

PROCESŲ KIETO KURO KATILE MATEMATINIS MODELIAVIMAS

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES IN SOLID FUEL BOILERS

*Liudas Brazdeikis, **Algirdas Gilius

*LŽŪU Žemės ūkio inžinerijos institutas
Instituto 20, Raudondvaris, LT-54132 Kauno raj.
El. paštas: autlab@mei.lt

**KTU Architektūros ir statybos institutas
Tunelio 60, LT-44405 Kaunas
El. paštas: gilius@gilius.info

Gauta 2005-11-11, pateikta spaudai 2005-12-20

Modelis skirtas taikyti projektuojant ir tiriant kieto kuro dujų generavimo katilų galios (katilo vandens temperatūros) reguliatorius.

Katilo modeliui sudaryti taikoma šiluminių procesų elektroanalogija. Katilo elektroanaloginį modelį sudaro srovės šaltinis, modeliuojantis liekamąjį katilo šilumą, kai oras į pakurą priverstinai netiekiamas (ventiliatorius išjungtas); srovės šaltinis, modeliuojantis katilo galios kitimą, proporcingą ventiliatoriaus pučiamo oro debitui; srovės šaltinis, modeliuojantis katilo apkrovą; elektrinė talpa (kondensatorius), modeliuojanti katilo apibendrintą šiluminę talpą; vėlinimo linija, modeliuojanti katilo vandens temperatūros kitimo vėlavimą pučiamo oro kitimo atžvilgiu. Modelio rodikliams nustatyti atlikti 25 kW ir 31,5 kW vardinės galios katilų „Astra G“ eksperimentiniai tyrimai, kurių metu užregistruotos dvipoziciškai reguliuojamų (ventiliatorius įjungtas – išjungtas) katilų darbo charakteristikos esant skirtingos galios apkrovoms. Sudaryta metodika ir matematinės lygtys modelio rodikliams nustatyti. Apibrėžti šių rodiklių reikšmių intervalai. Modelio adekvatumui įvertinti sumodeliuotos katilų charakteristikos palygintos su eksperimentinėmis. Daroma išvada, kad sudarytasis modelis su nustatytomis modelio rodiklių reikšmėmis gali būti taikomas projektuojant ir testuojant 20-35 kW vardinės galios kieto kuro dujų generavimo katilų reguliatorius.

Kieto kuro katilas, dujų generavimas, reguliavimas, modeliavimas.

Ivadas

Kieto kuro katilai pagal kuro deginimo būdą būna viršutinio degimo, apatinio degimo ir dujų generavimo. Šiuolaikinėse vandeninėse šildymo sistemose, pasižyminčiose maža vandens talpa ir turinčiose prie radiatorių įrengtus termostatinis ventilius, ypač aktualia kieto kuro katilų savybe tampa galimybė reguliuoti galią ir galios reguliavimo intervalas. Kieto kuro katilų galia

reguluojama keičiant į degimo kamerą tiekiamo oro kiekį. Viršutinio degimo katilų galią reguliuoti sunkiausia, nes dega visas sukrauto kuro sluoksnis, pirminis degimui reikalingas oras tiekiamas į pakuros apačią, kur yra žarijos. Smarkiai mažinant tiekiamo oro kiekį didėja CO, suodžių ir nesudegusio kuro dalelių susidarymas. Katilas teršia aplinką ir teršiasi pats.

Apatinio degimo katiluose dega tik apatinis kuro sluoksnis, pirminis oras tiekiamas į pakuros viršų, kur degimas nevyksta. Mažinant tiekiamo oro kiekį šių katilų galią be žymesnio katilo darbo pabloginimo galima sumažinti iki 70 % vardinės galios [1].

Dujų generavimo katiluose išskirtos iš malkų ar kito kuro degiosios dujos sudeginamos specialioje degimo kameroje su papildomu, vadinamuoju antriniu, oru. Orui tiekti į šių katilų pakuras įrengiami orą pučiantieji arba dūmus ištraukiantieji ventiliatoriai. Ventiliatoriai dažniausiai reguliuojami automatiškai pagal katilo vandens temperatūrą. Dujų generavimo katilų mažiausia galia gali sudaryti 35-40 % vardinės galios [1]. Be to, šių katilų naudingo veikimo koeficientas 5-10 % didesnis už įprastų kuro tiesioginio deginimo katilų [1].

