai (ar daugelio darbo kamerų) Stirlingo ciklo įrenginiai, kuriuose naudojami vožtuvai ar kitokie techniniai

elementai, sukuriantys vienkrypčius darbo agento srautus. Tokiais atvejais vietoje šiluminės talpos regeneratorių gali būti panaudoti tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai (kartais vadinami rekuperatoriais), kuriuose vieno kanalo darbo agento šiluminė energija tiesiogiai perduodama kito - priešsorvio - kanalo darbo agentui. Šių regeneratorių neigiama įtaka Stirlingo ciklo įrenginiui gali būti žymiai mažesnė negu šiluminės talpos regeneratorių. Tokio techninio sprendimo pavyzdys yra patente FR 2935155, 2008.08.22 «Machines à piston rotatif annulaire trilobique avec cycles thennodynamiques de Stirling» ("Termodinaminio Stirlingo ciklo mašinos su sukiuoju žiediniu triskilčiu stūmokliu"). Nepaisant panaudoto pranašesnio regeneratoriaus, toks įrenginys su vienkrypčių darbo agento srautų formavimu praranda esminį tradicinių Stirlingo įrenginių pranašumą - bevožtuvę struktūrą (ar be kitaip perjungiamų darbo agento kanalų), tačiau panaudotas tiesioginės šilumokaitos regeneratoriums yra šio išradimo artimiausias analogas.

#### Išradimo esmė

Išradimo esmę sudaro tai, kad daugiacylin driame Stirlingo ciklo įrenginyje darbo agento kanalai, jungiantys skirtingų temperatūrų kintamo tūrio darbo kameras, sugrupuoti poromis taip, kad vienos poros kanaluose tuo pat metu (sinchroniškai) srūva priešingos krypties darbo agento srautai, vykstant priešingo temperatūros kitimo izochoriams procesams atitinkamų šiais kanalais sujungtų darbo kamerų komplekte. Tarp kiekvienos tokios poros kanalų įrengiami šilumokaitos elementai, sudarantys tiesioginės šilumokaitos regeneratoriums, savo konstrukcija ir veikimo principu besiskiriančius nuo naudojamų Stirlingo ciklo įrenginiuose šiluminės talpos regeneratorių. Tiesioginės šilumokaitos regeneratoriums gali būti gaunamas mažesnis pasipriešinimas darbo agento srautui (mažesnis slėgio kritimas), mažesnis nekintamas tūris, mažesnis išilginis šilumos laidis, paprastesnė ir pigesnė konstrukcija, tuo pačiu grąžinant didesnę dalį šiluminės energijos. Taip pasiekiamas techninis rezultatas - aukštesnis termodinaminis ciklo naudingumo koeficientas, efektyvesnis daugiacylin dris Stirlingo ciklo įrenginys ir jo veika.

#### Trumpas brėžinių aprašymas

Figūroje 1a pavaizduota įprastinio daugiacylin drijo (keturių cilindrų) Stirlingo ciklo įrenginio su šiluminės talpos regeneratoriums konstrukcijos schema, o figūroje 1b - analogiško įrenginio su sugrupuotais poromis kanalais, tarp kurių įrengti tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai.

Figūroje 2 pavaizduota daugiakamerės (daugiacilindrės) laisvų svyruojančių mentinių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginio konstrukcijos schema, kai mentiniai stūmokliai tiesiogiai sujungti su švytuojamųjų sukiųjų elektros mašinų rotoriais, o tarp atitinkamų Stirlingo šiluminės mašinos kanalų porų įrengti tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai.

#### Išradimą apibūdinantys duomenys

Tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai įrengiami daugiacilindriame Stirlingo ciklo įrenginyje, kurio įprastinės konstrukcijos schema pavaizduota Fig. 1a. Įrenginys susideda iš keturių cilindrų su dvipusės veikos stūmokliais, suformuojančias aštuonias kintančio tūrio darbo kameras 1 ir 1', 2 ir 2', 3 ir 3', 4 ir 4' (atitinkamai keturiuose cilindruose). Paeiliui sunumeruotų stūmoklių periodinio judesio fazės skiriasi ketvirčiu periodo, tokį periodinį judesį sukuriant alkūninio veleno mechanizmu (kaip pavaizduota Fig. 1a) ar kitokiomis priemonėmis. Kiekvienos elementarią alfa tipo Stirlingo mašiną atitinkančios darbo kamerų poros (1-2', 2-3' ir t.t.) sujungimo kanale įrengtas šiluminės talpos regeneratorium, kuriame darbo agento srautas periodiškai keičia kryptį.

