

1 lentelė. TG Nr.2 atkirtos vožtuvo sandarumo bandymų rezultatai

Bandymo Nr.	Įrenginio pavadinimas	Garų kiekis, t	Garų slėgis, MPa	Sūkių dažnis, aps. / min.	Laikas, s
1.	TG Nr. 2	6	1,2	1501	0,5
2.	TG Nr. 2	6	1,2	1500	0,5

Iš 1 pav. matyti, kad sukimosi dažnio kreivė nukrenta iki 0 reikšmės. Tai reiškia, kad vožtuvas yra sandarus, nepraleidžia garų ir rotorius nesisuka.

Saugos automato suveikimo bandymas

Šis bandymas atliekamas atjungus turbiną nuo sistemos tinklo ir jai dirbant automatinio režimu [4]. Prieš tai patikrinamas išjungimo mechanizmo ir atkirtos vožtuvo patikimas darbas rankiniu būdu įjungus avarinio stabdymo mygtuką. Bandymas atliekamas

2 lentelė. TG Nr. 2 automato bandymo rezultatai

Band. Nr.	Garų kiekis, t	Garų slėgis, MPa	Generatoriaus sūkių dažnis, aps. / min.	Rotoriaus sūkių dažnis, aps. / min.	Automato suveikimo laikas, s	Vožtuvo užsidarymo laikas, s	Bendras suveikimo laikas, s
1.	6	1,2	1530	4267	0,5	0,8	0,65
2.	6,5	1,2	1544	4306			
3.	7	1,2	1546	4311			
4.	8	1,2	1564	4361			
5.	8,5	1,2	1572	4384			
6.	9	1,2	1612	4496			

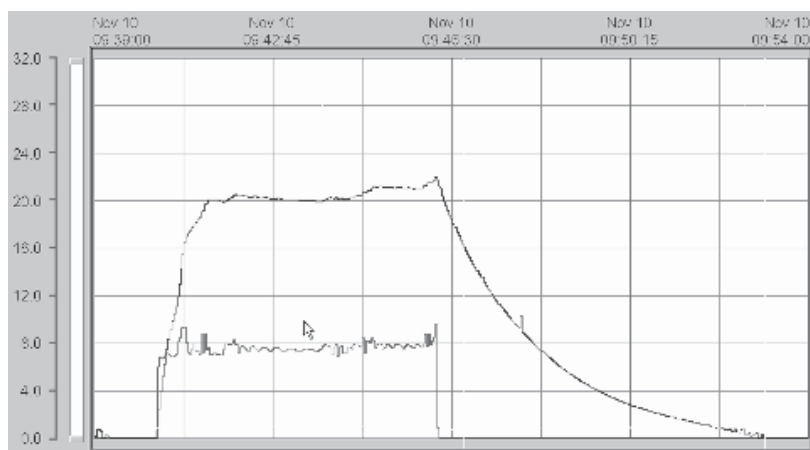
2 pav. pateiktas automatinio atsijungimo grafikas, kai turbinos $n = 4496$ aps. / min. Saugos automato suveikimo laikas ir atkirtos vožtuvo suveikimo

tol, kol suveikia saugos automatas ir atkirtos vožtuvas smūgiu į lizdą uždaro garus. Fiksuojamas TG Nr. 2 rotoriaus sūkių dažnis ir automato suveikimo laikas bei atkirtos vožtuvo užsidarymo laikas. Saugos automatas turi suveikti, kai rotoriaus sukimosi vardinis dažnis padidėja 10–12 proc. (arba iki gamintojų nurodyto dažnio). Sukimosi dažnis nustatomas dviem būdais – lazeriniu matuokliu ir tachometru.

Bandymų metu didinant turbinos sūkių dažnį rotoriaus menteles ir kitus elementus veikia didelės išcentrinės jėgos. Veikiant šioms jėgoms, atsiranda įtempiai [7–10]. Pavyzdžiui, išcentrinė jėga P , veikianti menteles (masė – $m = 0,8$ kg, rotoriaus spindulys $R = 0,5$ m, kai rotoriaus sukimosi dažnis $n = 4184$ aps. / min) lygi 78,21 kN. Šia jėga mentelės bandomos išplėsti iš lizdo. Įvertinus tai, kad mentelės gali būti susidėvėjusios, šį bandymą reikia atlikti ypatingai kruopščiai ir atsargiai, o bandymo trukmė turi būti kiek įmanoma mažesnė.

