
Stirlingo ir Viulemje šiluminių mašinų kietam kurui plėtra

**Laimonas Narbutas,
Simonas Narbutas**

*Kauno technologijos universitetas,
Šilumos ir atomo energetikos katedra,
K. Donelaičio g. 20,
LT-3000 Kaunas*

Straipsnyje pateikti Stirlingo variklio eksperimentų ir teorinio tyrimo rezultatai. Eksperimentinis elektra kaitinamas Stirlingo variklis buvo modifikuotas, pritaikytas darbui su gamtinėmis dujomis ir išbandytas. Numatyta jį išbandyti su biodujomis, todėl sukonstruota ir bandoma biokuro dujofikavimo sistema. Taip pat pateikiamos naujos Stirlingo variklių ir Viulemje šilumos siurblių techninio sprendimo koncepcijos. Viulemje šilumos siurbliui panaudotas svyruojantis diskinis korpusas su periferijoje išdėstytais cilindrais. Atliktas tokios schemos teorinis tyrimas.

Raktažodžiai: biomasė, kieto kuro dujofikavimas, mikrotermofikacinė jėgainė, Stirlingo šilumos variklis, Viulemje šilumos siurblys

1. ĮVADAS

Madrido Deklaracija, pasirašyta 1994 m., bei 1997 m. išplatinta Baltoji knyga ragina Europos Bendrijos šalis plačiau naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius (AES). Lietuvos nacionalinėje energijos vartojimo efektyvumo didinimo programoje [1], kuri įgyvendinama nuo 1992 m. (patikslinta 1996 m.), taip pat numatyta plėtoti AES. Viena šios programos krypčių – labiau naudoti biomasę (medienos, durpių, šiaudų, energetinių augalų, organinių atliekų) kaip vietinį kurą. Biokuras ne tik leidžia importuoti mažiau kuro, bet ir yra ekologiškas, o dar svarbiau – jį naudojant, ypač rajonuose, sukuriama darbo vietų.

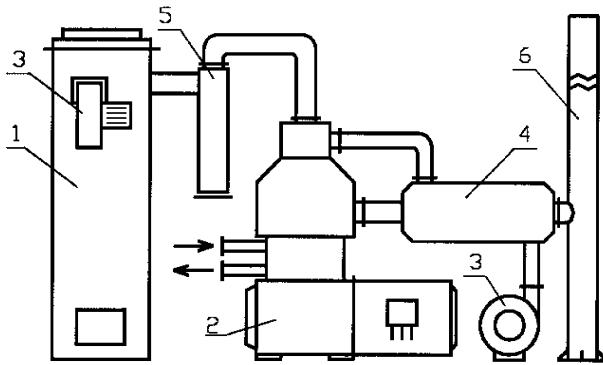
Lietuvoje yra nemaži biomasės ištekliai [2], tačiau didžioji jos dalis panaudojama neefektyviai. Biomasė, kaip ir įprastinis kuras, kur kas efektyviau gali būti panaudojama termofikacinėse jėgainėse, nei kondensacinėse elektrinėse ar paprastose katilinėse. Kartu gaminant elektrą ir šilumą atsiranda galimybė mažinti pirminės energijos sąnaudas, palyginti su atskira elektros ir šilumos gamyba. Termofikacijos prasme Lietuva labai atsilieka nuo kitų Vakarų Europos šalių, todėl čia yra didelis potencialas ne tik mini- bei mikro-, bet ir didesnės galios jėgainių statybai [3].

Efektyviam biomasės panaudojimui šiuo metu pasaulyje skiriama ypač daug dėmesio. Atliekami plataus masto tiriamieji darbai biokuro pirolizės, dujofikavimo srityse. Kuriamos ir diegiamos eksperimentinės – pavyzdinės biotermofikacinės jėgainės [4], skirtos ne tik stambiems, bet ir smulkiems vartotojams: nedideliems ūkiams, įstaigoms, visuomeniniams

pastatams, netgi individualiems namams. Mikrotermofikacinių jėgainių technologijų nėra daug, o viena jų yra Stirlingo šilumos variklio panaudojimas. Tokio tipo mikroelektrinės šiuo metu yra vienos perspektyviausių. Kelios dešimtys firmų ir tyrimų institutų pasaulyje užsiima šios technikos plėtra. Sparčiai plėtojami ir Viulemje šilumos siurbliai, kurie įgalina gauti iki pusantro karto daugiau šilumos, nei paimama iš kuro. Minėtos Stirlingo ir Viulemje mašinos priskiriamos regeneracinių šiluminių mašinų klasei. Nemažo įdirbio šių mašinų plėtros srityje pasiekta ir Lietuvoje.