Dujų generavimo katilų oro tiekimui į pakurą reguliuoti naudojami arba paprasčiausi poziciniai (ventiliatorius įjungiamas-išjungiamas priklausomai nuo katilo vandens temperatūros), arba proporciniai (ventiliatoriaus našumas reguliuojamas proporcingai katilo vandens temperatūros nuokrypai nuo nustatytosios) arba sudėtingesni elektroniniai reguliatoriai, kurie ventiliatoriaus našumą dažniausiai reguliuoja PI (proporciniu-integraliniu) arba PID (proporciniu-integraliniu-diferencialiniu) dėsniu priklausomai nuo katilo vandens temperatūros ir jos kitimo [1-4].

Jeigu gaminant, derinant ir naudojant pozicinius ir proporcinis reguliatorius žinoti katilo dinamines charakteristikas nebūtina, tai optimaliai suderinti PI arba PID reguliatorių nežinant reguliuojamo objekto dinaminų charakteristikų dažniausiai nepavyksta. Papildomų sunkumų sudaro tai, kad kieto kuro katilo darbo režimas yra labai nepastovus ir labai priklauso nuo kuro kokybės, nuo kūrenimo fazės (įkūrimas, nusistovėjęs degimas, gėsimas) ir kitų faktorių. Todėl derinti reguliatorių jo naudojimo vietoje yra gana sudėtingas ir nemažų įgūdžių reikalaujantis darbas. Vartotojui geriausia, kad jau reguliatorių gaminant būtų nustatyti tokie rodikliai, kurie užtikrintų pakankamai gerą katilo darbą įvairiuose režimuose ir kurių eksploatacijos metu nereiktų keisti. Norint suprojektuoti ir jau gaminant suderinti tokį reguliatorių reikia turėti katilo kaip automatinio reguliavimo objekto matematinį modelį ir žinoti jo rodiklių kitimo intervalus.

Darbo tikslas – sudaryti kieto kuro dujų generavimo katilo matematinį modelį, pasiūlyti metodiką modelio rodikliams nustatyti bei apibrėžti modelio rodiklių reikšmių intervalus. Modelis turi būti patogus naudoti projektuojant ir tiriant kieto kuro katilų degimo reguliatorius.

Tyrimų metodika

Katilo modeliui sudaryti taikoma šiluminių procesų elektroanalogija [5]. Katilo elektroanaloginiame modelyje šiluminės talpas modeliuoja elektrinės talpos (elektriniai kondensatoriai), šilumos perdavimą – elektrinis laidis (rezistoriai), šilumos srautus – elektros srovės, o temperatūrą modeliuoja elektros įtampa. Modelyje akcentuojami tie katilo rodikliai, kurie svarbūs reguliuojant katilo degimą: į katilo pakurą pučiamo oro debitas, apkrovos galia, katilo vandens temperatūra ir jos kitimas. Modelyje nevertinami katilo degimo procesui mažesnę įtaką turintys ir katilų reguliatoriuose dažniausiai nekontroliuojami veiksniai: katilo šilumos nuostoliai į aplinką, pučiamo oro temperatūra, traukos svyravimai ir kt. Kadangi modelis pirmiausiai skirtas taikyti kuriant ir tiriant katilo degimo reguliatorius, modelis sudaromas ir jo rodikliai nustatomi nusistovėjusiam su nedideliais svyravimais katilo degimo režimui, nes būtent nusistovėjusiam režimui palaikyti ir atsirandantiems nedideliems nukrypimams kompensuoti pirmiausiai ir skiriamas katilo reguliatorius. Pereinamųjų katilo darbo režimų metu (katilą įkuriant ir katilui gęstant) reguliatorius dažniausiai pereina į ribinį režimą, kuriame katilo ventiliatorius dirba vardiniaisiais sūkiais ir į katilo pakurą tiekiamas didžiausias oro kiekis. Reguliatoriui perejus į ribinį režimą kai kurie, ypač dinaminiai, jo rodikliai tampa neaktualūs ir reguliatorius dirba specialiais katilo įkūrimo arba gesimo kontrolės algoritmais.

Modelio rodikliai nustatomi iš katilo darbą charakterizuojančių rodiklių (katilo vandens temperatūra, pučiamo oro debitas, apkrovos galia), užregistruotų katilui dirbant nusistovėjusio degimo režime, kai oro tiekimas į pakurą reguliuojamas dvipoziciniu (įjungta–išjungta) pučiančiojo ventiliatoriaus reguliatoriumi. Taip reguliuojant galima išlaikyti apytiksliai pastovią katilo galią ir gauti informacijos apie katilo dinaminis rodiklius: katilo vandens temperatūros didėjimo-mažėjimo greitis išjungus-išsijungus ventiliatoriui charakterizuoja katilo inertiškumą, o temperatūros didėjimo-mažėjimo vėlavimas ventiliatoriaus junginėjimosi atžvilgiu charakterizuoja katilo reguliavimo vėlinimą.

