

IŠRADIMO SRITIS

Išradimas priklauso dujų apdorojimo prieš valymą įrenginiams, kuriuose užterštos mikrodispersėmis ir ultradispersėmis kietosiomis dalelėmis dujos yra paveikiamos adaptuoto elektrinio lauko, dėl ko smulkios ir ypač smulkios kietosios dalelės aglomeruojasi, kitaip sakant sudaro stambesnius darinius. Elektrinis laukas yra sudaromas praleidžiant besikartojančio teigiamo ir neigiamo elektrinio potencialo impulsinį aukštos įtampos šaltosios plazmos (neterminį) srautą per sudarytus kanalus kasetėje kas sukelia ypač smulkiadispersių kietųjų dalelių (mažesnių nei 1 μm dydžio) skersinį judesį ir padidina jų susidūrimo tikimybę.

TECHNIKOS LYGIS

Kietųjų dalelių (KD) šalinimui plačiai taikomos tradicinės valymo technologijos, pagrįstos gravitaciniu, išcentrinio, elektrostatiniu ir kitais veikimo principais. Šiais metodais veikiantys filtrai yra tinkami stambesnėms nei 1 μm KD šalinti, smulkiadispersių frakcijų šalinimo iš dujų srauto efektyvumas nėra pakankamas, atsižvelgiant į rekomenduojamas emisijų normas ir ateities perspektyvas mažinti šio pobūdžio taršą. Taip pat esamos technologijos nėra pritaikytos arba jos nėra efektyvios esant plataus diapazono ir (arba) didelės koncentracijos KD srautui, todėl yra būtinas pirminis užteršto srauto valymas arba specialus jo apdorojimas prieš jau minėtas plačiai naudojamas filtravimo technologijas. Tokių aparatų kaip pavienių valymo įrenginių pritaikomumas yra ribotas ir reikalauja precizinio parinkimo arba perprojektavimo, atsižvelgiant į KD tipą ir savybes bei dujų srauto charakteristikas. Dalis taikomų technologijų yra imlios energijos dėl didelio sistemos aerodinaminio pasipriešinimo, technologijai veikti yra naudojamos aukštos galios elektros sistemos.

Pateikiamo išradimo prototipas – dvipolis elektrostatinis griebtuvas (angl. Bipolar electrostatic chuck), aprašytas JAV patente Nr. US20100149720, patento paraiškos Nr. 12691613.

Naudojant elektrostatinį lauką efektyviausiai aglomeruojasi KD, kurių dydis nuo 200 nm iki 1 μm (Jaworek ir kt., 2018). Moksliniame tyrime (Lin ir kt., 2020) taip pat pastebėta, kad elektrinio lauko aglomeracija yra efektyviausia nuo 100 nm iki 1 μm USKD. Elektrinio lauko aglomeracija galima aglomeruoti USKD 40,2 % efektyvumu, pasirinkus 45 Hz dažnį ir 9 kV/cm kintamos srovės lauką, efektyvios aglomeracijos

ribos yra nuo 0,1–20 μm KD naudojant elektrinio lauko aglomeraciją. Atliekant elektrinio lauko aglomeracijos tyrimus buvo pastebėta, kad esant 30 kV maitinimo įtampai, aglomeracijos efektyvumas smarkiai sumažėja nuo 64 % iki 42 %, kai srauto greitis padidėja nuo 1 m/s iki 5 m/s (Jia ir kt., 2024). Taip pat aglomeracijos efektyvumas didėja, kai didėja bendra masės koncentracija ir dalelių išbuvimo laikas aglomeratoriuje (Hautanen ir kt., 2010). Tarp skirtingų dydžių KD, buvo pastebėta, kad KD neturinčio krūvio lengvai paslysta per didesnes daleles; kai dalelėms yra suteikiamas skirtingo poliariškumo krūvis, jų susidūrimo tikimybė stipriai išauga (Xu ir kt., 2021).

Elektrinio lauko taikymas yra svarbus tiriant srauto elektrodinamiką. Darbuose (Zhou et al., 2023) nagrinėjami įrenginiai su elektrokonvekciniu srautu, kuris sukeliamas taip vadinamu krūvio išpurškimu. Tokia technologija naudojama skysčių mikromaišymui, taip pat jų išpurškimui. Unipoliariniai elektriniai laukai daugiausia taikomi kintamos srovės, kurios fazė yra sinusoidės pavidalo, tačiau taip pat tiriami pokyčiai esant kintamiems ir impulsiniams elektriniams laukams bei perėjimui iš nuolatinės į kintamąją srovę. Vienpolinio lauko atveju dažniausiai daroma prielaida, kad krūvio nešėjai yra elektronai ir jie yra teigiami, todėl elektrinis potencialas apskaičiuojamas pagal Puasono lygtį, kurioje atsižvelgiama į krūvio tankį (Christen & Seeger, 2007).

Buvo tiriamas įrengimas paremtas mažų aerozolio dalelių elektrostatinio įkrovimo jonų srove ir kintamuoju elektriniu lauku (Lackowski, 2001). Analizuojant poveikį dalelių judėjimui, buvo atsižvelgta į kintamojo elektrinio lauko gravitacines, pasipriešinimo, inercines ir elektrodinamines jėgas. Ši technologija naudojama skysčio lašeliams ar dalelėms įkrauti elektrostatiniam dengime ar paviršiaus dažyme, dalelių atskyrimo, elektrostatinuose skruberiuose, elektrostatinuose filtruose ir elektrostatinuose nusodintuvuose, todėl pagerėja valymo efektyvumas ir našumas ir (arba) sutaupoma energijos. Kitame darbe (Jaworek & Krupa, 1989) pastebėta, kad dalelių judėjimui statmenai dalelių srautui didelės įtakos turi jas veikiantis elektrinis laukas. Šis metodas buvo grindžiamas ankstyvaisiais rezultatų tyrimais, kai buvo taikomas dalelių įkrovimo metodas vienpoliniu jonų bombardavimu kintamame elektriniame lauke. Remiantis šiuo metodu, dalelės įkraunamos iki Pautenier ribos, t. y. dalelės patekusios į terpę, kuriai būdingas erdvinis krūvis, įgyjamas ribinis krūvis iš jonizuoto lauko, kai dalelė tampa įkrauta. Šiuo atveju įkraunant daleles kintamajame

elektriniame lauke išvengiama nusėdimo ant vieno iš elektrodų, kurio zonoje dalelės patiria mažos amplitudės svyravimus

Žinomas darbas, kuriame buvo nagrinėjama keramikos stiprumo didinimo technologija, norint išvengti defektų pasireiškimo bipoliarinio elektrinio lauko ciklinio poveikio zonoje (Wang et al., 2020). Nustatyta, kad šis laukas gali aglomeruoti deguonies vakansijas keramikos grūdeliuose arba ties grūdelių ribomis medžiagos nuovargio proceso metu.

Bipoliarinio lauko taikymas ir pranašumas prieš vienpoliarinį lauką taip pat pasireiškia bioelektrocheminiuose procesuose. Darbo rezultatais įrodyta, kad tokios pat trukmės, amplitudės ir atvirkštinio poliškumo bipoliarinių impulsų su mikrosekundžių pločio impulsais aglomeravimo (sustambinimo) poveikis padidėja iki trijų kartų nei unipoliarinio lauko (Ke et al., 2019). Tai buvo nustatyta sintezės greičio tyrimais su SP2/0 pelių mielominių ląstelėmis ir limfocitais. Taip pat pastebėta, kad unipoliarinis laukas yra labiau asimetriškas nei bipoliarinis.

