



SPECIALAUS CIKLONO SU ANTRINIAIS SRAUTAIS AERODINAMINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAI

Aleksandras CHLEBNIKOVAS¹, Pranas BALTRĖNAS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹aleksandras.chlebnikovas@vgtu.lt; ²pranas.baltrenas@vgtu.lt

Santrauka. Specialus ciklonas-dujų valymo įrenginys geba pašalinti iš užteršto agresyvių dujų srauto, kurio temperatūra 50–145 °C ir santykinis drėgnis daugiau nei 95 %, smulkiadisperses kietąsias daleles nuo 2 μm dydžio bei pasiekti didesnę nei 90 % valymo efektyvumą. Įrenginio darbas pagrįstas išcentrinėmis jėgomis bei papildomai atsirandančio filtracijos proceso veikimu. Ciklono konstrukcijoje įrengti pirminis ir antriniais įtekantys dujų srautai, per kuriuos oro dispersinis srautas patenka lygiagrečiai į visus ciklono kanalus. Tiriamas patobulintas daugiakanalis ciklonas, kuris efektyviai išvalytų iš srauto smulkiadisperses kietąsias daleles, sumažintų adheziją ar autoheziją valant agresyvių dujų srautą. Aerodinaminių parametrų tyrimai – pirmasis šio įrenginio tyrimo etapas, siekiant nustatyti optimalius atvejus esant 8, 12 ir 16 m/s vidutiniams dujų srauto greičiams ciklono kanaluose bei dujų srauto dinamikos priklausomybes ciklone.

Reikšminiai žodžiai: daugiakanalis ciklonas, antriniais srautais, aerodinaminiai parametrai, kietosios dalelės.

Įvadas

Didelės kietųjų dalelių emisijos susidaro ir išmetamos į atmosferą technologinių procesų metu pramonės objektų šaltiniuose, daugiausiai energetikos sektoriuje – katilinėse, termofikacinėse elektrinėse ir kt. Uždaroje aplinkoje atliekami įvairūs mechaniniai darbai, kai darbo zonoje susidaro kenksminga užteršta ypač pavojingomis smulkiadispersėmis kietosiomis dalelėmis (SKD) aplinka. Ypač smulkių, t. y. mažesnių nei 10 μm skersmens, dalelių sukeliama poveikis žalingiausias žmogaus sveikatai, todėl yra svarbu tinkamai iš pramoninių dujų išvalyti esamas SKD, taikant pažangias aplinkosaugines technologijas (Xu *et al.* 2016).

Plačiausiai pasaulinėje praktikoje yra naudojami aukšto efektyvumo kietųjų dalelių valymo iš dujų (oro) įrenginiai, tarp kurių elektrostatiniai bei rankoviniai filtrai. Jie yra gana brangūs, jų eksploatacija sudėtinga, taikymo galimybės yra ribotos, surenkant lipnias bei drėgnas KD, o jų panaudojimas esant agresyvioms sąlygoms yra sudėtingas arba neįmanomas (Hong *et al.* 2012). Daugiakanaliai ciklonai, turintys kreivinius kanalus (taip sudaromi uždarieji kontūrai), kaip ir įprastos tuščiaavidurės konstrukcijos ciklonai, yra paprastos konstrukcijos, gamybos procesas nėra sudėtingas, lengvai sumontuojami bei eksploatuojami. Dėl minėtų privalumų daugiakanaliai ciklonai yra patikimi, universalūs bei ekonomiški. Uždarieji kontūrai,

turintys pusžiedžių tarpus, sudaro galimybę dujų srautui įtekėti į kanalus ir ištekėti iš jų. Juose tranzitinis dujų (oro) srautas daugelį kartų filtruojasi per grįžtamąjį iš dalies išvalytą dujų ir jame esančių smulkiadispersių kietųjų dalelių (SKD) srautą, cirkuliuojantį pusžiedžių tarpuose. Dėl šios sąveikos SKD yra papildomai atskiriamos ir nukreipiamos į segmentinius žiedinius plyšius, tada nusodinamos ciklono bunkeryje (Burov *et al.* 2012).

Vienas iš pagrindinių daugelio taikomų ciklonų trūkumų yra nedidelis smulkiadispersių kietųjų dalelių atskyrimo efektyvumas. Tai yra aktualu, norint taikyti ciklonus kaip alternatyvą kitiems filtrams, kurie pasižymi dideliu hidrauliniu pasipriešinimu, nepastoviu darbu, užsikemša ir reikalauja dėmesingos priežiūros. Šiam tikslui yra tikslinga taikyti antrinį srautą, kuris gali būti įterpiamas papildomai į ciklono aktyvaus valymo zoną. Taikant antrinį srautą ciklone, žymiai didėja išcentrinė jėga, kuri veikia kietąsias daleles ir atskiria jas iš užteršto dujų srauto. Tokiu būdu antrinis srautas pagerina valymo procesą bei papildoma pirminį srautą, dėl to hidrauliniai nuostoliai sumažėja (Funk, Baker 2013).