Bandomi AB mašinų gamykloje „Astra“ gaminami kieto kuro dujų generavimo katilai „Astra G-25“ ir „Astra G-31“ (šie modeliai populiariausi ir jų gaminama daugiausiai). Bandomų katilų pagrindiniai techniniai rodikliai [6] pateikiami 1 lentelėje.

Rodikliams registruoti naudojamas skaitmeninis registratorius KD-1 (firma „Lumel“). Registravimo dažnis 1 įrašas per minutę. Registruojant duomenis katiluose įrengtas reguliatorius KR-2, kuris savo esme yra proporcinis [6], pervestas į dvipozicinio reguliavimo režimą, jo išėjime prijungus relę su maždaug 1 s išsijungimo uždelsimu (naudojama nuolatinės srovės relė ir relės išsijungimą uždelsianti RC grandinė). Taip sudaromas dvipozicinis pučiamo oro reguliatorius su 2 °C reguliavimo histereze. Registruojama esant mažiausiai leistinai katilo apkrovai (reguliuojamas dujų generavimo katilas stabiliai dirba nuo 20-25 % vardinės galios, nors dėl padidėjančios taršos ir katilo smalavimosi

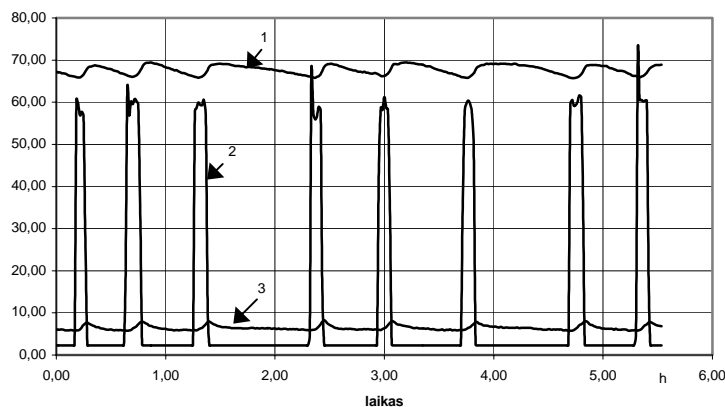
nerekomenduojama katilą kūrenti žemiau 35-40 % vardinės galios) bei esant apkrovai, artimai vardinei.

1 lentelė. Katilų „Astra“ pagrindiniai techniniai rodikliai.

Table 1. Main technical rates of boiler „Astra“.

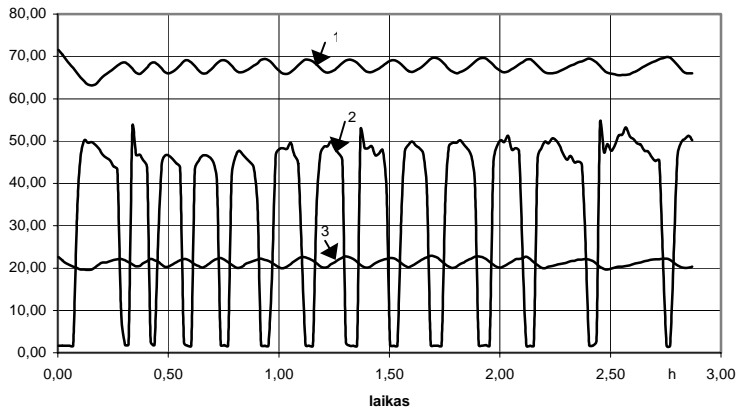
Rodiklio pavadinimas	Rodiklio reikšmė	
	G-25	G-31
Vardinis šiluminis našumas, kW	25	31,5
Vandens tūris katile, dm ³	78	85
Pakuros tūris, dm ³	120	140
Katilo vandens didžiausia temperatūra, °C	95	95
Malkų (drėgnis ne didesnis 20 %) sąnaudos, kg·kWh ⁻¹	0,34	0,34
Pučiantysis ventiliatorius:		
kintamoji įtampa, V	220	220
galia, W	21	21

Mažai apkrauto katilo „Astra G-31“ rodiklių grafikai parodyti 1 pav., o esant didesnei apkrovai – 2 pav. Iš užregistruotų duomenų suskaičiuota vidutinė apkrovos galia pirmuoju atveju buvo 6,44 kW, o antruoju 21,25 kW. Labiau padidinti apkrovą negalėjome dėl ribotos šilumai vartoti naudoto kaloriferio galios.



