

Dujų srauto pulsacijų įtaka nedidelės šiluminės elektrinės veikimui

Jurij Tonkonogij,

Antanas Pedišius,

Arūnas Stankevičius,

Andrius Tonkonogovas

*Šiluminių įrengimų tyrimų ir
bandymų laboratorija,
Lietuvos energetikos institutas,
Breslaujos g. 3,
LT-44403 Kaunas
El. paštas: jurij@mail.lei.lt*

Išnagrinėta dujų srauto pulsacijų įtaka nedidelės miesto kogeneracinės šiluminės elektrinės, veikiančios pagal kombinuotą garo–dujų ciklą, charakteristikoms. Nustatyta, kad srauto pulsacijų šaltinis yra stūmoklinis dujų kompresorius. Pulsacijos yra dujų apskaitai naudojamo turbininio skaitiklio didesnių paklaidų priežastis. Esant sumažintoms elektrinės apkrovoms atsiranda rezonansas, kuris susijęs su nepakankamu pulsacijų slopinimu ir kompresoriaus reguliavimu. Smarkiai didėja skaitiklio paklaidos ir slėgio pulsacijos, kurios sukelia stiprias įrangos vibracijas ir pasklinda toli už elektrinės ribų. Nustatyta, kad greitai kintantis dėl pulsacijų slėgis gali sugadinti skaitiklio guolius. Įrengus pagal kompresoriaus gamintojo pasiūlymą kompresoriaus įtekėjime diafragmą, pakartotinai atlikti matavimai parodė, kad rezonanso, slėgio pulsacijos ir vibracijų intensyvumas šiek tiek sumažėjo, kaip ir skaitiklio paklaidos, tačiau vis dar yra nepriimtinos. Pagal tyrimų rezultatus pasiūlytos priemonės nepageidautiniams reiškiniams pašalinti.

Raktažodžiai: srauto pulsacijos, vibracija, turbininio dujų skaitiklio paklaida, stūmoklinis kompresorius

1. ĮVADAS

Neseniai vienoje Europos šalių sukurta bandomoji kogeneracinė šiluminė elektrinė (toliau ŠE), kurioje realizuotas šiuolaikinis kombinuotas garo dujų ciklas. Tokio tipo ŠE apibūdina didelis elektros gamybos efektyvumas – naudingumo koeficientas (n. k.) siekia 50 % ir daugiau. Elektrinės galia (30 MW) užtikrina centralizuotą šilumos tiekimą nedideliame miestui, kuriame ŠE įrengta.

Nuo eksploataavimo pradžios ŠE susidūrė su gamtinių dujų apskaitos problemomis. Suvartojamų dujų kiekis, registruojamas turbininiu dujų skaitikliu (TDS), gerokai didesnis (ypač esant mažoms apkrovoms) už kiekį, kuris nustatomas pagal dujų tiekimo firmos apskaitą ir kitomis priemonėmis. Tokias pažangaus tipo elektrines tikslinga plačiai diegti šalyse, kuriose elektros ir šilumos gamyba komplikuoja. Siekiant išvengti bandomosios šiluminės elektrinės trūkumų ateityje, reikia juos išanalizuoti.

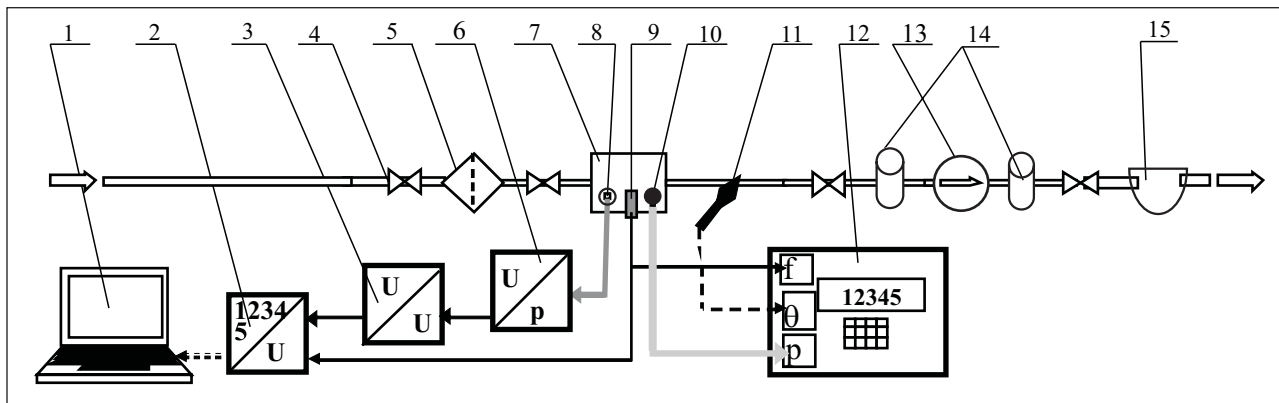
Pradedant tyrimus buvo padaryta prielaida, kad apskaitos problemos priežastis – dujų srauto pulsacijos, kurios, kaip žinoma [1], gali sukelti dideles (iki kelių dešimčių procentų) teigiamas TDS paklaidas. Kaip pulsacijų šaltinis buvo įtartas prieš dujinę turbiną įrengtas galingas stūmoklinis kompresorius. Jis didina dujų slėgį nuo 1,5 MPa – viršutinė dėl techni-

nių ir ekologinių samprotavimų slėgio miesto ribose, kuriam esant dujos tiekiamos, vertė, iki 2,5 MPa – slėgis, kurį reikia užtikrinti dujų turbinos įtekėjime.