Nuosekliai išdėstytų bei sujungtų tarpusavyje kreivinių kanalų sistema su uždariaisiais kontūrais paskirsto esančias užterštame dujų sraute kietąsias daleles pagal mases į tris grupes. Dalelės, kurių masė yra mažesnė už tam tikrą kritinę vertę, yra išnešamos kartu su išvalytu dujų

srautu. Pavienės dalelės bei didesnių masių už tam tikras reikšmes aglomeratai yra gražinami į užteršto srauto lauką arba yra tiesiogiai nusodinami ciklono bunkeryje, patekdami pro segmentinius plyšius, esančius išoriniuose ciklono kanaluose. Dalelės bei aglomeratai, turintys tarpines masių vertes, pasiskirsto orbitose bei cirkuliuoja uždaraisiais kontūrais. Uždarasis kontūras yra sudaromas gretimų kanalų pora, taip pat užteršto dujų srauto lauku arba prijungtu prie ciklono surinkimo bunkeriu. Tokios konstrukcijos šešiakanalis ciklonas gali išvalyti iš oro srauto SKD, kurių medianinis skersmuo siekia 5–6 μm, pasiekti didesnę kaip 80 % valymo efektyvumą (Vaitiekūnas, Jakštonienė 2010).

Daugiakanaliniuose ciklonuose judant dulkėtam agresyvių dujų srautui ant vidinių konstrukcijos paviršių formuojasi KD nuosėdų sluoksniai (Wang *et al.* 2016). Šis reiškinys yra analizuojamas kaip tamprus teršalų dalelių atšokimas ir adhezija su paviršiumi, šių dviejų veiksnių jėgų dydžiai, šių jėgų tarpusavio palyginimas. Šių jėgų santykis yra tiesiogiai proporcingas dalelių skersmeniui trečiuoju laipsniu. Taigi smulkiosioms dalelėms sąveikaujant su paviršiumi pradiniam etape ypač reikšmingos yra adhezijos jėgos, kai dalelių sluoksnis formuojasi ant konstrukcijos paviršiaus, ir autohezijos – kai dalelės formuoja antrinį bei kitus sluoksnius, kurie sulimpa tarpusavyje.

Tyrimais nustatyta, kad intensyvi adhezija ir autohezija vyksta ties užteršto dujų srauto įtekėjimu, ant ciklono separavimo kameros, esant ciklonui, turinčiam vieną tangentinį įtekėjimą. Smulkiųjų dalelių aglomeratai konstrukcijos išlinkimuose patenka ant sienelių ir prilimpa prie jų. KD aglomeratas sudarytas iš įvairaus dydžio, masės bei formos dalelių, tai lemia netolygų nelygumų ant paviršiaus susidarymą (Walter 1995).

Šio tyrimo tikslas – nustatyti dujų srauto aerodinaminčius parametrus ir jų kitimą specialiame ciklone su antriniais srautais, siekiant jį pritaikyti smulkiadispersiems kietosioms dalelėms išvalyti iš agresyvių dujų srauto.

Metodika

Eksperimentiniai tyrimai atlikti naudojant dujų valymo įrenginį – specialų cikloną su antriniais srautais. Specialaus ciklono konstrukcija sudaryta iš separavimo kameros, į kurią įteka vienodo skerspjūvio vienas pirminis ir trys antriniai dujų srautai. Šie srautai juda įtekėjimo ortakiais, kurie sujungti su separavimo kamera taip, kad dujų srautas įtekėtų į ciklono kanalus liestinės kryptimi. Specialaus ciklono matmenys: cilindrinio korpuso skersmuo – 0,53 m, bendras ciklono aukštis (su dviejų dalių kūginu bunkeriu) – 1,10 m, srauto įtekėjimo ir ištekėjimo ortakių skersmuo – 0,16 m, pirminių ir antrinių įtekėjimų angų matmenys – 0,035×0,30 m (1 pav.).

