

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Секція 3 ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЇ І ТЕХНІЧНОГО ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

УДК 621.3.01

АКТИВНЕ ЕКРАНУВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

¹ Розов В. Ю., ¹ Кузнецов Б. І., ¹ Бовдуй І. В., ² Нікітіна Т. Б.

¹ Інститут технічних проблем магнетизму НАН України, Харків, Україна

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет Харків, Україна
E-mail: Rozov@nas.gov.ua; kuznetsov.boris.i@gmail.com, tatjana55555@gmail.com

Вступ. Найбільш небезпечним для населення джерелом техногенного магнітного поля (МП) промислової частоти, є високовольтні ЛЕП [3, 4]. Без вживання спеціальних заходів, вони створюють інтенсивне МП, таке, що має канцерогенні властивості на відстанях до 100 м від ЛЕП. Тому в світі посилюються санітарні норми [1] за гранично допустимим рівнем індукції магнітного поля (менше 1 мк Тл) промислової частоти 50–60 Гц і проводяться інтенсивні роботи з їх забезпечення для населення. В даний час жорсткі санітарні норми по індукції МП (0,5 мк Тл) введені і в нормативні документи Міненерго України [2]. Проте в Україні ці норми повсюдно перевищуються, що створює загрозу для здоров'я мільйонів людей, що проживають ближче ніж 100 м від високовольтних ЛЕП.

Проведені в Інституті технічних проблем магнетизму НАН України комплексні експериментальні дослідження МП повітряних ЛЕП 10–330 кВ показали [4], що їх МП в 3–5 раз перевищує нормативний рівень на межі раніше сформованих по електричному полю санітарних зон. Таке положення вимагає термінового вживання заходів по зниженню в 3–5 раз МП ЛЕП що діють в межах міст України. Аналогічне положення є типовим для більшості індустриальних країн світу, проте в цих країнах вже створені і широко використовуються технології нормалізації МП тих, що діють ЛЕП. Найбільш ефективною технологією заходів по зниженню МП ЛЕП є реконструкція ЛЕП шляхом її віддалення на безпечну відстань від житлових будинків, або заміна повітряної ЛЕП на кабельну лінію. Проте, така реконструкція вимагає величезних матеріальних витрат. Тому прийнятнішими для України є менш дорогі методи екранування МП ЛЕП, з яких необхідну ефективність забезпечують методи активного контурного екранування магнітного поля.

Технологія активного контурного екранування МП ЛЕП розроблена і використовується в розвинених країнах світу більше 10 років, наприклад в США і Ізраїлі. В Україні на даний час, технологія і наукові основи її створення відсутні. Це не дозволяє відносно недорогими методами здійснювати захист населення від техногенного МП промислової частоти, що створюється ЛЕП. Тому створення наукових основ вітчизняної технології активного екранування МП промислової частоти в будинках до безпечного рівня є актуальною науково-технічною проблемою.

Метою роботи є обґрунтування застосування в Україні систем активного екранування магнітного поля ліній електропередач, що відповідає сучасному світовому рівню.

Принцип побудови систем активного екранування. Суть методу активного екранування МП ЛЕП полягає у формуванні компенсуючого МП з такою просторово-часовою структурою, суперпозиція якого з МП ЛЕП в зоні захисту мінімізується до рівня санітарних норм. Метод реалізується за допомогою системи активного екранування (САЕ).

САЕ складається з компенсаційних обмоток (КО), за допомогою яких формується компенсуюче МП. Струми в КО автоматично формуються за певним алгоритмом в функції

сигналу з датчиків МП, що встановлені в зоні захисту. Для живлення КО, САЕ містить джерело струму, що одержує енергію від зовнішнього джерела живлення.

Аналіз існуючих систем активного екранування. В даний час інтенсивно проводяться дослідження і упроваджуються різноманітні САЕ. В таких системах як виконавчий орган використовуються спеціальні КО – активні кабелі, кількість яких визначається специфікою вирішуваного завдання. Найбільш широкого поширення набули системи активного екранування з однією КО. Для підвищення ефективності системи використовують дві, три, шість, двадцять чотири і більш КО. Для управління цими обмотками може використовуватися різна кількість вимірювальних приладів індукції магнітного поля – магнітометрів: один, два, три, шість, двадцять чотири і більш. Кількість магнітометрів, зазвичай, дорівнює кількості керованих обмоток, або кількості пар обмоток. Зокрема, при шість обмотках типу кілець Гельмгольца можуть використовуватися три магнітометри, розташовані в центрі області екранування магнітного поля і орієнтовані ортогонально щодо керованих обмоток. Для обґрунтування кількості і просторового розташування КО САЕ необхідно знати просторово-часові характеристики (ПВХ) магнітного поля, що генерується ЛЕП. Відмітимо, що в англійській літературі ПВХ МП називають «space-time electromagnetic field characteristics».

Аналіз економічної доцільності впровадження систем активного екранування. Проведемо аналіз економічної доцільності впровадження в Україні синтезованих систем активного екранування в порівнянні з іншими доступними методами нормалізації магнітного поля ЛЕП – реконструкція ЛЕП, використання закордонних технологій. Аналіз проведемо на прикладі екранування МП в будинку з розмірами 60x20x18м, розташованого поблизу ЛЕП 110 кВ.

Так, вартість реконструкції ЛЕП 110 кВ складає 4 млн. грн. Використовувана фірмами США технологія екранування потребує не менше 2,7 млн. грн. Застосування ж технології захисту на основі синтезованої САЕ коштуватиме близько 500 тис. грн.

Таким чином, використання синтезованої САЕ, в порівнянні іншими відомими методами вимагає в 5–7 разів менших матеріальних витрат.

Висновки.

1. Описані принципи побудови систем активного екранування магнітного поля, що створюється повітряними лініями електропередачі.
2. Проведений аналіз просторово-часових характеристик магнітного поля, що генерується різними типами ЛЕП, необхідний для обґрунтування кількості і просторового розташування компенсуючих обмоток системи активного екранування.
3. Обґрунтована економічна доцільність застосування в Україні методів активного екранування для забезпечення санітарних норм по магнітному полю в житловій зоні, розташованій поблизу ЛЕП.

Література

1. The World Health Organization, “The International EMF Project”. [Online]. Available: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>. [Accessed: 11-Apr-2019].
2. Правила улаштування електроустановок. – 5-те вид., переробл. й доповн. (станом на 22.08.2014). Х.: Форт 2014. 800 с.
3. Розов В. Ю., Гринченко В. С., Пелевин Д. Е., Чунихин К. В. Моделирование электромагнитного поля в помещениях жилых домов, расположенных вблизи линий электропередачи. *Техническая электродинамика*. 2016. № 3. С. 6–9.
4. Розов В. Ю., Реуцкий С. Ю., Пелевин Д. Е., Яковенко В. Н. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 1. С. 3–9.

СИНТЕЗ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЕКРАНУВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

¹ Розов В. Ю., ¹ Кузнецов Б. І., ¹ Бовдуй І. В., ² Нікітіна Т. Б.

¹ Інститут технічних проблем магнетизму НАН України, Харків, Україна

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет Харків, Україна

E-mail: Rozov@nas.gov.ua; kuznetsov.boris.i@gmail.com; tatjana55555@gmail.com

Вступ. Методи активного контурного екранування техногенного магнітного поля (МП), яке створюється повітряними ЛЕП [1], є найбільш прийнятними та економічно доцільними для забезпечення санітарних норм України за рівнем магнітного поля промислової частоти. Метод синтезу систем активного екранування (САЕ) МП, що генерується повітряними ЛЕП, розроблений в [2]. Однак в цьому методі не враховується невизначеність параметрів системи, що обумовлена неточно відомою моделлю об'єкта керування, а також змінами параметрів системи під час її експлуатації [3].

Метою роботи є синтез робастної квазіінваріантної (РК) системи активного екранування магнітного поля повітряних ЛЕП, яка дозволяє зменшити чутливість системи до варіацій параметрів об'єкта керування.

Постановка задачі. При синтезі САЕ математична модель вихідного МП відома неточно [3]. Зокрема, приблизно відомі значення струмів в струмопроводах, що мають зміни – добові, тижневі, сезонні; неточно реалізуються геометричні розміри компенсуючих обмоток, параметри регуляторів і т.і. Тому вводиться вектор відхилень параметрів системи від їх номінальних значень, що використовується при синтезі системи. Задача РК САЕ зводиться до визначення такого вектора просторового розташування і геометричних розмірів компенсаційних обмоток, а також вектору параметрів регулятора розімкнутого і замкнутого контурів керування із допустимої області і вектора варійованих параметрів із заданої області, при яких максимальне значення індукції магнітного поля в обраних точках розглядаемого простору приймає мінімальне значення за значенням вектора параметрів регулятора, але максимальне значення за вектором варійованих параметрів.

Такий прийом відповідає стандартному підходу до синтезу робастних систем для найгіршого (worst-case) випадку [3], коли варіації параметрів призводять до найбільшого погіршення компенсації вихідного магнітного поля, створюваного повітряними лініями електропередачі. Задача може бути сформульована в вигляді багатокритеріальної гри [3] з векторним виграшем, компонентами якої є модулі вектора індукції в точках розглядаемого простору. При цьому, природно, необхідно враховувати обмеження на вектор керування і змінні стану системи, вектора шуканих і варійованих параметрів в вигляді векторної нерівності.

