

Розробка енергозберігаючих технологій в газопаротурбінних установках для отримання електроенергії, теплоти і води у посушливих регіонах України

Разработка энергосберегающих технологий в газопротурбинных установках для получения электроэнергии, теплоты и воды в засушливых регионах Украины

Development of energy saving technologies in gas turbines to produce electricity, heat and water in the arid regions of Ukraine

1. Номер державної реєстрації теми - 0114U000573

2. Науковий керівник- к.т.н., с.н.с. Барабаш П.О., Барабаш П.А., Varabash Petr.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Інтенсифікація процесу диспергації рідини за рахунок використання перегрітої води дозволило розробити нову технологію дрібнодисперсного розпилення води без застосування високого початкового тиску, що значно спростило систему подачі води в потік циклового повітря з метою реалізації високоефективного процесу випарного охолодження циклового повітря ГТД. Застосування перегрітої води реалізує вибухове скипання водяного струменя на виході з форсунки, що дозволило досягти необхідну якість розпилення без використання високих тисків та форсунок складної конструкції. За результатами роботи розроблено, виготовлено та випробувано в лабораторних умовах форсунки для реалізації випарного охолодження із застосуванням перегрітої води.

Експериментальне дослідження еволюції струменя перегрітої води із застосуванням поетапного розгляду процесу, починаючи з адиабатного скипання в соплі і закінчуючи утворенням крапель на його виході дозволило отримати оптимальні геометричні та режимні параметри для системи розпилення перегрітої води а також підтвердити високу ефективність охолодження повітря перегрітою водою на вході в газотурбінний двигун.

Уточнення математичної моделі нестационарного процесу випаровування крапель із врахуванням процесу випаровування перегрітої води в рухомому потоці повітря дозволило оцінити проміжок часу температурної релаксації одиночної краплі перегрітої води, а також аналітично знайти діаметр краплі в кінці процесу охолодження в залежності від довжини ділянки випаровування та початкових параметрів води і повітря.

На основі проведених досліджень розроблено принципову схему газопаротурбінної установки з охолодженням циклового повітря перегрітою водою та надано рекомендації для проектування вхідного повітряного колектора ГТУ з системою розпилення перегрітої води, що забезпечують надійний та ефективний режим роботи компресора.

(рос.)

Интенсификация процесса диспергирования жидкости за счет использования перегретой воды дало возможность разработать новую технологию мелкодисперсного распыления воды без применения высокого начального давления, что значительно упростило систему подачи воды в поток циклового воздуха с целью реализации высокоэффективного процесса испарительного охлаждения циклового воздуха ГТД. Применение перегретой воды реализует взрывное вскипание водяной струи на выходе из форсунки, что позволило достичь необходимое качество распыления без использования высоких давлений и форсунок сложной конструкции. По результатам работы разработаны, изготовлены и испытаны в лабораторных условиях форсунки для реализации испарительного охлаждения с применением перегретой воды.

Экспериментальное исследование эволюции струи перегретой воды с применением поэтапного рассмотрения процесса, начиная с адиабатного вскипания в сопле и заканчивая образованием капель на его выходе, позволило получить оптимальные геометрические и режимные параметры системы распыления перегретой воды, а также подтвердить высокую эффективность охлаждения воздуха перегретой водой на входе в газотурбинный двигатель.

Уточнение математической модели нестационарного процесса испарения капель с учетом процесса испарения перегретой воды в движущемся потоке воздуха позволило оценить

промежуток времени температурной релаксации одиночной капли перегретой воды, а также аналитически найти диаметр капли в конце процесса охлаждения в зависимости от длины участка испарения и начальных параметров воды и воздуха.

На основе проведенных исследований разработана принципиальная схема газопаротурбинной установки с охлаждением циклового воздуха перегретой водой и даны рекомендации для проектирования входного воздушного коллектора ГТУ с системой распыления перегретой воды, которые обеспечивают надежный и эффективный режим работы компрессора.

(англ.)

Intensification of the process of dispersing the liquid through the use of hot water made it possible to develop a new technology for the fine spray of water without using high initial pressure, which greatly simplify the system of water supply to the flow of cyclic air in order to implement a highly efficient process of evaporative cooling cyclic air GTE. The use of superheated water implements explosive boiling of the water jet exiting the nozzle, allowing to achieve the necessary quality of atomization without the use of high pressure nozzles and complicated construction. The result of the designed, constructed and tested under laboratory conditions for injector implementation evaporative cooling with hot water.

Experimental study of the evolution of the jet of superheated water using a stepwise consideration process from adiabatic boiling in the nozzle and finishing with the formation of drops at the outlet, it possible to obtain optimal geometrical and operational parameters of spraying hot water, and also to confirm the high efficiency of cooling the superheated water inlet a gas turbine engine.