Technologinis sprendimas, kuriame naudojamas nuoseklus dalelių įkrovimas, jų aglomeracija ir galutinis nusodinimas elektrostatiniame nusodintuve pristatytas darbe (Tan et al., 2007). Taikant šį sprendimą dalelės pirmiausia įkraunamos dvipoliais vainikiniais išlydžiais, po to jos patenka į aglomeracijos kamerą, kurioje yra pastovus elektrinis laukas. Pastovaus lauko stiprumo kryptį lemia abiejų išlydžio elektrodų santykinė padėtis. Tokiame elektriniame lauke priešingus krūvius turinčios dalelės gali būti priverstos judėti viena link kitos ir efektyviau aglomeruotis ir efektyviau būti nusodintus sekančiame valymo etape.

Keletas autorių jau yra eksperimentiškai tyrinėję elektros aglomeraciją. Dalelių aglomeraciją, sukelta kintamu elektriniu lauku lygiagrečioje plokštelėje esančiame aglomeratoriuje buvo pristatyta darbe (Kobashi, 1979). Dėl aglomeracijos koncentracija KD, kurių dydis siekia 0,3–2 μm sumažėjo apie 30 % (Watanabe, 1988). Kitame tyrime buvo taikomas vadinamas kvadropolinis aglomeratorius. Jo veikimas pagrįstas elektriniu kvadropoliniu lauku, kuris sukonzentruoja įkrautas daleles kvadropolio viduryje (Masuda, 1970). Tyrimo rezultatai parodė, kad dėl aglomeracijos mažesnių nei 1 μm KD koncentracija sumažėjo apie 20 %.

Tyrimui buvo sukurta kaip lygiagrečių plokštelių, taip ir kvadropolinio aglomeratoriaus sistema, kuri geba sumažinti ypač smulkiadispersių KD koncentraciją

apie 4–8 % (Hautanen et al., 1995). Kitas tyrėjais nustatyta, kad dvipolio įkrovimo, taikant lygiagrečių plokščių aglomeratorių leidžia pasiekti ypač smulkiadispersių KD aglomeracijos efektyvumą pagal skaitinę koncentraciją nuo 17 % iki 19 % (Laitinen et al., 1996).

Elektrinio lauko mechanizmo taikymas

Prieš valymo įrenginį taikyti papildomą kietųjų ir skystųjų aerozolių apdorojimo technologija KD aglomeravimui yra laikoma alternatyviu valymo būdu. Vienas iš būdų taikyti šaltosios plazmos technologiją, kurią taikant yra pakeičiama KD srauto būseną, o taip pat dalis KD nusodinamos naudojant elektrostatinę jėgą (Zhang et al., 2023). Didelės energijos elektronų, jonų, reaktyvių grupių, sužadintos būsenos molekulių ir atomų generavimas tokio principo įrenginyje sudaro sąlygas papildomiems susidūrimams sukelti fiziniams ir cheminėms reakcijoms vykti. Ši technologija mokslškai tirama variklių išmetamųjų dujų ir pramoninio dujų srauto valymo sistemose, kur elektrinio lauko sąveikoje pasireiškia jonų vėjo efektas (Qu et al., 2022). Elektrinis laukas, o ypač jo skirtingos charakteristikos turi didelės įtakos keisti srauto būseną, kai aerodinaminiai procesai yra mažiau intensyvūs, pvz., esant mažam srauto greičiui arba judėjimas didelio tūrio kanaluose. Elektrinis srauto poveikis leidžia padidinti KD nusodinimą, o ypač mažinant USKD svorį tarp visų frakcijų (Dong et al., 2018; Sobczyk et al., 2017; Tu et al., 2018). Dujų srauto elgsena, taikant elektrinį lauką yra ypač priklausoma nuo pastarojo charakteristikos, o tinkamas jo valdymas leidžia sudaryti prioritетines sąlygas užteršto srauto sudėčiai pagal poreikį, šiuo atveju pasiekti aukštesnį valymo efektyvumą.

Aglomeravimo mechanizmų įvairovė

Yra žinomi skirtingi aglomeravimo mechanizmai, kurie yra efektyvūs stambinant KD, tačiau turi apribojimų dėl savo selektyvumo ir reikalauja tam tikrų taikymo sąlygų.

Siekiant pagerinti USKD šalinimo iš dujų srauto efektyvumą, yra įvairių aglomeracijos technologijų, kurios padidina KD dydį prieš patenkant į valymo įrenginius. Galimos aglomeracijos technologijos: elektrinio lauko aglomeracija (Jia ir kt., 2024; Thonglek & Kiatsiriroat, 2014), cheminė aglomeracija (Y. Guo ir kt., 2017; Y. Liu ir kt., 2016), heterogeninė-kondensacinė aglomeracija (Yang ir kt., 2010), turbulentinė aglomeracija (Chen ir kt., 2016; Sun ir kt., 2020) ir akustinė aglomeracija

(NG ir kt., 2017; Sheng & Shen, 2007).

Kartu su elektrinę aglomeracija gali vykti ir lydintys kitos prigimties aglomeracijos procesai, kurie spartina dalelių jungimąsi. Cheminio aglomeravimo metu į užterštą KD dujų srautą įpurškiamas cheminis reagentas. KD susidūrimui ir aglomeracijai skatinti naudojami fiziniai ir cheminiai procesai, naudojant tokią cheminio aglomeravimo technologiją yra galimybė sulipinti KD į didesnius darinius (Bin ir kt., 2018; Guo ir kt., 2017). Aglomeracija įvyksta darbinėje kameroje joje įpurškiant cheminį reagentą ir naudojant suslėgtą orą. Aglomeravimo efektyvumas SDKD dydžiams nuo 0,1 iki 1 μm yra 62,9 % nepridedant cheminių medžiagų, o pridedant vandenį 68,1 %, pektiną 77,6 % ir natrio alginatą efektyvumas sudaro 82,8 % (Bin ir kt., 2018). Naudojant cheminę aglomeraciją galima efektyviai aglomeruoti KD kurių dydis yra nuo 0,03 iki 10 μm (Sun ir kt., 2019). Taikant cheminius reagentus susiduriama su problema koku būdu pašalinti likutines cheminių medžiagų liekanas iš dujų srauto, taip pat šio metodo taikymas gali būti ribotas, jei naudojamos šioms cheminėms medžiagoms neatsparios medžiagos, kas gali sukelti jų koroziją, mechaninių savybių pokyčius.

Heterogeninė-kondensacinė aglomeracija susideda iš garų kondensato ir KD, taip yra sukuriama aglomeruotas KD aerosolis (Yang ir kt., 2010). Heterogeninis kondensavimas kaip išankstinio kondicionavimo būdas ypač tinka dujų srautams, kuriuose yra daug drėgmės. Ši technologija idealiai tinka aukštos temperatūros ir didelės drėgmės užterštam dujų srautui aglomeruoti, pavyzdžiui sudrėkusių dulkių šalinimui. Katilo išmetamųjų dujų sraute esantys medienos pelenų KD yra nuo 2,5 iki 10 μm dydžio, po aglomeracijos bendras išmetamųjų dujų srauto KD tūris sumažėja daugiau nei 55 %. Efektyviai aglomeruoti taikant šią technologiją galima KD nuo 0,2 iki 10 μm KD (Liu ir kt., 2017). Tačiau norint išeigoje gauti nesikondensuojantį dujų srautą būtina taikyti drėgmės sugėriklius, arba kitais metodais šalinti garus. Be to, kondensacinės aglomeracijos technologija būtų sunku derinti su elektrinėmis grandinėmis dėl saugumo eksploatuojant. Taip pat, reikia spręsti koku būdu būtų šalinamos susikaupusius kondensate KD, kurios priklausomai nuo teršalų tipo gali ištirpti arba sudaryti klampų tirpalą susimaišant su vandeniu.