2. STIRLINGO TIPO VARIKLIO EKSPERIMENTINIAI IR TEORINIAI TYRIMAI

Kauno technologijos universitete (KTU) specialistai tobulina biokuro veikiančios mikrotermofikacinės jėgainės projektą, kuriame panaudotas kieto kuro dujofikavimo procesas. Šis procesas yra žinomas ir naudotas seniai. Jau prieš Antrąjį pasaulinį karą miestai buvo aprūpinami generatorinėmis dujomis, gautomis dideliuose dujų generatoriuose. Vokietijoje netgi lengvosios mašinos buvo sukonstruotos su dujų generatoriais. Siekiant plačiau naudoti biokurą, pastaruoju metu vėl susidomėta šiuo procesu. Kieto kuro dujofikavimo metu gautos degios dujos gali būti panaudotos įvairių tipų šiluminiuose varikliuose. Pastarieji gali būti instaliuoti termofikacinėse jėgainėse. Plėtojamos biojėgainės schema parodyta 1 paveiksle. Šios sistemos pagrindiniai komponentai yra dujų generatorius ir Stirlingo šilumos variklis. Be šių pagrindi-



1 pav. Biomikrotermofikacinės jėgainės principinė schema. 1 – dujų generatorius, 2 – Stirlingo variklis, 3 – oro ventiliatoriai, 4 – šilumokaitis, 5 – ciklonas, 6 – kaminas

nių komponentų, sistemoje yra ir kita įranga: pirminio ir antrinio oro ventiliatoriai, šilumokaičiai, ciklonas, kaminas, automatikos blokas.

Dujų generatoriuje kietosios fazės biomasė (medis, durpės) yra dujofikuojama ir gaunamos degiosios dujos [5, 6]. Dujofikavimo procesas vyksta esant atitinkamoms degimo sąlygoms, trūkstant oro. Iš medienos gaunamų biodujų procentinė sudėtis tūrio dalimis pateikta 1 lentelėje. Komponentų sudėtis šiek tiek kinta, nes pats procesas nėra visiškai tolygus. Iš 1 kg 20% drėgnumo medienos gaunama apie 2,3 nm³ biodujų. Biodujų kaloringumas kinta nuo 4000 iki 5000 kJ/nm³. Generatoriuje gautos biodujos yra nukreipiamos į Stirlingo variklio degimo kamerą, kurioje biodujos sumaišomos su atitinkamu oro kiekiu ir visiškai sudeginamos. Energijų srautai termofikacinėje jėgainėje pasiskirsto maždaug taip: 100% – pirminė kuro energija, 25–35% – pagaminama elektros energija, 65–55% – pagaminama šilumos energija, 15% – šilumos ir kiti nuostoliai. Be Stirlingo variklių, minitermofikacinėse jėgainėse gali būti panaudoti vidaus degimo varikliai arba nedidelės galios dujų turbinos, tačiau šiuo atveju gautos generatorinės dujos turi būti gerai išvalomos nuo dervų ir suodžių papildoma valymo įranga. Jau sukonstruota biomasės dujofikavimo sistema, kuri šiuo metu sėkmingai bandoma su vidaus degimo varikliu. Daug dėmesio skiriama Stirlingo variklio tyrimams.

Stirlingo variklis, skirtingai nei vidaus degimo variklis, yra išorinio kaitinimo. Kuras ir jo degimo produktai į cilindrus nepatenka, o per šilumokaitį perduodama tik šiluma variklio darbo agentui – dujoms (H₂, He arba oras). Šios dujos besiplėsdamos ir at-

lieka teigiamą darbą. Iš to seka keletas šio variklio privalumų, kodėl jis tinka mikrotermofikacinėms jėgainėms.

