



300 m³/h NAŠUMO SPIRALINIO DAUGIAKANALIO CIKLONO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMAS, ŠALINANT <20 μm KIETĄSIAS DALELES

Pranas BALTRĖNAS¹, Diana PLATOVA²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹pranas.baltrenas@vgtu.lt; ²diana.platova@vgtu.lt

Santrauka. Eksperimentiniai spiralinio ciklono valymo efektyvumo tyrimai atliekami siekiant nustatyti kietųjų dalelių, kurių dispersija $x < 20 \mu\text{m}$, pašalinimo efektyvumą patobulintame daugiakanaliame ciklone. Minėtas įrenginys pritaikytas itin smulkios kietosios dalelės iš užteršto oro (dujų) srauto pašalinti. Daugiakanalis ciklonas, turintis spiralinį korpusą, sukurtas Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Aplinkos apsaugos katedroje (AAK). Eksperimentinių tyrimų metu nustatytas spiralinio daugiakanalio ciklono (našumas 300 m³/h) oro (dujų) srauto valymo efektyvumas priklauso nuo vidinės įrenginio konstrukcijos, t. y. nuo kanalų skaičiaus ir oro (dujų) srauto pasiskirstymo į tranzitinį ir periferinį kanalų santykio. Taip pat įvertintas įrenginio valymo efektyvumas, šalinant skirtingos prigimties kietąsias daleles. Eksperimentiniams bandymams atlikti naudoti AFA-VP-20 filtrai. Remiantis bandymų rezultatais, nustatyta, kad efektyviausiai šalinamos granito kietosios dalelės – 95,1 %, stiklas – 91,4 %, mediena – 92,2 %.

Reikšminiai žodžiai: ciklonas, efektyvumas, spiralinis korpusas, kanalas, kietosios dalelės (KD).

Įvadas

Pramonėje ir gamyboje daugelio procesų metu susidaro dideli kiekiai kietųjų dalelių, kurios patenka į aplinką. Miestuose didžiausią įtaką oro užterštumo padidėjimui turi teršalai, patenkantys į orą dėl intensyvaus kūrenimo šildant patalpas, kai dėl silpno vėjo ir nepalankių meteorologinių sąlygų (rūkas, dulksna) teršalai neišsisklaido. Kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimą lemia ir autotransporto sukelta tarša, statybų, gatvių tiesimo, remonto darbai (Strelets, Tanayev 2004; Baltrėnas *et al.* 2011).

Oro užterštumas kietosiomis dalelėmis (KD) – viena pagrindinių aplinkos oro kokybės problemų. Kietosios dalelės – ore esančios dalelės, kurių sudėtyje gali būti įvairių komponentų – rūgščių, sulfatų, nitratų, organinių junginių, metalų, dirvožemio dalelių, dulkių, suodžių ir kt. Į orą išmetamos kietosios dalelės labai skiriasi savo fizine ir chemine sudėtimi, skirtingi yra dalelių dydžiai ir jų išmetimo šaltiniai (Baltrėnas, Zagorskis 2010).

Kuo mažesnis dalelių skersmuo, tuo gilesnius kvėpavimo takus jos pasiekia. KD₁₀ ir KD_{2,5} dalelės kelia didžiausią susirūpinimą, nes jos yra tiek mažos, kad gali prasiskverbti giliai į plaučius ir sukelti didelę grėsmę žmogaus sveikatai. Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, padidintas oro užterštumas kietosiomis dalelėmis daro įtaką sergamumo kvėpavimo, širdies ir kraujagyslių

ligomis didėjimui. Padidėjus aplinkos ore kietųjų dalelių koncentracijai, vyksta ūmių sveikatos sutrikimų. Siekiant išspręsti šią problemą vis labiau griežtinami aplinkosaugos reikalavimai pramonės objektams, kuriuose fiksuojamos emisijos į atmosferą, todėl tampa ypač aktualu pašalinti kietąsias daleles iš pramoninių oro (dujų) srautų naudojant įvairių konstrukcijų oro valymo įrenginius (Burov *et al.* 2012; Platova, Baltrėnas 2013).

Teršalus pašalinti iš užterštų oro (dujų) srautų dažniausiai naudojami fiziniai ir cheminiai procesai. Pramonėje ir energetikoje, kai išmetami dideli užteršto oro (dujų) tūriai, kietosioms dalelėms ir kitiems teršalams iš oro (dujų) srauto atskirti dažnai taikomas kelių pakopų valymas. Galimas ir vienos pakopos valymas, tačiau tuomet valymo įrenginys turi būti didelio valymo efektyvumo. Tam tinka įrenginiai su uždarytų kontūrų sistema, pavyzdžiui, ciklonai. Jau daugiau kaip šimtmetį naudojami įvairių konstrukcijų ciklonai. Šie oro valymo įrenginiai geba pasiekti gana aukštą išvalymo lygį, ypač esant stambesnių frakcijų kietosioms dalelėms (Baltrėnas *et al.* 2012; Gujun *et al.* 2008).

