

VANDENS – DUJŲ ŠILUMOS MAINAI GAZ-LIFTO TIPO SKRUBERYJE

P. Rapalis¹, Prof. Habil. Dr. V. Smailys¹, V. Daukšys¹, N. Zamiatina, dr. V. Djačkov¹

¹Jūros mokslų ir technologijų centras, H. Manto g. 84 92294 Klaipėda, vytautas.smailys@ku.lt, paulius.rapalis@ku.lt, vygintas.dauksys@ku.lt, n.zamiatina88@gmail.com, vasilij.djackov@ku.lt

Anotacija

Siekiant sumažinti sieros oksidų emisijas iš laivybos, griežtinami reikalavimai sieros kiekiui kure nuo 2015 metų nedaugiau 0,1%. Dėl didelės tokio kuro kainos laivų savininkai priversti ieškoti alternatyvaus sprendimo - išvalyti išmetamąsias dujas nuo sieros oksidų. Racionaliausia išmetamųjų dujų valymui nuo SO_x priemonė – skruberis. Pagrindinis plačiai nagrinėjamas skruberių tipas - „dušo“ tipo skruberiai. Tačiau nepaisant plačiai vykdomų tyrimų, „dušo“ tipo skruberiai vis dar turi trūkumų, ypač aktualių mažo tonažo laivuose. Išeitis – Gaz-Lifto tipo skruberių naudojimas. Siekiant tobulinti ir adaptuoti gaz-lifto technologiją išmetamųjų dujų valymui reikia atlikti išsamius šio tipo skruberių tyrimus. Svarbi šių tyrimų dalis – vandens – dujų šilumos mainų intensyvumo tyrimas. Tai atliekama naudojant „Flow3D“ skaitinio modeliavimo programą. Gauti modeliavimo rezultatai rodo, kad išmetamųjų dujų temperatūra skruberyje nukrenta iki 300-350K, kas gerai sutampa su eksperimentiniais duomenimis ir patvirtina modelio adekvatumą bei suteikia pagrindą modelį naudoti tolesniuose gaz-lifto tipo skruberių tyrimuose.

RAKTINIAI ŽODŽIAI: GAZ-LIFTAS, SKRUBERIS, SO_x, IŠMETAMŲJŲ DUJŲ VALYMAS

Abstract

In order to reduce sulphur oxide emissions from ships the SO_x emission regulations in emission control areas shall be strengthened and allow only 0,1% of sulphur in marine fuels since 2015. High price of this type of fuel forces ship owners to search for alternative means of reducing SO_x emissions. Most rational measure is to use scrubber technology. Main type of scrubber that has been widely analysed is “shower” type scrubber. However even with widely performed research of these scrubbers they still have some drawbacks that are of most concern for the owners of small ships. Solution – gaz-lift type scrubbers. In order to improve and adapt gaz-lift type scrubber technology for cleaning of exhaust gases a thorough research has to be performed. Important part of this research is heat exchange between gas and water in gaz-lift type scrubber. This is done with CFD software – Flow3D. The Simulation results showed that the temperature of exhaust gases passing the scrubber dropped to around 300-350 K. This result matches the experimental data, confirms the adequacy of calculation and provides basis for the further use of these models in gaz-lift scrubber research.

KEY WORDS: GAZ-LIFT, SCRUBBER, SO_x, EXHAUST GAS CLEANING

Įvadas

Pasaulinė laivyba išmeta virš 1 milijardo tonų šiltnamio dujų (CO₂) ir kitų kenksmingų medžiagų (SO_x, CO, NO_x, PM, CH) per metus [1], reikšmingą šių emisijų dalį sudaro sieros oksidai. Sieros oksidų (SO_x) emisiją laivyboje reguliuojama IMO normatyvais, aprašančiais sieros kiekį laivų kure. Numatytas šios normos sugriežtinimas nuo 2015 metų liepos. Sieros kiekis kure turės būti nedidesnis nei 0,1% pagal masę (dabartinis iki 1%), toks griežtas apribojimas ir didelė mažasierio kuro kaina verčia laivų savininkus ieškoti efektyvių išmetamųjų dujų (ID) valymo nuo SO_x technologijų. Viena iš prasingiausių ir racionaliausių technologijų ID emisijų valymui yra skruberiai [3].