Galimybė naudoti bet kokį kurą: kietą, skystą arba dujinį. Šie varikliai gali veikti ir panaudojant saulės kolektorius, kurie sutelkia šilumą į variklio šilumokaitį. Ekologiškas, nes kuras deginamas tolygiai su sureguliuoto oro pertekliumi, taip pat panaudojama vietinė degimo produktų recirkuliacija, o tai sumažina toksinų emisiją.

Tylus veikimas, nes variklis yra uždara sistema ir nėra staigaus dujų išsiplėtimo iki atmosferos slėgio.

Dideli išteklių – iki 40000 valandų, netgi be tepimo sistemos.

Nemažas efektyvumas – iki 35%, netgi esant mažam galingumui.

KTU Šilumos ir atomo energetikos katedroje pratęsti Stirlingo variklio tiriamieji darbai, kurie buvo vykdyti Lietuvos energetikos institute (LEI). Iki 1991 m. LEI (tuo metu Fizikinių-techninių energetikos problemų institutas) buvo ilgą laiką atliekami šių variklių tiriamieji darbai. Tam tikslui buvo sukurta ir sukonstruotas ne vienas variklis. Vienas jų – tai 5 kW galingumo variklis (2 pav.), kuriuo ir buvo pratęsti darbai 1998 m.

LEI šis variklis buvo išbandytas su elektra kaitinamu kaitintuvu. 2 lentelėje pateikti atliktų eksperimentų rezultatai. KTU šis variklis buvo modifikuotas ir išbandytas su gamtinėmis dujomis kaitinamu kaitintuvu.

2 lentelėje pateiktų tyrimų rezultatai gauti esant 60° fazės kampui. Variklio charakteristikoms nustatyti esant kitiems fazės kampams naudojamos Stir-



2 pav. Stirlingo variklis A-254 su gamtinių dujų degikliu

1 lentelė. Medienos biodujų procentinė sudėtis tūrio dalimis					
CO	H ₂	CH ₄	N ₂	CO ₂	O ₂
21	16	2,5	50	9	1,5

Nr.	Kaitintuvo t-ra °C	Šaldytuvo t-ra °C	Dažnis aps./min.	He slėgis MPa	Galia kW	Naudingumo koeficientas %
1	620	20	1300	4,4	2,2	25
2	620	20	1460	5,4	3,2	23
3	630	20	1400	5,4	3,15	22
4	700	20	1320	4,5	2,9	26

lingo ciklo kvazistacionarinė ir adiabatinio ciklo su šilumokaičių įvertinimu skaičiavimo programos [7]. Adiabatinio ciklo skaičiavimo su šilumokaičių įvertinimu modelis neįvertina dujų temperatūros kitimo mašinos elementuose. Tačiau prie šio modelio prijungus šilumos mainų ir hidraulinių pasipriešinimų šilumokaičiuose įvertinimą, galima pakankamu tikslumu apskaičiuoti galingumą ir kiek prasčiau efektyvumą. Kvazistacionarinis skaičiavimo modelis skaičiuoja tiksliau ir geriau įvertina pagrindinius Stirlingo ciklo ypatumus. Šiame modelyje įvertinamas temperatūrų kitimas visuose šilumos mašinos elementuose. Šio modelio skaičiavimo tikslumas buvo patikrintas apskaičiavus variklio A-254 charakteristikas. Skaičiavimui panaudotos variklio A-254 geometrinės charakteristikos [8], o režimai atitiko eksperimentinių tyrimų režimus (2 lentelė). Skaičiavimų esant 60 ir 90° fazės kampams rezultatai pateikti 3 lentelėje.

2 lentelėje pateikta elektros generatoriaus galia. Įvertinę variklio mechaninio ir elektros generatoriaus naudingumo koeficientus (pataisos koeficientas apie 0,85), esant 60° fazės kampui, gauname apskaičiuotas ir eksperimentiniu būdu gautų galios reikšmių atitikimą. Perskaičiavę galią ir efektyvumą esant 90° fazės kampui, gavome atitinkamai 1,413 ir 1,222 pervedimo koeficientus, kurie praktiškai sutampa su kitų autorių pateikiamais duomenimis. Atliktas skaičiavimas rodo gerą matematinio modelio galingumui skaičiuoti tikslumą. Apskaičiuotos efektyvumo reikšmės už eksperimentiniu būdu gautas reikšmes yra 30% didesnės. Eksperimento reikšmės buvo gautos iš elektrinės galios. Čia taip pat galėjo būti netikslumas dėl mechaninio ir elektrinio generatoriaus naudingumo koeficientų neįvertinimo. Čia pavartojus koeficientą 0,85, efektyvumo neatitikimas sumažėtų iki 15%.