Tyrimų tikslas buvo patvirtinti arba paneigti šią versiją, visapusiškai ištyrus pulsacijas bei jų ryšį su TDS paklaidomis, ir pasiūlyti priemones šioms paklaidoms sumažinti. Tyrimai buvo vykdomi dviem etapais. Pirmojo etapo rezultatai patvirtino anksčiau pateiktas versijas apie srauto pulsacijų, kaip TDS paklaidų, priežastį ir apie kompresorių, kaip pulsacijų šaltinį. Pagal atliktų tyrimų rezultatus kompresoriaus gamintojas pasiūlė sumažinti pulsacijas, įrengus kompresoriaus įtekėjime diafragmą. Realizavus šį pasiūlymą antrajame etape buvo atlikti pakartotiniai tyrimai siekiant patikrinti realizuotų priemonių efektyvumą. Be to, tyrimų metu atsirado būtinybė ištirti įrangos ir vamzdyno vibracijas, kurios irgi susijusios su srauto pulsacijomis.

2. DUJINĖ ĮRANGA. MATAVIMŲ PRIEMONĖS IR SCHEMA

Dujos elektrinei tiekiamos magistraliniu dujotiekiu (MD) iš dujų skirstymo stoties (DSS). Dujos apskaitomos TDS G1000, DN200. Naudojamas firmos LMF AG (Austrija) vieno cilindro B181 130 N2,5 tipo stūmoklinis kompresorius, kurio pavaros



1 pav. Slėgio pulsacijų ir apsučių dažnio matavimo schema. 1 – kompiuteris; 2 – analoginis – skaitmeninis keitiklis; 3 – pjezokeraminio slėgio jutiklio signalo keitiklis; 4 – srautą uždariantys čiaupai; 5 – dulkių filtras; 6 – pjezokeraminis slėgio jutiklis; 7 – turbininis dujų skaitiklis; 8, 10 – slėgio atšakos matavimo TDS; 9 – indukcinis aukšto dažnio impulsų jutiklis; 11 – varžos termometras; 12 – elektroninis dujų tūrio perskaičiavimo įtaisas; 13 – kompresorius; 14 – pulsacijų slopintuvai; 15 – Koriolio skaitiklis

galia 300 kW. Jo įtekėjime ir ištekėjime įrengti tūrinio tipo vienos kameros pulsacijų slopintuvai, kurių tūris $V = 0,36 \text{ m}^3$.

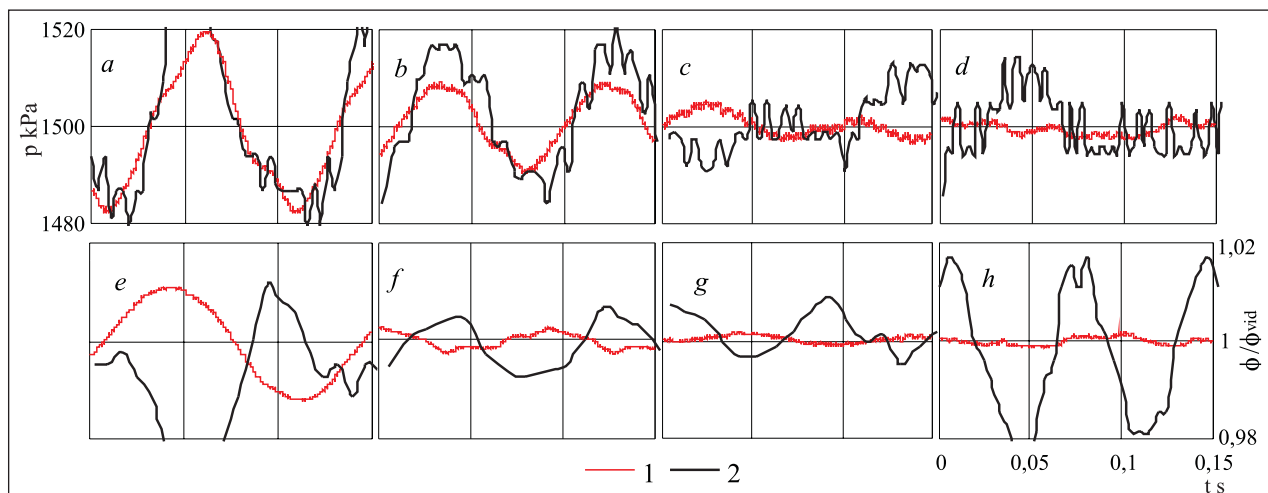
Tyrimai buvo atliekami dirbančioje ŠE. Be pastoviai matuojamų ir centriniame elektrinės valdymo pulte išvedamų duomenų, nuolat buvo matuojamas slėgis TDS ir aukšto dažnio skaitiklio turbinos sukimosi signalas. Matavimai buvo atliekami esant įvairioms elektrinės apkrovoms, kurios buvo suderintos su tinklo dispečeriu. Matavimo schema pateikta 1 paveiksle.