Yra du pagrindiniai skruberių tipai: šlapieji ir sausieji. Populiariausi yra šlapiojo tipo skruberiai, kuriuose valymas vyksta „dušo“ principu [4]. Šių skruberių darbo principas pakankamai išstobulintas ir optimizuotas tačiau dar turi keletą trūkumų, ribojančių jų panaudojimą mažo tonažo laivuose [6,7].

Gaz-lifto technologija plačiai naudojama įvairiose industrijose: naftos gavyba, vandens siurbliai, biocheminiai, elektrocheminiai reaktoriai ir kt. [8,9,14,15]. Be šių sričių gaz-lifto technologija gali būti toliau plėtojama kitose srityse – viena iš jų kuro deginimo įrenginių ID valymas. Šie tyrimai išsamiau buvo vykdomi 1976 metais Centriniam dyzelių tyrimo institute (CNIDI Leningradas – dabartinis Sankt. Peterburgas) kurių rezultate buvo įregistruota keletas išradimų [10-12]. Kadangi gaz-lifto skruberiai pasižymi mažesniu energijos suvartojimu, mase ir gabaritais nei įprasti šlapio tipo skruberiai, jų naudojimas būtų tikslingas nedidelio tonažo laivuose. Svarbi „gaz-lifto“ tipo skruberių savybė yra efektyvus ID aušinimas. Remiantis rezultatais, gautais CNIDI atliktų eksperimentų metu, ID temperatūra nuo 600-650 K sumažėja iki 333 K joms perėjus per „gaz-lifto“ skruberį.

Įvairius dujų ir vandens sąveikos aspektus gaz-lifto technologija paremtuose įrenginiuose tyrinėjo daugelis mokslininkų: MM.H. Abdel-Aziz ir G.H. Sedahmed tyrė masių ir šilumos mainus [9][13], dujų užsilikymo trukmę tyrė Hu-Ping Luo [14][15].

Minėtus tyrimus jungia vienas bendras bruožas: visuose tyrimuose dujų ir skysčio temperatūros buvo žemos. Tuo tarpu ID temperatūra 600 – 700 K. Tokią aukštą dujų temperatūrą turėtų pakelti vandens temperatūrą ir sukelti aktyvų garavimą vandens – dujų sąveikos zonoje. Aukštesnė vandens temperatūra šiuo atveju galėtų neigiamai įtakoti pagrindinę skruberio funkciją – sieros oksidų absorbciją. Tačiau, autorių nuomone, gaz-lifto tipo skruberyje vykstantys procesai galėtų priešingai – net suaktyvinti sieros oksidų absorbciją. Dujų sąveikos su vandeniu metu, dujų burbuliuke susiformuoja vandens garai, kurie dujoms auštant kondensuojasi ir dujų burbuliuke sukuria daugybę miniatiūrinių vandens lašelių. Dėl to stipriai padidėja dujų vandens sąveikos paviršiaus plotas, kas savo ruožtu efektyvintu absorbcija. Siekiant įvertinti šio efekto panaudojimo galimybę svarbu gerai ištirti temperatūros pokyčius dujose, vandens garavimo ir kondensavimosi intensyvumą. Šiuo tikslu suformuotas skaičiuojamosios skysčių dinamikos modelis, atitinkantis supaprastintą gaz-lifto tipo skruberio konstrukciją.

Modelio pradinės sąlygos

Užduotos pradinės sąlygos atitinka skruberio darbo sąlygas, numatytas patentuose. Modeliavimui naudojamas skruberis parodytas 1 paveiksle. Dujų srauto šaltinis atitinką išmetamųjų dujų srautą, kuris ateitu iš variklio. Skruberio vidinio vamzdžio viršus užsandarintas, kad išvengtų (modelio sąlygose) išmetamųjų dujų ištekėjimo.