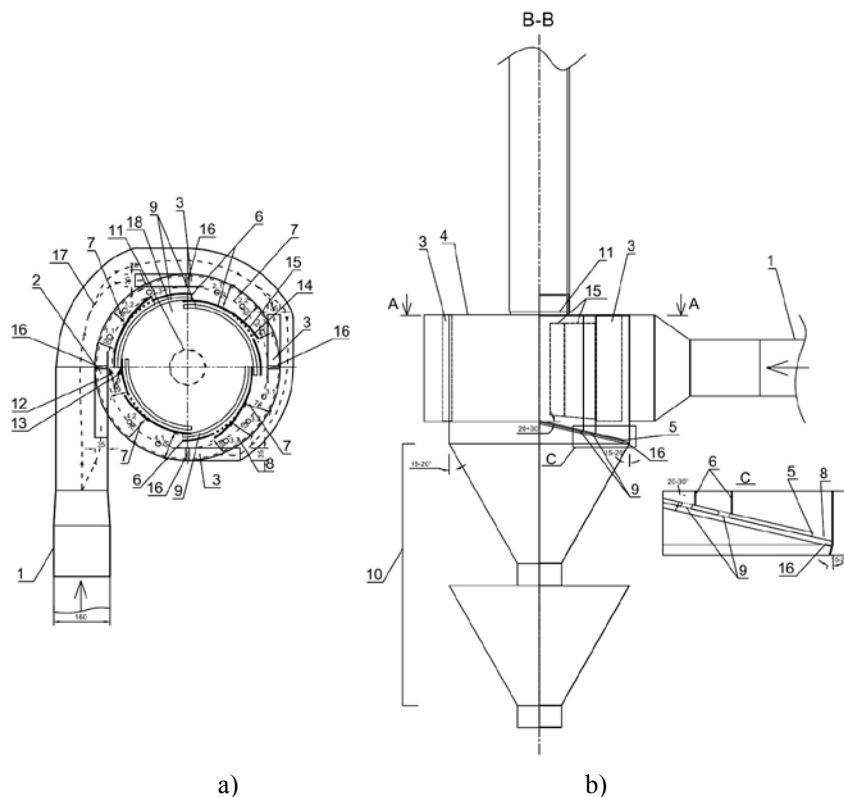
Separavimo kameroje vidinėje konstrukcijoje yra išdėstyti kreiviniai ketvirtadalio žiedo formos elementai, kurių kampo posūkiai yra $\varphi = 0 - \pi/2, \pi/2 - \pi, \pi - (3/2)\pi, (3/2)\pi - 2\pi$. Esant ciklonui, kuriame yra daugiau nei keturi kanalai, ketvirtadalio žiedo formos elementų išdėstymas yra sudaromas laikantis tokio pat kampo posūkio žingsnio. Specialaus ciklono konstrukciją sudaro dujų srauto įtekėjimo į cikloną ir ištekėjimo iš ciklono ortakiai, dujų srauto įtekėjimo angos, separavimo kamera, ant kurios išgaubto dugno yra įrengti išlenkti konfigūruoti ketvirtadalio žiedo formos elementai, išorinis ištinis žiedinis plyšys bei vidiniai kanalų segmentiniai žiediniai persidengiantys plyšiai ir bunkeris SKD surinkti. Pateikti rezultatų duomenys laboratorinėms sąlygomis, t. y. tiriant neagresyvių dujų srautą. Cilindrinio korpuso ciklone cilindriniai kreiviniai ketvirtadalio žiedo formos elementai išdėstomi taip, kad būtų sudaryti persidengimai tarp gretimų elementų, bei atitraukiami atsižvelgiant į įtekėjimo plotį. Dėl tokio išdėstymo bei savitos ciklono konstrukcijos kanalų pabaiga yra mažėjančio skerspjūvio plotas.

Analizuojant daugiakanalį cikloną, remiantis ankstesniais tyrimais (Baltrėnas, Chlebnikovas 2015; Baltrėnas, Chlebnikovas 2016), buvo pasirinktas optimalus 50/50 srautų pasiskirstymo santykis srautų persiskyrimo zonoje, kuris buvo nustatytas reguliuojant ketvirtadalio žiedo formos elementų padėtį. Taigi šių elementų tarpuose ateinantis iš kanalo srautas dalijasi į periferinį (grįžtamąjį) bei tranzitinį (judantį į kitą kanalą) srautą, periferinį bei tranzitinį srautą sudaro 50 % bendro ateinančio srauto, t. y. srautų pasiskirstymo santykiai yra lygūs tarpusavyje. Tyrimams buvo pasirinktas cilindrinis ciklonas panaudojant ketvirtadalio žiedo formos elementus su angų plokštelių atlenkimais, kurie buvo įrengti ant separavimo kameros išgaubto dugno, buvo gautas keturkanalis ciklonas su vidiniu centriniu kanalu.

Atliekant oro srauto greičio tyrimus ortakiuose, skerspjūviai sąlygiškai padalinami į keletą koncentriškų žiedų, kurių skaičius priklauso nuo dujų greičių pasiskirstymo ypatumų ortakio skerspjūvyje.

Mažėjant simetriškumui ir greičių tolygumo pasiskirstymui, taip pat didėjant ortakio skersmeniui, žiedų skaičius turi didėti. Kiekviename žiede matavimo taškų atstumai nuo vidinės ortakio sienelės yra apskaičiuojami.