Akustinėmis bangomis paveikiant ore sklindančių KD judėjimą dėl ko įvyksta jų susidūrimai ir susilieėjimas pasireiškia esant akustinei aglomeracijai. Naujai susidarę KD dariniai ir toliau aglomeruojasi ir sukelia dalelių pakopinį augimą (NG ir kt., 2017). Akustiniame lauke dalelės yra veikiamos skirtingų ortokinetinės ir hidrodinaminės

sąveikos mechanizmų, o kiti efektai, tokie kaip akustinis srautas ir turbulencija, dar labiau skatina koaguliacijos procesą. Po susidūrimo dalelės sulimpa dėl savo netaisyklingų struktūrų ir tarpmolekulinių traukos jėgų. Dėl diferencinių skysčių ir inercijos jėgų akustinio lauko virpesiuose dalelės įsitraukia skirtingomis amplitudėmis ir fazėmis. Santykiniai judesiai tarp skirtingo dydžio dalelių sukelia susidūrimus (NG ir kt., 2017; Sheng & Shen, 2007). Vienu iš šio metodo trūkumu laikoma akustinė tarša, kuri neišvengiama nesant pilnai izoliuotai sistemai, todėl turi didelių apribojimų atviro įrengimo sistemose. Taip pat, aukšto garso lygio ir ultragarso generatoriai turi būti parenkami atsižvelgiant į poreikį, todėl iš jų sudaryta aglomeravimo sistema negali būti lengvai reguliuojama, bet turi būti individualiai parenkama, norint taikyti ją įvairiems technologiniams procesams.

Akustinio poveikio ortokinetiniai mechanizmai susidaro tarp skirtingo dydžio dalelių, esančių atstumu, kuris yra maždaug lygus akustinio lauko poslinkio amplitudei ir kurių santykinis judėjimas iš esmės yra lygiagretus vibracijos kryptčiai (Sheng & Shen, 2007). Hidrodinaminės sąveikos mechanizmas nusako susidūrimus, atsirandančius dėl klampios dalelių ir jas supančios terpės sąveikos ir gali atsirasti dalelėms, kurios yra atskirtos daug didesniu atstumu nei jų akustinio poslinkio amplitudės. Hidrodinaminės jėgos sudaro abipusę spinduliuotės slėgio sąveiką ir akustinio pažadinimo efektas. Abipusę spinduliuotės slėgio sąveiką atsiranda dėl netiesinės sąveikos tarp krintančių ir išsibarsčiusių bangų, kurios padalija garso impulsą aplinkinėms KD. Dėl to skirtingose dalelės pusėse susidaro slėgio gradientai, ir taip aplink KD susidaro traukos ir atstūmimo zonos (Hoffmann & Koopmann, 1997). Akustinis pažadinimo efektas sudaro netiesinę išsklaidytų bangų sąveiką ir pasipriešinimo sumažėjimą, kurį patiria iš galo skriejanti dalelė, keliaujanti pirmaujančios dalelės. Dėl to už jos esanti dalelė didesniu greičiu juda link pirmaujančios dalelės su ja susidūrus sulimpa. Šis poveikis yra reikšmingas KD aglomeracijai esant dideliu akustiniu intensyvumui ir panašaus dydžio dalelėms. (NG ir kt., 2017).

Aukšto dažnio (6,4 kHz) garso bangomis, kurių maksimalus garso slėgio lygis siekė 140 dB galima paveikti 0,4–0,5 μm dydžio SDKD, judančias su dujų srautu akustiniame lauke, ir paversti jas 0,6–0,8 μm aglomeratais, pasiekiant iki 16 % efektyvumą. Naudojant akustinę aglomeraciją galima efektyviai aglomeruoti KD nuo 0,06 μm iki 0,8 μm (NG ir kt., 2017). Didžiausias efektyvus pasiekiamas, kai akustinio

slėgio lygis yra labai siaurame dažnių diapazone nuo 150 iki 160 Hz. Aukštesnio lygio garso bangos yra imlios energijos ir gali kelti papildomų reikalavimų susidarančio triukšmo slopinimui (J. Xu ir kt., 2023).

Elektrinio lauko generatoriuje aglomeracijos procese dvifazis srautas susidedantis iš dujų srauto ir jame tvyrančių kietųjų aerozolio dalelių, kurios patenka tarp plokščių elektrodų, tarp kurių sukuriamas bipoliarinis elektrinis laukas, paduodant kintamą elektros įtampą, į lauką patekusios KD pradeda aglomeruotis. Aglomeracijos efektyvumą galima koreguoti paduodamos įtampos dydžiu, maitinimo įtampos dažniu ir reguliuojant pratekančio per įrenginį dujų srauto greitį.

Dujų srauto išvalymo laipsnis taikant tradicinius metodus neleidžia pasiekti reikiamo išvalymo lygio. Pateikiama vis daugiau darbų, skirtų KD surinkti. Daugiausiai moksliniuose darbuose analizuojamos užterštų dujų emisijų iš energijos gamybos šaltinių valymo galimybės tiek pavienių įrenginių mastu, tiek tiriant visai technologinei linijai ar pramonės objektui. Pavyzdžiui, tiriami įvairių tipų kietojo kuro deginimo katilų išmetami teršalai. Tiriamos dujų srauto skiedimo technologijos, skirtos KD koncentracijai sumažinti (Abdul-Khalek et al., 1999). Yra mokslinių darbų, kuriuose aprašomi dujų srauto valymo tyrimų rezultatai, naudojant skystąjį kurą iš atsinaujinančių šaltinių bei natūrinėmis sąlygomis gauti eksperimentiniai duomenys deginant maistinį aliejų (Chlebnikovas et al., 2022).

Pateikiamo išradimo prototipas – Dvipolis elektrostatinis griebtuvas (angl. Bipolar electrostatic chuck), aprašytas JAV patente Nr. US20100149720, patento paraiškos Nr. 12691613.

Išradimas skirtas elektrostatiskai pritraukti ir laikyti bandinį veikiant dvipoliui elektrostatiniam laukui. Įrenginys susideda iš metalinės plokštės išorinėje dalyje (6), apatinio izoliacinio sluoksnio (5), vieno ženklo potencialo daugiasluoksnio elektrodo, susidedančio iš pirminio elektrodo tinklelio pavidalo (24) ir antrinio elektrodo su juostine (4a, 14a) ir šaknine dalimi (4b, 14b). Tarp skirtingo ženklo poliariškumo (ar potencialo) elektrodų yra įrengtas tarpelektrodinis izoliuojantis sluoksnis (3). Toliau seka priekinis priešingo ženklo potencialo daugiasluoksnis elektrodas (2), susidedantis iš pirminio elektrodo (24), kuris turi kolektoriaus dalį (2b) ir atsišakojimus (2a) tarp kurių išdėstyti tarpai (12a), antrinio elektrodo gardelės pavidalo (12) ir tretinio elektrodo, kuris turi apskritimo formos dalį centre ir žiedinę dalį periferinėje dalyje su jungiamąja dalimi. Virš visų sluoksnių yra išdėstyta bandinio pritraukimo plokštumą (7), stiklo sluoksnis

(9) su izoliacine medžiaga (9). Skirtingų ženklų potencialo daugiasluoksniai elektrodai yra apjungti nuolatinės elektros srovės grandinėje su maitinimo šaltiniu. Įrenginys panaudojama 1,5 kV maitinimo įtampa esant kuriai yra sukuriama didelė gradiento jėga ir yra sudaromos galimybės užtikrinti nepertraukiamą bandinio pritraukimą ir išlaikymą. Įrenginyje pasinaudojama ne tik sukurta traukos jėga, bet ir Kulono jėgą, kurios pritraukimo našumas yra apie 100 gf/cm^2 , be gradiento jėgos. Dėl to dvipolis elektrostatinis griebtuvas gali būti naudojamas pritraukti ir laikyti bandinį pagamintą iš puslaidininkinio substrato, pavyzdžiui, silicio plokštelę. Kitaip tariant, dvipolio elektrostatinio lauko panaudojimas leidžia taikyti norint pritraukti izoliacinio pagrindo bandinius, pvz., iš stiklo, taip ir pagaminta iš puslaidininkinio substrato, pvz., iš silicio.