Modelio ribinės sienelės yra nelaidžios šilumai ($t=\text{const}$) ir imituoja išorinės skruberio talpos sienes. Skrubelio pildymas vandeniu atliekamas per išorinę sienelę, papildant nugaravusio vandens kiekį. ID savybės priimtos identiškos aplinkos orui, išskyrus temperatūrą. Pradiniai vandens ir dujų parametrai duoti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pradiniai skaitinio modelio parametrai

Vanduo		
Parametras	Reikšmė	Dimensija
Pradinė temperatūra	300	K
Tankis	1000	kg/m ³
Vandens pakilimo lygis skruberyje	0,8	m
Dujos		
Pradinė temperatūra	600	K
Tankis	0,6	kg/m ³
Debitas	0,008333	m ³ /s

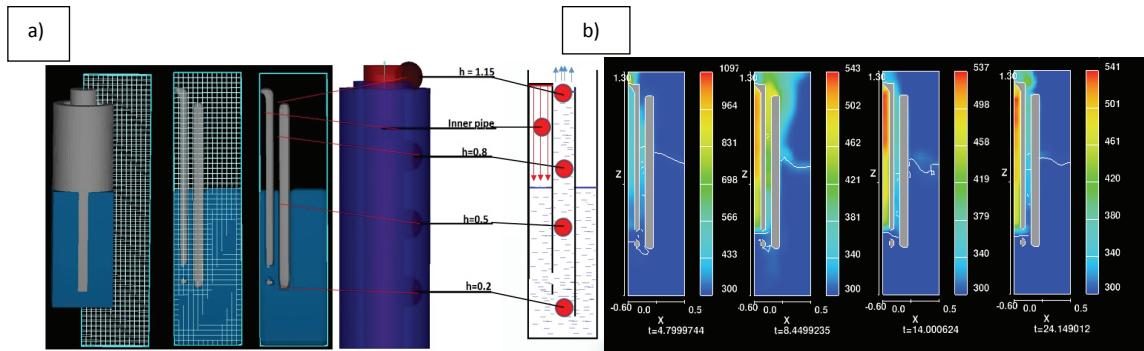
Naudojami modeliai

Vandens – dujų šilumos mainai su vandens būsenos kaita yra labai sudėtinga proceso modeliavimas reikalauja labai ilgo skaičiavimo. Siekiant skaičiavimo laiką padaryti kuo trumpesnį priimta prielaida, kad viename skruberyje procesai vyksta vienodai ir skaičiuojama tik apribota jo dalis (1 paveikslas). Skaičiavimuose naudojami modeliai: burbuliavimo ir fazės virsmo, tankio kaitos, srautų, gravitacijos, šilumos mainų ir klampų [17]