1 pav. Mažai apkrauto ($P_{V \text{ vid}} = 6,44 \text{ kW}$) katilo „Astra G-31“ charakteristikos: 1 – katilo vandens temperatūra, °C; 2 – pučiamo oro debitas, m³·h⁻¹; 3 – apkrovos galia, kW

Fig. 1. Characteristics of boiler „Astra G-31“ under low workload ($P_{V \text{ vid}} = 6.44 \text{ kW}$): 1 – water temperature in boiler, °C; 2 – blown air debit, m³·h⁻¹; 3 – workload capacity, kW



2 pav. Labiau apkrauto ($P_{V \text{ vid}} = 21,25 \text{ kW}$) katilo „Astra G-31“ charakteristikos: 1 – katilo vandens temperatūra, °C; 2 – pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – apkrovos galia, kW

Fig. 2. Characteristics of boiler „Astra G-31“ under higher workload ($P_{V \text{ vid}} = 21.25 \text{ kW}$): 1 – water temperature in boiler, °C; 2 – blown air debit, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – workload capacity, kW

Iš užregistruotų charakteristikų nesunkiai nustatomas katilo vandens temperatūros didėjimo ir mažėjimo greitis bei temperatūros kitimo vėlavimas ventiliatoriaus junginėjimosi atžvilgiu. Šiuos rodiklius galima nustatyti analitiškai suskaičiuojant temperatūros kitimo greitį tarp užregistruotos charakteristikos linkimo taškų bei suskaičiuojant vėlavimo trukmes tarp ventiliatoriaus junginėjimosi momentų ir charakteristikos atitinkamų linkimo taškų arba nustatyti grafiniu analitiniu būdu. Šiame darbe minėti rodikliai nustatomi grafiniu analitiniu būdu, atlikus užregistruotų grafikų temperatūros mastelio „perstūmimą“ taip, kad katilo vandens temperatūros ir oro srauto grafikai persidengtų.

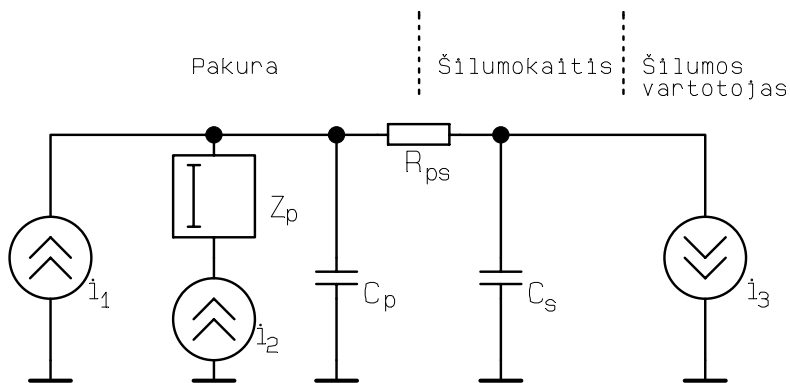
Analogiškai registruojamos katilo „Astra G-25“ charakteristikos ir nustatomi rodikliai.

Sudarius katilo modelį ir remiantis eksperimentinėmis charakteristikomis nustačius modelio rodiklius, sumodeliuojamas katilo darbas režimuose, pagal vidutinius rodiklius, atitinkančiuose eksperimentinių charakteristikų registravimo režimus. Modelio adekvatumas vertinamas pagal sumodeliuotų ir eksperimentinių charakteristikų pobūdžių vienodumą bei vidutinių rodiklių sutapimą.

Katilo elektroanaloginis modelis

Kieto kuro katile galima išskirti du stambius mazgus: pakurą, kurioje dega kuras ir į kurią tiekiamas degimui reikalingas reguliuojamas oro kiekis, bei šilumokaitį, kuriame degimo metu susidarantis šilumos srautas šildo vandenį, kuris

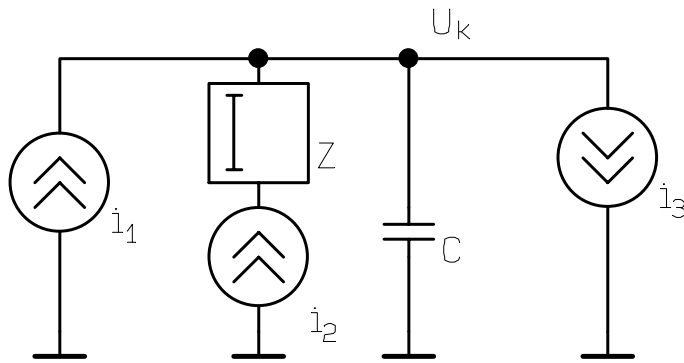
toliau tiekiamas šilumos vartotojams. Taip sąlyginai „padalinto“ katilo elektroanaloginis modelis parodytas 3 pav.



