

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. До важливих напрямів відновлення природних ресурсів, однаково ефективних як при модернізації існуючих, морально застарілих енергоустановок, так і при створенні новітніх енергокомплексів, можна віднести їх раціональне використання шляхом глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) і газотурбінних (ГТД) в утилізаційних котлах (УК), заміщення природних палив водопаливними емульсіями (ВПЕ) і синтез-газом, допалювання природного палива із застосуванням ВПЕ з метою підвищення температури газів перед УК і отримання пари більш високих параметрів, використання скидного потенціалу двигунів для охолодження циклового повітря з метою поліпшення їх паливної економічності, підвищення температури низькопотенційних джерел теплоти двигунів тепловими насосами (ТН).

Глибока утилізація теплоти продуктів згоряння сірчистих палив при їх охолодженні нижче температури точки роси з відповідним зниженням антропогенного навантаження на довкілля можлива шляхом застосування ВПЕ. В енергокомплексах на базі ДВЗ використання ВПЕ забезпечує підвищення економічності, зменшення нагароутворення, димності і токсичності відпрацьованих газів, зниження рівня шуму. Додавання до палива 5...10 % води прискорює процес згоряння в 5...6 разів внаслідок мікрровибухів крапель ВПЕ.

Оскільки температура відхідних газів ДВЗ, як стаціонарних, так і суднових енергоустановок, відносно низька, то доцільним є допалювання палива перед УК із застосуванням ВПЕ з метою підвищення їх температури, що можливе завдяки високим коефіцієнтам надлишку повітря $\alpha = 2...3$. Так, при випробуваннях дизель-генераторів (ДГ) з приводним двигуном 6ЧН25/34 на стенді Первомайського дизелебудівного заводу водовміст ВПЕ сягав 50 %. Аналіз випробувань, проведених на 25 двигунах різної конструкції з використанням як дизельного, так і важких сортів палив, показав, що в більшості випадків максимальна економія палива досягається при концентрації води у ВПЕ 10...20 %. При концентрації води в паливі 18 % економія палива становила 8 %. Зниження нагару на деталях циліндро-поршневої групи і газовихлопному тракті склало 43 %, відкладення ставали більш рихлі, пористі і легко видалялись. Істотно знизилася димність вихлопу. Це дозволило збільшити період між моточищеннями з 4000 до 7000 год.

Модернізація об'єктів енергетики пов'язується з широким впровадженням високоефективних, екологічно чистих газопарових бінарних установок (ГПУ). Максимальна термодинамічна ефективність ГПУ визначається глибиною утилізації теплоти відхідних газів газотурбінної установки (ГТУ) і параметрами пари, яка виробляється в УК двох або трьох тисків. Один із способів збільшення потужності ГПУ – це спалювання додаткового палива в камері допалювання в

газоході перед УК. Невеликі витрати палива, що додатково спалюється, запобігають ускладненню конструкції котла організацією спеціальної топки завдяки розміщенню пальника в газоході. При цьому завдяки підвищенню теплового потенціалу газів після ГТУ зростає паропроодуктивність УК.

Значний внесок у дослідження ефективності використання додаткового спалювання палива в УК після ГПУ та когенераційних енергоустановок внесли вітчизняні вчені Долинський А.А., Халатов А.А., Клименко В.М., Басок Б.І., Білека Б.Д.

Глибока утилізація теплоти газоподібних продуктів згоряння при використанні сірчистих палив супроводжується низькотемпературною корозією (НТК) і забрудненням поверхонь нагріву котлів. Дослідження НТК в основному проводилися на діючих котлах, при експлуатації яких неможливо забезпечити сталість параметрів і, отже, стабільність складу та корозійних властивостей відпрацьованих газів і їх температури навіть протягом декількох годин. Практично відсутні дані з інтенсивності цих процесів в УК дизельних енергоустановок.