В багатокритеріальній грі першим гравцем є вектор параметрів регулятора, його стратегією є мінімізація векторного виграшу, а другим гравцем – вектор варійованих параметрів, який характеризує невизначеність параметрів моделі об'єкта керування, стратегією другого гравця є максимізація цього ж векторного виграшу. Зауважимо, що компоненти векторного виграшу є нелінійними функціями векторів шуканих параметрів і обчислюються на підставі рішень рівнянь Максвелла в квазістаціонарному наближенні [3].

Метод рішення. Для знаходження рівноважного стану багатокритеріальної гри з Парето-оптимальних рішень з врахуванням відносин переваг побудовано алгоритм стохастичної мультиагентної оптимізації на основі безлічі роїв часток [2], кількість яких дорівнює кількості компонент векторного виграшу.

Зауважимо, що в зв'язку з тим, що вектор рішень гри представлений у вигляді стратегій двох гравців – вектора параметрів регуляторів і вектора варійованих параметрів,

причому необхідно виконати мінімізацію векторного виграшу за вектором параметрів регуляторів, і максимізацію цього ж векторного виграшу за вектором варійованих параметрів. Зазначимо, що багатокритеріальна гра з врахуванням алгоритму її рішення є багатокритеріальною стохастичною динамічною грою, так як в ній явно присутній час і випадковий пошук.

Результати моделювання на ЕОМ. Як приклад, розглянуто синтез робастної САЕ магнітного поля, що створюється групою ЛЕП. Така ситуація характерна для околиці міст, куди підходять декілька ЛЕП, а також поблизу підстанцій ЛЕП. Для синтезу САЕ, крім геометричних розмірів ЛЕП і зони екранування, необхідно визначити значення струмів в струмопроводах ЛЕП. Причому, основною невизначеністю при синтезі цієї системи є зміна значення струмів різних ЛЕП, що призводить не тільки до зміни рівня індукції магнітного поля, але і до зміни положення просторово-часової характеристики магнітного поля в зоні екранування. На підставі отриманих експериментальних даних вирішена задача ідентифікації струмів в струмопроводах ЛЕП, при яких мінімізується сума квадратів помилок значень індукції магнітного поля в заданих точках, що вимірюються і моделюються. За отриманою моделлю МП, що створюється декількома ЛЕП, вирішена задача синтезу робастної САЕ, яка має одну компенсаційну обмотку.

Таким чином, синтезована робастна квазіінваріантна САЕ дозволяє зменшити чутливість системи до зміни параметрів об'єкта керування в порівнянні з вихідною САЕ. Розрахункова ефективність екранування синтезованої робастної квазіінваріантної САЕ (більше чотирьох одиниць) підтверджена експериментально на її повномасштабному макеті.

Висновки. Синтезована РК система активного екранування магнітного поля, яке створюється повітряними ЛЕП, дозволяє зменшити чутливість системи до невизначеності параметрів моделі об'єкта керування. Синтез РК системи зводиться до багатокритеріальної стохастичної гри, рівноважний стан якої знаходиться на основі мультироєвої стохастичної мультиагентної оптимізації. Наведено приклад синтезу РК системи активного екранування магнітного поля, що створюється групою ЛЕП. Система має одну компенсаційну обмотку і дозволяє знизити рівень індукції вихідного магнітного поля за всім об'ємом розглянутого простору житлового будинку до рівня санітарних норм України, і має меншу чутливість до варіацій параметрів об'єкта керування в порівнянні з відомими системи активного екранування магнітного поля.

Література

1. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation).[Online]. Available: <http://www.emfservices.com/afcs.html>. [Accessed: 11-Apr-2019].
2. Kuznetsov B. I., Nikitina T. B., Voloshko A. V., Bovdyj I. V., Vinichenko E. V., Kobilyanskiy B. B. Synthesis of an active shielding system of the magnetic field of power lines based on multiobjective optimization. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 2016, vol. 6, pp. 26–30.
3. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. К.: Наукова думка, 2006. 264 с.

ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СТРУМУ В ЕКРАНАХ КАБЕЛІВ ТРИФАЗНОЇ КАБЕЛЬНОЇ ЛІНІЇ ПРИ ЇХ ДВОСТОРОННЬОМУ ЗАЗЕМЛЕННІ

Грінченко В. С., Пирогова У. В.

Державна установа «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України»,
Харків, Україна
E-mail: vsgrinchenko@gmail.com

При прокладанні високовольних кабельних ліній електропередачі необхідною умовою є заземлення електропровідних екранів кабелів, одностороннє або двостороннє. Головною перевагою одностороннього заземлення є відсутність поздовжніх струмів в екранах, що не порушує тепловий режим кабельної лінії та забезпечує її максимальну пропускну спроможність. Недоліком є наведений потенціал на екранах та, відповідно, необхідність установки захисних пристроїв від перенапруги. При заземленні екранів з обох кінців із транспозицією поздовжні струми також відсутні. Однак складність і дорожнеча виконання транспозиції екранів обмежують її повсюдне застосування.

Більш простим є двостороннє заземлення екранів кабелів, яке забезпечує відсутність імпульсних перенапруг і не вимагає установки додаткових захисних пристроїв. При цьому екрани кабелів утворюють замкнені контури, в котрих протікають індуковані поздовжні струми. З одного боку, це призводить до зниження магнітного поля кабельної лінії та сприяє вирішенню завдань магнітної екології, з іншого – струми в екранах кабелів можуть порушувати тепловий режим кабельної лінії та призводити до зменшення її пропускну спроможності. Тому розрахунок діючих значень струмів в екранах кабелів є актуальною задачею.

В підрозділі 2.3.122 нормативного документу «Правила улаштування електроустановок» (Київ, 2017) розглянуто випадки прокладання кабелів «у трикутник» та «у площині», та наведено вирази для інженерного розрахунку діючих значень струмів в екранах кабелів трифазної кабельної лінії при їх двосторонньому заземленні. Однак проведений аналіз показав, що похибка застосування цих співвідношень становить 30 % і більше в широкому діапазоні параметрів кабельної лінії.

Для знаходження струмів, які індуковані в екранах кабелів, авторами використано аналітичну модель кабельної лінії з двосторонньо заземленими екранами, яка представлена в роботах із наступними Digital Object Identifier: 10.15407/techned2017.02.013 та 10.1109/MMET.2018.8460425.

При прокладанні кабелів «у трикутник» діючі значення струмів в екранах кабелів рівні між собою. У цьому випадку діюче значення струму може бути розраховано за допомогою компактного точного співвідношення. При прокладанні кабелів «у площині» діючі значення струмів в екранах кабелів різняться. Тому для інженерного розрахунку діючого значення струму в цьому випадку було знайдено єдине компактне наближене співвідношення. Авторами показано, що використання отриманого співвідношення веде до похибки, яка не перевищує кількох процентів.

На основі отриманих співвідношень для випадків прокладання кабелів «у трикутник» та «у площині» авторами розроблено інженерну методику розрахунку струму в екранах кабелів трифазної кабельної лінії при їх двосторонньому заземленні.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АМОНІЙНОЇ ВОДИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ТЕС

Вольчин І. А.

Інститут вугільних енерготехнологій НАН України, Київ, Україна
E-mail: volchyn@gmail.com

Україна при укладанні Угоди про асоціацію 2014р. взяла на себе зобов'язання щодо дотримання вимог Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди. Це також закладено як кінцеву мету в Національному плані скорочення викидів забруднюючих речовин від великих спалювальних установок, схваленому розпорядженням КМ України від 08.11.2018 р. № 796-р.

Для скорочення викидів оксидів азоту на існуючих вугільних котлах ТЕС і ТЕЦ України пропонується застосування технології селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) шляхом подавання амоніаку як відновника в зону температур 1100-850 °С як найбільш прийнятну з технологічної та економічної точок зору. У вказаному температурному діапазоні має місце реакція відновлення між оксидом азоту NO та амоніаком NH₃ з утворенням молекулярного азоту та водяної пари:



Амоніак в котел пропонується подавати у вигляді амонійної води з масовим вмістом NH₃ не вище 25 %, що не вимагає спеціальних заходів з безпеки експлуатації та зберігання.

Константа газофазної швидкості реакції (1) буде пропорційна добутку концентрацій оксиду азоту та амоніаку:

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) c_{NO} c_{NH_3},$$

де k_0 – перед-експоненціальний множник, пропорційний кількості зіткнень молекул оксиду азоту та амоніаку;

E_a – енергія активації реакції (1), кДж/моль;

R – універсальна газова стала, 8.31 кДж/(моль·К);

T – абсолютна температура, К.

Для підвищення швидкості реакції слід збільшувати концентрацію реагенту – амоніаку.

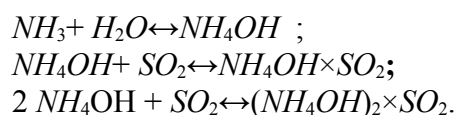
Стандартна ефективність методу СНКВ становить до 60% за умови недопущення викиду амоніаку в атмосферне повітря, при цьому стехіометричнемольне відношення NH₃/NO повинно бути менше 1.

Для зниження концентрації оксидів азоту в димових газах 1300-1500 мг/нм³ (вимоги поточних технологічних норматив) до потрібних 200 мг/нм³ ефективність азотоочисної установки має бути не менше 87 %.