3 pav. Katilo elektroanaloginis modelis. i_1 – srovė, modeliuojanti liekamąjį katilo šilumą, kai oras į pakurą priverstinai netiekiamas (ventiliatorius išjungtas); i_2 – srovė, modeliuojanti katilo šilumą, sukuriama ventiliatoriaus tiekiamo oro; C_p – talpa, modeliuojanti degimo proceso inertiškumą; R_{ps} – varža, modeliuojanti šilumos perdavimą iš pakuros į šilumokaitį; C_s – talpa, modeliuojanti šilumokaičio inertiškumą; i_3 – srovė, modeliuojanti katilo šilumos vartojimą; Z_p – vėlinimo linija, modeliuojanti katilo šikūrimo–gesinimo vėlavimą junginėjantis ventiliatoriui

Fig. 3. Electro-analogical model of boiler: i_1 – current, which models the remaining boiler heat, when the air is not compulsory supplied (fan is off); i_2 – current, which models the heat of boiler supplied by air debit blown by fan; C_p – volume, which models the inertness of burning process; R_{ps} – resistance, which models the heat transition from furnace into boiler; C_s – volume, which models the inertness of boiler; i_3 – current, which models the boiler heat consumption; Z_p – delay line, which models the delay of lightning and extinguish of boiler, when ventilator is on and off

Nagrinėjant katilo galios reguliavimą keičiant pučiamo oro srautą tikslinga naudoti supaprastintą katilo modelį, kuriame neišskirtas šilumos perdavimas iš pakuros į šilumokaitį. Toks supaprastinimas priimtinas, kadangi realiuose katilų galios reguliatoriuose degimas pakuroje tiesiogiai nekontroliuojamas. Supaprastintas katilo elektroanaloginis modelis parodytas 4 pav.



4 pav. Supaprastintas katilo elektroanaloginis modelis. C – talpa, modeliuojanti reguliavimo kanalo „pučiamo oro kiekis – katilo vandens temperatūra“ inertiškumą; U_K – įtampa, modeliuojanti katilo vandens temperatūrą; Z – vėlinimo linija, modeliuojanti katilo vandens temperatūros reakcijos į ventiliatoriaus darbo pokyčius vėlavimą

Fig. 4. Simplified electro-analogical model of boiler: C – volume, which models inertness of control channel “amount of blown air – water temperature in boiler”; U_K – voltage, which models water temperature in boiler; Z – delay line, which models the delay of reaction of water temperature in boiler to the change of fan work

Elektroanaloginio modelio ir modeliuojamo katilo rodikliai susieti tokiomis priklausomybėmis:

$$i_1 = k_1 P_1 \quad , \quad (1)$$

čia: i_1 – srovė modelyje, A;
 P_1 – katilo pakuroje išsiskirianti galia, kW, kai oras į pakurą priverstinai netiekiamas (kai ventiliatorius išjungtas, katilas šyla nuo žarijų);
 k_1 – dimensijų perskaičiavimo koeficientas, $k_1 = 1 \text{ A} \cdot \text{kW}^{-1}$.

$$i_2 = k_1 k L \quad , \quad (2)$$

čia: i_2 – srovė modelyje, A;
 L – į pakurą pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$;
 k – katilo lyginamoji galia (katilo galios priklausomybės nuo pučiamo oro debito koeficientas), $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$i_3 = k_1 P_V \quad , \quad (3)$$

čia: i_3 – srovė modelyje, A;
 P_V – iš katilo vartojama galia, kW.

$$C = k_2 C_K, \quad (4)$$

čia: C – elektrinė talpa modelyje, Ah·V⁻¹;
 C_K – katilo apibendrinta šiluminė talpa, kWh·K⁻¹;
 k_2 – dimensijų perskaičiavimo koeficientas, $k_2 = 1 \text{ A} \cdot \text{K} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$.

$$U_K = k_3 t_K, \quad (5)$$

čia: U_K – modelio kondensatoriaus C įtampa, V;
 t_K – modeliuojamo katilo vandens temperatūra, °C;
 k_3 – dimensijų perskaičiavimo koeficientas, $k_3 = 1 \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$.