Vietoje įprastinių šiluminės talpos regeneratorių įrengiant tiesioginės šilumokaitos regeneratorium, aukščiau išvardytas darbo kamerų poras jungiantys kanalai sugrupuojami, kaip tai parodyta Fig. 1b - kanalai išvesti iš vienodos temperatūros darbo kamerų, kurių kitimo fazės skiriasi puse periodo, sudaro vieną porą. Vienos grupės kanaluose izochorių procesų atitinkamose elementariose Stirlingo mašinose metu darbo agentas cirkuliuoja priešingomis kryptimis, kaip tai parodyta rodyklėmis Fig. 1b. Įrengus tarp šių kanalų šilumokaitos elementą (t.y., bet kurios konstrukcijos tiesioginės šilumokaitos regeneratorių), minėtų izochorių procesų metu tarp kanalų perduodama šiluminė energija  $W_r$ , taip realizuojant regeneracinį termodinaminį ciklą. Apibendrintai nurodytas Fig. 1b stūmoklių judesio įrenginys sukuria paeiliui sunumeruotų stūmoklių periodinio judesio ketvirčio periodo fazės skirtumą (kaip ir Fig. 1a šiluminėje mašinoje).

Analogiškai tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai įrengiami ir laisvų svyruojančių mentinių stūmoklių Stirlingo ciklo įrenginyje, pavaizduotame Fig 2. Čia panaudoti du šiluminių mašinų 5 ir 5', veikiančių su švytuojamosiomis sukiosiomis elektros mašinomis 6 ir 6', komplektai. Taip suformuojamos aštuonios kintamo tūrio darbo kameros (kaip ir Fig. 1 tiesiaiegių stūmoklių šiluminėje mašinoje). Toks

Stirlingo ciklo įrenginys ir jo tiesioginės šilumokaitos regeneratoriai veikia identišškai, kaip ir Fig. 1b tiesiaeiğių stūmoklių įrenginys.

Analogišškai aprašytiems atvejams šilumokaitos regeneratoriai gali būti įrengiami ir kitokios konstrukcijos daugiacylinđriuose Stirlingo ciklo įrenginiuose, kai yra ne mažiau kaip dvi poros darbo kamerų.

Turinčių aukščiau minėtų pranašumų tiesioginės šilumokaitos regeneratorių panaudojimas vietoje šiluminės talpos regeneratorių leidžia pasiekti aukštesnius daugiacylinđrio Stirlingo ciklo įrenginio darbo rodiklius, supaprastinti, atpiginti įrenginį. Tokie įrenginiai gali būti naudojami kaip varikliai (ypač kogeneracinių kompleksų, tiekiančių elektros ir šiluminę energiją), kaip šaldytuvai, kondicionieriai, šilumos siurbļiai, kriogeniniai aparatai.

**Išradimo apibrėžtis**

1. Daugiacilindrio Stirlingo ciklo įrenginio tiesioginės šilumokaitos regeneratoriums, įrengtas kintamo tūrio darbo kamerų jungiamuosiuose kanaluose, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kanalai išvesti iš vienodos temperatūros darbo kamerų, kurių kitimo fazės skiriasi puse periodo, sugrupuoti poromis, o tarp kiekvienos grupės kanalų įrengti šilumokaitos elementai, galintys perduoti vieno kanalo darbo agento srauto šiluminę energiją kito kanalo darbo agento srautui.