Greičio matavimo taškų (g. m. t.) išdėstymas specialaus ciklono eksperimentiniame stende pateiktas 1 pav. Pirmas skaitmuo žymi ciklono kanalo numerį, antras – taško eilės Nr. Siekiant nustatyti vienfazio dujų srauto greitį matavimo taškuose, ciklono dangtyje parinktose vietose pragrežiamos kiauřymės numatant galimybę jas užsandarinti. Parinkti taškai yra išsidėstę kanalo pradžioje (statmenai



1 pav. Specialaus ciklono principinės schemas (a, b): 1 – užteršto dujų srauto ortakis; 2, 3 – pirminis ir antriniai srauto įtekėjimai; 4 – ciklono korpusas; 5 – išgaubtas separavimo kameros dugnas; 6 – išlenkti konfigūruoti kreivinės ketvirtadalių žiedo formos elementai; 7 – ciklono išoriniai kanalai; 8 – išorinis išsistinis žiedinis plyšys; 9 – vidiniai kanalų segmentiniai žiediniai persidengiantys plyšiai; 10 – bunkeris; 11 – išvalyto dujų srauto pašalinimo ortakis; 12, 13 – periferinis ir tranzitinis pasiskirstymo srautai; 14, 15 – ketvirtadalių žiedo formos elementuose išpjautos angos ir atlenktos 5° kampu plokštelės; 16 – tvirtinimo elementai; 17 – antrinių srautų trajektorijų linijos; 18 – vidinis centrinis kanalas

Fig. 1. a) ir b) Special cyclone principal scheme: 1 – dusted gas flow inlet duct, 2, 3 – primary and secondary flow inlets, 4 – cyclone corp, 5 – convex bottom of separation chamber, 6 – configured curved shape quarter-ring-formed elements, 7 – cyclone's external channels, 8 – outer ringed continuous slit, 9 – segmental ringed overlaid slits, 10 – hopper, 11 – cleaned gas flow removal outlet duct, 12, 13 – peripheral and transit distributed flows, 14, 15 – opening slots with 5° angle folded plate in the quarter-formed-rings, 16 – fasteners, 17 – secondary flow guide, 18 – internal central channel

srauto įtekėjimo kryptčiai) bei linijose su poslinkiais nuo statmens srautui įtekėti 45° ir 90° kampu. Siekiant gauti vidutinį greitį skerspjūvyje dujų srauto greičiai buvo nustatomi aukštyje, kuris lygus pusei kanalo aukščio, ir 5 mm atstumu nuo kanalo apatinio pagrindo (lygio dugno) bei kanalo viršutinio pagrindo (lygio viršaus).

Dujų srauto tyrimai atlikti nustatant skirtingus vidutinius greičius ciklono kanaluose. Pučiamas dujų srautas keičiamas ventiliatoriaus valdymo bloke esančiu apsučių reguliatoriumi. Naudojant kreivinius ketvirtadalių žiedo formos elementus ciklono kanaluose yra nagrinėjami atvejai nustatant 8 m/s, 12 m/s bei 16 m/s dujų srauto greitį. Šie greičiai parinkti atsižvelgiant į ankstesnių atliktų tyrimų rezultatus, kai ciklono valymo efektyvumas buvo didžiausias, t. y. esant 12 m/s, bei parinkus papildomus

ribinius atvejus esant 8 ir 16 m/s (Baltrėnas, Chlebnikovas 2015; Chlebnikovas, Baltrėnas 2015).

Pito vamzdelis įstatomas į daugiakanalio ciklono dangtyje parinktose vietose pragrežtas kiaurymes. Kol matavimas neatliekamas, Pito ir Prandtlio vamzdelio galas turi būti nukreiptas pasroviui.

Eksperimentiniams tyrimams naudotas Pito dinaminis vamzdelis, kuris jungiamas žarnelėmis su dinaminio zonu bei daugiakampi matuokliu *Testo 350* (temperatūros matavimo ribos: 20–700 °C, paklaida ±0,2 °C, greičio matavimo ribos: 1–30 m/s, paklaida – ±0,05 m/s).

Aerodinaminių parametrų tyrimuose nagrinėjant slėgį yra vertinami trys skirtingi jo tipai. Pirmasis – dinaminis (greitinis) slėgis yra lygus tokiam slėgiui, kuris reikalingas suteikti srautui tokį pagreitį, kad srautas iš ramybės būklės

pasiektų atitinkamą greitį. Specialaus ciklono tyrimuose jis matuojamas tiesioginiu būdu, naudojant Pito vamzdelį ir daugiafunkcį matuoklį su priedeliu *Testo 350*.

Statinis slėgis atspindi 1 m³ oro potencinę energiją, jis lygus slėgiui į ortakio sienelės. Ventilatoriaus ir ciklono sistemos slėgiams nustatyti yra tiriama statinis slėgis prieš cikloną ir po jo, matuojant sukuriama dujų srauto slėgis prieš patenkant į valymo įrenginį ir dėl išpūtimo į aplinką sudaromas slėgis po ciklono. Tam tikslui yra naudojamas tik „+“ slėgio matuoklio jutiklis, jungiant su Pito vamzdelio žarnele. Tuo pačiu metu yra stebimas ir palaikomas pastovus dujų srauto greitis.