Refinement mathematical model unsteady process of evaporation of droplets in view of evaporation of superheated water in a moving stream of air allowed to evaluate the time interval of the temperature relaxation of a single hot water drop, as well as analytically find the diameter of the droplet at the end of the cooling process according to the length of the portion of evaporation and the initial parameters of the water and air.

On the basis of researches the concept GTE cooling cyclic air using superheated water proposes and gives recommendations for the design of gas turbine inlet air manifold with superheated water spray system, which provide reliable and efficient operation of the compressor.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

- Патент на корисну модель України №101922. Запальний пристрій двигуна внутрішнього згоряння / Петренко В.Г. – опубл. 12.10.2015 р. Бюл. №19;
- Патент на корисну модель України №98888. Система живлення двигуна внутрішнього згоряння зрідженим газом / Барабаш П.О., Петренко В.Г., Соломаха А.С. – опубл. 12.05.2015 р. Бюл. №9;
- Патент на корисну модель України №89142. Суднова комбінована енергетична установка / Дикий М.О., Панін В.В., Петренко В.Г., Соломаха А.С. – опубл. 10.04.2014р. Бюл. №7.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню. Традиційними способами отримати необхідну якість розпилення для реалізації високоефективного випарного охолодження можна лише в результаті суттєвого підйому тиску перед форсункою (до 20 МПа і вище), що реалізовано в розробках фірми MeeFog, США (ударне розпилення) або за допомогою пневматичного розпилення General Electric, США. В наведених прикладах для реалізації розпилення необхідне стороннє джерело енергії (водяний насос або повітряний компресор високого тиску), що знижує загальний ККД енергоустановки та ускладнює конструкцію розпилювачів.

В розробленій технології дрібнодисперсне розпилення реалізується за рахунок використання перегрітої води без застосування високого початкового тиску (до 0,3...0,4 МПа) та за допомогою форсунок максимально простої конструкції, що в разі підвищує надійність системи. Крім того підготовка води здійснюється за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих газів ГТУ, що дозволяє повернути частину теплоти в цикл енергоустановки та додатково підвищити загальний ККД.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання розробленої технології для підвищення ККД енергоустановки обумовлене наступними перевагами:

- низькі капітальні витрати. Для встановлення розробленої системи охолодження циклового повітря на ГПТУ типу "Водолій" (НВКГ Зоря-Машпроект, м.Миколаїв) необхідно близько 50 000 дол. США, що становить менше 1% вартості енергоустановки. В той час як підвищення ККД складе близько 5% або 200 000 доларів в рік.
- термін впровадження в експлуатацію пілотного проекту близько року;
- термін окупності проекту 0,2...0,5 років.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Потенційними користувачами розробленої технології є металургійні та хімічні підприємства країни, житлово-комунальне господарство та промисловий комплекс країни, які є крупними споживачами теплової та електричної енергії.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування експериментального обладнання, розроблена математична модель для розрахунку основних параметрів пароповітряної суміші в залежності від характеристик та марки двигуна. Можлива розробка дослідно-промислових зразків нового устаткування, які повністю адаптовані до існуючого основного силового обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати використовуються в ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» при виконанні порівняльного аналізу ефективності використання різних варіантів систем охолодження повітря на вході в газотурбінний двигун.

Теплова схема установки та методика розрахунку параметрів системи випарного охолодження прийняті до використання у Відділі переробки і транспорту природного газу в Інституті Газу НАН України.

Теплова схема установки та математична модель тепломасообмінного процесу прийняті до використання у Відділі інноваційних технологій в енергетиці та енергозбереженні в ДП «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут інноваційних технологій в енергетиці та енергозбереженні».

10. Форма участі інвестора: частка від прибутку (до 30%).

11. Обсяг інвестицій: 100 тис.дол. США.

12. Мета інвестицій: модернізація існуючого обладнання за рахунок впровадження розробленої технології. Створення малого підприємства для розробки технічної документації та виготовленню робочих комплектів.

13. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ"КПІ", теплоенергетичний факультет, кафедра теоретичної та промислової теплотехніки, 204-90-92, tef_tpt@ukr.net

14. Фото розробки



а) $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 0,8\text{ МПа}$



б) $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 0,8\text{ МПа}$

Рис. Вплив перегріву на якість розпилення відцентрової форсунки



Рис. Зовнішній вигляд пристрою для уловлення крапель з газорідного потоку

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

Навчальний посібник

Куделя П.П. Низькоексергетичні опалювальні системи / П.П.Куделя, А.С. Соломаха. – К.:НТУУ «КПІ», 2015. – 153 с.: іл. – Бібліогр.: с.149-153.

Монографія

Безродний М.К., Кутра Д.С. Ефективність теплонасосних систем кондиціювання повітря. – Київ. – НТУУ «КПІ» – 2015. – 172 с.

