

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНТУ**



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ
«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

*Присвячена 100-річчю інституту холоду, кріотехнологій
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського*

19-20 квітня 2022 року

Збірник тез доповідей



Одеса – 2022 р

УДК 621.565; 621.

Збірник тез доповідей підготовлений під редакцією
доктора технічних наук, професора Хмельнюка М.Г
Науковий секретар - к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.

За достовірність інформації відповідає автор публікації

Збірник тез доповідей за матеріалами Всеукраїнської науково-технічної онлайн-конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «**Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології**», Одеса, 2022 р. (19-20 квітня) – 113 с.

До збірника включені матеріали сучасних наукових досліджень здобувачів вищої освіти та молодих вчених університетів і академій України.

Розглянуто наступні напрямки досліджень: холодильні установки; кондиціонування повітря, холодильні машини, теплообмінні апарати і процеси тепло масообміну; робочі речовини холодильних машин; компресори та пневмоагрегати; енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки; холодильна технологія; криогенна техніка; інформаційні технології в холодильній техніці.

Матеріали подано українською та англійською мовами.

Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

Голова - Єгоров Б.В. - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор

Заступники голови:

Поварова Н.М. – к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

Косой Б.В. – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

Члени наукового комітету:

Хмельнюк М.Г. - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, д.т.н., професор;

Мілованов В.І. - заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор;

Коновалов Д.Т. - завідувач кафедри Теплотехніки філії НУК ім. адм.Макарова, Херсонська філія, д.т.н., професор;

Тітлов О.С.- завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики ОНАХТ, д.т.н., професор

Морозюк Л.І. - д.т.н., професор кафедри кріогенної техніки ОНАХТ ;

Потапов В. О. - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

Радченко М.І. - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д.т.н., професор;

Симоненко Ю.М. - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д.т.н, професор;

Жихарева Н.В.- к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ.

Організаційний комітет:

Голова – д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.;

Науковий секретар - к.т.н. доц. Жихарева Н.В.

Члени оргкомітету - к.т.н. доц. Зімін О.В., к.т.н., доц. Когут В.О., к.т.н. доц. Яковлева О.Ю., к.т.н., доц. Трандафілов В.В., к.т.н. Грудка Б.Г., стаж-викл. Басов А.М., асп. Сазанський А.Р., асп. Крушельницький Д.О.

4. Konovalov D., Radchenko M., Kobalava H., Radchenko A., Radchenko R., Kornienko V., & Maksymov V. (2021). Research of characteristics of the flow part of an aerothermopressor for gas turbine intercooling air. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. doi:10.1177/09576509211057952.
5. Shi X., Jiang G., Gao J. (2019). Heat transfer comparison investigation of mist/steam two-phase flow and steam in a square smooth channel. Proc. IMechE, Part A: J Power and Energy, 233(7), pp. 877–889.

УДК 621.181. 62:620.193.519.8

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Корнієнко В.С., доцент кафедри теплотехніки,

*Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон,
kornienkovika1987@gmail.com*

Необхідність виконання усіх вимог міжнародних організацій в області охорони навколишнього середовища, необхідність зменшення теплових втрат при спалюванні органічних палив, вартість яких зростає, підвищення економічності і надійності роботи усіх елементів суднової енергетичної установки зумовлюють необхідність розгляду всіх можливостей виконання вказаних задач у запропонованій комплексній технології. Ця технологія включає етапи: підготовка палива до спалювання, процес горіння, процеси тепломасообміну, зниження швидкості низькотемпературної сірчаноокислої корозії (НТК), очищення газів від токсичних інгредієнтів. Це вимагає відповідної організації фізико-хімічних процесів, які забезпечать можливість виконання цих задач.

Відомі способи очищення відхідних газів від токсичних сірчистих сполук [1]. На думку спеціалістів фірми MAN [2] вимоги ІМО (III рівень з емісії SO_x, NO_x) можливо виконати за допомогою технологій: Water in Fuel emulsion, Scavenge Air Moistening, Exhaust Gas Recirculation, Selective Catalytic Reduction. В гібридній системі очищення Alfa Laval і Aalborg Industries [3] першою стадією очищення вважається утилізаційний котел (УК), в якому вихлопні гази охолоджуються від 350 °С до 160...180 °С і має місце забруднення поверхонь УК, що може розглядатися як етап очищення від твердих часток. На другій стадії очищення за рахунок використання скрубера Вентурі при впорскуванні води продовжується зниження температури вихлопних газів і очищення від твердих часток за рахунок їх зволоження. В системі очищення селективного каталітичного відновлення (СКВ або SCR) [4] здійснюється тільки очищення від NO_x за допомогою дорогих каталізаторів і введення в якості відновлювача розчину сечовини і аміаку. Систему SCR (поглинання тільки NO_x з відхідних газів) обов'язково треба супроводжувати скрубєрною технологією очищення від SO_x.