Slėgis buvo matuojamas firmos PJEZOTRONICS (JAV) specialiu aukšto dažnio pjezoelektriniu 121A41 MSP tipo slėgio jutikliu, kuris dirba kartu su 482C tipo signalo keitikliu. TDS sukimosi dažnio signalas buvo registruojamas aukšto dažnio indukcinio impulsų jutikliu, kuris įrengtas TDS. Abu signalai buvo konvertuoti į skaitmeninį pavidalą ir registruoti analoginiu skaitmeniniu keitikliu ACP 16/16 (Rusija).

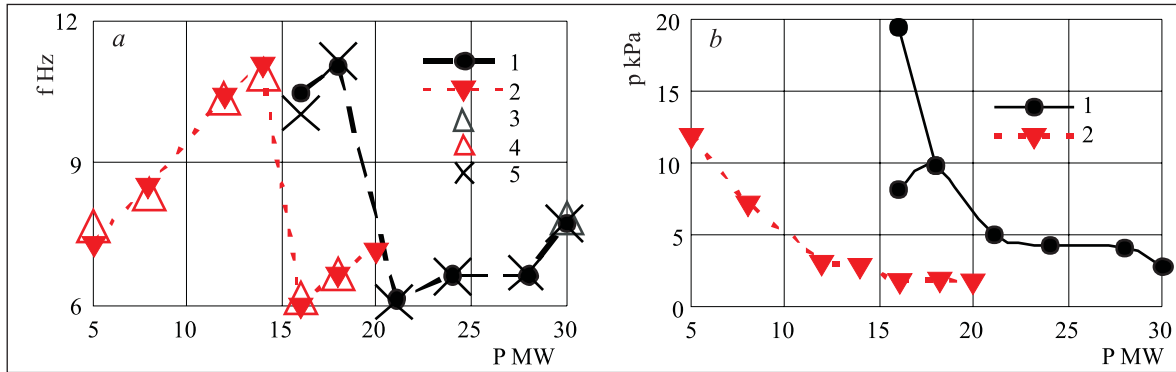
3. PULSACIJOS IR VIBRACIJA. REZONANSAS

Pateiktas (2 pav.) slėgio skaitiklyje ir jo rotoriaus sukimosi dažnio kitimas laike esant įvairioms elektrinės apkrovoms, pagal abiejų tyrimų etapų rezultatus (antrojo etapo rezultatai aptarti 5 skyriuje).

Visais atvejais pastebimos stiprios šių parametų pulsacijos. Pulsacijų intensyvumas (amplitudė) nuo 16 iki 30 MW didėja mažėjant debitui. Ant pagrindinės pulsacijos su didžiausia amplitudė (pirmoji harmonika) užsideda papildomos pulsacijos (aukštesnės harmonikos) su daug mažesne amplitudė ir daug didesniu pulsacijos dažniu. Papildomų pulsacijų amplitudė pastebimai auga didinant elektrinės apkrovą. Matyti, kad TDS rotoriaus sukimosi dažnis kinta tuo pačiu dažniu kaip ir slėgis, bet šiek tiek atsilieka pagal fazę (dėl rotoriaus sukimosi inercijos).



2 pav. Slėgio ir TDS rotoriaus sukimosi santykinio dažnio ($\omega / \omega_{\text{rot}}$) kitimas laike iki (a, b, c, d) ir po (e, f, g, h) diafragmos įrengimo. 1 – slėgis, 2 – skaitiklio rotoriaus sukimosi dažnis; a – 16 MW, b – 18 MW, c – 21 MW, d – 30 MW, e – 5 MW, f – 14 MW, g – 16 MW, h – 20 MW



3 pav. Pulsacijų dažnio (a) ir amplitudės (b) priklausomumas nuo ŠE apkrovos. 1, 3, 5 – slėgio pulsacijos dažnis ir amplitudė, kompresoriaus skriejiko ir TDS sukimosi dažniai iki diafragmos įrengimo, 2, 4 – slėgio pulsacijos dažnis ir amplitudė po diafragmos įrengimo

Parodytas (3 pav.) slėgio pulsacijų parametų priklausomumas nuo ŠE apkrovos iki ir po diafragmos įrengimo.

Taip pat čia pavaizduota kompresoriaus skriejiko (3) ir TDS rotoriaus (4) sukimosi dažnis. Visi dažniai sutampa matavimų tikslumo ribose. Šis ir kai kurie kiti faktai leidžia daryti vienareikšmę išvadą, kad dujų srauto pulsacijų šaltinis yra dirbantis kompresorius. Pulsacijų dažnio kitimą sąlygoja pasikeitęs kompresoriaus veikimo reguliavimas. Reguluojama dviem būdais: esant padidintoms apkrovoms – keičiamas sukimosi dažnis, esant sumažintoms apkrovoms – papildomai keičiamas kompresoriaus vožtuvų darbo ciklas, kai atbulinės stūmoklio eigos atveju dujos į turbiną nebetiekiamos, o kompresoriaus sukimosi dažnis didėja.