Дисертації

1. Соломаха А.С. Гідродинаміка та тепломасообмін при адіабатному скипанні струменя води: Дис. канд. техн. наук. – Київ, 2014. – 157 с.

2. Рачинський А.Ю. Гідродинаміка та тепломасообмін в контактному крапельному утилізаторі теплоти. Підготовлена до захисту Дис. канд. техн. наук. Орієнтовний термін захисту другий квартал 2016 року.

Публікації

1. М.К.Безродный, Н.Н.Голяяд, А.Ю.Рачинський, П.А.Барабаш, А.Б.Голубев Влияние входных параметров воды на тонкость распыла центробежных форсунок / Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №2. – с.23-30.

2. П.П.Куделя, П.О.Барабаш Коэффициент полезной діи конденсационного котла / Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №1. – с.39-47.

3. Безродний М.К., Кутра Д.С., Морощук А.А. Ефективність теплонасосної системи вентиляції приміщення та підігріву води в ванні критого басейну. – Східно-європейський журнал передових технологій, 2014, №3/8(69), с.34-39.

4. Безродний М.К., Голяяд М.Н., Рачинський А.Ю. До визначення поверхні тепло- масообміну в контактних теплоутилізаторах крапельного типу. – Східно-європейський журнал передових технологій, 2014, №1/8(67), с. 21-26.

5. Безродный М.К., Кутра Д.С., Морощук А.А. Ефективність теплонасосної системи вентиляції приміщення та підігріву води в ванні критого басейну. – Східно-європейський журнал передових технологій, 2014, №3/8(69), с.34-39.

6. Коваленко О.О., Петренко В.Г, Соломаха А.С., Селенков В.М. Розробка математичної моделі цифрового газового дозатора системи газоподачі ДВЗ // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2015. – №2. – с.110-115.

7. Петренко В.Г, Соломаха А.С., Барабаш П.О. Термодинамічний аналіз процесу впорскування зрідженого пропану до двигуна внутрішнього згорання // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2015. – №2. – с.58-64.

8. Куделя П.П. Низькоексергетичні опалювальні системи / П.П.Куделя, А.С. Соломаха. – Навчальний посібник. – К.:НТУУ «КПІ», 2015. – 153 с.: іл. – Бібліогр.: с.149-153.

9. Безродный М.К., Кутра Д.С. Ефективність теплонасосних систем кондиціювання повітря. Монографія – Київ. – НТУУ «КПІ» – 2015. – 172 с.

Конференції, виставки

1. Участь в XII Міжнародній спеціалізованій виставці «Енергетика в промисловості – 2014». Експонати: 1. Новітня енергетична газопаротурбінна технологія «Водолій» та 2. Газодизельна система живлення ДВЗ ГД «КПІ».

2. Дикий М.О., Соломаха А.С., Барабаш П.О., Петренко В.Г., Газопаротурбінна технологія на комбінованому паливі // III Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» – Збірка тез. – ТНТУ ім. Івана Пулюя, Тернопіль, 19-20 листопада. – 2014. – с. 94-95.

3. Соломаха А.С., Барабаш П.О., Петренко В.Г. Вплив охолодження циклового повітря на ефективність ГТУ // Міжнародна науково-практична та навчально - методична конференція «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення – 2014». – Збірка тез. – НТУУ «КПІ», Київ, 23-25 вересня. – 2014. – с. 45.

4. Соломаха А.С., Барабаш П.О., Петренко В.Г. Вплив охолодження циклового повітря на ефективність ГТУ // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної та навчально-методичної конференції «Сталий енергетичний розвиток: сучасні тенденції, технології та рішення — 2014», 23-25 вересня 2014 року, Київ. - 2014. - с. 45.

5. Дикий М.О., Соломаха А.С., Барабаш П.О., Петренко В.Г. Генерація води в циклі ГПТУ «Водолій» // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (8-11 жовтня 2014 р., м. Київ, Україна). – 2014. – с.89-91.

6. Участь в XIII Міжнародній спеціалізованій виставці «Енергетика в промисловості» – 2015, 22-24 вересня 2015.

7. Участь в XIII Міжнародній спеціалізованій виставці «Зброя та безпека» – 2015, 22-25 вересня 2015.

8. Кияшко Д.Ю., Соломаха А.С. Візуалізація факелу розпилення методом лазерного ножа // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м.Київ, 21-24 квітня 2015 р. У 2 т. – К. : НТКК «КПІ», 2015. – Т.1. – с.142.

9. Шумченко В.В., Соломаха А.С. Профіль розподілення перегрітої води в факелі розпилення // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м.Київ, 21-24 квітня 2015 р. У 2 т. – К. : НТКК «КПІ», 2015. – Т.1. – с.150.

16. Надати ключові слова до розробки:

Охолодження циклового повітря, випарне охолодження, перегріта вода, ГТУ, енергоустановка.