До радикальних і достатньо простих способів зниження сірчистих сполук належить очищення відхідних газів за допомогою скрубєрних технологій, де оксиди сірки, азоту, CO_2 та зважені частки з газового потоку поглинаються морською водою.

В основу технології поставлено задачі: 1) збільшення глибини очищення димових газів від токсичних речовин; 2) інтенсифікація абсорбції SO_2 , CO_2 , NO_x водою; 3) підвищення абсорбційної активності димових газів по відношенню до NO_x , SO_2 , CO_2 ; 4) зменшення викидів твердих зольних і сажових часток в результаті горіння; 5) зниження інтенсивності НТК; 6) зменшення втрат теплоти з відхідними газами за рахунок встановлення конденсаційних поверхонь нагріву (КПН) на виході газів з УК.

Можливість вирішення поставлених задач у запропонованій технології забезпечується спалюванням водопаливних емульсій (ВПЕ) з конкретно рекомендованим значенням водовмісту ($W^r=30\%$), бо такий склад ВПЕ суттєво впливає не тільки на проходження теплових і фізико-хімічних процесів по всьому тракту паливоспалюючих агрегатів (починаючи із зони горіння і до зрізу димової труби), а й спрямовує їх у необхідному напрямку.

Для виконання поставлених задач в технології запропонованого способу для забезпечення вирішення задач з підвищення економічної ефективності, покращення екологічних показників і надійності, передбачається 5 етапів технологічного процесу:

1) спалювання ВПЕ відповідної якості з водовмістом біля $W^r=30\%$ призводить до створення еквімолярного або близького до нього співвідношення $\text{NO}_2 : \text{NO}$ в димових газах на виході із зони горіння (що підтверджено патентом [5] і забезпечує зниження НТК), а також зниження емісії NO_x , SO_2 , CO_2 ;

2) встановлення КПН, на поверхні яких створені умови пасивації металу і різкого зниження інтенсивності НТК, а також умови зі сторони газів і в конденсаті для інтенсифікації абсорбції NO_x , SO_2 , CO_2 ;

3) продовження інтенсифікації абсорбції на конденсаційних поверхнях газоходів до скрубєрної частини (при забезпеченні умов надійної роботи їх металу) або підтримання температури металу цих газоходів вище температури точки роси (ТТР) H_2SO_4 без абсорбції NO_x , SO_2 , CO_2 , але при забезпеченні надійності роботи (при низькому рівні НТК);

4) застосування скрубєрних технологій із застосуванням процесів активізації абсорбції NO_x , SO_2 , CO_2 (різні варіанти);

5) захист металу газоходів після скрубєрної частини.

На всіх вище вказаних етапах створюються умови не тільки для проходження процесів, що забезпечують виконання задач етапу, а і забезпечуються необхідні умови для відповідного проходження фізико-хімічних процесів на наступному етапі.

Для виконання задачі активізації абсорбційних властивостей димових газів необхідно забезпечити еквімолярне (або близьке до нього) співвідношення $\text{NO}_2 : \text{NO}$ в газах. Як показали наші наукові дослідження, таке співвідношення (або близьке до нього) природно створюється в кінці зони горіння ВПЕ з водовмістом біля $W^r=30\%$ внаслідок впливу інтенсивної турбулентності, що створюється при мікробибухах крапель ВПЕ в зоні активного горіння. При цих умовах проходить пасивація поверхні металу з температурою нижче ТТР H_2SO_4 і тому з'являється можливість суттєвого зниження НТК конденсаційної поверхні, що підтверджується отриманим патентом [6]. Це дає можливість встановити на

Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.

виході з УК після двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) КПН з температурою поверхні нижче ТТР пари сірчаної кислоти (температура стінки $t_{ст}$ може підтримуватись в діапазоні 130...70 °С). Внаслідок цього вся поверхня, наприклад, економайзера є конденсаційною, вкритою шаром мокрих (від конденсату кислоти) забруднень. Причому концентрація сірчаної кислоти в цьому діапазоні $t_{ст}$ також природно (внаслідок відповідного проходження фізико-хімічних процесів) встановлюється на рівні 57 %, при якому спостерігається максимум абсорбції SO_2 .