Slėgio kritimui ciklono sistemoje nustatyti yra tiriama aerodinaminis pasipriešinimas, kuris lemia energijos sąnaudas eksploatuojant cikloną. Dažnai šis parametras vadinamas slėgio nuostoliais. Kadangi dujoms tiekti naudojama energija, o ne slėgis, todėl tikslinga vartoti sąvoką energijos nuostoliai. Matavimai atliekami ortakio centre ir kiekviename parinktame taške. Pneumatinio vamzdelio galas nukreipiamas prieš dujų tėkmės kryptį. Dinaminis vamzdelis stumiamas per skersmenį nuo artimesnės ortakio sienelės prie tolimesnės, sustojant kiekviename parinktame taške, o paskui atvirkščiai (traukiamas nuo tolimesnės ortakio sienelės iki artimesnės). Tame pačiame taške rodmenys neturi skirtis daugiau kaip 15 %.

Kartu su dujų srauto greičiais buvo apskaičiuoti įtekantys debitai pro įtekantį ir ištekantį dujų srauto ortakius. Siekiant nustatyti dujų srautų pasiskirstymą specialiame ciklone su antriniais srautais, dujų srauto debitai buvo apskaičiuoti remiantis dujų srauto greičiais kiekvieno kanalo pradžioje.

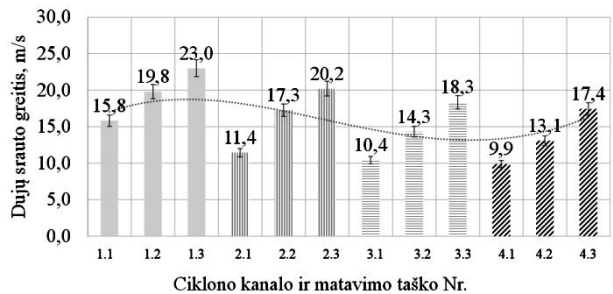
Dujų srauto slėgio tyrimuose naudotas diferencialinis slėgio matuoklis DSM-1 (matavimo ribos – 0–20 000 Pa; paklaida – ±5 Pa), kuris buvo prijungtas žarnelėmis su angomis slėgiui matuoti prieš cikloną ir po jo, taip siekiant nustatyti ciklono aerodinaminį pasipriešinimą.

Atliekant aerodinaminio pasipriešinimo tyrimus, slėgiams prieš ir po ciklono matuoti ortakyje parinktoje vietoje buvo pragražytos kiaurymės ir įmontuoti metaliniai 50 mm ilgio atvamzdžiai. Aerodinaminis pasipriešinimas išmatuojamas pagal statinio slėgio skirtumą įtekančio ir ištekančio srautų ortakiuose.

Tiekiamo oro srauto temperatūros ir drėgnio nustatymo tyrimai atlikti naudojant daugiafunkcį matuoklį *KIMO AMI 300* (santykinio drėgnio matavimo intervalas 5–95 %, skiriamoji geba 0,1 %, santykinė paklaida – 0,1 %; temperatūros matavimas –20–180 °C, skiriamoji geba 0,1 °C, santykinė paklaida – 0,3 %). Oro srauto greičių bei slėgių nustatymas buvo atliktas laboratorinėmis sąlygomis. Esant pastarosioms aplinkos sąlygoms oro srauto temperatūra buvo 19–22 °C, santykinis drėgnis – 30–35 %.

Rezultatai ir jų analizė

Aerodinaminių parametru tyrimai buvo atlikti esant 8, 12 ir 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui ciklono kanaluose. Esant didžiausiam iš pasirinktųjų greičių – 16 m/s – gauti rezultatai pateikti 2 pav. Šiuo atveju greitis ortakyje prieš cikloną siekė 24,8 m/s, o po ciklono 24,7 m/s, debitai atitinkamai buvo lygūs 1790 ir 1787 m³/val.



2 pav. Dujų srauto greičių pasiskirstymas specialaus ciklono kanaluose, esant 16 m/s vidutiniam greičiui ciklono kanaluose
Fig. 2. Gas flow velocity distribution in the channels of special cyclone at the average velocity of 16 m/s in the cyclone's channels

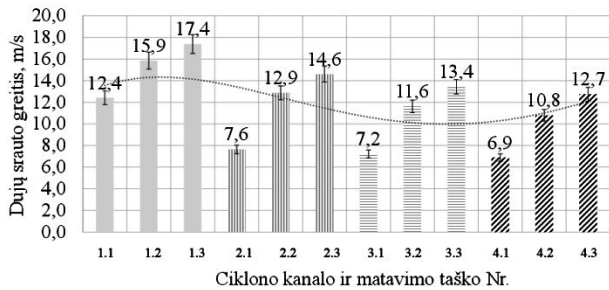
Gauti rezultatai rodo, kad taikant specialaus ciklono antrinius įtekėjimus buvo išlaikytas tolygus srauto pasiskirstymas visuose ciklono kanaluose, o dujų greitis kito 9,9–23 m/s intervale.