Oro (dujų) srauto valymas ciklonuose paremtas išcentrinį jėgų veikimu, atsirandančiu besisukančiame oro (dujų) sraute, įrenginio konstrukcijos viduje. Šių įrenginių

konstrukcijose oro (dujų) srautas juda tangentine arba ašine kryptimi (Jakštonienė, Vaitiekūnas 2009; Braz 2004; Platova, Baltrėnas 2013).

Ciklonų efektyvumas, valant 10 µm ir stambesnes daleles, siekia 70–90 %. Efektyvumas nemažėja esant didelėms dulkių koncentracijoms sraute, ciklonai yra paprastos konstrukcijos, juose nėra judančių dalių, palyginti nedideli slėgio nuostoliai, surinktos kietosios dalelės yra sausos. Ciklonų trūkumai: staigus valymo efektyvumo kritimas esant nehermetiškomis vietoms, energijos sąnaudų padidėjimas ir slėgio kritimas esant didesniems įtekėjimo greičiams, įrenginiai netinka lipnioms kietosioms dalelėms valyti (Burov 2010; Bernardo *et al.* 2006; Chlebnikovas, Baltrėnas 2012).

Daug metų tradicinio ciklono konstrukcija mažai kuo pasikeitė. Pagrindinės dalys, sudarančios ciklono valymo įrenginį, išlieka: separavimo kamera, kietųjų dalelių kaupimo bunkeris, įtekėjimo ir ištekėjimo ortakiai. Dėl to atsiranda pagrindinis ciklono valymo įrenginių trūkumas – nepakankamas kietųjų dalelių, kurių dispersija $x < 20$ µm, pašalinimo iš oro (dujų) srauto laipsnis. Norint pasiekti ypač gerą oro (dujų) srauto valymo efektyvumą, kai yra šalinamos itin smulkios ($x < 20$ µm) kietosios dalelės, taikomi naujos kartos ciklonai su uždarytų kontūrų sistema, kurios pagrindas yra viduje esantys kreiviniai kanalai. Pora gretimų kanalų sudaro uždarytą kontūrą (Balan *et al.* 2000; Burov 2010).

Siekis pagerinti oro (dujų) srautų valymą pramoniniuose objektuose nuolatos lydimas oro valymo įrenginių, veikiančių ir išcentrinį jėgų pagrindu, tobulinimu. Paminėtini tokie įrenginiai, kaip ciklofiltrai, kurių konstrukcija grindžiama rankovinio filtro ir ciklono deriniu, daugia-

kanaliai ciklonai, naujos konstrukcijos ciklonai naudojant ultragarso bangas (Serebryanskiy 2004; John, Reischl 2012; Platova, Baltrėnas 2013).

Užteršto oro (dujų) srautas naujos kartos ciklonuose valomas filtruojantis pro kelis grįžtančio (cirkuliuojančio uždaroje grandyse) oro (dujų) srauto sluoksnius. Keičiant atstumus tarp kreivinių pusžiedžių, reguliuojamas ir nustatomas optimalus oro (dujų) srauto debitas, patenkantis į tranzitinį ir periferinį kanalą, tokiu būdu reguliuojant oro (dujų) srauto valymo proceso eigą (Jakštonienė *et al.* 2011).

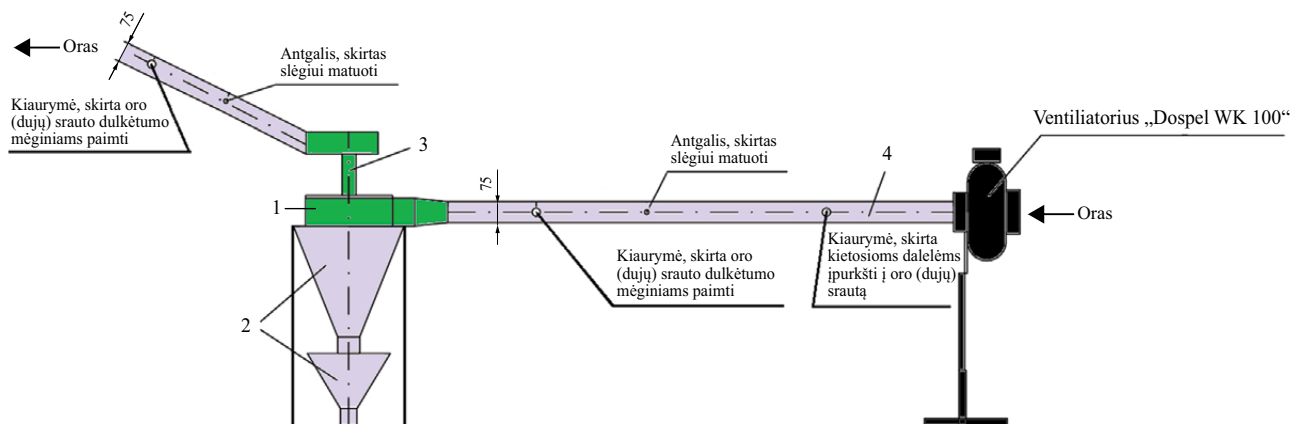
Darbo tikslas – nustatyti naujos kartos daugiakanalio spiralinio ciklono oro (dujų) srauto valymo efektyvumą, priklausomai nuo vidinės įrenginio konstrukcijos, t. y. nuo kanalų skaičiaus ir oro (dujų) srauto pasiskirstymo į tranzitinį ir periferinį kanalą santykio, taip pat įvertinti įrenginio valymo efektyvumą, šalinant skirtingos kilmės kietąsias daleles.