На інтенсивність абсорбційних процесів в конденсаті на КПН в котлах і газоходах впливає наявність забруднень на цих поверхнях. В зволоженому кислотою шарі забруднень буде проходити додатково процес адсорбції пари і вологи осідаючими на КПН коксовими і сажовими частками. Тому важливо, як розвиваються процеси забруднень поверхонь нагріву і газоходів при спалюванні ВПЕ. В шарі зволжених кислотою забруднень відбувається активізація процесу абсорбції NO_x і особливо SO_2 розчином сірчаної кислоти, що мається в забрудненнях. Крім того має місце адсорбція цих газів зольними і особливо сажовими пористими частками.

Забезпечення процесу абсорбції оксидів NO_x , SO_2 і CO_2 конденсатом сірчаної кислоти на КПН котлів розглядається як другий етап очищення відхідних газів від токсичних інгредієнтів. Після КПН, що встановлена на виході з УК, димові гази потрапляють в газохід. Після КПН концентрація пари кислоти в газах стане нижче і відповідно знизиться її ТТР H_2SO_4 , що полегшує захист металу газоходу після КПН.

Важливим для здійснення наступних етапів очищення димових газів, оцінки їх корозійного впливу на метал газоходів пари H_2SO_4 і H_2O є те, що в ході фізико-хімічних процесів в шарі конденсату і забруднень, що маютьься на КПН, знижується не тільки концентрація NO_x і, що важливо, збільшується вміст в них NO_2 , що забезпечує еквімолярне співвідношення $NO : NO_2$ в потоці газів після КПН котла. Значить з'являється можливість при наявності конденсату H_2SO_4 на внутрішній металевій поверхні газоходу забезпечити пасивацію поверхні металу газоходу при подальшому процесі очищення димових газів від NO_x , SO_2 по тому ж механізму, що і в попередній КПН на виході з котла. Таким чином, вказані процеси забезпечують третій етап очищення димових газів.

Щоб забезпечити кінцеве очищення димових газів від NO_x і SO_2 до рівня, що запланований нормативними документами ІМО на 2016 рік, необхідне використання скрубєрних технологій. З метою очищення відхідних газів за допомогою скрубєрних технологій після виходу газів із УК після ГД встановлюється на газоході скрубєрна установка - мокрий скрубєр послідовного очищення газів ГД від SO_2 , NO_x та CO_2 при спалюванні високосірчистих палив (четвертий етап).

У випадку спалювання ВПЕ на основі високосірчистого мазуту, коли створюється найбільша кількість SO_2 , NO_x , рекомендується встановлення скрубєра з насадкою, яку можливо і необхідно виконати із некорозійного матеріалу (кераміка, кислотостійка пластмаса). Насадка зрошується тим же розчином католіту, що активована в кавітаторі для інтенсифікації процесу абсорбції. Температура цього католіту повинна бути на рівні температури забортної води – обов'язково нижче ТТР водяної пари, що знаходиться в димових газах (при спалюванні ВПЕ з $W^r=30\%$ її значення знаходиться на рівні 48-50 °С в залежності від водовмісту емульсії). В цьому випадку буде забезпечена конденсація водяної пари газів, що буде супроводжуватися виділенням великої кількості теплоти. Внаслідок цього вода на виході із насадки після перемішування з потоком газів підігріється до 80-90 °С

Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти «Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології», 19 - 20 квітня 2022 р.

(рівень температури забезпечується регулюванням витрати католіту на зрошення насадки при забезпеченні необхідного рівня абсорбції NO_x , CO , SO_2 , CO_2).

Внаслідок суттєвого зниження температури (нижче $50\text{ }^\circ\text{C}$) вихлопних газів в скруберах після ДВЗ (ГТД) і котла, в яких є пара води з кислотними властивостями, що відповідає кількості водяної пари, можливо при цих умовах їх конденсація на внутрішній поверхні газоходів після скрубєрів. Так як температура газів близька до ТТР водяної пари, то внаслідок конденсації цієї пари (хоча їх кількість суттєво знизиться після конденсації в скрубєрі) погіршаться умови роботи металу вихідної частини газоходів і димових труб. Тому необхідно застосувати підсушку вологих вихлопних газів (п'ятий етап). Підсушка вологих газів після скрубєра проводиться за рахунок установки підсушника (повітропідігрівача). У трубках цих плівкових теплообмінників рухається плівка розчину, а впоперек трубок зовні – повітря.