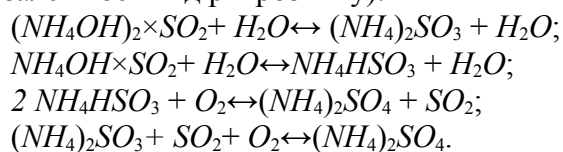
Це може досягатися шляхом зростання витрати амоніаку (NH₃/NO > 1), а його залишки будуть використані в системі сіркоочищення.

Наукове підґрунтя такої пропозиції базується на результатах експериментів з газофазного реагування амоніаку з оксидом азоту при температурах вище 100 °С. Дані експериментів показали, що збільшення вмісту водяної пари (зміна мольного відношення H₂O/NH₃ з 0.21 до 1.08) суттєво покращує ефективність зв'язування діоксиду сірки газоподібним амоніаком (зміна з 7.9 до 82.8 % при початковому мольному відношенні NH₃/SO₂ = 1.5). Це пов'язано з каталітичним впливом водяної пари на реакції зв'язування діоксиду сірки амоніаком у газовій фазі.

При наявності в димових газах водяної пари, вміст якої має перевищувати вміст амоніаку, в газовому середовищі будуть проходити реакції зв'язування діоксиду сірки з утворенням адуктів NH₄OH×SO₂ і (NH₄OH)₂×SO₂ через фазу утворення сполуки амоніаку та водяної пари:



При потраплянні цих сполук у краплі водив установках напівсухого або мокрого сіркоочищення відбувається повне їх розчинення з утворенням сульфїту , гїдросульфїту і сульфату амонїю (в залежності від рН розчину):



Оскільки розчинність амонїаку в 15 разів перевищує розчинність діоксиду сірки, то залишається дуже мала ймовірність його викиду в атмосферне повітря в установках мокрої амонїїної десульфуризації.

В установках напівсухої десульфуризації, продуктом якої буде сухий порошок сульфату амонїю, що є мінеральним добривом, кінцеве перетворення амонїаку в сульфат амонїю буде відбуватися на рукавах тканинного фільтра.

Таким чином, використання амонїаку у вигляді амонїїної води дозволить виконати вимоги Директиви 2010/75/ЄС щодо рівнів викидів оксидів азоту та сірки і отримати на виході корисний продукт – мінеральне добриво.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ГАЗОВЫЕ ТОПЛИВА И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОВОЙ ПЛАЗМЫ

Жовтянский В. А.

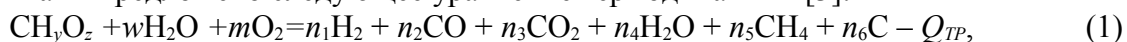
Институт газа НАН Украины Киев, Украина

E-mail: zhovt@ukr.net

Время от времени в отечественной научной среде возникает вопрос об эффективности применения синтетических газовых топлив. Основные сомнения возникают, если исходить из учебников по энергетике советской эпохи. Дело здесь не в идеологических проблемах, а в том, что стоимость тех или иных энергетических ресурсов, как подразумевается по умолчанию, определяется их себестоимостью. Мировые энергетические кризисы в 1973 и 1979 гг. коренным образом изменили ситуацию. С этого времени на уровне международных отношений проблема доступа к ресурсам нефти и газа стала одной из ключевых. В сложном переплетении этих интересов цены на отмеченные энергоресурсы испытывают драматические изменения, имея мало общего с их реальной себестоимостью [1]. В бывшем СССР с пафосом заявляли, что энергетический кризис практически не коснулся плановой экономики страны, поэтому ситуация, включая проблему отсутствия реального энергосбережения, была законсервирована вплоть до его распада. В дальнейшем это тяжелейшим образом сказалось на экономике молодого украинского государства [1, 2].

В работе [1] подробно перечислены различные виды газовых топлив, являющихся альтернативными источниками энергии. В настоящем докладе будет детально обсужден вопрос получения синтетического газового топлива на основе конверсии опасных отходов. Запасы такого «сырья» в Украине, точнее высокотоксичных отходов, требующих своей переработки, составляют свыше 10 млн. т. Технологическая особенность их переработки состоит в необходимости поддержания высокой температуры на выходе газификатора, что естественно сочетается с целесообразностью применения плазменных технологий в процессе переработки. В качестве газифицирующего агента предпочтительно использование водяного пара, обеспечивающего высокое содержание водорода в продуктах газификации, и не создающего оксиды азота при работе плазмотрона.

В качестве базового уравнения для моделирования процесса плазменно-паровой газификации нами предложено следующее уравнение термодинамики [3]:



где $Q_{TP} = Q_R + Q_{PL}$ – суммарная тепловая энергия, одна из составляющих Q_R которой выделяется в результате химических реакций в смеси заданного реакцией состава, а другая Q_{PL} – вводится в реактор с помощью плазмотрона с таким расчетом, чтобы реагирующая смесь достигла необходимой температуры T_P получения продуктов газификации, w и m – соответственно количество воды и кислорода на 1 кмоль отходов; n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 и n_6 – коэффициенты для соответствующих продуктов реакции. Среди последних указаны газообразные вещества, чаще всего получаемые в составе продуктов газификации, и сажа. С точки зрения «обыденного опыта» выбор знака перед энергетическим членом выглядит неубедительно, так как сама сущность плазменных технологий состоит во введении с плазмой энергии в тот или иной процесс. Уравнение (1) в представленном виде теряет также в определенном смысле безупречную строгость, свойственную уравнениям термодинамики. Строго говоря, в нем должны присутствовать продукты диссоциации и ионизации воды в плазменном состоянии. Однако, исходя из условий эксперимента, вместо них удобнее воспользоваться просто значением энергии плазменной струи Q_{PL} , которая легко определяется в процессе экспериментальных исследований.

Таким образом, в реакции (1) включен материальный носитель энергии плазмы, представленный водой, которая включена в общее ее количество w .

Для уравнений термодинамики принципиально правило знаков. Действительно, в отличие от уравнений химических реакций (где экзотермическим из них соответствует знак «+», а эндотермическим – знак «-»), которые обычно ставятся в конце реакции, они имеют также смысл алгебраических уравнений. Таким образом, их можно, например, складывать или переносить энергетический член между левой и правой частями уравнения с соответствующей заменой знака. Вследствие этого адресного характера энергетического члена в термодинамике и возникает, в конечном итоге, правило знаков, являющееся противоположным по отношению к химическим уравнениям. Оно не суть важно, если помнить об этом обстоятельстве и адекватно его учитывать. В нашем случае энергия Q_{PL} вводится вместе с плазменной компоненты воды в левой части (1), а при переносе ее в правую часть приобретает отрицательный знак. Это уравнение является базисным для моделирования технологических процессов плазменно-паровой газификации донных илов, результаты которых более детально будут представлены в самом докладе.

В целом, логика развития технологий переработки опасных отходов заключается в том, чтобы, с одной стороны, осуществлять ее в режимах, близких к газификации, а с другой - организовать этот процесс таким образом, чтобы опасные составляющие отходов перевести в состояние, в котором они являются нейтральными по отношению к окружающей среде. Если придерживаться также принципа «Waste to Energy» (отходы - в энергию), получая, например, избыточную сверх собственных нужд электрическую энергию, то процесс может стать коммерчески привлекательным.

Выполнение этой работы поддержано Министерством образования и науки Украины, государственный заказ «Разработка рабочей конструкторской документации на изготовление узлов установки для паро-плазменной переработки опасных отходов» и в рамках Целевой программы научных исследований НАН Украины «Перспективные исследования по физике плазмы, управляемому термоядерному синтезу и плазменных технологий».

Литература

1. Жовтянский В. А. Энергосбережение // Энергетика: история, настоящее и будущее. К.: 2010, Т.4. С. 269 – 312, 481 – 484, 604-605, 608.
2. Стратегія енергозбереження в Україні: Аналітично-довідкові матеріали / Колективна монографія в 2-х томах / За ред. В. А.Жовтянського, М. М.Кулика, Б. С.Стогнія. Т. 1: Загальні засади енергозбереження; т. 2: Механізми реалізації політики енергозбереження. К.: Академперіодика, 2006. 510 і 600 с.
3. Жовтянский В. А., Петров С. В., Орлик В. М., Якимович М. В. Общие принципы переработки отходов с извлечением их энергетического потенциала на основе плазменных технологий. Ч. II. Газификация иловых осадков станций водоочистки. *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. 2016. № 3. С. 25 – 42.

ДО ПИТАННЯ ПРО СТВОРЕННЯ КОМПЕНСУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Голощанов В. М., Парамонова Т. М., Котульська О. В.

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна
E-mail: paramonova@ipmach.kharkov.ua; katulska@ipmach.kharkov.ua

Енергетична стратегія України (ЕСУ) до 2035 р. передбачує підвищення виробітку електроенергії у 2035 р. з використанням відновлювальних джерел енергії до 25 млрд. кВт·год, що в процентному відношенні до виробленої електроенергії іншими джерелами електроенергії становить 12,84 %.

В той же час відомо, що на виробництво електроенергії з використанням відновлювальних джерел суттєво впливають кліматичні погодні умови як сезонні, так і добові, тобто стабільність її виробництва не узгоджена з потребами споживачів. Зараз відсутні пристрої великої потужності для акумулювання електроенергії, які здатні забезпечити її накопичення та видачу у вечірній та нічний час. Тому при використанні відновлювальних джерел енергії необхідно мати надійні компенсуючі потужності.