При використанні ВПЕ відкладення стають пухкими, легко видаляються водою або взагалі відсутні внаслідок зменшення утворення сажі і коксу, оскільки при горінні крапель ВПЕ спостерігаються мікроривбухи крапель, які інтенсифікують процес горіння, що має місце і в ДВЗ. Але дані з інтенсивності НТК і забруднення низькотемпературних поверхонь нагріву (НТПН) відсутні.

Широкий спектр енергоустановок (дизельних, газо- і газопаротурбінних), в яких додаткове спалювання ВПЕ створює теплофізичні умови для глибокої утилізації теплоти продуктів згоряння зі зниженням їх температури до 80...90 °С в УК з НТПН (порівняно з традиційними 150...160 °С для ДВЗ) забезпечує зростання теплопродуктивності УК, а відтак і їх ефективності, свідчить про міжгалузевий рівень проблеми глибокої утилізації теплоти.

У разі скорочення споживання тепла в теплі періоди експлуатації його доцільно використовувати для охолодження повітря на вході теплових двигунів (ДВЗ, ГТД) утилізаційними (тепловикористовуючими) холодильними машинами (УХМ, ТХМ). Чим нижче температура повітря на вході двигунів, тим більше скорочення питомої витрати палива. Отже його глибоке охолодження, яке супроводжується конденсацією водяної пари, завжди присутньої у повітрі, пов'язане зі збільшенням витрати холоду на відведення теплоти конденсації на низькотемпературних поверхнях охолодження (НТПО), а відтак і з більшою витратою тепла на роботу УХМ. То ж додаткове спалювання ВПЕ і застосування УК з НТПН забезпечує зростання теплопродуктивності УК, відповідно і підвищення паливної економічності самих двигунів – тепер вже завдяки глибокому охолодженню повітря на вході у низькотемпературних повітроохолоджувачах, які, по суті, є теж конденсаційного типу, як і у разі економайзерних поверхонь котлів.

При цьому постають питання раціонального використання охолоджувального

потенціалу отриманого конденсату в процесах охолодження повітря на вході базових двигунів енергокомплексів.

Особливо слід зазначити, що застосування низькотемпературного (до 10 °С і нижче) охолодження повітря на вході ГТУ особливо ефективно в умовах помірного клімату України, коли традиційне його охолодження 15 °С в абсорбційних бромистолітєвих холодильних машинах (АБХМ) не дає бажаного ефекту.

Науково-технічною проблемою, яка вирішується в роботі, є розробка систем глибокої утилізації теплоти для ресурсовідновлювальних енергокомплексів нового покоління, що працюють як на природних паливах, так і на альтернативних водопаливних емульсіях та синтез-газі, і завдяки застосуванню конденсаційних низькотемпературних поверхонь нагріву (НТПН) та охолодження (НТПО) збільшують виробництво теплоти (теплопродуктивності УК) та холоду (холодопродуктивності) утилізаційних холодильних машин (УХМ), що використовують цю теплоту) і, як наслідок, підвищення паливної економічності та екологічності енергокомплексів при змінних кліматичних умовах експлуатації.

Метою наукової роботи є підвищення паливної економічності та екологічності енергокомплексів на базі теплових двигунів, що працюють як на природних паливах, так і на альтернативних ВПЕ та синтез-газі, шляхом глибокої утилізації теплоти із застосуванням конденсаційних НТПН і НТПО для збільшення виробництва теплоти УК та холоду в УХМ, що використовують цю теплоту для глибокого охолодження повітря на вході двигунів відповідно до кліматичних умов експлуатації.

Наукові результати роботи:

1. Розроблено концепцію підвищення паливної ефективності та екологічності енергокомплексів на базі теплових двигунів, що працюють як на природних паливах, так і на альтернативних ВПЕ та синтез-газі, шляхом глибокої утилізації теплоти із застосуванням НТПН і НТПО для збільшення виробництва теплоти в УК та холоду в УХМ, що використовують цю теплоту для глибокого охолодження повітря на вході двигунів відповідно до кліматичних умов експлуатації і забезпечують у півтора-два рази більшу економію палива порівняно з її величиною за традиційного помірного охолодження повітря на вході двигунів до температури близько 15 °С для кліматичних умов України.