Smulkiadisversės kietosios dalelės (mažesnės nei $5 \text{ }\mu\text{m}$) ir ypač smulkiadisversės kietosios dalelės (mažesnės nei $1 \text{ }\mu\text{m}$) lengvai patenka į plaučius bei kvėpavimo takus bei alveoles ir juose kaupiasi, ypač mažosios gali patekti į kraują, tuo sukeldamos uždegimus ir ūmius susirgimus.

Plačiai taikomos šiuolaikinės elektrinio lauko technologijos

Dujų srauto valymo technologijos taikomos atsižvelgiant į teršalų savybes ir įrenginio technologinės linijos parametrus. Daugelyje konfigūracijų naudojami įprastiniai ciklono tipo įrenginiai, kurių efektyvumas mažesnėms nei $5 \text{ }\mu\text{m}$ KD siekia 90 proc. (Honda et al., 2020; Sati et al., 2020). Elektrostatinio aparato įrengimas tinka išimtinai smulkiam valymui arba proceso frakcijos atgavimui; tačiau jis, kaip nepriklausomas įrenginys, turi daug apribojimų, o elektros sistemos valdymas reikalauja specialios kompetencijos (Bekkara et al., 2021; Feng et al., 2016; Gajbhiye et al., 2015; Guo et al., 2015).

Vis plačiau taikomos elektrinio lauko technologijos taikant skirtingas elektros srovės charakteristikas pakeičiant įprastinę sinusoidės formos fazės kitimą į impulsinį, tokiu būdu vienpoliarinis laukas yra pakeičiamas labiau efektyviu bipoliariniu, kvadropoliariniu ir t.t. Be abejo, labiau sudėtinga elektros srovės pakeitimo grandinė reikalauja papildomų elementų pakeičiančių jo charakteristiką, dėl ko išauga savikaina, eksploatacija bei tampa sudėtingas tokios sistemos valdymas, o efektyvumas gali keistis neženkiai. Impulsinis elektrinis signalas leidžia valdyti elektros srovės amplitudę, keičiant elektros įtampą ir tuo pačiu elektros srovę. Taip pat, sistemos grandinėje naudojant elektros srovės dažnių keitiklį įmanoma keisti besikartojančio tiek teigiamam, tiek neigiamam potencialui impulso trukmę nuo visos fazės trukmės. Šios

manipuliacijos leidžia keisti elektros srovės šaltinio poveikį jį supančiai aplinkai, ir iššaukti teigiamus reiškinius aglomeravimo procesui.

KD šalinimas ženkliai technologiškai paprastesnis ir faktiškai didesnis esant kuo homogenizuotam dulkių srautui - jo tekėjimo tolygumui, koncentracijos ir dydžio nedideliu diapazonui. Daugiakanalis ciklonas palyginti neseniai pradėtas naudoti užterštų dujų srauto valymui nuo didelės koncentracijos ir palyginti plataus diapazono smulkiadispersių KD ir stambiadispersės mažesnes nei 50 μm dydžio KD. Tačiau ciklone naudojamų išcentrinių jėgų nepakanka, kad nusodintų turbulentiame oro sraute judančias smulkiai išsklaidytas KD. Smulkiadispersės KD šalinamos naudojant elektrostatinis oro valymo filtrus (Bekkara et al., 2021; Feng et al., 2016; Gajbhiye et al., 2015; Guo et al., 2015). Tačiau šie filtrai, galintys veikti didelės koncentracijos KD dujų srauto aplinkoje, dėl technologijos ypatumų, t. y., didelio atstumo tarp įkrovimo ir nusodinimo elektrodų, yra didelių gabaritų, todėl netinka mažiems srautams ir mobiliesiems prietaisams (Li et al., 2019; Salleh et al., 2019; Zheng et al., 2017). Yra tyrimų apie tradicinių valymo įrenginių taikymą, esant specifinėms aplinkos sąlygoms ir KD aglomeracijai, kuri apsunkina tokių technologijų priežiūrą (Nouri et al., 2016; Sarabia et al., 2003; Yan et al., 2022).

Išradimo išskirtinumas

Siekiant pagerinti SDKD ir USKD šalinimo iš dujų srauto laipsnį yra galimybė taikyti aglomeravimo mechanizmą, kuriuo būtų sumažinamas tokių dalelių kiekis dujų sraute jas sustambinant stambesnius darinius. Stiklo plokštės atlieka plokštumos formos kondensatoriaus vaidmenį krūvio pramušimui, kai elektrinio lauko stipris yra didesnis nei 2,1 kV/cm, kiekvienai stiklo plokštumai srovė perduodama nuo jai priklausančio elektrodo-folijos. Abu šie elektrodai yra vienodo ženklo ir jie perduoda krūvį dalelėms judančioms su srautu. Ši sistema leidžia sudaryti elektrostatinį lauką daug didesnės įtampos nei padidėja srovės stiprumas. Perduodant krūvį dalelėms, šios pradeda judėti didesniu greičiu, didėja susidūrimo tikimybė, kas iššaukia jų aglomeraciją. Visas korpusas kartu su išorinėmis izoliuojančiomis plokštelėmis yra įžemintas, todėl turi priešingą krūvį. Įkrautos dėl barjerinio išlydžio dalelės, turinčios vieno ženklo krūvį dalinai yra nusodinamos ant priešingo ženklo korpuso, kas kiek sumažina dalelių koncentraciją oro sraute.

Šio patentuojamo išradimo poveikis esantiems dujų sraute teršalams gali būti įvairus. Dėl nedidelio dujų srauto greičio didelio tankio ir didelio skersmens KD gali

paveikti savaiminis nusodinimo reiškiny s dėl didelio dreifo greičio, todėl išradimas veiks kaip nusodinimo kamera. Esminis mechanizmas pasireiškia kaip KD aglomeravimo įrenginys, todėl valymo įrenginių grandinėje jis turi būti įrengtas po grubaus pirminio valymo įrenginio, pvz., išcentrinio nusodintuvo, pašalinant tik ypač stambias KD, kurios gali sukelti techninių sunkumų eksploatacijai, o po šio patentuojamo išradimo gali būti įrengtas tradicinis filtras, į kurį bus tiekiamas dujų srautas su aglomeruotom KD.

Šis įrenginys priskiriamas prie sauso ir pusiau drėgno (iki 50% santykinio drėgno) dujų srauto įrenginių ir gali būti naudojamas įvairiose pramonės srityse ir (arba) darbo vietose, ir (arba) administracinės paskirties patalpose, kur galimas KD susidarymas.