Metodika

Naujos kartos daugiakanalio ciklono su spiraliniu korpusu eksperimentinis stendas yra įrengtas Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Aplinkos apsaugos technologijų laboratorijoje (1 pav.).

Eksperimentiniai tyrimai atlikti su naujos konstrukcijos daugiakanalio spiraliniu ciklonu, kuris šalina itin smulkias (20 µm ir mažesnes) kietąsias daleles iš oro (dujų) srauto.

„Dospel WK 100“ (galingumas 70 W) ašinis ventiliatorius tiekia orą iš aplinkos, įtekančio oro (dujų) srauto ortakiu (4) (75 mm). Patekęs į ciklono separavimo kamerą (1), oras ir kietosios dalelės yra veikiamos išcentrinį jėgų, kuriomis kietosios dalelės šalinamos iš oro (dujų)



1 pav. Daugiakanalio ciklono su spiraliniu korpusu eksperimentinis stendas: 1 – daugiakanalis ciklonas; 2 – kietųjų dalelių kaupimo bunkeris; 3 – oro (dujų) srauto ištekėjimo ortakis; 4 – oro (dujų) srauto įtekėjimo ortakis (Platova, Baltrėnas 2013)

Fig. 1. An experimental stand of the multichannel spiral-shell cyclone: 1 – multichannel cyclone with a spiral shell; 2 – double hopper; 3 – air (gas) flow inlet; 4 – air (gas) flow outlet (Platova, Baltrėnas 2013)

srauto. Pro segmentinius plyšius kietosios dalelės nusodinamos iš separavimo kameros į bunkerį (2) ir ten kaupiamos. Švarus oras per oro (dujų) srauto ištekėjimo angą (3) pašalinamas iš valymo sistemos ir keliauja į ištekančiojo oro (dujų) srauto ortakį (75 mm).

Oro (dujų) srauto valymo efektyvumo tyrimas paremtas kietųjų dalelių koncentracijos nustatymu svoriniu metodu. Kietųjų dalelių masės koncentracija ore apskaičiuojama pagal formulę (LAND 26-98/M-06... 1998):

$$C = \frac{(m_2 - m_1)}{V_0}, \quad (1)$$

čia C – dulkių koncentracija, g/m^3 ; m_1 – filtro be kietųjų dalelių masė, g ; m_2 – filtro su kietosiomis dalelėmis masė, g ; V_0 – per filtrą prasiurbto oro tūris, perskaičiuotas normaliomis sąlygomis. Svorio metodo paklaida siekia $\pm 25\%$.

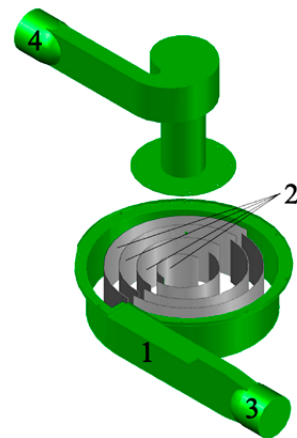
Siekiant kuo labiau sumažinti matavimo rezultatų vidurkio paklaidą, matavimai atliekami keletą kartų.

Eksperimentinių tyrimų metu naudota įranga:

1. Aspiratorius.
2. Filtrai AFA-VP-20-1.
3. Filtrų patronai.
4. Guminės žarnelės.
5. Elektroninės laboratorinės svarstyklės.
6. Kietųjų dalelių tiekimo purkštukas.