2. Обґрунтовано підхід до створення ресурсовідновлювальних енергокомплексів нового покоління, відповідно до якого додаткову теплопродуктивність УК, отриману за рахунок глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів із застосуванням НТПН, використовують для глибокого охолодження повітря в повітроохолоджувачі з низькотемпературним хладоновим ступенем (НТПО) на вході як стаціонарних, так і суднових двигунів утилізаційними холодильними машинами (УХМ), за необхідності – з підвищенням теплового потенціалу тепловим насосом (ТН).

3. Встановлено закономірності та особливості процесів глибокої утилізації теплоти в УК з НТПН, які полягають у зменшенні швидкості процесів низькотемпературної корозії (НТК) і забруднення при зниженні температури стінки $t_{ст}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, відповідно і температури відпрацьованих газів до $80\text{...}90\text{ }^{\circ}\text{C}$, при використанні ВПЕ і характерних для УК коефіцієнтах надлишку повітря $\alpha = 1,5\text{...}3,0$, забезпечують збільшення теплопродуктивності УК, як наслідок, – підвищення паливної ефективності енергокомплексів і зниження емісії шкідливих речовин в атмосферу.

4. Визначено принципи взаємного функціонування систем глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів із застосуванням низькотемпературних конденсаційних економайзерних поверхонь нагріву УК, з одного боку, та систем глибокого охолодження повітря на вході теплових двигунів в УХМ, що використовують цю теплоту, за необхідності – з підвищенням її потенціалу в ТН, з другого боку, як єдиного ресурсовідновлювального енергокомплексу з перерозподілом теплових потоків відповідно до змінних кліматичних умов експлуатації, зокрема упродовж рейсової лінії судна, що забезпечує максимальне річне (рейсове) скорочення споживання палива.

5. Розроблено системи глибокої утилізації теплоти для ресурсовідновлювальних енергокомплексів нового покоління, що працюють як на природних паливах, так і на альтернативних ВПЕ та синтез-газі, і завдяки застосуванню конденсаційних НТПН та НТПО забезпечують збільшення виробництва теплоти в УК та холоду в УХМ, що використовують цю теплоту, і, як наслідок, підвищення паливної економічності та екологічності енергокомплексів при змінних кліматичних умовах експлуатації.

6. Розроблено наукові засади і методологію проектування систем глибокої утилізації теплоти із застосуванням конденсаційних НТПН і НТПО, які базуються на встановлених особливостях процесів глибокої утилізації теплоти в УК з НТПН, принципах взаємного функціонування систем глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів в УК з НТПН і систем глибокого охолодження повітря на вході двигунів в УХМ, що використовують цю теплоту, як єдиного ресурсовідновлювального енергокомплексу з перерозподілом теплових потоків відповідно до змінних кліматичних умов експлуатації.

7. Отримали подальший розвиток теоретичні засади глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів теплових двигунів із допалюванням додаткових палив, зокрема ВПЕ, та отриманням синтез-газу, на яких працюють енергокомплекси нового покоління, які завдяки сумісному застосуванню конденсаційних НТПН і НТПО найбільшою мірою адаптовані до змінних кліматичних умов експлуатації.

8. Вперше за результатами експериментальних досліджень та натурних випробувань отримані напівемпіричні залежності питомої втрати маси металу і

питомої маси забруднення від водовмісту ВПЕ, вмісту сірки у вихідному паливі і коефіцієнта надлишку повітря α при температурах стінки $t_{ст}$ нижче температури точки роси пари сірчаної кислоти, які характеризують інтенсивність НТК конденсаційних поверхонь нагріву на різних режимах роботи УК і дозволяють визначати аеродинамічний опір НТПН.

9. Вперше отримані залежності коефіцієнтів забруднення ε_3 для конденсаційних НТПН від швидкості газів, водовмісту ВПЕ і температури стінки $t_{ст}$, що дозволяють визначити періодичність очищення сухих і конденсаційних поверхонь нагріву, які забезпечують оптимальні теплотехнічні показники УК.