Atitinkamai mažėjant apkrovai, pulsacijų dažnis šiek tiek mažėja (nuo 8 iki 6 Hz), po to mažinant apkrovą nuo 18 MW dažnis pradeda gerokai augti iki apytiksliai 11 Hz. Augantis dažnis pasiekia sistemos rezonansinį dažnį, kuris, pagal mūsų skaičiavimus, lygus maždaug 9 Hz. Atsiranda rezonanso reiškinys, tuomet staigiai auga slėgio pulsacijų amplitudė – nuo ± (3–6) kPa iki ± 20 kPa, kaip matyti 3 pav., b. Pulsacijos tampa nestabilios. Pavyzdžiui, esant 16 MW apkrovai, slėgio pulsacijos amplitudė kinta ± (7,5–20) kPa. Rezonansas

sukelia stiprią dujų vamzdyno vibraciją, kuri stebima net be jokių įtaisų. Kartu su vibracija atsiranda grėsmingas garsas. Rezonanso atsiradimo schema parodyta 4 pav.

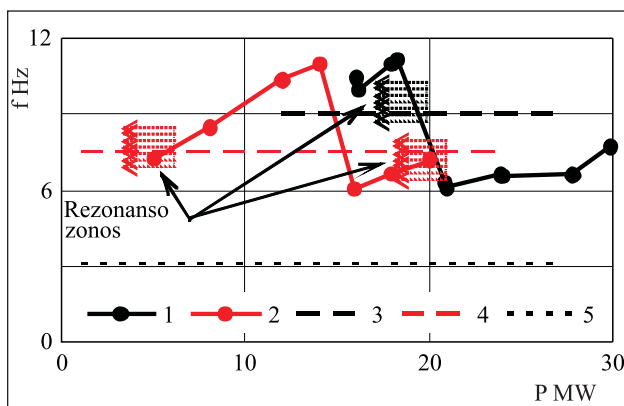
Pateikta schema atitinka literatūros [2, 3] teiginius.

Be vamzdyno vibracijos, galinčios sukelti jo griūtį, egzistuoja dar viena pavojinga pulsacijų mechaninė pasekmė. Staigus ir dideliu greičiu kintantis slėgis, daugkart kartojamas dideliu dažniu, sudaro pavojingą smūginę apkrovą rotoriaus guoliams, taip pat turbinos reduktoriui bei mentelėms. Silpniausia šiuo atveju grandis – TDS rotoriaus pagrindiniai guoliai. Iš tikrųjų, kai rezonansinis dažnis $f_{rez} = 9$ Hz ir didžiausia slėgio pulsacijos amplitudė $\Delta p_{maks} = \pm 20$ kPa, tai vidutinis slėgio kitimo greitis yra $(\Delta p / \Delta t)_{maks} = \Delta p_{maks} \times f_{rez} \times 4 = 720$ kPa/s (7,2 bar/s), t. y. 20 kartų didesnis už standarto [8] reglamentuotą leistiną greitį $(\Delta p / \Delta t)_{rib}$. Esant tokiems greičiams TDS rotoriaus guoliai paprastai subyra.