Didžiausias greitis buvo nustatytas pirmo kanalo pabaigoje (taškas Nr. 1.3), o mažiausias dujų greitis – ketvirto kanalo pradžioje. Tai galima paaiškinti tuo, kad specialaus ciklono kanalų skerspjūvio plotas nežymiai mažėja artėjant link jų pabaigos.

Dujų srauto greičių pasiskirstymui visuose kanaluose turi įtakos ir kiekvienas iš įrengtų antrinių įtekėjimų, kurie papildo bendrą dujų srauto kiekį, kai dujų srauto tekėjimo trajektorijos kampas buvo lygus $\pi/2$. Buvo apskaičiuoti kiekvieno iš įtekėjimų oro srauto debitas: į pirmą įtekėjimą – 600, į antrą – 430, į trečią – 390, į ketvirtą – 375 m³/val. Suminis visų įtekėjimų debitas buvo lygus 1795 m³/val.

Esant 12 m/s vidutiniam greičiui ciklono kanaluose, greičiai atskiruose kanalų taškuose kito 6,9–17,4 m/s intervale. Tendencijos išliko panašios, kai dujų greitis buvo 16 m/s. Debitai įtekėjimuose buvo lygūs: pirmame įtekėjime – 470, antrame – 290, trečiame – 270, ketvirtame – 260 m³/val. Suminis visų įtekėjimų debitas buvo lygus 1290 m³/val. Šiuo atveju greitis ortakyje prieš cikloną siekė 17,8 m/s, o po ciklono 17,7 m/s, o debitai atitinkamai buvo lygūs 1285 ir 1280 m³/val. (3 pav.).

Esant 8 m/s vidutiniam greičiui ciklono kanaluose, dujų srauto greičio vertės kito siaurame intervale – 5,3–11,3 m/s. Antro, trečio ir ketvirto kanalų greičiai buvo panašūs, vertės neviršijo paklaidų. Greičiai pirmame kanale



3 pav. Dujų srauto greičių pasiskirstymas specialaus ciklono kanaluose, esant 12 m/s vidutiniam greičiui ciklono kanaluose
Fig. 3. Gas flow velocity distribution in the channels of special cyclone at the average velocity of 12 m/s in the cyclone's channels

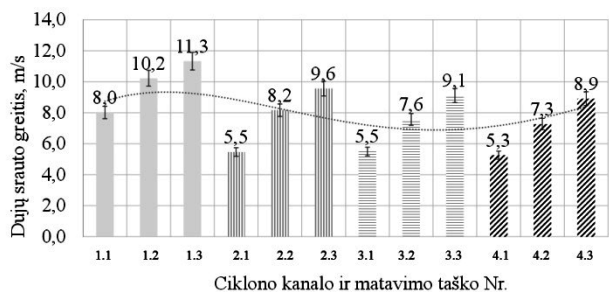
buvo didžiausi ir skyrėsi nuo greičių kituose kanaluose apytiksliai 32,6 %, 25 % ir 18,9 % atitinkamai matavimo taške Nr. 1, 2 ir 3 (4 pav.).

Debitai įtekėjimuose buvo lygūs: pirmame įtekėjime – 305, antrame – 205, trečiame – 210, ketvirtame – 200 m³/val. Suminis visų įtekėjimų debitas buvo lygus 920 m³/val. Šiuo atveju greičiai ortakiuose prieš ir po ciklono buvo lygūs ir siekė 12,6 m/s, o debitas – 915 m³/val.

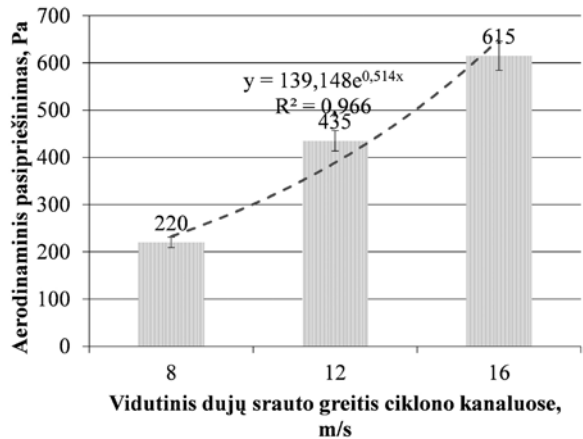
Dujų srauto dinamikos tyrimai buvo atlikti nustatant specialaus ciklono aerodinaminį pasipriešinimą, gauti rezultatai pateikti 5 pav.

Tiriant keturkanalio specialaus ciklono su antriniais srautais aerodinaminį pasipriešinimą nustatyta, kad, esant 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui ciklono kanaluose bei tolygiam periferinio ir tranzitinio oro srautų santykio atvejui – 50/50, yra sukuriamas didžiausias aerodinaminis pasipriešinimas, kuris siekia 615 Pa. Analizuojant atvejį, kai vidutinis dujų srauto greitis ciklono kanaluose buvo lygus 12 ir 8 m/s, nustatyta, kad aerodinaminis pasipriešinimas, lyginant su 16 m/s atveju, sumažėja 1,41 ir 2,8 karto atitinkamai.