Vėlinimo linija Z laikoma idealia, uždelsiančia srovės i_2 kitimą laiku τ_U , h, lygiu katilo vandens temperatūros kitimo vėlavimui τ_K į pakurą tiekiamo oro debito kitimo atžvilgiu.

Modelio būseną, kai nuo srovės i_2 pokyčio praėjęs laikas τ_U , aprašoma lygtimi:

$$i_1 + i_2 - i_3 = C \frac{dU_K}{d\tau}. \quad (6)$$

Į šią lygtį įrašius katilo rodiklius pagal (1) – (5) priklausomybes, gaunamas katilo būseną aprašanti lygtis:

$$P_I + kL - P_V = C_k \frac{dt_k}{d\tau}. \quad (7)$$

Vadovaujantis šia lygtimi galima sudaryti lygčių sistemą, aprašančią katilo vandens temperatūros kitimą, kai oro tiekimas į pakurą reguliuojamas dvipoziciškai ir nuo ventiliatoriaus įjungimo ir išjungimo momento praėjęs vėlavimo laikas τ_k :

$$P_I + kL - P_V = C_K \left(\frac{dt_K}{d\tau} \right)_S \quad (8)$$

$$P_I - P_V = C_K \left(\frac{dt_K}{d\tau} \right)_A,$$

čia indeksas S nurodo temperatūros kitimą katilui šylant, o indeksas A – katilui auštant.

Lygčių sistema (8) yra vienareikšmiškai išsprendžiama, kadangi nežinomi yra tik rodikliai P_1 ir C_K . Kitus rodiklius galima nustatyti iš užregistruotų dvipoziciškai reguliuojamo katilo charakteristikų. Katilo lyginamosios galios koeficientas k gali būti apskaičiuojamas kaip katilo vidutinės galios ir pučiamo oro vidutinio debito santykis.

Modeliavimo rezultatai

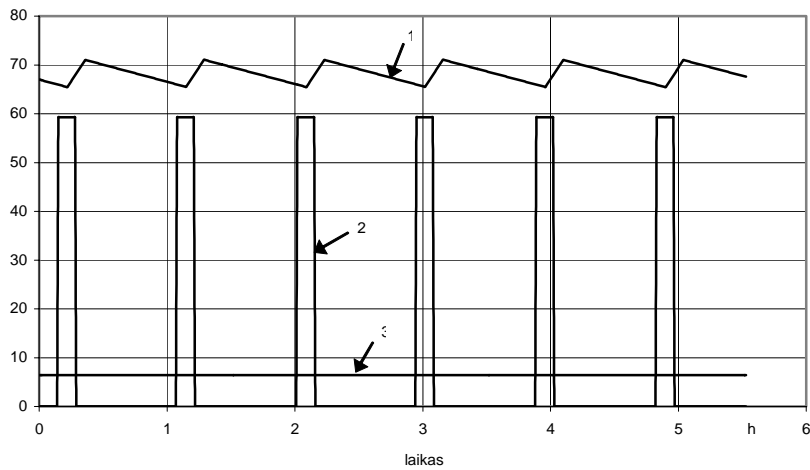
Dvipoziciškai reguliuojamų katilų „Astra G-31“ ir „Astra G-25“ užregistruotų charakteristikų rodikliai bei pagal (8) lygtis sumodeliuotų charakteristikų rodikliai esant skirtingoms vidutinėms katilų apkrovoms $P_{V \text{ vid}}$, surašyti 2 lentelėje.

2 lentelė. Dvipoziciškai reguliuojamų katilų ir jų modelių rodikliai.

Table 2. Rates of two-position-controllable boilers and their models.