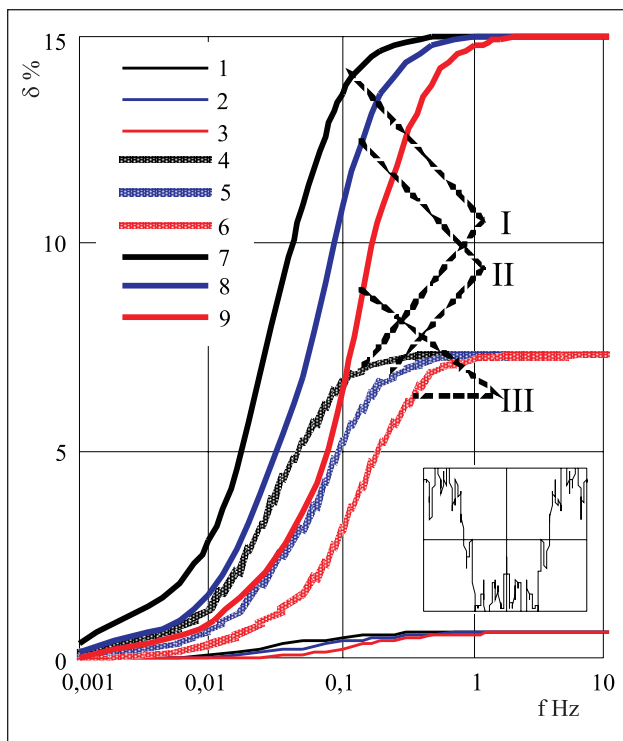
4. TDS PAKLAIDOS

Dinaminės paklaidos, atsirandančios pulsuojančiame sraute dėl rotoriaus inertiškumo, problema žinoma seniai [1, 4–6], nors iki šiol galutinai nėra išnagrinėta. Šios paklaidos priklausomybės nuo pulsacijos parametų būdą iliustruoja 5 pav. pateiktas grafikas, kuris taikomas MZ100 tipo TDS pulsuojančiame pagal sudėtingą dėsnį dujų sraute [7]. Esant mažoms pulsacijos dažnio vertėms paklaida artima nuliui. Dažniui didėjant paklaida didėja iki tam tikros ribinės vertės, kurią pasiekus ji išlieka pastovi. Labiausiai, pagal kvadratinę dėsnį, paklaidai turi įtakos pulsacijos amplitudė, ir esant didelėms jos reikšmėms paklaida gali sudaryti dešimtis procentų. Paklaida taip pat priklauso nuo TDS rotoriaus laiko pastoviosios bei pulsacijos dėsnio. Esant fiksuotiems dujų parametrams, tam tikro skaitiklio laiko pastovioji priklauso nuo dujų debito, mažėjant debitui didėja. Kuo mažesnė laiko pastovioji, tuo anksčiau pradeda ir anksčiau baigia didėti paklaida. Naudojant nedimensines kintamąsias, visas paklaidų kreives galima lengvai sukoncentruoti į vieną kreivę.

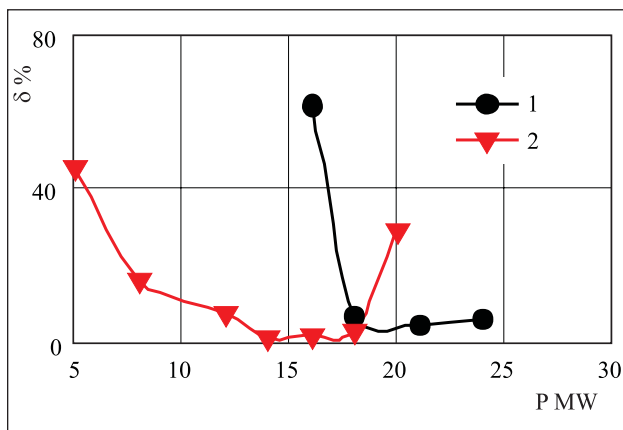
TDS paklaidų priklausomumas nuo elektrinės apkrovos parodytas 6 pav. (1).



4 pav. Rezonanso atsiradimo schema. 1, 3 – srauto pulsacijų ir rezonansinis dažnis iki diafragmos įrengimo; 2, 4 – srauto pulsacijų ir rezonansinis dažnis po diafragmos įrengimo; 5 – rezonansinis dažnis esant dviejų kamerų slopintuvams



5 pav. Turbininio dujų skaitiklio MZ100 dinaminės paklaidos priklausomumas nuo pulsacijų dažnio, kai debitas pulsuoja pagal sudėtingą dėsnį: 1–3; 4–6; 7–9 – atitinkamai santykinė debito pulsacijų amplitudė $\Delta Q = 0,1; 0,35; 0,5; 1$, II, III – vidutinės debito vertės $Q = 100, 200, 400 \text{ m}^3/\text{h}$



6 pav. TDS paklaidų priklausomumas nuo ŠE apkrovos. 1 – iki diafragmos įrengimo; 2 – po diafragmos įrengimo

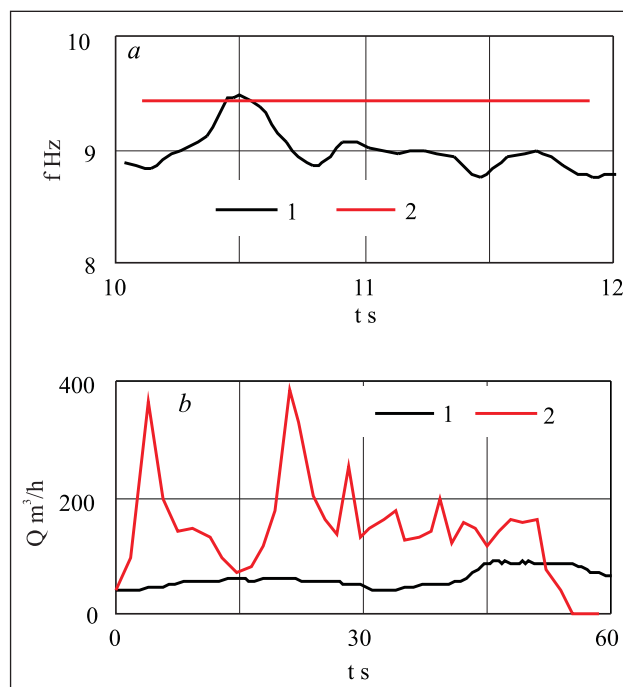
TDS paklaidų ir pulsacijos amplitudžių (3 pav., b) priklausomumo nuo elektrinės apkrovos pobūdis labai panašus, kadangi būtent padidintos pulsacijos ir yra padidintų paklaidų verčių priežastis (ypač esant rezonansui). Esant visoms apkrovoms paklaidos yra teigiamos ir, mažėjant apkrovai žemiau 18 MW, staigiai didėja iki vertės +62 %. Esant apkrovoms per 18 MW paklaidos ne didesnės kaip +5 % ir yra apie +2 %. Tokios padidintos TDS paklaidos neatitinka galiojančių norminių dokumentų reikalavimų.