Інформація про діючі на території України вітрові та сонячні електростанції, їх обладнання, потужність, режими експлуатації в минулих сезонах дозволяє отримати дані про локальну нестачу «пікової» електроенергії у регіонах їх розміщення. Це дозволить розглянути питання про вибір та місце розташування компенсуючого обладнання, сумісно з розподілом розташування джерел відновлювальної енергетики..

Проведені дослідження дають змогу оцінити доцільних місць розташування нових ВЕС і СЕС та об'єм їх встановленої потужності, а також розробити пропозиції щодо раціонального розташування компенсуючих потужностей з врахуванням діючого генеруючого обладнання ТЕС, ТЕЦ, АЕС, ГЕС та ГАЕС для досягнення заданих в ЕСУ-2035 обсягів електроенергії.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

¹Билык Я.И., ²Гадяка В.Г., ¹Марцинковский В.С., ¹Юрко В.И.

¹ «ТРИЗ» ООО, ЛТД, Сумы, Украина; ² ПАО «Сумское НПО», Сумы, Украина
E-mail: bilyk@triz-ltd.com, triz@triz-ltd.com

Впервые компания «Nova» в 1985 г установила компрессор для транспорта природного газа CDP 230 фирмы «Ingersoll Rand» (США) с магнитными подшипниками (МП) и газовыми уплотнениями. С этого времени более 30 лет в качестве альтернативы традиционным подшипникам скольжения (ПС) для центробежных компрессоров (ЦК) различного назначения рассматриваются МП. На первый взгляд предполагаемое их широкое распространение было обусловлено: отсутствием системы смазки, отсутствием трущихся частей и износа, низкими потерями мощности на трение, возможностями контроля положения оси ротора, регулирования жесткости и демпфирования подвеса. Однако практический опыт показывает, что эти возможности для ЦК практически не реализуемы из-за малых значений регулируемых величин в сравнении с ПС. Эксплуатация компрессоров с МП сопряжена с рядом проблем, не характерных для компрессоров с традиционными ПС.

Если говорить об экономичности, применение МП позволяет снизить потери мощности на трение и повысить механический КПД компрессора. В работе [1] приведен пример: в машине с ротором массой 1000 кг и гидродинамическими подшипниками потребление мощности на трение и снабжение маслом составляет 150 кВт, а при использовании МП 1 кВт. Однако экономичность работы ЦК определяется не только механическими потерями, но и протечками через лабиринтные уплотнения (объемные потери). Отрицательной стороной применения МП являются значительные зазоры в уплотнениях проточной части компрессора, которые в два-три раза больше зазоров при использовании ПС. Это вызвано основным недостатком магнитного подвеса – низкой жесткостью в сравнении с ПС.

Рассмотрим второй аспект применения МП в ЦК – надежность. Одним из основополагающих принципов динамической устойчивости центробежной компрессорной машины является соотношение демпфирующих и возбуждающих сил, действующих на ротор. По данным компании Mitsubishi Heavy Industries [2] ротор динамически устойчив, если сумма всех демпфирующих сил ΣF_d , в два раза больше всех воздействующих на него возбуждающих сил ΣF_v , (т.е. $\Sigma F_d / \Sigma F_v > 2$). Такое соотношение гарантирует устойчивую работу компрессора не только на номинальных, но и на переходных режимах.

С этой точки зрения жесткостные характеристики МП – реакция ротора и его перемещение (радиальное) на силовое воздействие – являются неприемлемыми, т.к. жесткость и демпфирование МП значительно ниже, чем у традиционных ПС. В частности, в работе [3] указано, что жесткость МП по сравнению с масляными сегментными подшипниками ниже в 10-20 раз, а коэффициенты демпфирования – в 2-4 раза. Это отрицательно сказывается на динамическом состоянии компрессора, изменяя в худшую сторону соотношение демпфирующих и возбуждающих сил, особенно на компрессорах, в качестве концевых уплотнений которых используются сухие газовые уплотнения. В этом случае демпфирующих сил оказывается недостаточно, чтобы гарантировать устойчивую работу компрессора на всех режимах эксплуатации. Применение МП с малой жесткостью и низким демпфированием в ЦК приводит к сужению зоны устойчивой работы в области сниженных расходов при степенях сжатия, близких к номинальным и выше, что определяется возмущающими факторами, имеющими газодинамическую природу [4,5].

Следствием низкой жесткости МП является их низкая несущая способность и необходимость компенсировать увеличением, по сравнению с ПС, геометрических размеров, которые зачастую трудно обеспечить.

Помимо снижения динамической устойчивости роторной системы, МП имеют еще ряд специфических недостатков, влияющих на надежность работы ЦК [1], [3], [6], [7]. Один из недостатков - наличие технически сложной электронной системы контроля и управления.

К числу недостатков МП следует отнести их высокую стоимость по сравнению с ПС, а также проблемы с балансировкой роторов (для снижения общего уровня виброперемещений за счет уменьшения оборотной составляющей часто выполняется балансировка всего валопровода, что требует нескольких дополнительных пусков агрегата на компрессорной станции).

Следует отметить, что распространение МП в ЦК началось в период, когда наступил определенный кризис в развитии ПС, в попытке выйти на новый качественный уровень. Но, как следует из сказанного, применение МП на ЦК себя не оправдывает. В то же время в настоящее время в области опорных и упорных ПС имеются технические решения, позволяющие существенно уменьшить энергоемкость при повышении надежности и снижении себестоимости.

Таким образом, можно выделить следующие скептические аргументы по применению МП в газотранспортной системе:

- мифическая экономия энергии;
- несоответствие технических характеристик условиям устойчивости системы;
- низкая надежность;
- необходимость в высококвалифицированном персонале для сервисных работ;
- высокая стоимость.

К этому следует добавить миф о широком применении МП в компрессорах; многочисленные публикации об успешном применении магнитного подвеса, о преодолении очередных проблем, связанных с его применением, о постановке очередных задач для их совершенствования без анализа основных причин их возникновения, а также миф об экологичности МП, которому противоречит неэффективность их использования.

Все это не может быть поводом для применения МП в ЦК. Рано или поздно придет понимание этих проблем к потенциальным заказчикам, или проблемы эксплуатации, связанные с магнитными подвесами, приведут к смене пользователей.

У авторов данного доклада, в свое время восхищавшихся перспективой применения МП [8] и участвовавших в создании вихревого наддува для первых ГПА с магнитным подвесом в СССР, это понимание пришло осознанно [9], [10], [11].

Что же касается магнитных подшипников, то у них есть своя ниша применения. Это оборудование, работающее при постоянных режимах нагрузок, экономичность которого не зависит от зазоров в подшипниках, например, в электродвигателях, станочном оборудовании, балансировочных станках, точных измерительных приборах, а также там, где возможности традиционных подшипников скольжения исчерпаны (высокие частоты вращения, сверхчистые технологии, вакуумная и криогенная техника и т.п.).

Литература

1. Журавлев Ю. Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. СПб: Политехника, 2003. 206 с.
2. Манаба Сага, Казуаки Ивата, Эйджи Хираиши, Норихиса Вада. Модернизация компрессоров и паровых турбин на заводах по производству аммиака с целью повышения производительности и надежности//*Компрессорная техника и пневматика*. 2009. №4.
3. Гадяка В. Г., Паненко В. Г. Особенности проектирования центробежных компрессоров с активными магнитными подшипниками. Матер. науч.-технич. конф. «ГЕРВИКОН-2008» Кельце – Перемышль, 9-12 сент. 2008 г. С. 181-187.
4. Хисамеев И. Г., Гузельбаев Я. Г., Хавкин А. Л. Особенности проведения помпажных испытаний и настройки системы антипомпажной защиты центробежных компрессоров с электромагнитными подшипниками. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2007. № 9. С. 23-26.

5. Женихов С. В., Касьянов С. В., Чеплыгин А. В., Коновалов Д. Н. Центробежные компрессоры НПО «Искра» с магнитным подвесом ротора для дожимных компрессорных станций. Труды 17-го межд. симпозиума «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования - 2012». С.-Пб.: СПбГПУ, 2012. С. 124-129.
6. Бухолдин Ю. С., Королев В. С., Паненко В. Г., Чернышов А. Б., Данилейко В. И., Сарычев А. П., Носков А. В. Опыт создания и эксплуатации турбокомпрессоров с применением магнитного подвеса ротора. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2009. №1- С. 17-19.
7. Donavan E. Bently. In Pursuit of Better Bearings/“Orbit”, Vol. 21, No.2 Bently Nevada, 2000.
8. Марцинковский В. С., Апанасенко А. И., Зиневич Г. Н., Черепов Л. В., Хореев В. А. Тенденции развития турбокомпрессоров для нефтяной и газовой промышленности. Обзорная информация. Серия ХМ-5.-М.- ЦИНТИ химнефтемаш. 1988. 70 с.
9. Марцинковский В. С., Юрко В. И. Энергосберегающая модернизация газоперекачивающих агрегатов газотранспортной системы. *Компрессорная техника и пневматика*. 2010. №2. С. 24-27.
10. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Подшипники для оборудования динамического действия. *Компрессорная техника и пневматика*. 2002. №10.
11. Марцинковский В. С., Юрко В. И. Развитие радиальных демпферных подшипников с вкладышами на гидростатической опоре. *Химическая техника*. 2009. №3. С. 10-17.