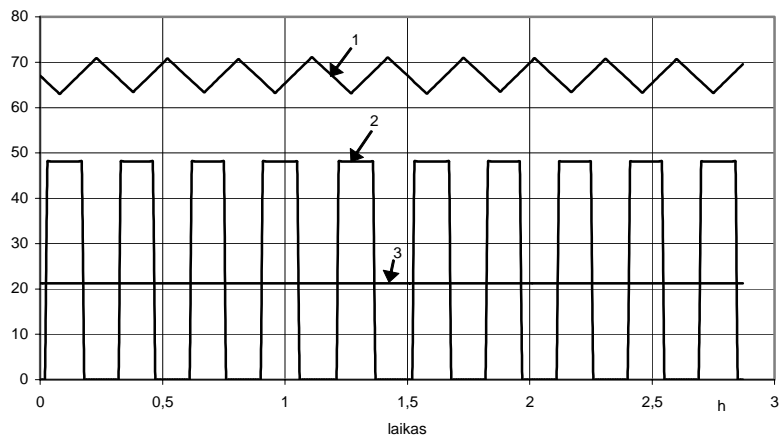
Rodikliai	„Astra G-31“		„Astra G-25“	
	$P_{V \text{ vid}} = 6,44 \text{ kW}$	$P_{V \text{ vid}} = 21,25 \text{ kW}$	$P_{V \text{ vid}} = 9,04 \text{ kW}$	$P_{V \text{ vid}} = 20,19 \text{ kW}$
1. Užregistruotų charakteristikų rodikliai:				
1.1. Vidutinis pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	11,44	34,28	30,08	50,12
1.2. Vidutinis oro debitas, kai ventiliatorius įjungtas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	59,30	48,10	70,12	95,20
1.3. Katilo temperatūros didėjimo greitis, $\text{K} \cdot \text{h}^{-1}$	40	52	56	110
1.4. Katilo temperatūros mažėjimo greitis, $\text{K} \cdot \text{h}^{-1}$	7	50	38	96
1.5. Vėlavimo laikas τ_K , h	0,09	0,06	0,05	0,05
2. Modelio rodikliai:				
2.1. Lyginamosios galios koeficientas k , $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$	0,56	0,62	0,30	0,40
2.2. Šilimo be oro galia P_1 , kW	1,47	6,75	0,68	2,90
2.3. Katilo apibendrinta šiluminė talpa C_K , $\text{kWh} \cdot \text{K}^{-1}$	0,71	0,29	0,22	0,18
2.4. Vidutinis sumodeliuotas pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	8,99	24,22	27,47	44,53

Vadovaujantis 2 lentelėje pateiktais rodikliais sumodeliuotos katilo „Astra G-31“ charakteristikos parodytos 5 ir 6 pav. Modeliuotas dvipozicinis reguliavimas su ventiliatoriaus įjungimo temperatūra $67 \text{ }^\circ\text{C}$ ir išjungimo temperatūra $69 \text{ }^\circ\text{C}$. Katilo režimas modeliuotas pagal (8) lygtis, įvertinant vėlavimą τ_K .



5 pav. Mažai apkrauto ($P_{V \text{ vid}} = 6,44 \text{ kW}$) katilo „Astra G-31“ sumodeliuotos charakteristikos: 1 – katilo vandens temperatūra, °C; 2 – pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – apkrovos galia, kW

Fig. 5. Modeled characteristics of boiler „Astra G-31“ under low workload ($P_{V \text{ vid}} = 6.44 \text{ kW}$): 1 – water temperature in boiler, °C; 2 – blown air debit, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – workload capacity, kW



6 pav. Labiau apkrauto ($P_{V \text{ vid}} = 21,25 \text{ kW}$) katilo „Astra G-31“ sumodeliuotos charakteristikos: 1 – katilo vandens temperatūra, °C; 2 – pučiamo oro debitas, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – apkrovos galia, kW

Fig. 6. Modeled characteristics of boiler „Astra G-31“ under higher workload ($P_{V \text{ vid}} = 21.25 \text{ kW}$): 1 – water temperature in boiler, °C; 2 – blown air debit, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; 3 – workload capacity, kW

Palyginus sumodeliuotas ir eksperimentais užregistruotas katilų charakteristikas galima daryti išvadą, kad modelio ir realaus katilo charakteristikos yra tokio pat pobūdžio, o sumodeliuotas vidutinis pučiamojo oro debitas yra šiek tiek mažesnis už realaus katilo. Tą dalinai galima paaiškinti tuo, kad realiame katile išjungus ventiliatorių oro pritekėjimas į pakurą nėra visiškai nutraukiamas, o modelis šio pritekėjimo nevertina. Modeliavimo rezultatai rodo gana didelį modelio (ir realaus katilo) rodiklių išsibarstymą. Paaiškinama tai tuo, kad katilo darbas labai priklauso nuo kuro kokybės, jo kiekio ir stambumo, nepertraukiamo degimo trukmės ir kitų faktorių. Rodiklių įvairovė patvirtina tikslingumą kuriant kieto kuro katilų degimo reguliatorius taikyti katilo modeliavimą, nes modelyje galima lengvai keisti modeliuojamo katilo rodiklius bei sudaryti įvairias jų kombinacijas.

Išvados

1. Modeliuojant kieto kuro katilą reiktų vertinti katilo šilumą be oro, galios kitimą, proporcingą pučiamo oro debitui, bei katilo temperatūros kitimo vėlavimą pučiamo oro debito kitimo atžvilgiu. Katilo inertiškumą galima įvertinti apibendrinta šilumine talpa.