Europos Sąjungos šalyse priimtas standartas API 618 [2] nusako reikalavimus stūmokliniams kompresoriams bei jų sistemoms (tarp jų pulsacijų ir vibracijų kontrolei bei slopinimui), kurie turi užtikrinti priimtina dujotiekių srauto pulsacijų ir vibracijų lygį. Akivaizdu, kad ŠE įrengtas kompresorius šių reikalavimų neatitinka.

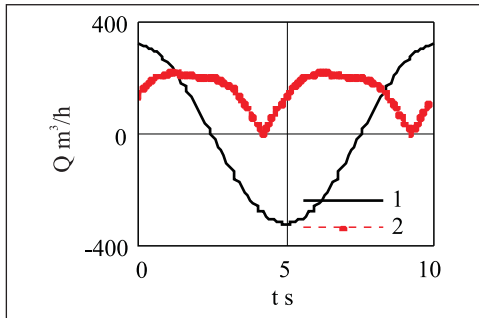
5. PULSACIJOS IR VIBRACIJOS UŽ ŠE RIBŲ

Siekiant patikimai nustatyti pulsacijų šaltinį ir iširti galimą pulsacijų išplitimą už ŠE ribų, buvo atlikti matavimai MD DSS, iš kurios dujos tiekiamos į ŠE, taip pat miesto DSS, iš kurios dujos tiekiamos miestui, esančiam netoli (0,3 km) toje pačioje MD atšakoje kaip ir ŠE. MD DSS yra apie 2 km nuo ŠE, MD skersmuo – 0,2 m. Matavimai MS DSS buvo atlikti už slėgio regulatoriaus, kuris mažina slėgį iki 1,5 MPa, o miesto DSS – prie TDS, kuris apskaito į miestą tiekiamų dujų kiekį. Miesto DSS skaitiklio įtekėjimas buvo atviras ir sujungtas su dujų tiekimo į ŠE vamzdynu. TDS ištekėjimas buvo uždarytas rutuliniu čiaupu, todėl suminis dujų srautas per skaitiklį buvo lygus nuliui. Be pulsacijų, buvo registruojami ir šio TDS rodmenys. Matavimai buvo atliekami, kai ŠE dirbo 16 MW apkrova, t. y. smarkaus rezonanso režimu. Kai kurie matavimų rezultatai pateikti 7 pav.

MD DSS ir miesto DRP slėgio pulsacijų dažniai praktiškai sutampa (7 pav., a), skiriasi tik dėl tam tikro ŠE apkrovos nestabilumo. Jų reikšmė yra apie 9 Hz ir ji sutampa su pulsacijų dažniu, kuris stebimas ŠE esant 16 MW apkrovai. Didžiausia stebima amplitudė MD DSS siekė $\pm 10 \text{ kPa}$, miesto



7 pav. Matavimų, atliktų MD DSS ir miesto DSS, rezultatai. a – slėgio pulsacijos dažniai miesto DSS (1) ir MD DSS (2); b – TDS rodmenys miesto DSS esant nuliniam suminiam srautui iki (1) ir po (2) diafragmos įrengimo



8 pav. TDS atsakas į srauto pulsacijas esant kosinusiniam pulsacijos dėsniai ir esant momentiniam kintančio ženklo suminiam nuliniam srautui. 1 – srauto kintimas, 2 – skaitiklio rodmenys

DSS ± 12 kPa. Be to, tiek MD DSS, tiek miesto DSS stebimos stiprios dujotiekio ir visos jame įrengtos įrangos vibracijos.

Nors dujų tiekimas miestui buvo nutrauktas ir suminis srautas, pratekėjęs per TDS, buvo lygus nuliui, TDS dėl stiprių pulsacijų registravo didelį dujų kiekį (7 pav., b). Taip yra todėl, kad impulsų jutiklis, įrengtas TDS, reaguoja į turbinos mentelių judėjimą, tačiau nevertina jo krypties. Elektroninis dujų tūrio perskaičiavimo įtaisas sudeda visus impulsus, kartu registruoja virtualų dujų srautą ir kiekį. Tokį TDS elgesį pulsuojančiame sraute esant nuliniam srautui patvirtina skaitinio modeliavimo rezultatai, kai kurie iš jų pateikti 8 pav.