Turbinos parametrai, pasirinkti bandymo metu, ir bandymų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

laikas (smūgis į vožtuvo lizdą) lygus atitinkamai 0,5 ir 0,8 s [7].



2 pav. TG Nr. 2 saugos automato bandymo grafikas

Greičio reguliavimo statinės charakteristikos nustatymas

Nejautrumo laipsnio nustatymas. Synchronizatoriumi buvo nustatytas rotoriaus sūkių dažnis, lygus

4184 aps. / min. [2, 8]. Uždarius garų sklendę, sūkių dažnis buvo sumažintas iki 3946 aps. / min., kol iki galo atsidarė reguliuojantis vožtuvas. Po to, lėtai atidarius garų tiekimo į turbiną sklendę, sūkių padidė-

jo iki 4184 aps. / min. Bandymo metu fiksuotas turbinos rotoriaus sūkių dažnis ir reguliatoriaus krumplinio rato padalų skaičius. Pagal gautus bandymų rezultatus buvo sudaryta greičio reguliavimo charakteristika esant tuščiai eigai. Buvo atlikti 2 bandymai, nustatytos 3 reguliatoriaus krumplinio rato padėtys (22, 82, 142). Tai leido nustatyti turbinos reguliavimo nejautrumo laipsnį. Bandymų duomenys pateikti 3 lentelėje ir grafiškai pavaizduoti 3 pav.

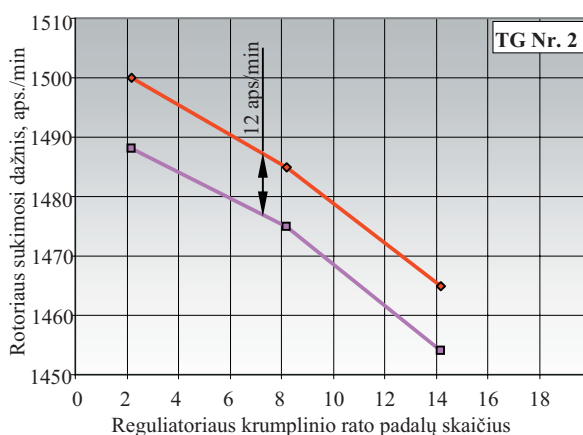
Nejautrumo laipsnis (%) apskaičiuojamas lygybe [3]:

$$S_n = \frac{n_n}{n_{nom}} - 100; \quad (1)$$

čia: n_n – rotoriaus sūkių skaičiaus skirtumas, aps. / min; n_{nom} – nominalus rotoriaus sūkių skaičius, aps. / min.

3 lentelė. TG Nr. 2 nejautrumo nustatymo bandymų duomenys

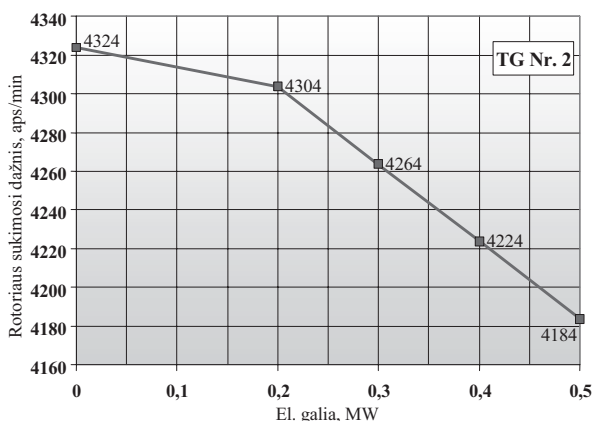
Regulatoriaus krumplinio rato padėtis (padala)	Generatoriaus sūkių dažnis, aps. / min		Rotoriaus sūkių dažnis, aps. / min.		Dažnio svyravimai, Hz	Nejautrumo laipsnis, %
	1 bandymas	2 bandymas	1 bandymas	2 bandymas		
22	1500	1488	4184	0,11	4150	0,28
82	1485	1475	4142	0,12	4114	
142	1465	1454	4086	0,16	4055	



3 pav. Greičio reguliavimo charakteristika esant tuščiai eigai

Statinės charakteristikos nustatymas. Keičiant TG Nr. 2 darbo režimus (apkrovas) nuo 0 iki 0,5 MW sudaryta statinė charakteristika pateikta 4

pav. Nustatytas sukimosi dažnio reguliavimo netolygumo laipsnis $k_n = 4,3 \%$ [3].