Eilės Nr.	Galia W, kai $\alpha = 60^\circ$	Galia W, kai $\alpha = 90^\circ$	η , kai $\alpha = 60^\circ$	η , kai $\alpha = 90^\circ$
1	2498	3697	0,3609	0,4375
2	3482	5133	0,3592	0,4339
3	3420	4352	0,3656	0,4764
4	3048	4352	0,4072	0,4764

Tęsiant darbus KTU buvo atliktos kai kurios šio variklio modifikacijos:

1) Variklio alkūninio veleno fazės kampas pakeistas nuo 60 iki 90° fazės kampo, nes, atlikus skaičiavimus su matematinio modeliu, buvo nustatyta, kad pakeitus fazės kampą galingumas turėtų padidėti 1,5 karto, o efektyvumas

1,25 karto.

2) Variklio darbo agento elektrinis kaitintuvas pakeistas dujiniu kuru kaitinamu kaitintuvu. Kaitintuvo vidaus geometrija išlaikyta ta pati, t. y. vamzdelių skaičius, vidinis skersmuo ir ilgis tokie, kaip ir elektriniame kaitintuve. Skirtingai nuo elektrinio kaitintuvo, dujinis kaitintuvas turi prilituotas briaunas ant antros eilės vamzdelių. Briaunos prilituotos prie vamzdelių tuo pačiu metu, kai vamzdeliai buvo lituojami prie cilindro ir regeneratorių lizdų. Šios briaunos tolygiai paskirsto šilumos mainus tarp pirmos ir antros vamzdelių eilių, nes degimo produktai prieš pirmąją eilę yra keliais šimtais laipsnių karštesni, nei prieš antrąją.

3) Permontuoti šaldytuvo vamzdeliai, regeneratoriaus įkrovų tinkleliai, stūmoklių žiedai ir stūmoklių kotų sandarintuvai. Darbo eigoje sukurta nauja sandarintuvo konstrukcija su užsiveržiančiais elementais.

4) Ant variklio sumontuota degimo kamera su degikliu ir oro šildytuvu. Kuro ir oro mišinys dega virš kaitintuvo. Degimo produktai, atiduodami šilumos dalį, prateka pro abi kaitintuvo vamzdelių eiles ir patenka į žiedinio oro šildytuvo vamzdelius. Tekėdami vamzdelių vidumi, degimo produktai dalį likusios šilumos atiduoda vamzdelius aptekančiam šaltam orui ir jį pašildo. Tokiu būdu degimo produktai iš oro šildytuvo išteka atvėsę, o oras pašildomas iki 600–700°C. Dėl tokio karšto oro stabilizuojasi fake las ir geriau sudega dujos, todėl oro pertekliaus koeficientas gali būti sumažintas, o tai turi įtakos ir iš oro koncentracijos susidarantių azoto oksidų kiekiui sumažėjimui.

5) Sumontuota variklio tepimo sistema.

6) Darbo agentu vietoje helio pasirinktos gero kai pigesnės dujos – azotas.

Šis variklis užvedamas starteriu nuo akumuliatoriaus. Dirbant kartu su elektros tiekimo sistema variklis būtų užvedamas elektros generatoriumi, perjungtu į variklio režimą. Taip išvengiama generatoriaus ir elektros tinklų sudėtingo sinchronizavimo, kuriam reikalinga speciali aparatūra. Užsivedus Stirlingo varikliui, generatorius sinchronizuojasi. Tačiau variklis, nesujungtas su elektros tinklu, buvo užvedamas starteriu. Modifikuotas variklis buvo užvestas gamtinių dujų degikliu. Jis stabiliai dirbo esant 5,5 MPa darbinių dujų – azoto slėgiui. Atliekant eks-