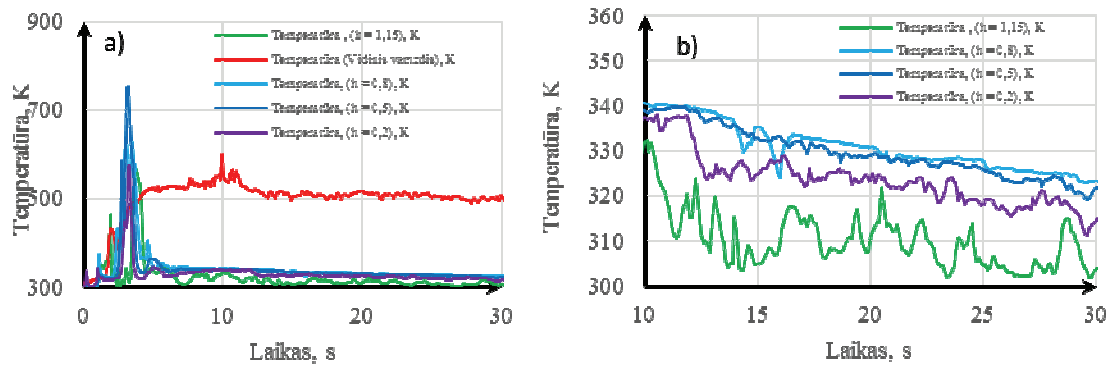
Rezultatai

Modeliavimo rezultatai fiksuojami 5 taškuose (1a paveikslas). Temperatūros pokyčio dujų - vandens mišinyje rezultatai pateikiami 1 ir 2 paveiksluose. Esant pastoviam dujų ir vandens srautui dujų temperatūra nuo 600 K sumažėja iki 300 – 350 K, šie rezultatai atitinka CNIDI gautus eksperimentinius rezultatus, kai dujų temperatūra sumažėjo iki 333 K. Duomenys gauti matavimo taškuose rodo, jog temperatūros stabilizavosi apytiksliai po 20 – 30 sekundžių (2 paveikslas). Atlikti temperatūros matavimai skirtinguose aukščiuose parodė, kad jau vidiniame skruberio kontūre ID temperatūra, dėl kontakto su sienelėmis ir vandens paviršiumi, sumažėja apie 100 K. Temperatūrų svyravimai maišymosi zonoje pateikti 2b paveiksle. Temperatūros matavimo taškai ($h = 0,8$ m ir $h = 0,5$ m) išdėstyti pagrindinėje vandens - dujų kontakto zonoje, temperatūros

šioje zonoje svyruoja nuo 340 – 320 K. Temperatūros taške $h = 0,2$ m yra žemiau dujų – vandens kontakto zonos. Todėl temperatūra ten atitinkamai žemesnė. Taškas $h = 1,15$ m dujų – vandens – garų izeities iš skruberio taškas, kuriame maišosi išeinančios dujos, vandens garai ir aplinkos oras, tai savo ruožtu sukelia 1b-2b paveiksluose matomus stiprius temperatūros svyravimus.



1 pav. Naudojami modelio pjūviai: a - skaičiuojamoji skruberio dalis su parametų pokyčio fiksavimo zonomis; b - Temperatūrų pokyčiai dujų maišymosi su vandeniu modeliavimo metu.



2 pav. Temperatūros pokyčiai dujų - vandens maišymosi zonoje

Gauti rezultatai rodo, kad flow3D skaitinio modeliavimo programoje sukurtas modelis gali būti naudojamas gaz-lifto tipo skruberiuose vykstančių procesų modeliavimui. Naudojant pasiteisinusį modelį, atsiranda galimybė vykdyti tolimesnius užsibrėžtus tikslus:

- Sąlygų, reikalingų užtikrinti garų kondensavimosi procesą dujų burbuliukuose nustatymas.
- Perforacijos aukščio, profilio ir optimalių parametų nustatymas.
- Skruberio vidinio – išorinio vamzdžių diametrų optimalių parametų nustatymas.
- Skruberio geometrinių parametų, priklausomai nuo dujų debito priklausomybės nustatymas siekiant optimalaus efekto.

Išvados

1. Modeliavimo rezultatai parodė dujų temperatūros sumažėjimą, sutampantį su gaz-lifto tipo skruberio rezultatais. Gauti išmetamųjų dujų temperatūros pokyčio rezultatai gerai sutampa su ankstesnių eksperimentų duomenimis. Intensyviausia šilumos mainų zona yra tarp matavimo taškų $h = 0,5$ m ir $h = 0,8$ m.
2. Parengtas Flow3D skaitinis modelis yra tinkamas modeliuoti šilumos mainus gaz-lifto tipo skruberio konstrukcijose, atsižvelgiant į aukštą paduodamą dujų temperatūrą bei vandens fazių virsmus.
3. Tolimesnis flow3D programos naudojimas leis efektyviai analizuoti ir spręsti gaz-lifto tipo skruberio konstrukcijos optimizavimo uždavinius.

Padėka

Darbas atliktas „Lietuvos jūrinio sektoriaus technologijų ir aplinkos tyrimų plėtra“ (Nr.

VP1-3.1-ŠMM-08-K-01-019) temos „Jūrų transporto energetikos ir laivų aplinkosaugos technologijų tyrimai“ rėmuose.

Acknowledgement

Work was performed in the frame of „Lithuanian Maritime Sector’s Technologies and Environment Research Development“ (Nr. VP1-3.1-ŠMM-08-K-01-019) project topic „Jūrų transporto energetikos ir laivų aplinkosaugos technologijų tyrimai“