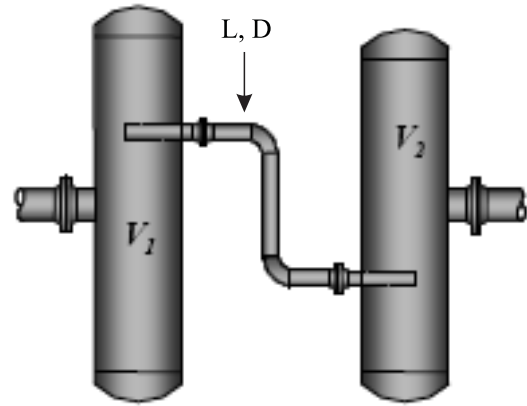
Nors tiesioginis eksperimentinis patikrinimas nebuvo atliktas, remiantis anksčiau atliktais tyrimais, galima spėti, kad pulsacijos sukelia teigiamas dinamines paklaidas esant ne tik nuliniams, bet ir realioms dujų srautų vertėms tiek MD DSS, tiek miesto DSS. Galima prognozuoti ir kenksmingos pulsacijų įtakos TDS galimybę. Šį klausimą būtina papildomai tirti.

Pateikti faktai liudija apie tai, kad dujų srauto pulsacijos, atsirandančios ŠE dėl kompresoriaus veikimo, išplinta pakankamai toli už elektrinės ribų su visomis neigiamomis pasekmėmis.

6. PRIIMTŲ PRIEMONIŲ TRŪKUMAMS PAŠALINTI ANALIZĖ. TOLESNĖS REKOMENDACIJOS

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais kompresoriaus firma – gamintoja trūkumams pašalinti pasiūlė kompresoriaus įtekėjime įrengti diafragmą, kurios skersmuo 150/85 mm. Po diafragmos įrengimo buvo atliktas II matavimų etapas, kurio rezultatai parodyti 2 pav., e, f, g, h; 3 pav., a (2, 4), b (2); 4 pav. (2, 4), 6 pav., (2); 7 pav., a (2), b (2).

Kompresoriaus įtekėjime įrengta diafragma truputį (nuo 9 iki 7 Hz) sumažino dujų tiekimo sistemos rezonansinį dažnį bei slėgio pulsacijų (amplitudžių) intensyvumą (nuo 20 iki 12 kPa esant rezonansui), tačiau pulsacijų bei rezonanso nepanaikino. Kaip ir anksčiau, pulsacijų dažnis visiškai sutampa su kompresoriaus variklio apsukų dažniu. Ženkliai sumažėjo dinaminės paklaidos, tačiau jos vis dar didesnės už leistinas reikšmes. Kaip ir anksčiau, kompre-



9 pav. Dviejų tūrių pulsacijų slopintuvas

soriaus sukeltos pulsacijos plinta už ŠE ribų ir sukelia vibracijas bei turi įtakos miesto DSS apskaitos tikslumui ir techninei TDS būklei.

Diafragmos įrengimas – teisingas žingsnis, tačiau nepakankamas. Kad būtų išvengta dujų vamzdinių vibracijos ir ženkliai sumažėtų srauto pulsacijų intensyvumas, reikia imtis priemonių mažinant rezonansinį dažnį žemiau mažiausio kompresoriaus apsukų dažnio. Tam reikia patobulinti pulsacijų slopinimo sistemą, didinant jos tūrį ir / arba hidraulinių pasipriešinimą. Šiuo atveju siūloma kompresoriuje įrengti dviejų kamerų pulsacijų slopintuvą (9 pav.).

Kaip parodė atlikti pagal [3] skaičiavimai, naudojant tokį dempferį ir papildžius esamą kamerą, kurios tūris $V_1 = 0,35$ m³, dar viena, tokio paties tūrio V_2 , bei sujungus kameras 2 m ilgio ir 0,04 m skersmens vamzdžiu, rezonansinis dažnis būtų sumažintas iki 3,1 Hz. Tai padėtų išvengti rezonanso atsiradimo visame ŠE apkrovos diapazone (žr. 4 pav.) ir, atitinkamai, ženkliai sumažintų pulsacijų intensyvumą ir TDS dinamines paklaidas, būtų išvengta vamzdynui pavojingų vibracijų. Taip pat pageidautina pakeisti kompresoriaus reguliavimo principą: esant mažoms apkrovoms ir veikiant tuščia eiga, dujas nukreipti ne atgal į kompresoriaus įtekėjimą, o į specialiai įrengtą dempferį.

Igyvendinus šias priemones būtina atlikti papildomus tyrimus, siekiant patikrinti sistemos atitikimą standarto reikalavimams [1, 2].

7. IŠVADOS

1. Padidintų teigiamų TDS paklaidų priežastys yra srauto pulsacijos šių skaitiklių įrengimo vietoje, o jų šaltinis – stūmoklinis dujų kompresorius.

2. Esama pulsacijų slopinimo sistema ir pulsacijų lygis neatitinka standartų ISO/TR 3313 ir API 618 reikalavimų.

3. Didelė rezonansinio dažnio vertė dėl nepakankamo pulsacijų slopinimo ir nevykusi kompresoriaus reguliavimo sistema sukelia, esant mažesnėms nei 16 MW apkrovoms, rezonansą ir didesnes srauto pulsacijas.

4. Padidintos pulsacijos sąlygoja tiek neleistiną TDS paklaidų padidėjimą, tiek pavojingas dujų vamzdyno vibracijas.

Pulsacijos išplinta ir toli už elektrinės ribų bei kenkia dujų įrangai kituose objektuose.