Išradimas gali būti taikomas dujų srautui, kurio tūrio debitas gali kisti intervale nuo 2 l/min iki 50 l/min. Ištirtas aerodinaminio pasipriešinimo kitimas šio patentuojamo išradimo sistemoje, kurios darbo kameroje buvo panaudota daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė, sudaryta iš aštuonių lygiagrečių modulių (1 lentelė).

1 lentelė. Daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės aerodinaminis pasipriešinimas, priklausomai nuo dujų srauto tūrio debito, esant aštuonių modulių šaltosios plazmos blokui.

Lentelė 1

Dujų srauto tūrio debito nominalaus našumo dalis, %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Dujų srauto tūrio debitas, l/min	2,2	4,4	10,1	16,1	22,4	28,1	35,1	43,1	52,9	56,8
Aerodinaminis pasipriešinimas, Pa	8	16	33	49	68	88	109	133	162	175

IŠRADIMO ESMĖ

Išradimo tikslas – apdorojimo ir nusodinimo įrenginys, skirtas sauso užteršto dujų srauto apdorojimui ir nusodinimui, konkrečiai smulkiadispersių ir ypač smulkiadispersių KD, esančių dujų sraute aglomeravimui, bei bipoliarinio elektrinio lauko sukeliančio hidrodinaminių jėgų dalelėms sužadinti sukūrimui. Tikslas pasiekiamas, panaudojant darbo kameros pirminėje zonoje šaltosios plazmos bloką, įrengtą su tarpu tarp kameros dugno, eilę lygiagrečiai sujungtus tarpusavyje izoliuotus modulius, į kuriuos per bendrą įtekėjimą patenka dujų srautas, kiekvieno modulio simetriškai konfigūruotus stačiakampės formos tarpsluoksnius.

Įtekėjimo anga įrengta vienoje iš šoninių sienų vertikalios ir horizontalios simetrijos ašyje taip, kad užterštas dujų srautas patenka į darbo kameros pirminę zoną, kurioje jis išsilygina, o taip pat dalis stambiausių KD nusėda dėl veikiančių svorio jėgų. Darbo kameros pirminė ir antrinė zonos sujungtos per oro tarpus, esančius kiekvieno modulio tarpsluoksnių centre. Užteršto dujų srauto tekėjimas yra nukreiptas link darbo kameros antrinės zonos pilnai izoliavus kiekvieno modulio viršutinę ir apatinę briaunas. Tarp daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės ir darbo kameros dugno esantis tarpas išlygina srautų maišymąsi, išvengiama papildomų slėgio nuostolių, ir išvengiama KD adhezijos ant daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės elementų.

BRĖŽINIŲ PAVEIKSLŲ APRAŠYMAS

Paveiksluose pateikti daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės dujose esančias kietąsias daleles aglomeruoti ir nusodinti vaizdai, kur:

1 pav. yra šio išradimo daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės darbo kameros aksonometrinis vaizdas, be kameros dangčio;

2 pav. yra šio išradimo daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės darbo kameros schematinis skerspjūvio per 2 pav. liniją A-A vaizdas;

3 pav. yra šio išradimo daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės sistemos schematinis vaizdas, daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės B ir modulio C detalizacijos;

4 pav. yra šio išradimo daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės

elektros grandinės jungimo schema.

IŠSAMUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės sistemą sudaro užterštų (kartu su dar neaglomeruotų KD srautu) padavimo dujų ortakis 1, dujų (kartu su aglomeruotų KD srautu) išvedimo ortakis 2, darbo kamera 3, kuri yra sudaryta iš pirminės 4 ir antrinės 5 zonų. Pirminėje zonoje 4 įrengta daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė 6, sudaryta iš vienodos struktūros modulių 8, kiekvienas jų iš vidaus yra ekranuotas simetriškai metaline nerūdijančio plieno plokšte 9, įrengtu vidiniu oro tarpu 10 lygiagrečiai kiekviename modulyje 8 juda užterštų dujų srautas, vidinis oro tarpas 10 ribojasi su vidine apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi 11, kuris izoluoja metalo elektros laidininko (vario-aliuminio lydinio) folijos elektrodą 12, sukuriantį bipoliarinį elektrinį šaltosios plazmos lauką, iš vidinės pusės, o išorinė apsauginė stiklo plokštė-izoliatorius 13 izoluoja iš išorinės pusės. Išorinė apsauginė stiklo plokštė-izoliatorius 13 iš kitos pusės ribojasi su įrengtu išoriniu oro tarpu 14, kuris savo ruožtu iš išorinės pusės yra ekranuotas simetriškai metaline plokšte 9. Tokiu būdu daugiasluoksnę plokštelinę modulinę kasetę 6 sudaro eilė lygiagrečiai sumontuotų modulių 8 analogiškos geometrijos, kuriuose elektrodai 12 yra sujungti nuosekliai ir įjungti į pirminę grandinę 21 su srovės lygintuvu 16 ir impulsų generatoriumi 17, autotransformatoriumi 18 ir aukštavolčiu transformatoriumi 19. Darbo kamera 3 ir antrinė grandinė 28 yra įžeminti prie jungčių 29.

Įrenginio veikimo principas

Ventiliatorius arba joks įrenginys (jei dujų srautas jau tiekiamas iš technologinio proceso) užterštą su dar neaglomeruotu KD srautu dujas – dvifazį srautą – tiekia į bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės sistemą padavimo dujų ortakiu 1. Toliau dvifazis srautas per angą įrengtą darbo kameros 3 mažesnio ploto sienelės horizontalios ir vertikalios simetrijos ašyje patenka į darbo kameros 3 pirminę zoną 4. Šioje zonoje dėl daugiau nei 5 kartus didesnio kanalo skerspjūvio patenkantis dujų srautas išsilygina per visą šios zonos ilgį, kuris yra daugiau nei 30 % didesnis nei šios zonos plotis arba aukštis. Pirminė zona 4 yra atskirta nuo antrinės zonos 5 vidine sienele 7, todėl dujų srautas su KD gali judėti tik vidiniais 10 ir išoriniais 14 oro tarpais įrengtais daugiasluoksnės plokštelinės