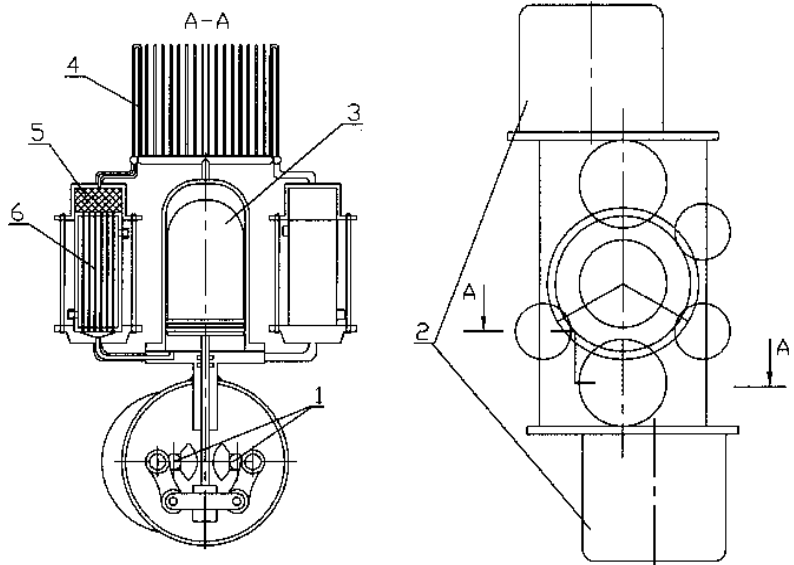
perimentus su elektra kaitinamu varikliu, kai darbo agentas buvo helis, stabiliam variklio darbui pakakdavo 4 MPa slėgio. Tai rodo, kad azotui perpūsti per šilumokaičius sunaudojama daugiau energijos. Siekiant išvengti šių nuostolių, Stirlingo varikliuose yra geriau naudoti helį arba net vandenilį. Šios dujos yra nepalyginamai brangesnės už azotą ar argoną, todėl Stirlingo varikliuose labai svarbu išspręsti sandarinimo problemas, kad nutekėtų darbinės dujos.

3. KONCEPTUALŪS REGENERACINIŲ ŠILUMINIŲ MAŠINŲ SPRENDIMO BŪDAI

Regeneracinėms šiluminėms mašinoms (Stirlingo varikliui bei Viulemje siurbliui) su alkūniniu-švaistikliniu mechanizmu būdingos dujų sandarinimo, apkrautų kinematinių porų tepimo ir mechaninės sistemos naudingumo koeficiento problemos. Mašinose su laisvai švytuojančiais stūmokliais pagrindinės yra stūmoklių ir procesų valdymo ryšio problemos. Atlikta nuodugni užsienio mokslinių darbų analizė parodė, kad netgi galingos laboratorijos nelengvai išsprendžia šias problemas. Klasikiniais sprendimo būdais, tokiais kaip stūmoklių kotų sandarinimas ar rombino mechanizmo panaudojimas, neišsprendžiamos visos problemos, todėl ieškoma naujų sprendimo variantų. Labai įdomių sprendimų pasiūlė profesorius H. Carlsen iš Danijos technikos universiteto [4], kurie gana sėkmingai realizuojami. Įdomių sprendimų pateikė daugelis kitų mokslininkų. Galima teigti, kad kiekviena laboratorija ar firma turi savitą sprendimo variantą, kurį beje yra užpatentavusios.

Plėtodami regeneracines mašinas, straipsnio autoriai yra sukūrę keletą koncepcinių modelių. Vienas jų – tai nuosekliai sujungtas Stirlingo variklis (3 pav.).