4 pav. Pagrindinė TG Nr. 2 statinė charakteristika

TG Nr. 2 dinaminės charakteristikos nustatymas

Dinaminį bandymą galima atlikti, jei prieš tai atlikti atkirtos vožtuvo sandarumo, saugos automato suveikimo bandymai atitiko [2, 8] nurodytus reikala-

vimus. Kaip nurodyta [3], turbinos dinaminės charakteristikos įvertinamos greitu sukimosi dažnio pasikeitimu ir greitu apkrovos sumažinimu (nuo 50 proc. iki 0) ir padidinimu (nuo 0 iki 50 proc.).

Gamintojų reglamentuojamas sukimosi dažnio atkūrimo laikas iki nominalaus sukimosi dažnio – $\pm 0,25\text{Hz}$. Buvo atlikti 2 bandymai: fiksuojama

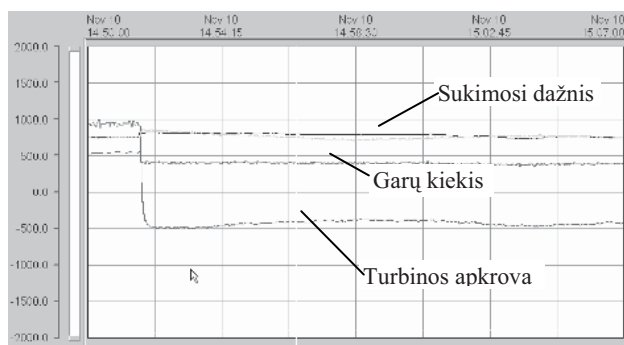
ma turbinos rotoriaus sūkių dažnis, galingumas, garų kiekis, srovės dažnis. Bandymų rezultatai pateikti 4 lentelėje.

3 lentelė. TG Nr. 2 automatinio reguliavimo ir valdymo sistemos statinės ir dinaminės charakteristikos

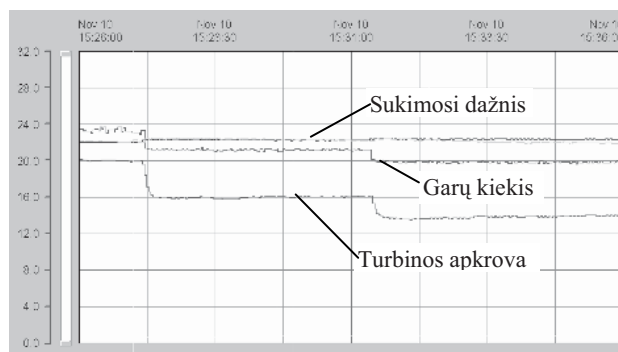
Charakteristika	Pavadinimas	Pagal technines sąlygas (CEIR 562525.003), ne daugiau		Bandymų rezultatai	
				Įmonėje	
Statinė	Dažnio palaikymo tikslumas, Hz		$\pm 0,15$	$\pm 0,14$	
Dinaminė	Didžiausias sukimosi dažnio pasikeitimas esant staigiam apkrovos padidėjimui arba sumažėjimui ir atsikūrimo laikas iki sukimosi nominalaus dažnio $\pm 0,25$ Hz tikslumu.	Apkrovos mažinimas 50–0 %	Dažnis, Hz	2	1,2
			Laikas, s	15	14
		Apkrovos didinimas 0–50 %	Dažnis, Hz	2	1,2
			Laikas, s	15	14