МЕТОДИКА ТА СТЕНД ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТІЙКОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО КАВІТАЦІЙНОЇ ЕРОЗІЇ

¹Кравченко О. В., ²Карауш Д. П., ¹Ярещенко В. Г., ¹Баранов І. А., ¹Костюченко К. І.,
¹Сімбірський О. В.

¹Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна
²ДП «КБ «Південне», Дніпро, Україна
E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua, igbaranov.84@gmail.com

В вирішенні проблеми підвищення надійності та довговічності машин одним з головних питань є зменшення зносу поверхонь деталей. Поширеним видом їх руйнування є кавітаційна ерозія, від дії якої страждають багато вузлів та агрегатів енергетики, транспорту, машинобудування, зокрема, лопаті насосів, гідротурбін, гребних гвинтів, елементів гідроавтоматики та гідротехнічних споруд. В ІПМаш НАН України створюються технології гідрокавітаційної обробки рідин з метою одержання високоякісних емульсійних композиційних котельних палив. Матеріали, з яких виготовляють деталі, працюють в умовах гідродинамічної кавітації, повинні мати підвищену стійкість до цього виду руйнування.

Тому дослідження кавітаційного зношування існуючих та нових видів матеріалів є актуальною проблемою.

Метою роботи було створення методики та експериментального стенду для досліджень кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів.

Розрізняють акустичну і гідродинамічну кавітації. При гідродинамічній кавітації тиск в рідині знижується внаслідок зростання місцевих швидкостей потоку. Виникнення каверн і кавітаційних бульбашок може відбуватися за обтічним нерухомим або рухомим тілом або на його поверхні внаслідок розривної дії турбулентних макровихорей, а також у зустрічних струменях рідини, за струменевого витікання рідин з сопел (струменева кавітація) та ін.

Розроблено методику та стенд для проведення експериментальних досліджень впливу гідродинамічної кавітації на ерозію поверхонь конструкційних матеріалів.

Методику засновано на порівняльному аналізі результатів щодо зміни маси досліджуваного зразка матеріалу і мікроскопічних досліджень його поверхні до і після проведення кавітаційної обробки.

Для розрахунку MER (середньої швидкості ерозії, мкм/год) використовується формула:

$$MER = (10 \cdot \Delta W) / (\rho \cdot A \cdot \Delta t), \text{ (мкм/год)},$$

де: ΔW - втрата ваги, мг; Δt - час тестувань в годинах; A - кавітаційна площа зразка см², ρ – густина зразка в г/см³.

Основним елементом експериментального стенду є генератор гідродинамічної кавітації (рис. 1), який являє собою камеру, в середині якої розміщено сопло з плоским перерізом, через яке насосами прокачується рідина (в нашому випадку вода).



Рис. 1. Загальний вигляд генератору гідродинамічної кавітації

В критичному перерізі сопла в умовах мінімальних тисків в потоці рідини утворюється кавітація, а кавітаційна каверна виноситься потоком до дифузору. Конструктивно сопло виконано таким чином, що може регулюватися висота щілини в критичному перерізі каналу. Це дозволяє керувати інтенсивністю кавітації. Одночасно можливо змінювати напрямок потоку, що витікає з сопла, тобто регулюється положення кавітаційної каверни, саме в якій, вже в зоні підвищення тисків відбувається схлопування парових бульбашок з утворенням кумулятивних струменів. Це дає змогу направляти потік з каверною уздовж досліджуваної поверхні для досягнення найбільшого ефекту від кавітаційного впливу. Сопло створено з використанням результатів математичного та комп'ютерного моделювання гідродинаміки потоків в'язкої нестисливої рідини з використанням методу R-функцій [1]. Камеру оснащено ілюмінаторами з оптично чистого скла, що дає можливість проводити оптичні дослідження та візуально спостерігати кавітацію в потоці рідини.

Гідравлічний насос підключено через перетворювач частоти обертання, що забезпечує необхідну витрату рідини та тиск на вході в сопло.

Проведено цикл досліджень, в яких зразок зі сталі 08X18H10T зазнавав кавітаційного впливу. Відомо, що ця сталь дуже стійка до кавітаційної ерозії. Обстеження зразка на зміну маси та мікроскопічні дослідження проводилися кожні 20 годин. На рис. 2 показано мікрофотографії вихідного зразка (зліва), та зразка після 40 годин кавітаційного впливу (справа). Окрім незначної втрати маси, спостерігається локальні зони руйнування поверхні зразка (виділено червоним).



Рис. 2. Зразок до (зліва) та після 40 годин кавітаційного впливу (справа)

Таким чином, створений експериментальний стенд та розроблена методика дозволяють досліджувати вплив гідродинамічної кавітації на стійкість до руйнування існуючих та нових типів конструкційних матеріалів.

Література

1. Кравченко О. В., Суворова І. Г., Баранов І. А. Совершенствование процессов и аппаратов гидрокавитационной активации на основе математического и компьютерного моделирования. Зб. наук. праць. Моделювання та інформаційні технології. Київ: Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2010. Том 3. С. 186-194.

ИОНИЗАЦИЯ ВЛАЖНОПАРОВОГО ПОТОКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ В ТУРБОУСТАНОВКАХ

Тарелин А. А., Аннопольская И. Е.

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков, Украина
E-mail: tarelin@ipmach.kharkov.ua. anna@ipmach.kharkov.ua

Известно, что наиболее активными зародышами конденсации в зоне фазового перехода, как в природных явлениях, так и в технических устройствах, являются заряженные частицы (ионы и электроны). В паровой турбине естественная электризация в этой зоне слишком мала, и объемная плотность зарядов, образованных заряженными частицами, составляет всего $10^{-11} - 10^{-8}$ Кл/м³. Плотность зарядов достаточная для того, чтобы повлиять на процесс объемной конденсации, достигается только за последней ступенью турбины, где процесс расширения пара уже завершен.

Отсутствие реальных методов управления процессом объемной конденсации пара с целью снижения уровня переохлаждения пара и повышения КПД турбины до последнего времени являлось сдерживающим фактором развития данного направления. К сожалению, некоторые попытки, например, использование химических добавок к питательной воде, которые предпринимались для управления процессом конденсации пара в зоне фазового перехода, до настоящего времени не нашли промышленного применения.

Поэтому авторами предлагается способ интенсификации образования зародышей конденсации за счет искусственной ионизации парового потока перед зоной фазового перехода, осуществляемой с помощью коронного или барьерного разрядов.

В работе рассматриваются экспериментальные исследования по ионизации парового потока в сверхзвуковом сопле, которые проводились на созданном в ИПМаш НАН Украины термодинамическом стенде и позволили оценить возможность влияния искусственной ионизации потока на неравновесные процессы в зоне фазового перехода и повышение КПД турбины.

Приведены результаты исследований по оценке влияния барьерного и коронного ионизаторов на процесс интенсификации мелкодисперсной влаги в сверхзвуковом сопле. Эксперименты проводились в диапазоне изменения давлений и температур пара, характерных для ряда влажнопаровых ступеней ЦНД турбин.

Выполненный комплекс экспериментальных исследований позволил получить данные об изменении параметров потока пара в проточной части сверхзвукового сопла при ионизации пара. Показано, что эффективность ионизации пара тем выше, чем выше его давление, и чем ближе температура к линии насыщения. Определена область параметров, при которых ионизации пара наиболее эффективна. Эта информация особенно важна для практического использования электроразрядных устройств в турбоустановках.

Показано, что ионизация позволяет интенсифицировать процессную конденсацию пара в виде мелкодисперсной влаги, уменьшить пленочную конденсацию и концентрацию крупнодисперсной влаги, снизить уровень переохлаждения и конденсационной нестационарности, в итоге повысить КПД турбины.

Рассмотрены преимущества и недостатки использования барьерного (БИ) и коронного (КИ) ионизаторов.

Установлено, что если ионизация происходит в поле барьерного разряда, то образуется квазинейтральный влажный пар. Это дает основание считать, что такой разряд не будет оказывать существенного влияния на электророзрозийонные процессы в проточной части.

Что касается коронного ионизатора, то, как показали специальные исследования, проведенные в ИПМаш НАН Украины, при отрицательной полярности потока ионизация также не оказывает существенного влияния на ухудшение поверхностной прочности металла.

БИ более эффективен при создании ядер конденсации и «живучесть» зародышей конденсации при его использовании выше КИ. Из-за меньшей концентрации зарядов при ионизации КИ ее влияние на состояние парового потока прекращается несколько раньше, т.е. при меньших значениях максимальной температуры пара перед соплом. Однако, использование КИ требует меньших материальных затрат и проще в техническом и технологическом обеспечении, что необходимо учитывать при подготовке системы ионизации пара в проточных частях турбин.

Для практической реализации рассмотренного подхода определены дисперсность потока и концентрация зародышей конденсации, при которых процесс расширения пара приближается к равновесному. Установлено, что концентрация зародышей конденсации, при которой процесс расширения пара стремится к равновесному, составляет $10^{14} - 10^{15} \text{ кг}^{-1}$, а размер капель не превышает 1 мкм.

Показано, что возникающие при ионизации пара положительные эффекты сопоставимы с применением в турбинах дозированных химических добавок (ОДА). При этом ионизация пара имеет ряд существенных преимуществ.