Atliekant eksperimentinius oro (dujų) srauto valymo efektyvumo tyrimus, buvo eksperimentuojama su keturių, šešių ir aštuonių kanalų spiraliniais ciklonais, kurių pagrindą sudaro atitinkamai 3, 5 ir 7 skirtingo spindulio kreiviniai pusšiedžiai. Kiekvienu atveju buvo bandomos trys skirtingos ciklono vidaus konstrukcijos, keičiant atstumus tarp skirtingo spindulio kreivinių pusšiedžių, t. y. juos išdėstant skirtingomis padėtimis, tokiu būdu keičiant periferinio ir tranzitinio oro (dujų) srautų santykius. Pasirinktos padėtys: 25/75 periferinio (grįžtamojo) oro (dujų) srauto tūris 25% mažesnis už tranzitinio (tekančio į kitą kanalą) oro (dujų) srauto tūrį; 50/50 – oro (dujų) srauto tūriai pasiskirsto poringai; 75/25 – periferinio oro (dujų) srauto tūris yra 25% didesnis nei tranzitinio. Vidinė spiralinio ciklono konstrukcija pavaizduota 2 pav.

Oro (dujų) srautas, įtekėjęs į separavimo kamerą, pirmiausia patenka į pirmąjį (I) ciklono kanalą, toliau tekėdamas oro (dujų) srautas filtruojasi per skirtingus tarpus tarp pusšiedžių (25/75, 50/50 arba 75/25), kur atitinkama oro (dujų) srauto dalis patenka į prieš tai buvusį kanalą, o kita dalis – į kitą. Kietosios dalelės, veikiamos išcentrinio jėgų, per segmentinius plyšius, esančius prie periferinės sienelės, nukrinta į bunkerį, kuriame yra kaupiamos. Tokiu pat principu valomas oro (dujų) srautas pereina visus kanalus ir pašalinamas per išeinančio oro srauto ortakį (Platova, Baltrėnas 2013).



2 pav. Daugiakanalio ciklono su spiraliniu korpusu vidinė konstrukcija: 1 – spiralinio ciklono korpusas; 2 – kreiviniai pusšiedžiai, 3 – oro (dujų) srauto įtekėjimo ortakis; 4 – oro (dujų) srauto ištekėjimo ortakis

Fig. 2. The internal structure of the multichannel cyclone with a spiral shell (b): 1 – multichannel cyclone with a spiral shell; 2 – curvilinear semi-rings; 3 – air (gas) flow inlet; 4 – air (gas) flow outlet

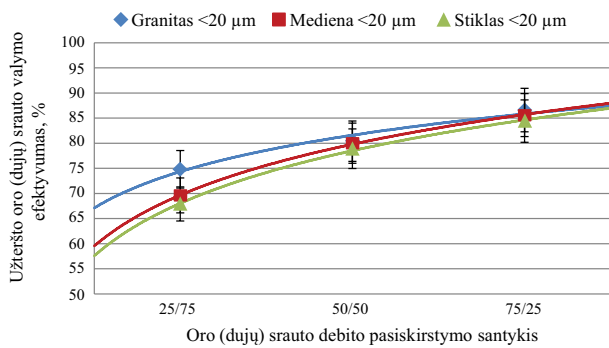
Eksperimentiniams tyrimams naudotos trijų rūšių skirtingos prigimties kietosios dalelės (granitas, mediena ir stiklas). Pasirinktos kietosios dalelės skiriasi savo tankiu ir sulipimo savybėmis. Tokiu būdu siekiama nustatyti geriausią nagrinėjamo oro valymo įrenginio pritaikymo būdą tam tikroje pramonės šakoje, atsižvelgiant į fizines pasirinktų kietųjų dalelių savybes: tankį, birumą ir dispersiją.

Naujos konstrukcijos daugiakanalio ciklono su spiraliniu korpusu oro (dujų) srauto valymo efektyvumo eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami remiantis metodika „LAND 28-98/M-08. Aplinkos oras. Dulkių (kietųjų dalelių) koncentracijos nustatymas. Svorio metodas“ (1998).

Rezultatai ir jų analizė

Eksperimentiniai oro (dujų) srauto valymo efektyvumo tyrimai atlikti, esant keturių, šešių ir aštuonių kanalų spiralinio ciklono konstrukcijai. Nagrinėti trys oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykiai, t. y. 25/75, 50/50 ir 75/25. Efektyvumo nustatymo tyrimai atlikti, kai bendras įrenginio našumas – $300 \text{ m}^3/\text{h}$. Gauti eksperimentinių tyrimų rezultatai pateikiami grafikų pavidalu taip, kad būtų galima matyti oro (dujų) valymo efektyvumą, esant skirtingai įrenginio konstrukcijai.

Kietųjų granito, stiklo ir medienos dalelių ($< 20 \mu\text{m}$) valymo iš keturių kanalų ciklono su spiraliniu korpusu oro (dujų) srauto efektyvumai, esant skirtingiems oro (dujų) srauto tūrio pasiskirstymo santykiams (25/75, 50/50, 75/25), pateikti 3 pav.