modulinės kasetės 6 vienodos struktūros moduliuose 8. Dėl veikiančios svorio jėgos, dalis judančių kartu su dujų srautu KD – didesnių kaip $20\ \mu\text{m}$ dydžio – nusėda šioje zonoje, todėl kamera veikia kaip nusodinimo-valymo įrenginys, o tuo pačiu yra pašalinamos iš dujų srauto stambiausios dalelės, kurios galėtų sukelti užsikimšimą daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės 6 vienodos struktūros moduliuose 8 įrengtuose vidiniuose oro tarpuose 10 ir (arba) išoriniuose oro tarpuose 14, kur vyksta aktyvi smulkiadispersių ir ypač smulkiadispersių KD aglomeracija. Kiekvieno modulio 8 ilgis sudaro santykį su darbo kameros 3 pirminė zona 4 kaip 6:7 ir atitrauktas $1/7$ šios zonos ilgio nuo darbo kameros 3 mažesnio ploto sienelės plokštumos, kurioje įrengta įtekėjimo anga. Dėl susidarančio teigiamo slėgio pirminėje zonoje 4, iš jos dujų srautas patenka per įrengtus daugiasluoksnėje plokštelinėje modulinėje kasetėje 6, sudarytoje iš vienodos struktūros modulių 8, vidinius oro tarpus 10 ir išorinius oro tarpus 14, iki kol įteka į darbo kameros 3 antrinę zoną 5. Daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė 6 yra užsandarintas iš visų pusių, išskyrus vidinius 10 ir išorinius 14 oro tarpus, ir yra pakeltas virš darbo kameros 3 dugno tokiu būdu, kad susidaro oro tarpas, kurio aukštis lygus 7,5 % viso darbo kameros 3 aukščio. Vidiniai oro tarpai 10 ir išoriniai oro tarpai 14 įrengti tokiu būdu, kad iš abiejų pusių kiekvienas modulis yra simetriškai ekranuotas metaline nerūdijančio plieno plokšte 9. Metalinės nerūdijančio plieno plokštės 9 storis turi būti ne mažesnis nei 50 % vidinio 10 ir (arba) išorinio 14 oro tarpo pločio. Iš kitos pusės vidiniai 10 ir išoriniai 14 oro tarpai simetriškai ribojasi su atitinkamai vidine apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi 11 ir išorine apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi 13. Išradime taikomas grūdintas stiklas, kuris veikia ir kaip kondensatorius per visą savo paviršiaus plotą, kuris įrengtas lygiagrečiai metalo elektros laidininko folijos elektrodoi 12, ir kurio storis apytiksliai yra 15 kartų didesnis nei folijos elektrodo 12 storis. Kiekvienas elektros laidininko folijos elektrodas 12 sukuria aktyvios aglomeracijos zonas visuose įrengtuose vidiniuose 10 ir išoriniuose 14 oro tarpuose kiekviename iš modulių 8. Elektros laidininko folijos elektrodas 12 yra izoliuotas simetriškai iš abiejų pusių vidine 11 ir išorine 13 apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi. Vidinių 10 ir išorinių 14 oro tarpų priešais įrengtos kraštinės iš abiejų pusių nuo elektros laidininko folijos elektrodo 12 yra įrengtos ne didesniu kaip 2,7 mm atstumu, kas užtikrina elektrinio lauko sklidimą per visą jų tūrį, todėl kietųjų dalelių prašokimas mažai tikėtinas ir tikimybė būti nepaveiktiems bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos yra minimali. Kiekvienas elektros laidininko folijos elektrodas 12 modulyje 8 yra sujungtas tarpusavyje nuosekliai bei prijungtas prie pirminės elektros

grandinės 21, o darbo kamera 3 ir antrinė grandinė 28 yra įžeminti prie jungčių 29. Elektros laidininko folijos elektrodai 12 yra 55 μm storio, kas leidžia tiekti per elektros grandinę aukštą įtampą be didelių energijos nuostolių. Energija tiekiamą iš vienfazio tinklo 20 pirmine grandine 21, kurį patenka į srovės lygintuvą 16, kuriame elektros srovės keičiama į nuolatinę. Toliau elektros srovė paduodama į impulsų generatorių 17, iš kurio bipoliariniais impulsais tiesiogiai paduodama į autotransformatorių 18, kuriame yra galimybė keisti elektros srovės įtampą nuo 0 iki 250 V. Toliau elektros srovė patenka antrine grandine 28 į aukštavoltį transformatorių 19, kuriame yra sustiprinama elektros įtampa ir paduodama į elektros laidininko folijos elektrodus 12. Tokia kompleksinė elektros grandinė leidžia pakeisti elektros srovės charakteristiką iš įprastos sinusinės kintamos įtampos 20. Panaudojant impulsų generatorių 17 elektros srovės kitimas kiekvienoje fazėje paverčiamas impulsiniu bipoliariniu – tiek į teigiamo potencialo, tiek į neigiamo, kai kiekvieno impulso amplitudė yra lygi elektros srovės įtampai.

Taip pat, srovės lygintuve 16 ir impulsų generatoriuje 17 yra galimybė prijungti į grandinę sintezatorių, kuriuo galima keisti paduodamos elektros srovės dažnį, tokiu būdu keisti bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos impulso laiką, kitaip sakant šio impulso plotį, kuris nusakomas laiko dalimi nuo visos fazės, kuri savo ruožtu lygi bangos ilgiui.

Tuo tarpu aukštavoltis transformatorius 19, kuriame naudojamas aukštos (iki 1 T Ω) varžos rezistorius (įtampos daviklis) 24 leidžia reguliuoti elektros srovės įtampą 22 (šiam išradime taikoma iki 5 kV) ir elektros srovės stiprį 23 (šiam išradime taikoma iki 7 mA).

Šiam išradime aukštesnės elektros srovės įtampa iššauktų šaltosios plazmos pramušimą, t. y. nebūtų tenkinama sąlyga, kai elektros įtampos dydis neturi viršyti 300 V esant 1 mm atstumui tarp gretimų šaltosios plazmos šaltinių, dėl ko sistema būtų nestabili. Tačiau norint praplėsti šias charakteristikas galima didinti atstumus tarp kiekvieno gretimo vienodos struktūros modulio 8, o tai ženkliai didintų daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės 6 gabaritus. Saugiai eksploatacijai darbo kameros 3 korpusas turi įžeminimo jungtį per grandinę 29. Praėjus dujų srautui su aglomeruotu KD srautu per vidinius 10 ir išorinius 14 oro tarpus, jis lygiagrečiai iš visų oro tarpų 10 ir 14 patenka į darbo kameros 3 antrinę zoną 5. Ši zona skirta dujų srautui išlyginti prieš išėjimą iš darbo kameros, skerspjūvio padidėjimas yra daugiau nei 15 kartų,

priimant visų vidinių 10 ir išorinių 14 oro tarpų bendrą plotą, o jos ilgis sudaro santykį su bendru darbo kameros 3 ilgiu kaip 1:8. Galutinai, dujų ir aglomeruotų KD srautas per angą, įrengtą darbo kameros 3 priešingoje pusėje nei padavimo dujų ortakis 1, analogiškai mažesnio ploto sienelės horizontalios ir vertikalios simetrijos ašyje patenka į dujų pašalinimo ortakį 2. KD aglomeracijos laipsnis sukeltas bipoliarinio elektrinio lauko šaltąja plazma priklauso ne tik nuo elektros srovės charakteristikų, bet ir nuo judančio dujų srauto tūrio debito bei nuo KD prigimties, t. y. jų dispersinės sudėties, jų elektros savybių.

Dujose esančių smulkiadispersių ir ypač smulkiadispersių KD aglomeravimui pasiekti yra taikoma daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė 6, kurios ilgis užtikrina apytiksliai 0,1 s trukmės KD kontaktą, kitaip sakant išbuvimą aktyvioje aglomeravimo zonoje. Tai užtikrina KD paveikimą ir leidžia manipuluoti jų skersiniu judėsiu, taip ženkliai padidinant jų susidūrimų tikimybę bei tarpusavio susijungimą, t. y. aglomeravimą. Bipoliarinio elektrinio lauko priešingų potencialų besikartojantis kitimas ties kiekvienu impulsu leidžia sukelti aglomeraciją net didelės varžos KD, kas ženkliai praplečia išradimo taikymo galimybes. KD aglomeravimas vyksta ir dėl išilginio judesio sukulto dujų srauto iššauktų KD tarpusavio susidūrimų ir autohezijos. Be to, KD aglomeracijos intensyvumas išauga aukštesnio santykinio drėgnio dujų sraute sąlygomis, kuomet ant KD paviršiaus susidaro papildoma vandens ar kitų skysčių plėvelė, kurį padidina autohezijos jėgą ir KD susidūrus mažiau tikėtinas jų tamprus atšokimas.