Literatūra

1. Straipsnis apie emisijų mažinimą laivybos sektoriuje” Reducing emissions from the shipping sector” prieinamas internete <<http://goo.gl/sZF41L>> (žiūrėta 2014.02.27)
2. SEA WATER SCRUBBER TECHNOLOGY DEMONSTRATION PROJECT ON THE MS ZAANDAM. Final Report to the U.S Environmental Protection Agency. March 31, 2010
3. Bandyopadhyay A., Biswas M., N. 2007. Modeling of SO₂ scrubbing in spray towers. Science of the Total Environment Nr. 383 (2007) 25-40 p.
4. Understanding exhausts gas treatment systems Guidance for ship owners and operators. 2012. Lloyd's Register. Prieinamas internete: <<http://goo.gl/dBgUbp>> (žiūrėta 2014.02.27)
5. Air pollution control technology fact sheet. United States environmental protection agency. EPA-452/F-03-034. Prieinama internete: <<http://goo.gl/Cz4E0a>> (žiūrėta 2014.02.28)
6. Smailys V., Dyachkov V., Senčila V., Puidokas T. 2013. Creation of New Gaslift Type Scrubber for Reduction of Gaseous Emissions from Ships“ Transport Means 2013. Proceedings of the 17th International Conference. – 2013 October 24-25, Kaunas: Technologija 149-152p.
7. Sedahmed G.H., El-Taweel Y.A., Konsowa A.H., Abdel-Aziz M.H. 2011. Mass transfer intensification in an annular electrochemical reactor by an inert fixed bed under various hydrodynamic conditions. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. Nr. 60 1122–1127p.
8. Luo H. P., Al-Dahhan M. H., 2010. Local holdup in a draft tube airlift bioreactor. Chemical engineering science Nr. 65. 4503–4510 p.
9. Luo H. P., Al-Dahhan M. H., 2011. Verification and validation of CFD simulations for local flow dynamics in a draft tube airlift bioreactor. Nr. 60. 907–923p.
10. Жуков Г., Смайлis В. 1989. Нейтрализатор отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Авторское свидетельство No SU 1525294 A1.
11. Смайлis В., Жуков Г., Куров М., Вышкин Д., Башилов Б. Урумов М. . Нейтрализатор отработавших газов двигателя внутреннего сгорания. Авторское свидетельство No 2143487/06
12. Abdel-Aziz M. H., Nirdosh I., Sedahmed G.H. 2013. Liquid–solid mass and heat transfer behavior of a concentric tube airlift reactor. International Journal of Heat and Mass Transfer. Nr. 58. 735–739p.
13. Flow3D user manual version 10.0

VANDENS – DUJŲ ŠILUMOS MAINAI GAZ-LIFTO TIPO SKRUBERYJE

V. Smailys, P. Rapalis, V. Daukšys, V. Djačkov

Oro tarša iš laivų yra gerai žinoma ir plačiai nagrinėjama problema ne tik Baltijos jūros regione bet ir pasaulio mastu. Aktuali šių tyrimų dalis yra oro taršos sieros oksidais mažinimas. Siekiant sumažinti sieros oksidų emisijas iš laivybos, griežtinami reikalavimai sieros kiekiui kure nuo 2015 metų ne daugiau 0,1%. Dėl didelės tokio kuro kainos laivų savininkai priversti ieškoti alternatyvaus sprendimo - išvalyti išmetamąsias dujas nuo sieros oksidų. Racionaliausia išmetamųjų dujų valymui nuo SO_x priemonė – skruberis. Mažo tonažo laivams - Gaz-Lifto tipo skruberių naudojimas. Siekiant tobulinti ir adaptuoti gaz-lifto technologiją išmetamųjų dujų valymui reikia atlikti išsamius šio tipo skruberių tyrimus. Svarbi šių tyrimų dalis– vandens – dujų šilumos mainų intensyvumo tyrimas. Tai atliekama naudojant „Flow3D“ skaitinio modeliavimo programą. Gauti modeliavimo rezultatai rodo, kad išmetamųjų dujų temperatūra skruberyje nukrenta iki 300-350K, kas gerai sutampa su eksperimentiniais duomenimis ir patvirtina modelio adekvatumą bei suteikia pagrindą modelį naudoti tolesniuose gaz-lifto tipo skruberių tyrimuose. Šie tyrimai vykdomi „Lietuvos jūrinio

sektoriaus technologijų ir aplinkos tyrimų plėtra” (Nr. VP1-3.1-ŠMM-08-K-01-019) temos „Jūrų transporto energetikos ir laivų aplinkosaugos technologijų tyrimai“ rėmuose.