10. Вперше розроблені трифакторні моделі і отримані рівняння регресії, які описують інтенсивність корозії і забруднення НТПН, що дають можливість розраховувати мінімальне значення температури стінки як умови надійної експлуатації конденсаційних поверхонь нагріву та інтенсивність теплообміну в сухих і конденсаційних поверхнях нагріву УК при їх проектуванні.

11. Розроблено і захищено патентами України на винаходи системи глибокого охолодження повітря на вході ГТУ до температур $10\text{ }^\circ\text{C}$ і нижче з конденсацією водяної пари, завжди присутньої в повітрі, в повітроохолоджувачах з низькотемпературними хладоновими ступенями і використанням охолоджувального потенціалу конденсату для попереднього охолодження повітря у високотемпературному ступені (до температур близько $15\text{...}20\text{ }^\circ\text{C}$) при підвищених теплових навантаженнях та з глибокою утилізацією теплоти відхідних газів ГТД в УК, яка забезпечує у півтора-два рази більшу економію палива порівняно з її величиною за традиційного помірною охолодження повітря на вході ГТУ до температури близько $15\text{ }^\circ\text{C}$.

12. Розроблено механізм управління проектами зі створення газотурбінних енергетичних комплексів отримання синтез-газу за плазмохімічною технологією з утилізацією теплоти, який враховує ринкові невизначеності, пов'язані зі зміною цін на енергоносії, вартості електроенергії, що відпускається різним споживачам.

Отримані науково-технічні результати відзначаються принциповою новизною, захищеною 19 патентами України на винаходи, і свідчать про те, що **робота відповідає кращим світовим аналогам і перевищує існуючі вітчизняні розробки.**

Достовірність результатів досліджень забезпечена коректною постановкою завдань теоретичного й експериментального дослідження, коректним застосуванням фізично і математично обґрунтованих сучасних розрахунково-експериментальних методів і засобів дослідження, прийнятною точністю отриманих експериментальних даних, математико-статистичною обробкою отриманих даних, задовільним узгодженням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, даних, отриманих на експериментальній установці з даними випробувань на діючих котлах.

Впровадження результатів досліджень. Результати досліджень впроваджені у проектних та конструкторських установах енергетичного машинобудування та суднобудування як вітчизняних, так і за кордоном, зокрема в Науково-дослідному інституті експериментальної та теоретичної фізики Казахського національного університету імені аль-Фарабі (Казахстан) при розробці пропозицій зі створення екологічно чистої технології плазмохімічної підготовки енергетичного вугілля, в дослідницькій програмі факультету аерокосмічної техніки Техаського університету A&M (США), в ДП НВКГ „Зоря-Машпроект”; схемно-конструктивні рішення систем утилізації скидної теплоти і охолодження, методики визначення їх оптимальних параметрів впроваджені при проектуванні та конструюванні установок автономного енергозабезпечення в ТОВ "Хладотехніка", систем кондиціонування – в ПАТ "Завод "Екватор" (м. Миколаїв), методики розрахунку характеристик тепломасообмінних процесів в утилізаційних котлах, теплоутилізаційних контурів енергоустановок, а також рекомендації з експлуатації енергоустановок при спалюванні ВПЕ використовуються в ТОВ "ГК Теплотехніка", ТОВ "Смарт-Мерітайм Груп" (м. Херсон).

Економічний ефект від впровадження результатів у розробках цих організацій склав понад 3 млн. грн.

Науково-технічні основи трансформації скидної теплоти в енергоустановках з виробництвом холоду, методики та математичні моделі визначення інтенсивності корозії і забруднення НТПН, розрахунку коефіцієнтів забруднення і теплопередачі використано при розробці навчально-методичного забезпечення нового лекційного курсу "Технології комбінованого виробництва енергії" та циклу лабораторних і практичних робіт, при виконанні магістерських робіт в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова при підготовці магістрів за спеціалізаціями "Газові турбіни", "Суднові енергетичні установки", "Холодильні машини та установки", "Теплоенергетика".