Kartu su išradimu gali būti taikomas dujų sraute esančių KD krūvių neutralizatorius 25 arba teigiamo (arba neigiamo pagal poreikį) potencialo jonizatorius 26. Neutralizatorius 25 pašalina KD turimus krūvius ir padaro neutralų KD srautą, tuomet tarp KD veikiančios elektrostatinės jėgos bus minimalios ir neleis veikti stūmos jėgoms tarp vienodo krūvio KD, kas didina jų aglomeravimą. Taikant jonizatorių 26 KD gali būti įkrautos ir įgauti reikiamą potencialo ženklą ir pakankamą krūvį, kad jos būtų nusodintos ant vidinių bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnės plokštelinės modulinės kasetės paviršių, turinčių priešingą potencialo ženklą ir vykty intensyvi adhezija, tačiau šiuo atveju aglomeravimas tarp vienodo potencialo ženklą turinčių KD pasireikštų minimaliai.

Išradimo padavimo dujų ortakyje 1 yra įrengtas dujų srauto lygintuvas 27, kurio geometriją sudaryta iš metalinių gardelių tinklo, kuris geba ardyti esančius sūkurius

dujų sraute. Galimi netolygumai susidaro nuo ventiliatoriaus arba kitų galimų vietinių kliūčių įrengtų sistemoje prieš išradimą, todėl dujų srautas yra stabilizuojamas nepatiriant ženklų slėgio nuostolių lygintuve 27.

Eksploatuojant bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnę plokštelinę modulinę kasetę gali būti naudojama įvairaus modulių 8 skaičiaus daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė 6, pagal poreikį, atsižvelgiant į užterštame dujų sraute KD koncentraciją. Kuo KD koncentracija didesnė, tuo modulių 8 skaičius turi būti didesnis, tačiau tai reikalauja didesnių energijos išteklių. Taip pat, modulių 8 skaičiaus mažinimas leidžia sumažinti išradimo aerodinaminį pasipriešinimą ir taikyti tokią konstrukciją mažesnio našumo sistemose.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė dujose esančias kietąsias daleles aglomeruoti ir nusodinti, turinti darbo kamerą, atskirtą į pirminę ir antrinę zonas, vienos ašies padavimo dujų ortakį ir dujų išvedimo ortakį, besiskirianti tuo, kad daugiasluoksnę plokštelinę modulinę kasetę, sudaro vienodos struktūros moduliai (8), kiekvienas modulis turi daugiasluoksnę vienodo aukščio plokštelinę konstrukciją, iš abiejų pusių ekranuota simetriškai metalinėmis nerūdijančio plieno plokštėmis (9), dujų srautas juda lygiagrečiai kiekviename modulyje (8) įrengtais vidiniais (10) ir išoriniais (14) oro tarpais, vidinis oro tarpas (10) ribojasi su vidine apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi (11), pastarasis ribojasi ir izoluoja metalo laidininko (vario-aliuminio lydinio) folijos elektrodą (12) iš vidinės pusės, o išorinė apsauginė stiklo plokštė-izoliatorius (13) izoluoja metalo laidininko (vario-aliuminio lydinio) folijos elektrodą (12) iš išorinės pusės, sistemoje yra pirminė (21) elektros grandinė, kurioje suformuojamas reguliuojamas bipoliarinis elektrinis laukas ir antrinė (28) elektros grandinė, kurioje išlyginta bipoliariniais impulsais elektros srovė sustiprinama ir perduodama į nuosekliai sujungtus metalo laidininko (vario-aliuminio lydinio) folijos elektrodus (12).

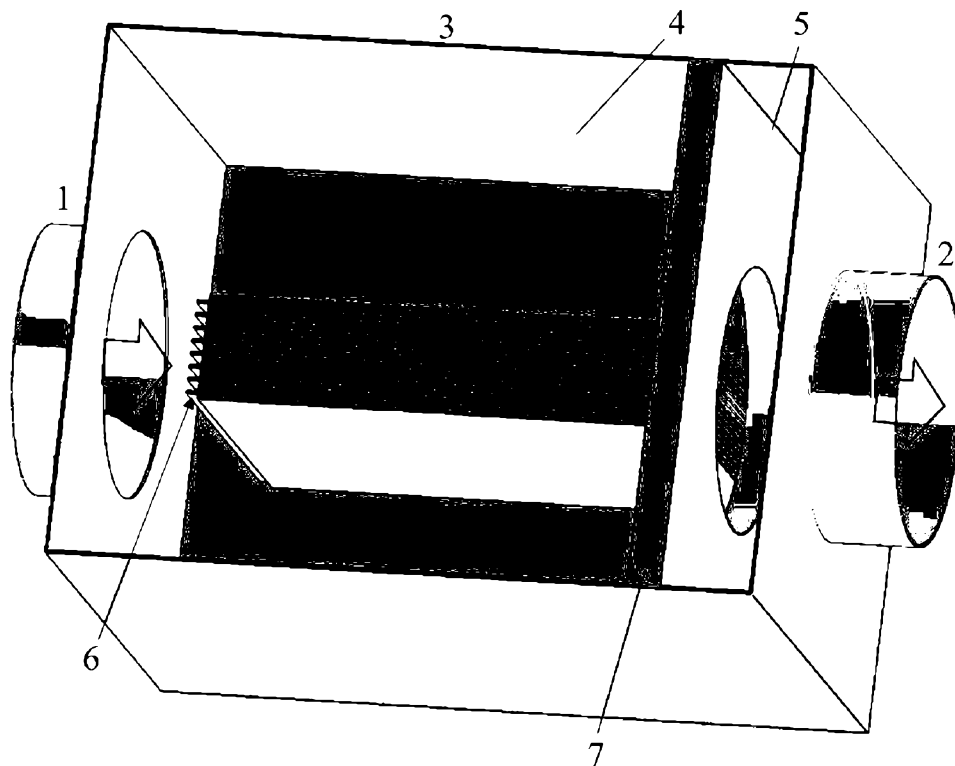
2. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad vienodos struktūros moduliai sudaryti iš plokštelinės formos tarpusavyje sujungtų elementų, kuriuose sudaryti vidiniai (10) ir išoriniai (14) oro tarpai, kurių kiekvieno plotis sudaro santykį su modulio (8) pločiu kaip 1:4.

3. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad elektros laidininko folijos elektrodas (12) yra izoliuotas simetriškai iš abiejų pusių vidine (11) ir išorine (13) apsaugine stiklo plokšte-izoliatoriumi, o atstumas nuo elektrodo (12) iki oro tarpo tolimesnės kraštinės sudaro santykį su bendru modulio (8) pločiu ne didesnį kaip 1:3.