В отличие от использования ОДА, активизация процесса гетерогенной конденсации происходит на ионах, а дробление крупных капель в потоке на мелкие происходит под действием электрического поля. Учитывая, что при ионизации пара положительные эффекты, такие как увеличение удельного объема пара, уменьшение потерь от переохлаждения, уменьшение конденсационной нестационарности и др., сопоставимы с результатами, полученными в натуральных условиях с использованием ОДА, то при применении ионизации можно ожидать такое же повышение экономичности турбинных ступеней, работающих в двухфазной области.

Рассмотрены возможные варианты реализации использования ионизаторов барьерного и коронного разряда в ЦНД влажнопаровых турбин как на стадии создания, или модернизации турбин, так и для действующих турбоустановок.

Наибольший эффект с использованием электроразрядных устройств может быть достигнут в том случае, если на стадии создания или модернизации турбин будет учтено место размещения ионизирующего устройства, которое зависит от термогазодинамических параметров процесса, определяющих начальную зону фазового перехода в проточной части.

В настоящее время применение ионизаторов возможно для действующих турбин геотермальных установок с температурами пара на входе $80-150^\circ\text{C}$ и давлением $180-200 \text{ кПа}$.

Выполненные численные исследования показали, что в перспективе применение ионизаторов позволит повысить эффективность и экономичность турбинных ступеней, работающих в двухфазной области, и увеличить КПД турбоагрегатов на $1-1,5\%$.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА ВЛАЖНО-ПАРОВЫХ ТУРБИН И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДЕТАЛИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

Нечаев А. В.

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков
E-mail: nechaev.an98@gmail.com

Известно, что при работе влажнопаровой турбины возникают паразитные токи, представляющие угрозу для деталей турбины. Одной из причин их возникновения является заряд тела ротора потоком влажного пара, протекающего в турбине. В настоящее время электризацию ротора нейтрализуют путем заземления ротора. Однако при электризации ротора электризуется и поток рабочего тела. Детальные исследования особенностей этого явления и его влияния на рабочие процессы влажнопаровой турбины были проведены в ИПМаш НАН Украины. В этих исследованиях было обнаружено, что электризация потока влажного пара приводит к образованию объемного заряда в проточной части, который может иметь значительную величину (до 10^{-3} Кл/м³) и оказывать существенное влияние на рабочие процессы в турбине и конденсаторе.

Электризация влажного пара сопровождается и заряданием капельной влаги в проточной части. Заряженные капли, движущиеся в потоке пара, оказывают на поверхности лопаток комплексное механо-электрическое воздействие, обладающее большей повреждающей способностью в отличие от нейтральных капель. Детальное исследование воздействия заряженных капель на прочность поверхностного слоя лопаточных материалов, при условиях подобных физическим условиям в цилиндре низкого давления влажно-паровой турбины, было проведено на экспериментальном стенде, позволяющем создавать сверхзвуковой поток заряженного пара.

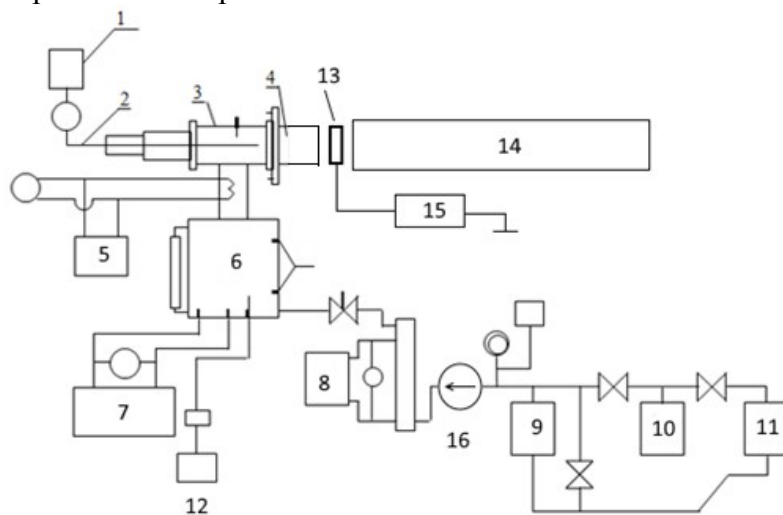


Рис.1. Схема стенда с ионизацией пара коронным разрядом:

1 - источник высокого напряжения; 2 - высоковольтный ввод; 3 - ионизационная камера котла; 4 - сопловая часть ионизационной камеры; 5 - пароперегреватель; 6 - котел; 7 - источник питания котла; 8 - система предварительного подогрева воды; 9, 10, 11 - буферные емкости; 12 - измеритель температуры; 13 - образец лопаточной стали; 14 - паропровод сброса пара в атмосферу за пределы лаборатории; 15 - регистратор тока заземления; 16 - питательный насос.

Также было исследовано воздействие сопутствующих электризации пара электрофизических явлений на прочность поверхностного слоя лопаточных материалов.

Полученные результаты показали существенное влияние на прочностные свойства поверхностного слоя лопаточной стали наличия заряженности пара, знака электрического заряда, а также электрического поля, действующего на поверхность.

На рис. 2 показано изменение содержания водорода в образцах стали 1X11МФШ, обработанных паровым потоком различной заряженности в течение 6 часов.

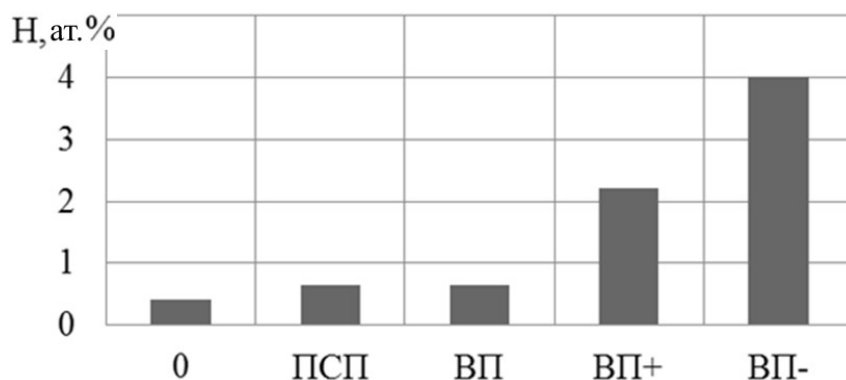


Рис. 2:

0 – содержание до обработки; ПСП – перегретый сухой пар; ВП – влажный пар без заряда, ВП+ с положительным зарядом; ВП- с отрицательным зарядом.

На рис. 3 представлена зависимость микротвердости стали 1X11МФШ от глубины индентирования после обработки струей пара различной заряженности:

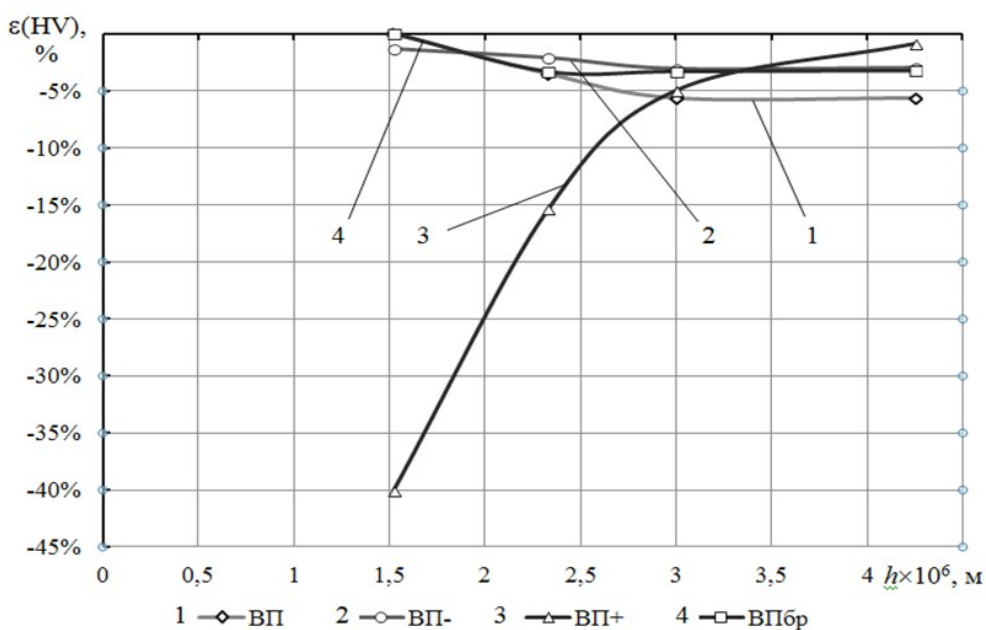


Рис. 3:

ВП – влажный пар без заряда, ВП- с отрицательным зарядом, ВП+ с положительным зарядом, ВПбр – квазинейтральный (количество положительных и отрицательных зарядов равно).

Приведенные в докладе данные показывают, что электризация рабочего тела негативно влияет на прочностные свойства поверхностного слоя материала рабочих лопаток турбины, вследствие чего появляется вероятность интенсификации износа поверхности лопаток и снижение их эксплуатационного ресурса.

АНАЛІЗ ЛАНЦЮГІВ ВАРТОСТІ НА ОСНОВІ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕНЕРГОНАКОПИЧЕННЯ

Горбачук В. М., Дунаєвський М. С., Сулейманов С. Б.