Ряд новітніх технологій розроблено сумісно з зарубіжними науковими центрами, зокрема КНР (Цзяньсунський університет науки і технології, м. Цзеньцзянь), Польщі (Західно-Померанським, м. Щецин, та Кошалінським, м. Кошалін, технічними університетами), з якими проводяться сумісні наукові дослідження, міжнародні конференції, отримані патенти на винаходи, опубліковано статті та доповіді на міжнародних конференціях у рамках договорів і грантів за конкурсом "Тисяча талантів".

Представлені матеріали узагальнюють результати робіт, виконаних авторами відповідно до тематичного плану фундаментальних НДР НУК у рамках держбюджетних тем: конкурсна НДР молодих науковців № 0116U0086698 "Розробка концепції комбінованого виробництва енергії в судновій та стаціонарній енергетиці на основі внутрішньоциклової низькотемпературної

тригенерації", НДР № 0111U002309 "Теоретичні основи підвищення стійкості процесів горіння вуглеводневих палив в низькоемісійних камерах згорання газотурбінних двигунів з використанням плазмохімічних стабілізаторів"; НДР № 0115U000300 "Науково-технічні основи тригенераційних поліарних технологій на низькокиплячих робочих тілах для двигунів і енергетичних установок"; НДР № 01112U000349 "Системні дослідження та розробка моделей програмно-цільового розвитку систем теплопостачання України на основі новітніх технологій і процесів енергоперетворення", а також міжнародних контрактів з КНР (Харбінський дослідний інституту суднових котлів та турбін) № 1891-1893/2012 "Дослідження термоакустичних процесів в камері згорання ГТД, що працює на газоподібному паливі".

На основі результатів роботи захищено три кандидатські та готуються до захисту докторська та кандидатська дисертації.

Науковий та інноваційний рівень тригенераційних технологій підтверджено резолюціями близько 50 авторитетних міжнародних наукових форумів на Україні та за кордоном: м.-н. н.-т. конф. "Інновації в суднобудуванні та океанотехніці" (Миколаїв, 2013–2015), "Проблеми енергозбереження й екології в суднобудуванні" (Миколаїв, 2012–2014), "Сучасний стан та проблеми двигунобудування" (Миколаїв, 2014), "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології" (Одеса, 2014), Міжнародні конгреси двигунобудівників (Харків–Рибальське–Коблево, 2013–2017); "Суднова енергетика: Стан та проблеми" (Миколаїв, 2013–2015); м.-н. н.-т. конф. "Муніципальна енергетика: проблеми, рішення" (Миколаїв, 2013–2015); "Холод в енергетиці і на транспорті" (Миколаїв, 2013, 2015, 2017); Int. Symposium on Heat Transfer and Renewable Sources of Energy "HTRSE-2014, 2016, 2018" (Szczecin, Poland); X Minsk International Seminar "Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources", Minsk, 2018; The 5th "International Conference on Systems and Informatics: ICSAI 2018", Jiangsu, Nanjing, China.

За темою роботи авторами опубліковано 190 наукових праць, у тому числі 55 статей у фахових і наукометричних виданнях (в наукометричних базах 47, з них 3 – в базах Scopus та 44 – в базі Copernicus), 107 тез і доповідей в матеріалах міжнародних конференцій (закордонних-12), 19 патентів України на винаходи, 1 монографія (у співавторстві), 2 навчальних посібника з грифом МОН України (у співавторстві).

В першому розділі роботи обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано науково-технічну проблему і мету наукової роботи, визначено наукові завдання для досягнення поставленої мети та вирішення проблеми. Наведено наукові результати роботи та обґрунтовано їхню новизну, практичну цінність, достовірність, дані з впровадження в організаціях-проектантах і підприємствах-виробниках енергетичного устаткування, вітчизняних і

міжнародних наукових проектах та при підготовці фахівців з енергетичного машинобудування, відомості з апробації наукових результатів на конференціях.