Kartu su aerodinaminio pasipriešinimu buvo nustatyti kiti slėgio parametrai prieš cikloną ir po jo. Esant 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui ciklono kanaluose, dinaminis



4 pav. Dujų srauto greičių pasiskirstymas specialaus ciklono kanaluose, esant 8 m/s vidutiniam greičiui ciklono kanaluose
Fig. 4. Gas flow velocity distribution in the channels of special cyclone at the average velocity of 8 m/s in the cyclone's channels



5 pav. Specialaus ciklono aerodinaminio pasipriešinimo pokytis esant skirtingam vidutiniam dujų srauto greičiui kanaluose laboratorinėms sąlygomis

Fig. 5. The changes of aerodynamic resistance in the special cyclone under different average flow velocity in the channels under laboratory conditions and at aggressive gas flow

slėgis prieš cikloną ir po jo buvo lygus 368,5 ir 366,7 Pa. Statinis slėgis prieš cikloną buvo 1225 Pa, po ciklono sumažėjo apytiksliai 2 kartus ir buvo lygus 608 Pa.

Kai dujų srauto greitis kanaluose buvo 12 ir 8 m/s, statinis slėgis prieš cikloną buvo 833 ir 661 Pa, o po ciklono – 441 ir 403 Pa, esant atitinkamiems greičiams.

Apibendrinant visus išnagrinėtus atvejus, nustatyta, kad dujų srautas visais atvejais kinta gana tolygiai, taigi 16 m/s dujų greičio atveju pokytis tarp didžiausios ir mažiausios vertės buvo lygus 2,32, esant 12 m/s – 2,52, o 8 m/s greičio atveju – 2,13 karto. Galima daryti prielaidą, kad esant 8 m/s dujų greičiui matavimo taškuose Nr. 2.1, 3.1 ir 4.1 gali būti nepakankamas srautas agresyvių dujų srautui judėti. Todėl prie įtekėjimų gali kauptis įtekančios kartu su srautu SKD, o tai sukels adhezijos ir autohezijos reiškinius ir ciklonas užsikimš. Siekiant išvengti adhezijos yra pasirenkama tolesnius tyrimus atlikti, kaip optimalų taikant 12 m/s dujų greitį. Analizuojant specialaus ciklono pasipriešinimą galima teigti, kad net esant didžiausiam iš pasirinktų 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui ciklono kanaluose, yra gauti palyginti nedideli 615 Pa slėgio nuostoliai. Aerodinaminis pasipriešinimas padidėja labiausiai, padidėjus dujų srauto greičiui ciklono kanaluose nuo 8 iki 12 m/s, kai parametro vertės pakinta apytiksliai 1,98 karto. Pateikti 5 pav. rezultatai kito pagal eksponentinę priklausomybę, tai pagrindžia koreliacijos koeficiento kvadratas, kuris šiuo atveju lygus 0,966. Aptarus visus gautus rezultatus taip pat galima pridurti, kad išnagrinėtas keturkanalis ciklonas yra mažo kanalų skaičiaus tipo ciklonas, tačiau šis pasirinkimas pagrįstas paprastu taikymu, norint išvengti kietųjų dalelių užsikimšimo valant dulkėtą agresyvių dujų srautą.

Išvados

1. Didžiausias dujų srauto greitis specialiaame ciklone buvo nustatytas pirmame kanale. Didžiausioji vertė siekė 23,0 m/s, nustatyta pirmo kanalo pabaigoje, trečiame taške, esant 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui. Esant 12 ir 8 m/s vidutinių dujų srauto greičiams vertės buvo 17,4 ir 11,3 m/s. Lyginant dujų srauto greičius specialaus ciklono kanaluose pastebėta, kad vertės kanalų viduryje apytiksliai 1,36 karto didesnės nei pradžioje ir 1,24 karto mažesnės nei kanalų pabaigoje. Taigi antriniai dujų srautai papildo kiekvieno kanalo srautą, o dujų srauto greičio padidėjimas pasireiškia ties kanalo viduriu.
2. Didžiausias aerodinaminis pasipriešinimas siekė 615 Pa, nustatytas esant 16 m/s vidutiniam dujų srauto greičiui ciklono kanaluose, kai užterštų dujų srauto debitas buvo lygus 1790 m³/val. Esant užterštų dujų srauto debitams 1285 ir 920 m³/val. specialaus ciklono su antriniais srautais pasipriešinimas buvo lygus 435 ir 220 Pa atitinkamai.
3. Specialiaame ciklone su antriniais srautais yra taikomas ne tik įprastas tangentinis įtekėjimas į pirmąjį ciklono kanalą, bet ir papildomai taikomi antriniai srautai į kiekvieną iš ciklono išorinių kanalų. Tokiame specialiaame ciklone judantis dujų srautas yra papildomas naujai atitekančiu srautu, kuris sumažina dujų srauto svyravimus ir tarp ciklono kanalų, ir kiekviename kanale – nuo jo pradžios iki pabaigos. Šis technologinis sprendimas yra vienas iš konstruktyvių sprendimų, norint pritaikyti daugiakanalį cikloną dulkėtą agresyvių dujų srautui valyti ir išvengti įrenginio užsikimšimo dėl vykstančios kietųjų dalelių adhezijos. Tokių valymo charakteristikų ciklonas, net esant nežymiai padidėjusiam aerodinaminiam pasipriešinimui bei sudėtingai konstrukcijai, būtų vienas iš perspektyvių įrenginių dulkėtą agresyvių dujų srautui valyti.