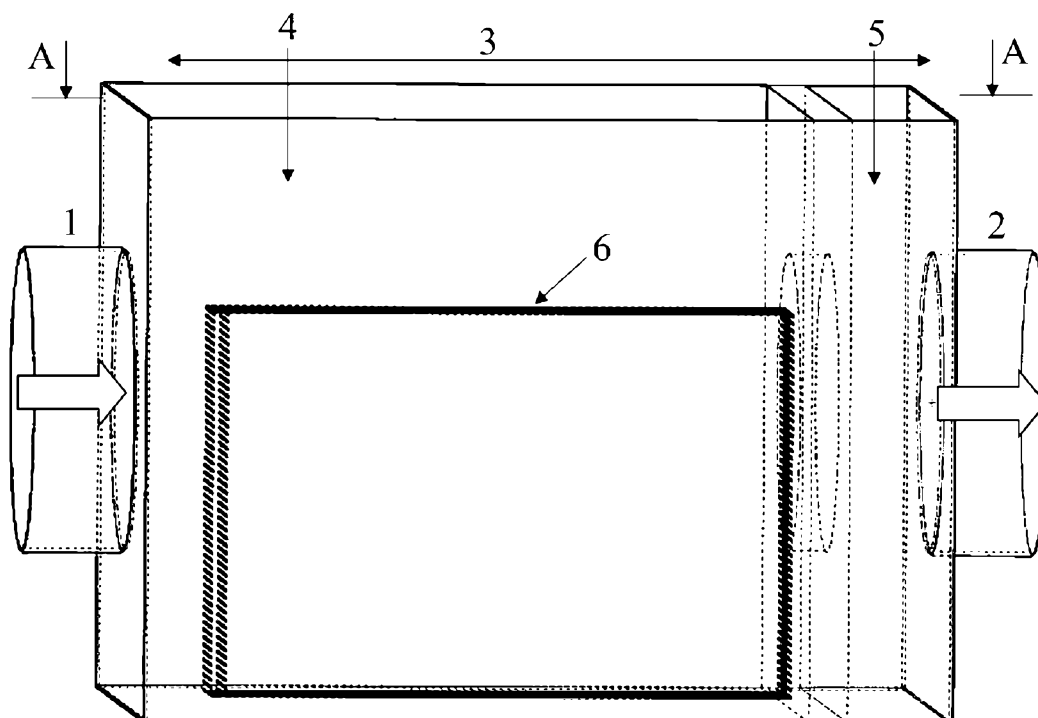
4. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė pagal 3 punktą, besiskirianti tuo, kad elektros laidininko folijos elektrodo (12) plotis sudaro santykį su bendru modulio (8) pločiu kaip 0,75:100, o simetriškai iš abiejų pusių vidinė (11) ir išorinė (13) apsaugine stiklo plokštė-izoliatorius veikia kaip kondensatorius, o jų kiekvieno plotis sudaro santykį su elektros laidininko folijos elektrodo (12) pločiu kaip 15:1.

5. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kad darbo kamerą sudaro pirminė (4) ir antrinė (5) zonos, kurių ilgiai tarpusavyje sudaro santykį kaip 7:1, jos yra atskirtos tarpusavyje, o dujų srautas pereina iš vienos į kitą tik per vidinius (10) ir išorinius (14) oro tarpus.

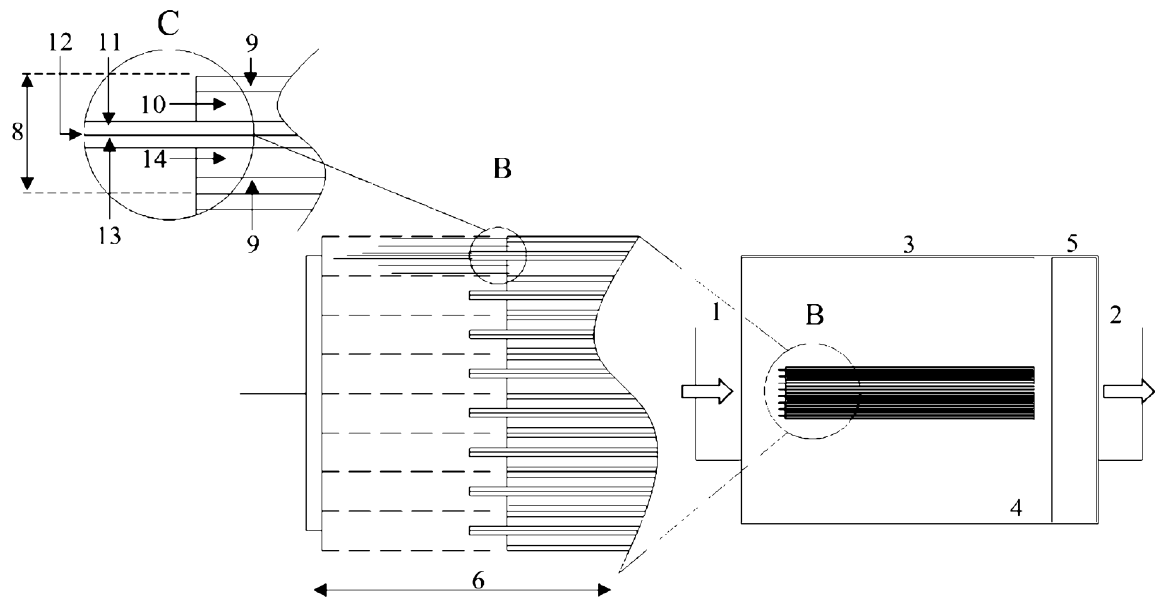
6. Bipoliarinio elektrinio lauko šaltosios plazmos daugiasluoksnė plokštelinė modulinė kasetė pagal 1 punktą, besiskirianti tuo, kiekvieno modulio (8) ilgis sudaro santykį su darbo kameros (3) pirmine zona (4) kaip 6:7 ir yra atitrauktas 1/7 šios zonos ilgio nuo darbo kameros (3) mažesnio ploto sienelės plokštumos, kurioje įmontuotas padavimo dujų ortakis (1), bei pakelta virš darbo kameros (3) dugno taip, kad oro tarpo aukštis sudaro santykį su viso darbo kameros aukščiu kaip 1:12.



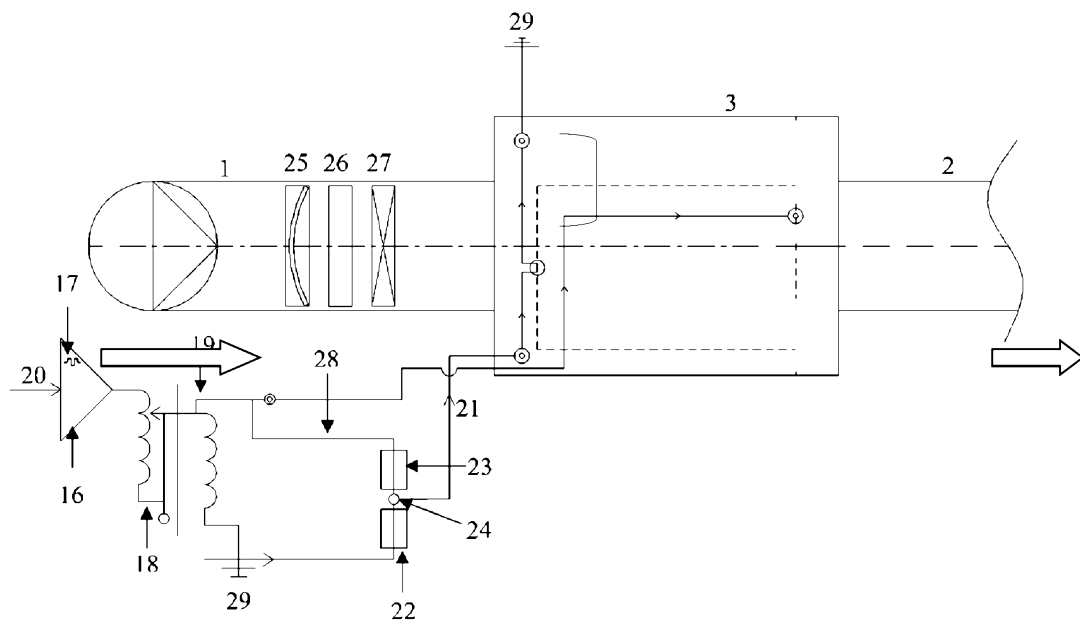
1 pav.



2 pav.



3 pav.



4 pav.