Variklis yra alfa tipo su nuosekliai per šilumokaičius (4, 6) ir regeneratorių (5) sujungtais cilindrais. Karštieji šilumokaičiai (4) suformuoja cilindro formos degimo kamerą. Stūmoklių (3) kotai per kryžmę ir du švaistiklius yra sujungti su dviem lygiagrečiais alkūniniais velenais (1). Abu alkūniniai velenai yra prijungti prie atskirų elektros generatorių (2). Tokio tipo mechanizme abu alkūniniai velenai yra vienodai simetriškai apkraunami, todėl eliminuojamos stūmoklių ir kotų veikiančios šoninės jėgos. Be to, jėgos, vienodai veikiančios abu velenus, juos sinchronizuoja, todėl nereikia naudoti krumpliaračių. Panaudojus suteptus adatinis guolius, mechanizmas ga-



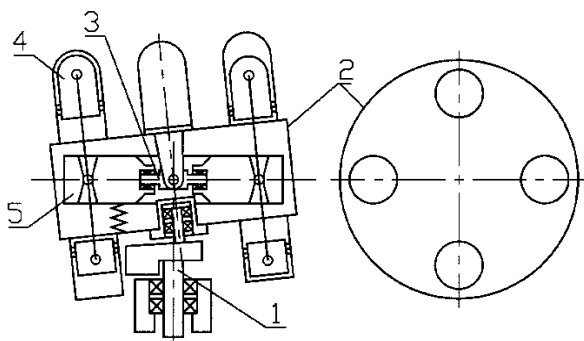
3 pav. Stirlingo variklio schema. 1 – alkūniniai velenai, 2 – elektros generatoriai, 3 – stūmokliai, 4 – kaitintuvai, 5 – regeneratoriumas, 6 – aušintuvas

li dirbti be specialios tepimo sistemos. Variklio korpusas ir generatorių korpusai yra hermetiški, todėl išvengiama darbinės dujų nutekėjimo.

Kita koncepcija (4 pav.) – tai iš esmės naujas regeneracinių šiluminių mašinų veikimo būdas [9], pagrįstas tuo, kad Z formos veleno (1) pagalba svyruojantis diskinis korpusas kartu su cilindrais (2) svyruoja erdvėje apie centro tašką (3), o stūmokliai (4), sujungti su inercine mase (5), stovi. Apskritimu ant svyruojančio korpuso išdėstyti įvairūs cilindrai amplitudės maksimumo ir minimumo taškus pasiekia skirtingu laiku, proporcingu nagrinėjamų cilindro išdėstymo kampui. Kadangi mašinos stūmokliai stovi, dėl visų cilindro nuosekliai perėjimo per tas pačias padėtis atitinkamai keičiasi ertmės cilindruose virš stūmoklių ir po jais. Sujungus cilindro ertmes šilumokaičiais Stirlingo, Viulemje arba termokompresorinėms mašinoms reikalingais kampais, realizuojami atitinkami termodinaminiai ciklai. Ši mašina gali pasiteisinti naudojant mažo kaloringumo kurą. Kaitintuvų vamzdeliams vibruojant degimo produktų sraute gerokai padidėja degimo produktų atstojamasis greitis vamzdelių atžvilgiu, todėl padidėja ir šilumos mainai. Be to, vibracija apsaugos vamzdelius nuo nešvarumų.

Viulemje siurbliui konstruoti iš Danijos technikos universiteto profesoriaus H. Carlseno gavome eksperimentinio Viulemje šilumos siurblio [10] visus rezultatus ir juos bandėme panaudoti naujoje konstrukcijoje. Tačiau kuriant naują konstrukciją iškilo papildomų klausimų.

Pirmas neaiškus klausimas buvo dėl didesnio bendro tūrio, nes šioje konstrukcijoje atstumas tarp



4 pav. Nauja regeneracinių šiluminių mašinų konstravimo koncepcija, paremta svyruojančio disko principu. 1 – Z formos velenas, 2 – korpusas su cilindrais, 3 – kryžmė, 4 – stūmokliai, 5 – inercinė masė

stūmoklių yra didesnis ir dėl jungiamojo vamzdžio pailginimo šis tūris padidėja beveik 20%.

Antras neaiškus klausimas buvo dėl fazės kampo poveikio šiluminės mašinos našumui ir efektyvumui. Prof. H. Carlseno šilumos siurblys turi 90° fazės kampą, o mūsų konstrukcijoje panaudojus tokį fazės kampą, t. y. slėgio kitimą panaudojantį cilindrą pastatčius slėgį keičiančio cilindro atžvilgiu 90° kampu, cilindrus jungiantis vamzdis labai pailgėja, o kartu padidėja bendras mašinos tūris ir sumažėja slėgio svyravimas bei šalčio ir šilumos našumai.