Literatūra

- Baltrėnas, P.; Chlebnikovas, A. 2015. Experimental research on the dynamics of air flow parameters in a six-channel cyclone-separator, *Powder technology: an international journal of the science and technology of wet and dry particulate systems*. Amsterdam: Elsevier B.V., 283: 328–333.
- Baltrėnas, P.; Chlebnikovas, A. 2016. Investigation into a new generation multi-channel cyclone used for removing lignin particulate matter from gas under conditions of an aggressive environment, *Process Safety and Environmental Protection. Official journal of the European Federation of Chemical Engineering Part B*, 99: 107–119.
- Chlebnikovas, A.; Baltrėnas, P. 2015. Daugialygių daugiakanalių ciklonų aerodinaminių parametrų ir valymo efektyvumo eksperimentiniai tyrimai ir palyginimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis: Aplinkos apsaugos inžinerija = Science – Future of Lithuania: Environmental protection engineering* 7(4): 372–379. Vilnius: Technika.

- Funk, P.; Baker, K. 2013. Engineering and ginning. Dust cyclone technology – a literature review, *The Journal of Cotton Science* 17: 40–51.
- Hong, C.; Kim, B.; Kwon, K.; Park, C. 2012. Ciklono konstrukcijos ir dujų-dulkų sugaudymas ir tobulinimas Pasaulinėje Mokslo Akademijoje [The effect of cyclone shape and dust collector on gas – solid flow and performance in World Academy of Science], *Engineering and Technology* (61): 252–257.
- Wang, Y.; Yang, Y.; Zou, Y.; Cao, Y.; Ren, X.; Li, Y. 2016. Garavimas ir smulkių vandens lašelių judėjimas ir jo įtaka pradiniam skersmeniui ir santykiniam drėgmeniui [Evaporation and movement of fine water droplets influenced by initial diameter and relative humidity], *Aerosol and Air Quality Research* 16: 301–313. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.03.0191>
- Vaitiekūnas, P.; Jakštonienė, I. 2010. Analysis of numerical modeling of turbulence in a conical reverse-flow cyclone, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(4): 321–328. <https://doi.org/10.3846/jeelm.2010.37>
- Walter, J. 1995. Particle-surface interactions: charge transfer, energy loss, resuspension, and deagglomeration, *Aerosol Science Technology* 23: 2–24. <https://doi.org/10.1080/02786829508965291>
- Xu, J.; Zhang, M.; Shao, L.; Kang, J. 2016. Subjektyvus aplinkos kokybės Kinijos pramoniniame sektoriuje vertinimas [Subjective evaluation of the environmental quality in China's industrial corridors], *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 24(1): 21–36. <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1100997>
- Burov, A. A.; Karamushko, A. V.; Gamolich, V. Ya. 2012. Ciklonų „Siot“ ir daugiakanalio dulkių gaudytuvo „Buran“ pramoninių bandymų rezultatų palyginamasis vertinimas [Sravnitel'naya otsenka rezul'tatov promyshlennykh ispytaniy tsiklonov "Siot" i mnogokanal'nykh pyleuloviteley "Buran"]. Pratsi Odes'kogo politekhnichnogo universitetu 1(38): 271–275.

RESEARCH OF THE AERODYNAMIC PARAMETERS IN A SPECIAL CYCLONE WITH SECONDARY INLETS

A. Chlebnikovas, P. Baltrėnas

Abstract

Special cyclone – gas treatment device which can be applied to remove the fine particulate matter bigger than 2 micrometres from aggressive gas flow at a temperature of 50–145 °C and a relative humidity of more than 95% and can be achieved the cleaning efficiency over 90%. Cyclone work is based on centrifugal forces and the resulting additional filtration process operation. Cyclone structure equipped with primary and secondary gas flow inflows through which gas dispersed flow is supplied parallel to all channels of the cyclone. Analysed modified multi-channel cyclone can be effectively treated from fine particulate matter, during the cleaning of aggressive gas flow an adhesion/cohesion phenomena could be reduced. Research of aerodynamic parameters it's the first step of studies to determine the optimal case, at the average gas flow velocity in cyclone channels were 8, 12 and 16 m/s, the gas flow dynamics dependencies into cyclone were determined.

Keywords: multi-channel cyclone, secondary flows, aerodynamic parameters, particulate matter.