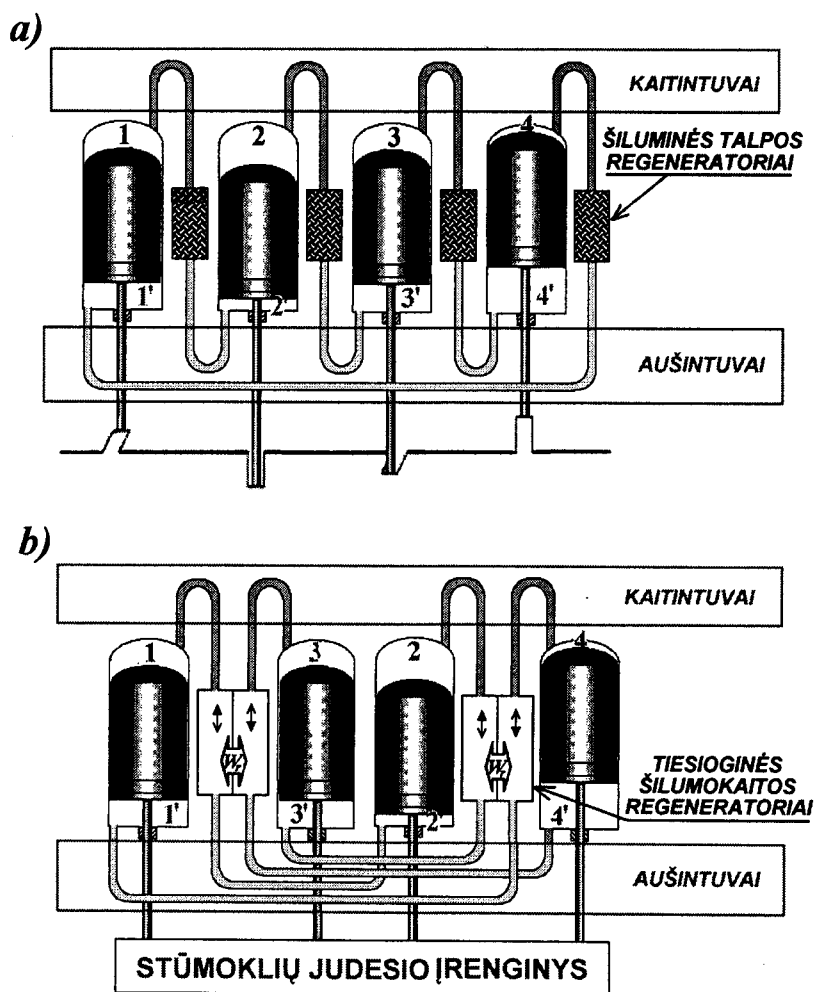


Fig. 1

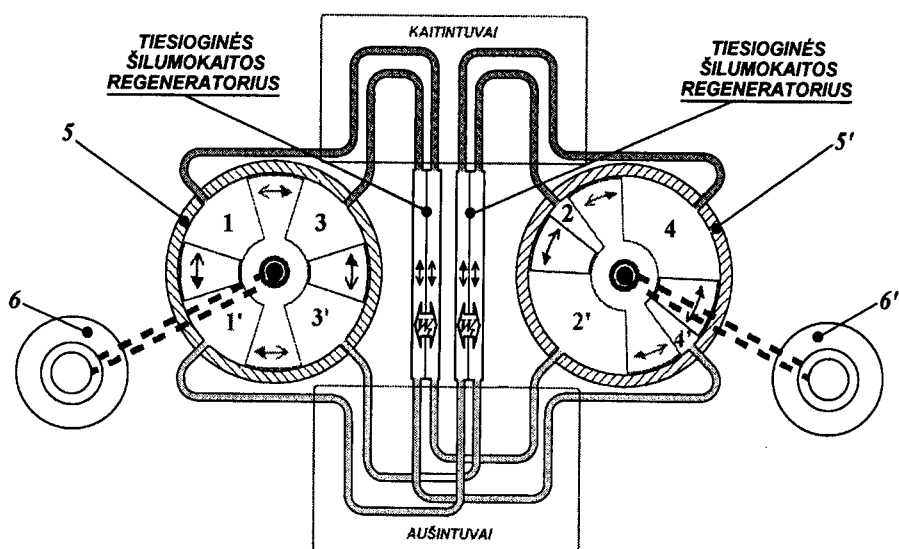


Fig. 2