Ypač sunkus klausimas iškilo dėl stūmoklių inercijos jėgų ir šilumokaičių hidraulinių pasipriešinimų sąveikos, nes jei helio hidraulinis pasipriešinimas būtų didesnis už stūmoklių inercijos jėgas, pastarieji neišvengiamai pradėtų judėti ir daužytis į cilindrų dugnus.

Atsakymams į visus šiuos klausimus gauti panaudojome Viulemje ciklo skaičiavimo programą (autorius fizikas Virgilijus Kralikauskas). Ši programa pirmiausia buvo suderinta naudojant prof. H. Carlseno duomenis ir eksperimentinius rezultatus, kol esant 90° fazės kampui gavome pakankamai gerą sutapimą su eksperimentiniais duomenimis. Tada apskaičiavo-

me šilumos siurblio charakteristikas, kai fazės kampai įvairūs. Skaičiavimų rezultatai pateikti 4 lentelėje. Lentelėje prie 60, 90 ir 120° fazės kampų skliausteliuose pateiktos šildymo ir šaldymo transformacijos koeficientų reikšmės.

Atsakant į trečią klausimą, ar stūmoklių inercijos jėgos atlaikys šilumokaičių hidraulinio pasipriešinimo jėgas, Stirlingo ciklo skaičiavimo kvazistacionariu modeliu prof. H. Carlseno šilumos siurblio VP-2 kiekvienam cilindru nustatėme šilumokaičių hidraulinio pasipriešinimo kitimą. Gavome, kad slėgio kitimą nustatančiame cilindre šilumokaičių hidraulinis pasipriešinimas yra 0,082, o slėgio svyravimą panaudojantiame cilindre – 0,046 MPa. Padauginę slėgio perkritį iš stūmoklio skerspjūvio ploto (VP-2 stūmoklio skersmuo 60 mm), gauname, kad stūmoklius veikia atitinkamai 23 ir 13 kg didžiausios helio hidraulinio pasipriešinimo jėgos.

Analizuojant jėgų sąveiką paaiškėjo, kad stūmoklių inercijos jėgos nuo hidraulinio pasipriešinimo jėgų skiriasi naudojamu fazės kampu. Hidraulinis pasipriešinimas būna didžiausias, kai dujos perpučiamos didžiausiu greičiu, o tuo metu atstojamasis pagreitis artimas nuliui ir galimas stūmoklio poslinkis net esant pakankamai jo masei. Todėl siekiant išvengti stūmoklių poslinkių, tikslinga stūmoklius mechaniškai arba hidrodinaminėmis jėgomis susieti tarpusavyje. Tada padidėja stūmoklių inercinis stabilumas, nes stūmoklių sistemą ciklo eigoje kintamos jėgos veikia iš priešingų pusių.

Minėtos koncepcijos leidžia išspręsti kai kuriuos regeneracinių mašinų konstravimo ypatumus, tačiau jas dar būtina patikrinti praktiškai. Įvairių koncepcinių sprendimų ieško ir kiti pasaulio mokslininkai, nes dar neapsistota ties „racionaliausiu“ sprendimu. Būtent specifiniai reikalavimai šioms mašinoms, tokie kaip darbinio agento aukštas slėgis ir temperatūra, darbinio agento ir tepalo atskyrimas, sandarinimas, iškelia nemažai problemų, kurias būtina atitinkamai išspręsti.

4 lentelė. Šilumos siurblio skaičiavimo rezultatai

Fazės kampas rad. (laipsniais)	Šilumokaičio (patalpoms šildyti) galia W, kai $t_2 = 55^\circ\text{C}$	Aukštatemperatūrio kaitintuvo galia W, kai $t_1 = 700^\circ\text{C}$	Šaldančio šilumokaičio galia W, kai $t_3 = 5^\circ\text{C}$
1,0 ($\cong 60^\circ$)	6617 (1,808)	3659	2958 (0,808)
1,2	7249	4120	3129
1,4	7616	4398	3217
1,5707 (90°)	7702 (1,725)	4466	3235 (0,724)
1,8	7487	4303	3184
2,0	7003	3942	3060
2,1 ($\cong 120^\circ$)	6666 (1,802)	3699	2966 (0,802)
2,2	6275	3426	2849

4. IŠVADOS

1. Kauno technologijos universitete eksperimentinis Stirlingo variklis buvo pritaikytas darbui su gamtinėmis dujomis ir išbandytas.