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, Київ, Україна
E-mail: GorbachukVasyl@netscape.net

Накопичення енергії є наріжним каменем ефективної інтеграції відновлюваної енергії, розблокування шляхів локальної енергогенерації, екологічно чистого і стійкого енергопостачання. Четверта промислова революція продовжує доводити свої переваги для операторів енергомереж у всьому світі, яким потрібен сучасний менеджмент змінної генерації сонячної і вітрової енергії. Однак розвиток передових систем енергонакопичення (energy storage systems – ESS) зосередився на окремих регіональних ринках високорозвинених держав. Незважаючи на помітний спад цін ESS у 2010-х роках, ESS залишаються недешевими для масового ринку, а впровадження ESS вимагає значних стартових інвестицій, які, в свою чергу, потребують державної підтримки та/або доступу до глобальних фінансових ринків. Крім того, ефективне застосування подібних новітніх технологій вимагає від енергоменеджерів відповідного експертного рівня знань економіки. Існуючі регулювання енергоринків часто не дозволяють скористатися можливостями нових послуг, які пропонують ESS. Незважаючи на ці бар'єри для входу ESS в ринки, багато ESS встановлюють по всьому світу, а енергоринки реформують для децентралізованого використання ресурсів.

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, у країнах, що розвиваються, попит на електроенергію швидко зростатиме, а 80 % загальносвітового приросту такого попиту до 2035 р. припадатиме на ці країни. Для задоволення цілей розвитку тисячоліття суттєва частка цього приросту надходитиме від джерел відновлюваної енергії. Станом на 2019 р. близько 20 % населення світу не мало доступу до послуг надійного постачання електроенергії. Хоча витрати на відновлювану енергогенерацію продовжують знижуватися, її інтегрування й ефективне використання потребуватиме енергонакопичення, особливо в регіонах із слабкою інфраструктурою енергомереж. Досвід нового тисячоліття показує, що традиційна централізована енергомережа не здатна економічно ефективно забезпечувати базові послуги постачання електроенергії для всього населення протягом прийняттого періоду часу. Водночас це здатні забезпечувати розподілені й автоматизовані енергосистеми, але вони мають бар'єри для входу в ринок.

Різноманітність стимулів і бар'єрів для енергонакопичення в світі пояснюється багатьма чинниками – відмінностями фізичної структури енергомереж, потреб і побажань кінцевих користувачів, регуляторної бази і ринкової структури за регіонами та країнами. Оскільки вплив конкретних розподілених енергоресурсів на енергомережу суттєво залежить від технології та регіону, то необхідно розуміти ключові фактори формування даного регіонального ринку ESS (особливо у країнах, що розвиваються), а також різні ставлення комунальних служб у світі до поширення нових потужностей енергонакопичення. Крім того, ESSs можуть пропонувати свої послуги, організація яких потребуватиме моделювання ділових процесів і розвитку галузей економіки в цілому.

Заслуговує уваги ланцюг вартості (value chain) стаціонарного енергонакопичення, перелік компонентів ESSs і сфера застосувань енергонакопичення на новопосталих ринках. Проекти енергонакопичення, здійснюючись й успішно розвиваючись у кількох розвинених державах, можуть поширюватися на багато країн, що розвиваються. Деякі з цих країн стануть активно впроваджувати подібні проекти у 2020-х і 2030-х роках. Діяльність на ринку енергонакопичення може стимулюватися новітніми комунальними службами, які

модернізуватимуть свої активи при змінах структур ринків, спричинених регіональними угодами чи вимогами Міжнародної організації стандартизації. Наприклад, Міжнародний валютний фонд пропонує оподатковувати викиди вуглекислого газу. Очевидно, можливостями енергонакопичення скористаються не всі постачальники (комунальні служби) та розподілені користувачі.

РОЗРОБКА КЛАСИФІКАЦІЇ КОНЦЕНТРАТОРІВ ПОТОКУ І ПОТОКОФОРМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Гармаш Є. В., Колларов О. Ю., Тютюнник Н. Л.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, Україна
E-mail: natalia.tiutiunnyk@donntu.edu.ua

В енергоустановках велика роль концентраторів потоку і потокоформуючих елементів.

З одного боку, вони в значній мірі визначають вартість всієї установки. Зокрема, деякі з них належать до робочого органу і безпосередньо беруть участь у перетворенні енергії потоку в механічну енергію обертання валу. Інші, через свої розміри, є визначальними для загальних габаритів енергоустановки.

З іншого боку, такі пристрої - їх форми, геометричні параметри, є найбільш впливовими на енергетичні характеристики установки.

В теперішній час існує велика різноманітність конструктивних рішень концентраторів потоку і потокоформуючих елементів енергоустановок схожого типу. Крім того, на рівні винаходів розроблена величезна кількість нових перспективних пропозицій щодо їх вдосконалення, а наявні класифікації потокоформуючих елементів не охоплюють всю широту цих рішень.

З метою систематизації концентраторів потоку і потокоформуючих елементів, до яких відносяться конфузори, дифузори і комбіновані концентратори, пропонуємо класифікувати їх за кількома ознаками, основними з яких є:

- *Перше* - за призначенням. Ця ознака передбачає розділити потокоспрямовуючі пристрої в залежності від мети їх використання. Наприклад, пристрої:
 - а) які змінюють гідравлічні умови потоку;
 - б) які покращують енергетичні характеристики;
 - в) які забезпечують природоохоронний ефект і т.п.

Зокрема, використання в конструкції вітроенергетичної установки концентратора потоку, дозволяє істотно збільшити коефіцієнт використання енергії вітру та вироблення електроенергії на самій установці. Особливо це важливо для установок, що розміщуються в регіонах із середнім вітропотенціалом.

- *Друге* - в залежності від робочого середовища (наприклад: рідке або газоподібне), в якому розміщена енергоустановка з концентратором.
- *Третє* - по розташуванню щодо рухомого середовища. Тут доцільно виділити пристрої: зовнішні, внутрішні та комбіновані.

Зовнішні розміщуються таким чином, що весь потік рухається тільки всередині напрямних пристроїв (наприклад: проточний тракт гідроенергетичних установок, що відсмоктують, або водопідвідні труби).

Внутрішні, навпаки, розташовуються тільки всередині потоку (наприклад: вітроенергетичні установки з концентраторами потоку).

У комбінованих є якісь елементи або площини, які не взаємодіють з потоком.

- *Четверте* - за матеріалом (металеві, бетонні, залізобетонні, полімерні, пластмасові, скляні, поліетиленові і т.д.).

Наприклад, в конструкції вітроагрегату концентратор виконаний з легкого матеріалу (типу капрону або еластичної плівки), що дозволяє забезпечити зменшення матеріалоемності та зниження вартості всієї вітроустановки.

- *П'яте* - за конструктивними ознаками. Тут передбачається розглядати концентратори а) по виду (плоскі і об'ємні);

- б) по симетрії (симетричні і асиметричні);
 - в) за ступенем свободи (статичні і динамічні);
 - г) за кількістю складових елементів (моносистемні, бісистемні, полісистемні);
 - д) за ступенем жорсткості (жорсткі, гнучкі та еластичні).
- *Шосте* - за функціональними особливостями. Найбільш характерні риси за цією ознакою відображені в наступних позиціях:
- а) за принципом роботи можуть бути: що автоматично включаються в роботу і з приводним механізмом;
 - б) за часом дії розрізняються: постійно діючі, періодично діючі і що діють за певного режиму;
 - в) в залежності від зміни швидкості і безпосереднього перетину потоку можливі концентратори і потокоформуєчі елементи, що збільшують швидкість, зменшують її, чи діють комбіновано;
 - г) за впливом на напрямок потоку можуть бути: ті, що не змінюють напрямок, ті, що змінюють напрямок, та ті, що закручують потік.

Аналіз показав, що при розробці класифікації концентраторів потоку, поряд з основними конструктивними типами необхідно виділяти підтипи, що використовують додаткові пристрої. Вони дозволяють врахувати специфічні умови роботи концентраторів, підвищити ефективність їх роботи, забезпечити захисні заходи по відношенню до навколишнього середовища і т.п.

Таким чином, уточнена класифікація дозволяє більш повно представити всю різноманітність концентраторів потоку і потокоформуєчих елементів, полегшити їх вибір для конкретних умов і сприяти вибору ефективних шляхів розвитку і вдосконаленню таких пристроїв.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВІТРОГЕНЕРАТОРА З ПІДТРИМКОЮ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ, ПРИ РІЗНИХ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРАХ, ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕРЕЖ

Колларов О. Ю., Любименко О. М., Остренко Д. О.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, Україна
E-mail: e.n.lyubimenko@gmail.com

Як відомо основним недоліком пристроїв, які виробляють енергію за рахунок альтернативних джерел, є їх нестабільність в плані забезпечення енергії. Це відбувається тому, що, наприклад, вітряки та сонячні батареї та інші схожі пристрої залежать від зовнішніх факторів. У сучасному світі існує кілька способів знайти і підтримувати максимальне значення потужності в електричних системах з альтернативними джерелами енергії [1]. Серед них можуть бути як вже вбудовані виробником контролери на потужність пошукової системи (або MPPT контролери), так і окремі інтелектуальні системи (з нейронними мережами або з фазово-логічними) [2]. В даній роботі ставиться завдання розглянути приклад застосування нейронної мережі для знаходження точки максимальної потужності в системі електропостачання з джерелом відновлюваної енергії (вітрогенератори).