5. Būtina sutvarkyti elektrinės dujų kompresoriaus reguliavimo ir pagerinti pulsacijų slopinimo sistemas. Kompresorius turi veikti stabiliai esant visiems darbo režimams. Būtina panaikinti rezonansinius efektus, mažinant slopintuvo rezonansinį dažnį. Tam rekomenduojama slopinimo sistemoje įrengti papildomą tūrinę kamerą. Taip pat turi būti patobulintas slopintuvas kompresoriaus ištekėjime.

6. Siekiant užtikrinti srauto pulsacijų parametrų atitikti standartų ISO/TR 3313 ir API 618 reikalavimams, po anksčiau nurodytų priemonių įgyvendinimo reikia išbandyti patobulintą dujų tiekimo sistemą ir esant reikalui įrengti papildomus akustinius filtrus ties TDS.

Gauta 2009 09 14
Priimta 2010 01 04

Literatūra

1. ISO/TR 3313: 1998. *Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits – Guidelines on the Effects of Flow Pulsations on Flow-measurement Instruments.*
2. API STANDARD 618. *Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services.* Fourth edn., June 1995.
3. Atkins K. E., Pyle A. S., Tyson J. D. Understanding the pulsation & vibration control concepts in the new API 618 fifth edn. *Proceedings of the Gas Machinery Conference in Albuquerque.* New Mexico, October 4–7, 2004.
4. Atkinson K. N. A software tool to calculate the overregistration error of a turbine meter in pulsating flow. *Flow Measurement Instruments.* 1992. N 3. P. 167–172.
5. Cheesewright R., Bisset D., Clark C. Factors which influence the variability of turbine flowmeter signal characteristics. *Flow Measurement Instruments.* 1998. Vol. 9. N 2. P. 83–189.
6. Lee W. F. Z., Kirik M. J., Millington B. Gas turbine flowmeter measurement in pulsating flow. *Engineering Power.* 1975. October. P. 31–539.
7. V-31/2008/12-982.8.8. *Rekomendacijų dėl gamtinių dujų apskaitos tikslumo didinimo, prognozuojant dujų parametrų ir debito netolygumų įtaką turbininių dujų skaitiklių paklaidoms, parengimas.* Baigiamoji ataskaita LVMS fondui. LEI, 2008.
8. LST EN 12261: *Dujų skaitikliai. Turbininiai dujų skaitikliai.* 2003.

Jurij Tonkonogij, Antanas Pedišius, Arūnas Stankevičius,
Andrius Tonkonogovas

INFLUENCE OF GAS FLOW PULSATION ON THE OPERATION OF A SMALL THERMAL POWER PLANT

Summary

The influence of flow pulsations in the gas supply system of a small city thermal co-generation power plant operating in a combined stea-gas cycle on plant operation is investigated. It is shown that a

source of pulsations is the reciprocating gas compressor. Pulsations are the reason for great errors of a turbine meter used for gas accounting. At low loads of the plant, an insufficient pulsation damping and unsatisfactory compressor regulation produce resonance accompanied by a sharp increase of the meter's error and by a strong amplifying of pressure pulsations which propagate far beyond the plant and cause strong vibrations. It is shown that the swift-altering pressure pulsations can damage the turbine meter bearings. Repeated measurements after installation, at the compressor manufacturer suggestion, at the compressor input of the orifice have shown that the resonance intensity, flow pulsations and vibration level, as well as the value of the meter error have somewhat decreased, however, they still remain within undesirable limits. A complex of measures to eliminate the revealed negative phenomena is suggested.

Key words: flow pulsation, vibration, turbine gas meter error, reciprocating compressor

Юрий Тонконогий, Антанас Пядишюс,
Арунас Станкявичюс, Андрюс Тонконогovas

ВЛИЯНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ПОТОКА ГАЗА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБОЛЬШОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Резюме

Исследовано влияние пульсаций потока в системе газоснабжения небольшой городской когенерационной тепловой электростанции, работающей по паро-газовому циклу, на характеристики станции. Показано, что источником пульсаций является поршневой газовый компрессор. Пульсации являются причиной повышенной погрешности применяемого для учета газа турбинного счетчика. При пониженных нагрузках станции возникает резонанс, что связано с недостаточным демпфированием колебаний и неудовлетворительным качеством регулирования работы компрессора. При этом резко возрастает погрешность счетчика и усиливаются пульсации давления, распространяемые далеко за пределы станции и вызывающие сильные вибрации. Показано, что быстропеременные пульсации давления могут вызвать повреждение подшипников счетчика. Проведенные после установки по предложению изготовителя компрессора на входе в компрессор диафрагмы повторные измерения показали, что интенсивность резонанса, пульсаций потока и вибрации несколько снизились, как и величина погрешности счетчика, однако все еще остаются в нежелательных пределах. На основе результатов исследования предложен комплекс мер по устранению выявленных негативных явлений.

Ключевые слова: пульсации потока, вибрация, погрешность турбинного счетчика газа, поршневой компрессор