Другий розділ присвячено дослідженням теплофізичних і теплохімічних процесів корозії та забруднення, що впливають на формування шару забруднень і його термічний опір при використанні рідкого палива і ВПЕ.

Представлені результати дослідження кінетики НТК і забруднення на реальному УК і експериментальній установці при температурі стінки $t_{\text{ст}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$, узагальненням яких отримано напівемпіричні залежності питомої втрати маси металу ΔG_k і питомої маси забруднення ΔG_z від вмісту сірки S^r в паливі, води W^r у ВПЕ і коефіцієнта надлишку повітря α , які показали, що при водовмісті ВПЕ близько 30 % інтенсивність процесів корозії і забруднення істотно знижується.

Результати досліджень НТК дозволили визначити мінімальне значення температури стінки конденсаційної НТПН $t_{\text{ст}}^{\text{min}} \approx 70 \text{ }^\circ\text{C}$, при якому забезпечується надійна робота НТПН при допустимій швидкості НТК 0,25 мм/рік, що дозволяє визначати мінімальну температуру газів на виході з УК. Для оцінки впливу на інтенсивність корозії ΔG_k і забруднення ΔG_z якості палива (S^r , W^r) і режимів його використання (коефіцієнт надлишку повітря α) було проведено регресійний аналіз за допомогою програмного пакету Statgraphics Centurion XV. Отримані регресійні рівняння, які описують інтенсивність корозії і забруднення.

В третьому розділі представлені результати досліджень термічного опору шару забруднень (коефіцієнта забруднення) і його впливу на інтенсивність теплопередачі, а також на періодичність очищення. На основі проведених експериментальних і теоретичних досліджень були отримані залежності коефіцієнтів забруднення ε_z від температури стінки $\varepsilon_z = f(t_{\text{ст}})$ при $\tau = 1000$ годин, які показують, що при однакових температурах стінки $t_{\text{ст}}$ при використанні ВПЕ з $W^r = 30 \%$ значення коефіцієнтів забруднення ε_z істотно нижчі, ніж при використанні мазуту з $W^r = 2 \%$: в зоні мокрих забруднень - в 2,6 рази; в зоні сухих забруднень - в 2 рази. Отримані значення періодичності очищення для сухої і конденсаційної поверхонь нагріву при використанні мазуту і ВПЕ.

Розроблені вдосконалені системи глибокої утилізації теплоти КЕУ з допалюванням додаткового палива перед УК з конденсаційними НТПН, які забезпечують зниження витрати палива на 10...16 %.

В четвертому розділі досліджено охолодження повітря на вході турбокомпресора (ТК) головного дизеля транспортного судна утилізаційною холодильною машиною (УХМ), що використовує теплоту відхідних газів у вигляді водяної пари та гарячої води, отриманих в УК. На прикладі рейсової лінії з України до Західної Європи проаналізована експлуатація системи утилізації скидної теплоти у двох варіантах її трансформації – з охолодженням повітря на вході ТК за допомогою УХМ та її використанням на теплофікаційні потреби.

Обґрунтовано підхід до створення ресурсовідновлювальних суднових енергокомплексів, що працюють як на природних паливах, так і на альтернативних ВПЕ, відповідно до якого додаткову теплопродуктивність УК з НТПН, отриману за рахунок глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів ДВЗ у вигляді водяної пари та конденсату, використовують для глибокого охолодження повітря в повітроохолоджувачі з низькотемпературним хладоновим ступенем на вході ДВЗ утилізаційними УХМ і підвищенням їх теплового потенціалу тепловим насосом (ТН) в найбільш теплих зонах рейсу.