Iš 5 pav. a ir b matyti, kad staiga sumažinus turbinos apkrovą gaunamas garų kiekio sumažėjimas ir

sukimosi dažnio svyravimai su tam tikru atsikūrimo periodu (turbinos darbas autonominis).



a)



b)

5 pav. TG-2 dinaminis bandymas apkrovos sumažinimu:

a) nuo 897 kW iki 650 kW; b) 897 kW iki 650 kW

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta, kad TG-2 atkirtos vožtuvo užsidarymo laikas ir sandarumas atitinka gamintojų ir „Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklių“ reikalavimus.
2. Atliekant TG Nr. 2 saugos automato bandymą, nustatyta, kad automatas veikia gerai, turbogeneratoriaus sustabdymo laikas, kitos darbo charakteristikos atitinka reikalavimus.
3. Tyrimo metu nustatytos TG Nr. 2 statinės ir dinaminės charakteristikos. TG Nr. 2 neįturtumo laipsnis ir sukimosi dažnio reguliavimo netolygumo laipsnis neviršija leistinų ribų. Dinaminių bandymų rezultatai parodė, kad esant staigiam apkrovos padidėjimui arba sumažėjimui generatoriaus atsistatymo laikas ir sukimosi nominalus dažnis išlaikomas nustatytose ribose.

Literatūra

1. ISO-10816-3. 2009. Mechanical vibration – Evalua-

tion of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ.

2. ОАО „Пролетарский завод“ ST. Peterburgas, 2003 “ЦЕИР 562525.003 ТУ; ИЭ; ФО; ТО; ЭД”.
3. „Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklės“ Vilnius, 2002. Ūkio ministro 2001-12-21 įsakymas Nr. 389 (Žin., 2002, Nr. 6-252, 2004, Nr. 8-207; EP Nr. 36).
4. Горшков А. С., 1984, *Технико-экономические показатели тепловых электростанций*. Москва: Энергоатомиздат.
5. Gimbutis G., 2000, *Šiluminė technika*, Vilnius: Mokslas.
6. Guidelines for Calculating Energy Generation in COMBINED HEAT AND POWER PLANTS April 1999. Protermo Melkonkatu 18 00210 Helsinki Finland. Prieiga internete: <http://www.protermo.fi>.
7. *Technology Characterization: Steam Turbines. Prepared for: Environmental Protection Agency Climate Protection Division Washington, DC. Prepared by: Energy Nexus Group 1401 Wilson Blvd, Suite 1101 Arlington, Virginia 22209. March 2002.*

8. Левенсон И. С., 1960, *Характеристики регулирования паровых турбин*. Москва: Госэнергоиздат. *установок небольшой мощности*. Москва: Энергия.
9. Ивлев А. В., 1971, *Эксплуатация паротурбинных* *10. Промышленная энергетика*, 2008, Nr. 9, P. 21–22.

RESEARCH ON AUTOMATIC REGULATIONS AND CONTROL OF STEAM TURBINES SYSTEMS

Alvydas Rūkas, Vitalijus Skačkovas, Sergėjus Rimovskis, Zenonas Ramonas

Summary

Combined heat and power (CHP) technology (so-called cogeneration) is an energy conversion process. Electricity and useful heat are produced simultaneously in this process. The CHP steam turbines testing methods are presented in the report. The results of the tests are very important in estimation of turbine's working safety and reliability.

Keywords: heat and power technology, energy, steam turbines.

GARO TURBOBOGENERATORIAUS AUTOMATINIO REGULIAVIMO IR VALDYMO SISTEMŲ TYRIMAS

Alvydas Rūkas, Vitalijus Skačkovas, Sergėjus Rimovskis, Zenonas Ramonas

Santrauka

Taikant kombinuotą energijos gamybos būdą, dar vadinamą kogeneracija (termofikacija), gaminama šiluma ir elektros energija. Šiame darbe aprašyta AB „Šiaulių energija“ kombinuoto energijos gamybos įrenginio (turbogeneratoriaus TG Nr. 2) bandymų metodika, pateikti atliktų bandymų rezultatai. Gauti rezultatai yra labai svarbūs nustatant įrenginio saugumą ir patikimumą eksploatacijos metu.

Įteikta 2010-09-02