3 pav. Kietųjų dalelių, kurių dispersija $x < 20 \mu\text{m}$, šalinimo iš oro (dujų) efektyvumai, esant keturių kanalų spiraliniams ciklonui ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) ir skirtingiems oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykiams

Fig. 3. Air (gas) flow cleaning from particulate matter under dispersion $x < 20 \mu\text{m}$ and efficiencies in the four-channel cyclone ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) when air (gas) flow distribution ratio is different

Esant keturių kanalų ciklono su spiraliniu korpusu konstrukcijai, geriausias oro (dujų) srauto išvalymo efektyvumas nustatytas, kai oro (dujų) srautas pasiskirsto 75/25 santykiu, t. y. kai 75 % oro (dujų) srauto debito grįžta į periferinį kanalą ir 25 % nukreipiami į tranzitinį kanalą. Apskaičiavus bendrą ciklono valymo efektyvumą, nustatyta, kad bendras efektyvumas vidutiniškai apie 5,8 % didesnis nei esant srautų pasiskirstymo santykiui 50/50 ir apie 14,8 % didesnis nei esant 25/75.

Išmatavus kietųjų granito dalelių (<math>< 20 \mu\text{m}</math>) koncentracijas prieš ir po valymo (t. y. įtekėjimo ir ištekėjimo ortakiuose), apskaičiuotas oro (dujų) srauto išvalymo efektyvumas siekia 74,8–86,6 %. Efektyviausiai kietosios granito dalelės pašalinamos, kai oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykis yra 75/25, prasčiausiai, kai 25/75.

Kietųjų medienos dalelių pašalinimo iš oro (dujų) srauto efektyvumas siekia 69,6–85,6 %. Prasčiausiai kietosios medienos dalelės pašalinamos, kai srautų pasiskirstymo santykis yra 25/75, geriausiai, kaip ir granito atveju, – 75/25. Lyginant medienos kietųjų dalelių pašalinimo efektyvumą iš oro (dujų) srauto su granito kietųjų dalelių pašalinimu, matyti, kad geriau iš oro (dujų) srauto pašalinamos kietosios granito dalelės.

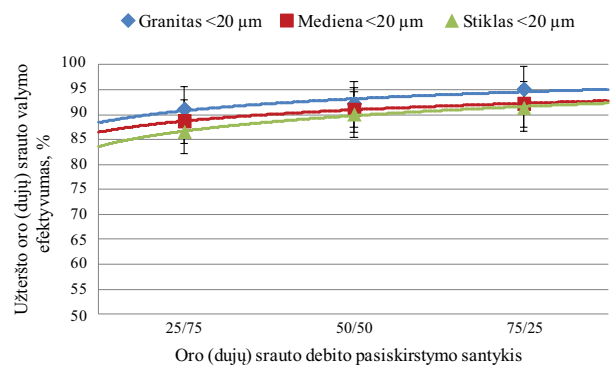
Kietosios stiklo dalelės keturių kanalų spiraliniame ciklone pašalinamos 67,9–84,4 % efektyvumu, t. y. prasčiausiai granito ir medienos kietųjų dalelių atžvilgiu. Efektyviausiai kietosios medienos pelenų dalelės yra pašalinamos, kai oro (dujų) srautų pasiskirstymo santykis yra 75/25.

Apibendrinus gautus eksperimentinių tyrimų rezultatus su keturių kanalų spiraliniu ciklonu, galima teigti, kad visų nagrinėtų kietųjų dalelių valymo procesas efektyviausiai vyksta, kai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi 75/25 padėtimi, t. y. oro (dujų) srautas pasiskirsto 75 % perife-

rinio ir 25 % tranzitinio oro (dujų) srauto santykiu. Taip pat pastebėta, kad minėtas oro valymo įrenginys labiausiai tinka kietosioms granito dalelėms šalinti, blogiausiai šalinamos kietosios stiklo dalelės.

Atlikus eksperimentinius tyrimus su kietosiomis granito dalelėmis (<math>< 20 \mu\text{m}</math>) ir nustačius jų koncentracijas prieš ir po valymo, kai nagrinėjama šešių kanalų spiralinio ciklono konstrukcija, apskaičiuoti oro (dujų) srauto išvalymo efektyvumai siekia 91,1–95,1 %. Efektyviausiai kietosios granito dalelės šalinamos, kai oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykis yra 75/25, prasčiausiai – 25/75, t. y. kaip ir keturių kanalų spiralinio ciklono atveju.

Kietųjų medienos dalelių (<math>< 20 \mu\text{m}</math>) didžiausias išvalymo efektyvumas yra esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui, kai oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykiai 25/75, 50/50 ir 75/25 atitinkamai siekė 88,7 %, 91,0 % ir 92,2 % (4 pav.). Esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui medienos kietosios dalelės yra pašalinamos kur kas efektyviau, nei esant keturių kanalų spiralinio ciklono konstrukcijai.