Визначено принципи взаємного функціонування систем глибокої утилізації теплоти відпрацьованих газів ДВЗ в УК з НТПН та систем глибокого охолодження повітря на вході двигунів утилізаційними УХМ, що використовують цю теплоту, з підвищенням її потенціалу за допомогою ТН як єдиного ресурсовідновлювального енергокомплексу, які полягають у перерозподілі теплових потоків між обома системами і випарною та економазерною секціями генератора пароподібного хладону УХМ відповідно до змінних кліматичних умов експлуатації на рейсовій лінії судна, та забезпечують максимальне річне (рейсове) скорочення споживання палива.

Розроблено схемні рішення систем глибокої утилізації теплоти для суднових енергокомплексів із застосуванням НТПН і НТПО та визначено їх раціональні характеристики, передусім теплові навантаження і температури та витрати тепло- та холодоносіїв, які забезпечують збільшення теплопродуктивності УК та холодопродуктивності УХМ, і, як наслідок, підвищення паливної економічності та екологічності енергокомплексів.

П'ятий розділ присвячено розробленню систем глибокого охолодження повітря на вході ГТУ до температур $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче з конденсацією водяної пари, завжди присутньої в повітрі, в повітроохолоджувачах з низькотемпературними хладоновими ступенями і використанням охолоджувального потенціалу конденсату для попереднього охолодження повітря у високотемпературному ступені (до температур близько $15\text{...}20\text{ }^{\circ}\text{C}$) при підвищених теплових навантаженнях та з глибокою утилізацією теплоти відхідних газів ГТУ в УК, що забезпечує у півтора-два рази більшу економію палива порівняно з її величиною за традиційного помірною охолодження повітря на вході ГТУ до температури близько $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. За результатами моделювання процесів глибокого охолодження повітря на вході ГТУ з конденсацією водяної пари і використанням охолоджувального потенціалу конденсату й охолодженням УХМ в градирнях ресурсовідновлювальних енергокомплексів визначено їх раціональні параметри, що забезпечують найбільшу економію палива, визначено раціональні параметри повітроохолоджувачах на вході ГТУ, які забезпечують мінімальні витрати потужності ГТУ, відповідно, і палива на подолання їх аеродинамічного опору.

У шостому розділі з використанням методу Монте-Карло розроблено механізм управління проектом зі створення газотурбінного енергетичного комплексу отримання синтез-газу з використанням плазмохімічних технологій і утилізацією теплоти, який враховує ринкові невизначеності, пов'язані зі зміною цін на енергоносії, вартості електроенергії, що відпускається різним споживачам. Для оцінювання прогнозованої вартості палива на наступні 15 років використано базовий європейський сценарій еволюції світових цін на викопне паливо, який був розроблений за допомогою глобальної моделі часткової рівноваги енергетичної системи PROMETHEUS.

Проведено оцінювання успішності проекту зі створення енергетичного комплексу з плазмохімічної переробки високозольного вугілля в синтез-газ і виробленням електроенергії в комбінованому паро-газотурбінному циклі в умовах невизначеності та ризиків. Найбільш імовірні середні значення індексів прибутковості для теплових електростанцій, що працюють на природному газі та з плазмохімічними елементами, в умовах ризиків становлять 1,4199 і 1,1933 відповідно за 15 років експлуатації. Значення індексу прибутковості більше одиниці для перспективної парогазової установки потужністю 3,9 МВт з плазмохімічною газифікацією вугілля очікується з імовірністю 76 %.

За темою роботи авторами опубліковано 190 наукових праць, у тому числі 55 статей у фахових і наукометричних виданнях (в наукометричних базах 47, з них 3 – в базах Scopus та 44 – в базі Copernicus), 107 тез і доповідей в матеріалах міжнародних конференцій (закордонних – 12), 19 патентів України на винаходи, 1 монографія (у співавторстві), 2 навчальних посібника з грифом МОН України (у співавторстві), 3 рішення про видачу патенту. Загальна кількість посилань на публікації авторів (згідно бази даних SCOPUS – 4, Google Scholar – 88), h-індекс (SCOPUS – 1, Google Scholar – 5).

Автори:

Корнієнко В.С. _____

Бурунсуз К.С. _____

Радченко Р.М. _____

Портной Б.С. _____