2. Modeliavimą tikslinga taikyti projektuojant kieto kuro dujų generavimo katilų galios reguliatorius. 20-35 kW vardinės galios katilo reguliatorius turėtų stabiliai dirbti esant tokiems katilo modelio rodikliams: šilimo be oro galia 0-20 % vardinės galios, galios kitimas nuo pučiamo oro $0,2-0,8 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, vandens temperatūros kitimo vėlavimas oro debito kitimo atžvilgiu 0,05-0,10 h, apibendrinta šiluminė talpa $0,15-0,80 \text{ kWh}\cdot\text{K}^{-1}$.

Literatūra

1. Kietojo kuro katilas „Astra G“. Šildymas, vėdinimas, santechnika. UAB „Gilius ir ko“, 2002, nr. 6.
2. Centrinio šildymo katilai AM Energo, kūrenami malkomis. Aptarnavimo instrukcija. Agromechanika v.o.s., Lhenice (vertimas į lietuvių k. UAB „Orestina“).
3. Popis a navod k obsluze elektronikkeho regulatoru kotlu Verner – R4/2. Verner a.s., Červený kostelec.
4. The Control Panel for the Kunzel HV/HV-3//www.kuenzel.de/English/products/index EP.htm
5. Brazdeikis, L. Šildomų patalpų matematinis modeliavimas. *Žemės ūkio inžinerija: LŽŪII ir LŽŪU mokslo darbai*, 1999, t. 31(1), p. 35-46.
6. Šildymo katilai Astra G. Pasas G-25ME.00.000 PS-AB mašinų gamykla „Astra“, 2003.

Liudas Brazdeikis, Algirdas Gilius

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES IN SOLID FUEL BOILERS

Abstract

This model is applicable in designing and investigating the power controllers (water temperature in boiler) of solid fuel gas generation boilers.

The electro-analogy of thermal processes is applied in order to construct boiler models. Electro-analogical model of boiler consist of current source, which models the remaining boiler heat, when the air is not compulsory supplied (fan is off); current source, which models the change of boiler capacity proportionally to air debit blown by fan; current source, which models the workload of boiler; electric volume (condenser), which model the total heat volume of boiler; delay line, which models the delay of the change of water temperature in boiler subject to the change of blown air. In order to establish the model rates, experimental researches on 25 kW and 31.5 kW nominal capacity boilers “Astra G” were carried out. During these experiments, working characteristics of two-position-controllable boilers (fan is off and on) under different capacity work loads were registered. Methodology and mathematical equations were composed in order to establish model rates. Value intervals of these rates were determined. In order to evaluate the adequacy of model, the boiler characteristics were compared with the experimental ones. It is concluded that, the constructed model with the established values of model rates is applicable to designing and testing the controllers of solid fuel gas generation boilers of 20-35 kW nominal capacity.

Solid fuel boilers, gas generation, controlling, modeling.

Л. Браздейкис, А. Гилиус

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КОТЛЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Резюме

Цель настоящей работы – составить математическую модель газогенераторного котла твердого топлива, предложить методику определения показателей модели, указать интервалы значений этих показателей. Модель предназначена для использования при разработке и исследования регуляторов мощности (регуляторов температуры воды) газогенераторных котлов твердого топлива.

При моделировании применена электроаналогия тепловых процессов. Электроаналоговая модель котла содержит: источник тока, моделирующий самонагрев котла без принудительной подачи воздуха в топку (при

выключенном вентиляторе); источник тока, моделирующий мощность котла, пропорциональный расход принудительно подаваемого воздуха; источник тока, моделирующий нагрузку котла; электрическую емкость (конденсатор), моделирующую обобщенную тепловую емкость котла; линию задержки, моделирующую запаздывание изменения температуры воды в котле по отношению к изменению расхода подаваемого воздуха. Для определения показателей модели проведены экспериментальные исследования котлов “Астра Г”, номинальной мощностью 25 кВт и 31,5 кВт. Во время экспериментальных исследований зарегистрированы характеристики работы котлов при различной мощности нагрузки при двухпозиционном регулировании подачи воздуха (вентилятор включен–выключен). Предложена методика и составлены уравнения для расчета показателей модели. Определены интервалы значений этих показателей. Для оценки адекватности модели проведено сопоставление характеристик, полученных путем моделирования и экспериментальным путем. Делается вывод, что составленная модель с определенными показателями может быть применена при проектировании и тестировании регуляторов газогенераторных котлов твердого топлива номинальной мощностью 20-35 кВт.

Газогенераторный котел, регулирование, моделирование.