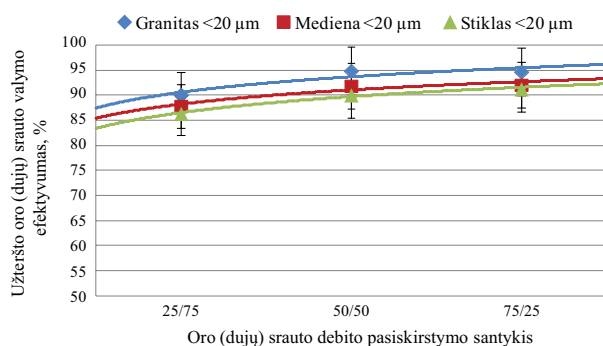


4 pav. Oro (dujų) valymo nuo kietųjų dalelių, kurių dispersija $x < 20 \mu\text{m}$, efektyvumai, esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) ir skirtingiems oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykiams

Fig. 4. Air (gas) flow cleaning from particulate matter under dispersion $x < 20 \mu\text{m}$ and efficiencies in the six-channel cyclone ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) when air (gas) flow distribution ratio is different

Kietųjų stiklo dalelių (<math>< 20 \mu\text{m}</math>) didžiausias išvalymo efektyvumas, esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui, siekia 91,4 %, kai oro (dujų) srauto debito pasiskirstymo santykis buvo 75/25. Lyginant su keturių kanalų spiraliniu ciklonu, kai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi 75/25 padėtimi, bendras vidutinis oro (dujų) valymo efektyvumas yra apie 7,0 % didesnis, esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui. Kai yra 25/75 ir 50/50 oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykis, stiklo kietųjų dalelių pašalinimo efektyvumai mažesni ir atitinkamai yra 86,6 % ir 90,1 %.

Kaip ir keturių kanalų ciklono atveju, nustatyta, kad visų rūšių tyrinėtoms kietosioms dalelėms efektyviausiai pašalinamos iš oro (dujų) srauto, kai kreiviniai pusžiedžiai išdės-



5 pav. Kietųjų dalelių, kurių dispersija $x < 20 \mu\text{m}$, šalinimo iš oro (dujų) efektyvumas, esant aštuonių kanalų spiraliniams ciklonui ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) ir skirtingiems oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykiams

Fig. 5. Air (gas) flow cleaning from particulate matter under dispersion $x < 20 \mu\text{m}$ and efficiencies in the eight-channel cyclone ($300 \text{ m}^3/\text{h}$) when air (gas) flow distribution ratio is different

tomi 75/25 padėtimi. Tai paaiškinama didžiausia grįžtamojo oro (dujų) srauto sudaroma oro užuolaida, kuri papildomai filtruoja užterštą orą (dujas).

Kietųjų dalelių ($< 20 \mu\text{m}$) valymas iš aštuonių kanalų ciklono su spiraliniu korpusu oro (dujų) srauto, esant skirtingiems oro (dujų) srauto tūrio pasiskirstymo santykiams (25/75, 50/50, 75/25), pateikti 5 pav.

Išmatavus kietųjų granito dalelių ($< 20 \mu\text{m}$) koncentracijas prieš ir po valymo, esant aštuonių kanalų spiralinio ciklono konstrukcijai, apskaičiuotas oro (dujų) srauto išvalymo efektyvumas siekia 90,1–94,7 %. Geriausiai kietosios granito dalelės pašalinamos, kai oro (dujų) srautų pasiskirstymo santykis yra 75/25, prasčiausiai, kai 25/75.

Maksimalus kietųjų medienos dalelių pašalinimo iš oro (dujų) srauto efektyvumas siekia 91,9 %. Prasčiausiai kietosios medienos dalelės pašalinamos, esant srautų pasiskirstymo santykiui 25/75, geriausiai, kaip ir granito atveju, kai santykis yra 75/25. Lyginant keturių, šešių ir aštuonių kanalų spiralinio ciklono konstrukcijas, matyti, kad efektyviausiai medienos kietosios dalelės pašalinamos esant šešių kanalų spiraliniams ciklonui.

Kietosios stiklo dalelės aštuonių kanalų spiraliniame ciklone pašalinamos 86,4–91,3 % efektyvumu, t. y. prasčiausiai granito ir medienos kietųjų dalelių atžvilgiu. Efektyviausiai kietosios stiklo dalelės pašalinamos, kai oro (dujų) srautų pasiskirstymo santykis yra 75/25, o ciklonas yra šešių kanalų.

Apibendrinant eksperimentinių tyrimų rezultatus su aštuonių kanalų spiraliniu ciklonu, galima teigti, kad visų nagrinėtų kietųjų dalelių atžvilgiu efektyviausiai valymo procesas vyksta, kai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi 75/25 padėtimi. Taip pat nustatyta kad efektyviausiai šalinamos kietosios granito dalelės, blogiausiai – kietosios medienos pelenų dalelės.