Проведені експериментальні дослідження показали, що 1 м^2 КПН абсорбує $3,4\text{ мг/м}^3$ NO_x та $0,89\text{ мг/м}^3$ SO_2 , що дає можливість в залежності від величини КПН знизити концентрацію NO_x в 1,55 рази та SO_2 - в 1,5 рази. При цьому важливо, що додатково має місце процес осадження токсичних твердих зольних і сажових часток: з $150\dots170\text{ мг/м}^3$ (на виході з топки при спалюванні ВПЕ з $W^r=30\%$) до $50\dots60\text{ мг/м}^3$ після КПН.

Висновки. При спалюванні ВПЕ з водовмістом 30% знижується інтенсивність НТК, що дозволяє встановити КПН в УК. Установка КПН знижує вміст в газах NO_x на 55% , SO_2 - на 50% , а вміст твердих часток - в 3 рази.

Список інформаційних джерел:

1. Ecospec CSNO_xTM Brochure [Online]. – Available at: <http://www.ecospec.com/resources/ck/files/CSNOx.pdf>. – 23.07.2019.
2. Skeltved O. CIMAC NMA. [Online]. – Available at: <http://sintef.net/upload/MARINTEK/CIMAC2010/MAN%20Ole%20Skeltved.pdf>. – 04.09.2018.
3. PureSO_x Exhaust gas cleaning [Online]. – Available at: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/microsites/puresox/mdd00107enlowres.pdf>. – 23.07.2019).
4. Горбов, В. М. Енциклопедія суднової енергетики: підручник. – Миколаїв: НУК, 2010. – 624с.
5. Пат. 99408 Україна, МПК С23F 11/10, F22B 37/00, F23J 15/00. Спосіб захисту металу низькотемпературних поверхонь нагріву котла від сірчаноокислої корозії / В. Ю. Горячкін, А. В. Горячкін, О. В. Акімов, В. С. Корнієнко; заявник НУК. – №a201110299; заявл. 23.08.11; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15. – 8 с.

- 11 ЕНЕРГОМОДЕЛЮВАННЯ, ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ПІД ЧАС ЕКОЕФЕКТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ** 26
*Р.В. Грищенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ,
М.О. Кривошеєв, BREEAM Assessor, Edge expert, МК Sustainable Eng., м. Київ,
А.В. Форсюк, канд. тех. наук, проф. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ
В.С. Калита, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*
- 12 ВПЛИВ СХЕМНОГО РІШЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТИПУ «ВОДА-ВОДА» НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ** 28
*О.Ю. Пилипенко, канд. тех. наук, доц. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ.
Д.М. Степаніщев, студ. каф. ТЕХТ, ННІТІ, НУХТ, м. Київ*
- 13 ПРО ДЕЯКІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ТРУБ** 29
*Воїнов О.П., професор, Коновалов Д.В., професор, Самохвалов В.С., доцент, ХННІ
НУК ім. адмірала Макарова, Херсон,*
- 14 DEVELOPMENT OF THE MARINE ENGINE CONTACT COOLING SYSTEM BY USING A THERMOPRESSOR** 32
*Dmytro Sydorenko, Student, Illia Nadtochii, Student
Halina Kobalava, Associate Professor of the Thermal Engineering Department, Admiral
Makarov National University of Shipbuilding,
Kherson Educational-Scientific Institute, Ukraine*
- 15 КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ** 35
*Корнієнко В.С., доцент кафедри теплотехніки, Херсонська філія Національного
університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон,*
- 16 ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ УМОВ РОБОТИ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРА В СИСТЕМІ ПЕРЕДПУСКОВОЇ ПІДГОТОВКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА** 39
*К.В. Луняка, професор, Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова, Херсонська філія
С.А. Русанов, к.т.н, Херсонський національний технічний університет, О.І. Ключев,
к.т.н, Херсонський національний технічний університет,
О.О. Ключева, аспірантка, Херсонський національний технічний університет,*
- 17 СТВОРЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТА ОРІМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗНИХ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ** 41
*Д.т.н., професор Луняка К.В, студент Лецов Є.М.
Херсонська філія Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова*
- 18 СУМІШІ ХОЛОДОАГЕНТІВ ЯК ЗАМІНА РОБОЧИХ ТІЛ З ВИСОКИМ GWP** 43
Дудко О.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ
- 19 ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ НА СУДНАХ ВОДНОГО ТРАСПОРТУ** 46
Ялама В.В., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ
- 20 ДОСЛІДЖЕННЯ МОРОЗИЛЬНОЇ СКРИНІ НА РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ** 49
Константинов І.М., аспірант ОНАХТ, Хмельнюк М.Г., професор ОНАХТ