2. Realizuojama mikrotermofikacinės jėgainės schema, naudojant kieto kuro dujofikavimo principą bei Stirlingo variklį, leis atsakyti į nemažai klausimų, susijusių su efektyviu biomasės panaudojimu.

3. Regeneracinių šiluminių mašinų tyrimų srityje sukaupta didelė patirtis įgalina plėtoti šias mašinas Lietuvoje kaip technologijai ir mokslui imlios produkcijos šaką.

Gauta
2001 11 22

Literatūra

1. Nacionalinė energijos vartojimo efektyvumo didinimo programa // Vilnius: Energetikos ministerija, 1996.
2. Savickas J., Kavaliauskas A. Biomasės naudojimo energetikos tikslams efektyvumo įvertinimas // Konf. „Šilumos energetika ir technologijos“. Kaunas: KTU, LEI, 2001. P. 415–420.
3. Lissauskas A., Tamonis M. Lietuvos termofikacinių elektrinių vaidmuo didinant pirminės energijos kuro efektyvumą // Konf. „Šilumos energetika ir technologijos“. Kaunas: KTU, LEI, 2000. P. 259–262.
4. Carlsen H. 40 kW Stirling Engine For Solid Fuel // ICSC'95. Tokyo, 1995. P. 353–358.
5. Гинзбург Д. Б. Газификация твердого топлива. Москва, 1957.
6. Коллерова Л. К. Газовые двигатели и газогенераторные установки. Москва, 1955.
7. Urieli I., Berchowitz D. M. Stirling Cycle Engine Analysis // Adam Hilger Ltd, Bristol.
8. Aleksandravičius T. A. Two-Cylinder Laboratory Stirling Engine and Some Results of Experimental and Theoretical Research // ICSC'95. Tokyo, 1995. P. 191–195.
9. Narbutas S. New Type of Stirling and Vuilleumier Cycle Machines // ISEC'97. Ancona-Italy, 1997. P. 241–244.
10. Carlsen H. Development of a New 20 kW Gas Fired Heat Pump Based on the Vuilleumier Cycle // Proc. 25th IECEC. Reno, 1990. Vol. 2. P. 223.

Laimonas Narbutas, Simonas Narbutas

DEVELOPMENT OF STIRLING AND VUILLEUMIER THERMAL MACHINES FOR SOLID FUEL

S u m m a r y

The results of experimental and theoretical investigations of Stirling engine are presented in the article. The experimental electrically heated Stirling engine was modified, adapted to work with natural gas and tested. It is foreseen to test it with biogas as the fuel and for this purpose a biofuel gasification system has been constructed and is under tests. Several new concepts of technical solutions of Stirling engines and Vuilleumier heat pumps are presented. An oscillating disc shape case with the cylinders situated in the periphery is applied for Vuilleumier heat pumps. A theoretical investigation of such construction is carried out.

Key words: biomass, solid fuel gasification, micro-power plant, Stirling thermal engine, Vuilleumier heat pump

Лаймонас Нарбутас, Симонас Нарбутас

РАЗВИТИЕ ТЕПЛОВЫХ МАШИН СТИРЛИНГА И ВЮЛЕМЬЕ ДЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Р е з ю м е

В статье представлены результаты экспериментального и теоретического исследования двигателя Стирлинга. Экспериментальный двигатель Стирлинга с электрическим нагревом был модифицирован в двигатель, нагреваемый природным газом, и испытан. В следующем этапе предвидено испытать его с биогазом, для чего построен газогенератор биомассы и сейчас проходит испытание. В статье представлены также новые конструктивные схемы двигателей Стирлинга и тепловых насосов Вюлемье. Для теплового насоса Вюлемье применен качающийся дискообразный корпус с цилиндрами, расположенными по периферии. Выполнено теоретическое исследование этой схемы.

Ключевые слова: биомасса, газификация твердого топлива, микротермофикационная установка, тепловой двигатель Стирлинга, тепловой насос Вюлемье