Eksperimentinių tyrimų metu gauti rezultatai leidžia daryti išvadą, kad, norint pasiekti maksimalų kietųjų dalelių pašalinimo efektyvumą, turėtų būti pasirinkta šešių kanalų spiralinio ciklono konstrukcija, kai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi 75/25 padėtimi, t. y. kai oro (dujų) srauto tūris pasiskirsto į 75 % periferinį srautą ir 25 % – į tranzitinį. Taigi sudarant 75 % papildomą filtrą dėl periferinio srauto sudaromos oro užuolaidos, kuri itin gerai padeda atskirti smulkiąsias kietąsias daleles, o tai labai padidina įrenginio valymo efektyvumą.

Išvados

1. Nustatytas ciklono įrenginio, kurio našumas – $300 \text{ m}^3/\text{h}$, valymo efektyvumas, priklausomai nuo kanalų skaičiaus ir oro (dujų) srauto pasiskirstymo į tranzitinį ir periferinį kanalus santykio. Pastebėta, kad efektyviausiai iš oro (dujų) srauto šalinamos granito kietosios dalelės. 2,5 % prasčiau pašalinamos medienos kietosios dalelės ir i 3,6 % prasčiau – stiklo.
2. Atlikus eksperimentinius efektyvumo nustatymo tyrimus su keturių kanalų spiraliniu ciklonu, nustatyta, kad didžiausias išvalymo efektyvumas pasiekiamas, kai oro (dujų) srauto pasiskirstymo santykis yra 75/25. Kietųjų granito dalelių, naudotų eksperimentiniuose tyrimuose, pašalinimo efektyvumas siekia 86,6 %, medienos – 85,6 %, stiklo – 84,4 %.
3. Šešių kanalų spiralinio ciklono eksperimentiniai tyrimai parodė, kad kai kreivinių pusžiedžių išdėstymo padėtis yra 75/25, oro (dujų) srauto valymo procesas vyksta geriausiai (kaip ir keturių kanalų atveju). Esant minėtai ciklono konstrukcijai, kietosios granito dalelės pašalinamos 95,1 % efektyvumu, medienos kietosios dalelės – 92,2 % efektyvumu, stiklo kietosios dalelės – 91,4 % efektyvumu.
4. Įvertinus kreivinių pusžiedžių išdėstymo padėtis aštuonių kanalų ciklone, nustatyta, kad kietosios dalelės, kurių dispersija $x < 20 \mu\text{m}$, geriausiai pašalinamos iš oro (dujų) srauto, kai aštuonių kanalų ciklono kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi taip pat 75/25 padėtimi. Čia kietųjų granito dalelių pašalinimo efektyvumas siekia 94,7 %, medienos – 91,9 %, medienos pelenų – 91,3 %. Iš eksperimentinių tyrimų rezultatų matyti, kad aštuonių kanalų ciklono konstrukcija nėra tokia efektyvi kaip šešių kanalų spiralinio ciklono konstrukcija.
5. Nustatyta, kad kuo didesnis oro (dujų) srautas nukreipiamas į periferinį kanalą, tuo didesnė susidaro oro (dujų) srauto „uzuolaida“ periferiniame kanale, papildomai šalinanti kietąsias daleles iš užteršto oro. Šis

konstrukcinis ypatumas ypač naudingas, kai iš oro (dujų) srauto šalinamos itin smulkios (<20 μm) kietosios dalelės. Veikiamos išcentrinųjų jėgų, kurių įtaka dar labiau padidėja veikiant oro (dujų) srauto „užulaidai“, kietosios dalelės labiau prispaudžiamos prie ciklono separavimo kameros sienelės, kur per segmentinius plyšius nukrinta į kietųjų dalelių kaupimo bunkerį.

6. Vertinant eksperimentinių tyrimų metu gautus rezultatus, prieita prie išvados, kad oro (dujų) valymo efektyvumo atžvilgiu tinkamiausia yra šešių kanalų spiralinio ciklono konstrukcija, kai kreiviniai pusžiedžiai išdėstomi 75/25 padėtimi (oro (dujų) srautas pasiskirsto 75 % į periferinį kanalą ir 25 % į tranzitinį kanalą). Esant minėtai konstrukcijai, kai valomas oro (dujų) srauto tūris siekia 300m³/h, valymo procesas vyksta efektyviausiai.

Literatūra

- Balan, S. A.; Burov, A. A.; Burov, A. I. 2000. Raspredeleniye pyli vdol granitsy krivolineynogo potoka s zamknutym konturom, *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta* 2(11): 56–59.
- Baltrėnas, P.; Pranckevičius, M.; Lietuvninkas, A. 2011. Investigation and evaluation of carbon dioxide emissions from soil in Neris regional park, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 19(2): 115–122. <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2011.580917>
- Baltrėnas, P.; Vaitiekūnas, P.; Jakštonienė, I.; Konoverskytė, S. 2012. Study of gas-solid flow in a multi-channel cyclone, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 20(2): 129–137. <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2011.645825>
- Baltrėnas, P.; Zagorskis, A. 2010. Investigation into the air treatment efficiency of biofilters of different structures, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(1): 23–31. <http://dx.doi.org/10.3846/jeelm.2010.03>
- Bernardo, S.; Mori, M.; Peres, A. P.; Dionisio, R. P. 2006. 3-D Computational fluid dynamics for gas and gas-particle flows in a cyclone with different inlet section angles, *Powder Technology* 162(3): 190–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2005.11.007>
- Braz, J. 2004. A new role for reduction in pressure drop in cyclones using computational fluid dynamics techniques, *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 21(1): 10–14.
- Burov, O. O. 2010. *Ochishchennya povitrya vid pilu v tsiklonakh i buranakh*. Agrarniy visnik prichornomorya Vip. 55.
- Burov, A. A.; Karamushko, A. V.; Gamolich, V. Ya. 2012. Sravnitel'naya otsenka rezultatov promyshlennykh ispytaniy tsiklonov "Siot" i mnogokanalnykh pyleuloviteley "Buran", *Pratsi Odesskogo politekhnicheskogo universiteta* 1(38): 271–275.
- Chlebnikovas, A.; Baltrėnas, P. 2012. Ciklonų su cilindriniais ir spiraliniais korpusais eksperimentinių tyrimų analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 4(5): 479–486.
- Gujun, W.; Guogang, S.; Xiaohu, X.; Mingxian, S. 2008. Solids concentration simulation of different size particles in a cyclone separator, *Powder Technology* 183: 94–104.
- Jakštonienė, I.; Serebryansky, D.; Vaitiekūnas, P. 2011. Experimental research on the work of centrifugal filter when eliminating solid particles from clinker cooling system, in *The 8th International Conference "Environmental Engineering"*: selected papers, 19–20 May 2011. Vilnius: Technika, 134–138.
- Jakštonienė, I.; Vaitiekūnas, P. 2009. Skaičiuojamosios fluidų dinamikos modeliavimo taikymas ciklono tyrime, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(4): 51–55.
- John, W.; Reischl, G. 2012. A cyclone for size-selective sampling of ambient air, *Journal of the Air Pollution Control Association* 30(8): 872–876. <http://dx.doi.org/10.1080/00022470.1980.10465122>
- LAND 26-98/M-06. *Aplinkos oras. Dulkių (kietųjų dalelių) koncentracijos nustatymas. Svorio metodas*. 1998. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija. Vilnius. 9 p.
- Platova, D.; Baltrėnas, P. 2013. Oro srauto parametrų kitimo spiraliniame ciklone eksperimentiniai tyrimai, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 4(5): 479–486.
- Serebryansky, D. A. 2004. *Povysheniye yeffektivnosti gazoochistki teplovykh energeticheskikh ustanovok*. Odesskiy natsionalnyy politekhnicheskyy universitet, Odessa. 149 c.
- Strelets, K. I.; Tananayev, A. B. 2004. Effektivnost inertsionnykh filtrov-separatorov, *Materialy 3-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekonomika, ekologiya i obshchestvo Rossii v 21-m stoletii"*. SPb.: SPbGTU.

RESEARCH INTO THE CLEANING EFFICIENCY OF 300 m³/h MAINTAINED BY THE SPIRAL MULTI-CHANNEL CYCLONE IN THE PROCESS OF REMOVING SOLID PARTICLES OF <20 μm

P. Baltrėnas, D. Platova

Abstract

Tests on the cleaning efficiency of an experimental spiral cyclone have been conducted to determine the removal efficiency of the solid particles the dispersion of which makes <20 μm in the streamlined multi-channel cyclone. The introduced device is adapted to removing ultrafine particulate matter from contaminated air (gas) flow. A multi-channel cyclone with spiral casing has been designed at the Department of Environmental Protection (DEP) of Vilnius Gediminas Technical University. Experimental studies have disclosed that air (gas) flow cleaning efficiency of the spiral multi-cyclone (capacity 300 m³) depend on the internal structure of the device, i.e. on the number of channels and air (gas) flow distribution ratio of transit and peripheral channels. Also, the treatment efficiency of the applied equipment has been evaluated removing solid particles of different nature. AFA-VP-20 filters have been employed for conducting experimental tests. The obtained results have disclosed that solid granite particles – 95.1%, glass – 91.4% and wood – 92.2% are removed most effectively.

Keywords: cyclone, efficiency, spiral shell, channel, particulate matter (PM).