Планована нейронна мережа багатошарової (тришарової) при цьому перший шар в ній має функцію активації сигмоїд, другий шар має ту ж функцію активації і п'ять нейронів, в третьому шарі (він же вихідний) функція активації вже лінійна і в ньому знаходиться один нейрон. Для визначення значення ваг і коефіцієнтів корекції функції досліджується і вивчається нейронна мережа. Мережа повинна вивчатися за моделями, результати яких повинні бути відомі і перевірені заздалегідь. Далі мережа буде постійно перенавчатися в ході моделювання та відповідно змінювала свої вагові коефіцієнти. І це буде відбуватися до тих пір, поки очікуваний результат не потрапить в допустимі межі відхилення (помилки), яка повинна бути встановлена заздалегідь. Моделювання роботи вітрогенератора відбуватиметься в програмному пакеті MatlabSimulink [3]. Структурна схема представлена на рис. 1.

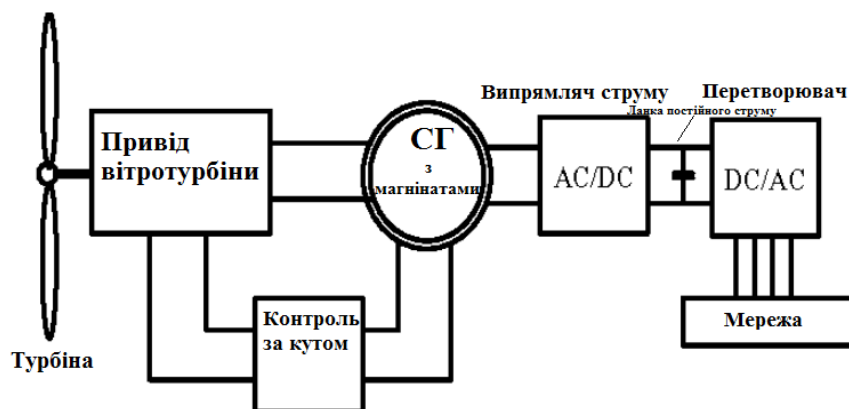


Рис. 1. Структурна схема керування вітрогенератором

Побудова нейронної мережі відбуватиметься і в програмі Matlab і в пакеті Mathematica.

Власне розроблена система в програмному пакеті Matlab представлена на рис. 2, де блок Subsystem і є нейронною мережею.

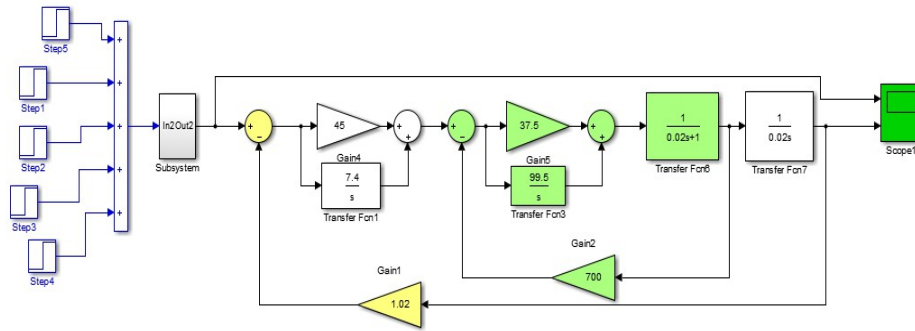


Рис. 2. Розроблена система керування в Matlab

Також змодельована робота цієї системи, що здійснює пошук значення максимальної потужності. Для цього на вході подається різне значення швидкості вітру, як показано на рис. 3.

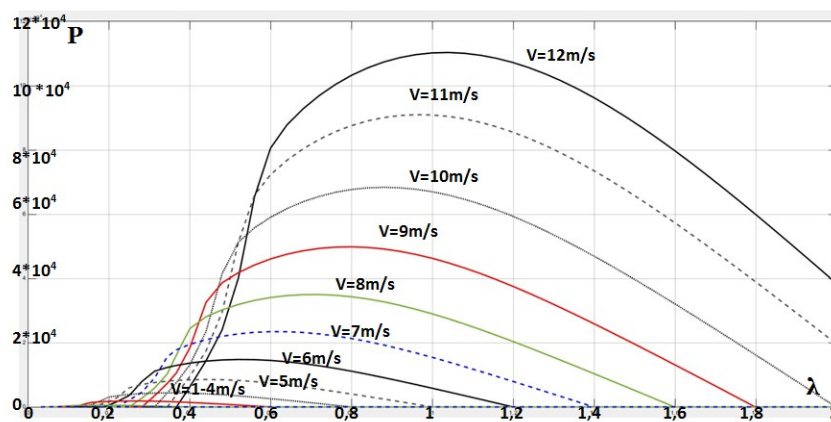


Рис. 3. Характеристика максимальної потужності вітрогенератора

Отже, повною метою даного дослідження є розробка моделі вітрогенератора, вибір типу та розробка системи управління, що має структуру управління потужністю в автономній системі електроживлення для забезпечення її максимальної ефективності.

Література

1. Чорний О. П., Луговий А. В., Родькін Д. І. Моделювання електромеханічних систем. Кременчук, 2001. 374 с.
2. Електронний ресурс: <https://www.epravda.com.ua/rus/columns/2019/04/3/646644/> (дата звернення 28.06.19) - Вітер змін: як буде розвиватися українська вітроенергетика.
3. Герман-Галкін С. Г. Matlab&Simulink. Проектування мехатронних систем на ПК //ред. Корона 2008. 368 с.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДЖЕРЕЛА З ПАЛИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ – ВОДЕНЬ

Колларов О. Ю., Любименко О. М., Остренко Д. О., Штепа О. А.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Покровськ, Україна
E-mail: e.n.lyubimenko@gmail.com

Сучасне виробництво потребує збільшення електроенергії. Традиційні джерела невічні, до того ж їх застосування веде до забруднення навколишнього середовища. Тому світова спільнота вже давно переходить на розробку та впровадження пристроїв, що використовують альтернативні джерела енергії [1].

До таких пристроїв належать, як вже відомі та широкі у застосуванні, вітрогенератори та фотоелектричні станції так і ще відносно невеликі за своєю часткою в світовій енергетиці пристрої, що використовують в якості палива водень, біопаливо та термальну енергетику. В цій роботі буде розглянуто саме пристрій, що в якості палива використовує водень.

Тож актуальність цієї роботи обумовлена метою:

1. Забезпечити енергетичну незалежність розглянутої системи;
2. Зменшити кількість втрат енергії при електричній передачі.

Водень, на перший погляд є ідеальним паливом та є найпоширенішим елементом у світі, також, при його згорянні вивільняється велика кількість енергії і утворюється вода без виділення будь-яких шкідливих газів. Переваги водневої енергетики людство усвідомило вже давно, однак застосовувати її у великих промислових масштабах поки не поспішає.

З точки зору зеленої енергетики у водневих паливних елементах високий ККД близько 60 %. Проте існує проблема, як в промислових масштабах зберігати та виробляти водень.

Створення високоефективних паливних елементів вимагає додаткового контролю за показниками температури та управління теплом, для того щоб забезпечити послідовну роботу системи паливних елементів. В залежності від типу паливного елемента, оптимальна температура може коливатися від кімнатної температури (+25 °C) до 1000 °C, і будь-яке відхилення від заданого діапазону температур може призвести до зниження ефективності. Більш низькі температури означають більш короткий час прогріву системи і нижчі рівні напруги. Корозія та інші залежні від часу та температури процеси уповільнюються, і для насичення вхідних газів потрібно набагато менше води. Випадок більш високої робочої температури буде означати, що більше води продукту випаровується, тобто, більше відхідного тепла йде в приховану теплоту випаровування, і менше рідкої води залишається з паливного елемента [2].

На рис. 1 зображено структурну схему установки, що включає власне паливні елементи, зволожувач та систему охолодження.

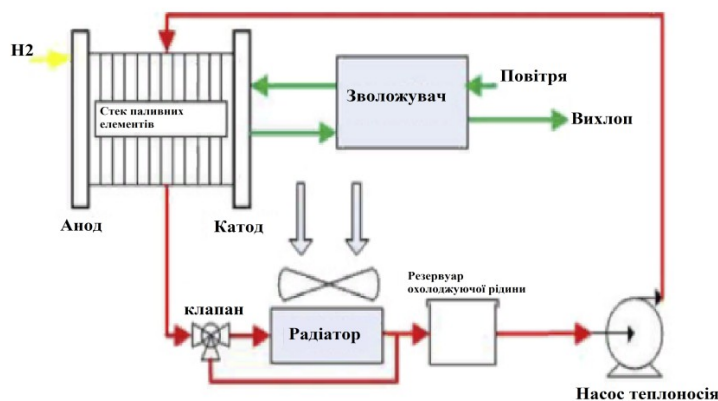


Рис. 1. Структурна схема курування паливного елемента - водень

Температура в паливному елементі не є однорідною, навіть коли є постійний масовий потік в каналах. Це відбувається за рахунок теплопередачі, а для певних типів паливних елементів - фазової зміни реагентів або продуктів. Для точного прогнозування температурно-залежних параметрів, а також швидкості реакції і транспортування необхідно точно визначити розподіл температури і тепла. Конвективний теплообмін відбувається між поверхнею твердого тіла і газовими потоками, а провідний теплообмін відбувається в твердій тапористій структурах. Вироблені реагенти, продукти та електроенергія є основними компонентами, які необхідно враховувати при моделюванні основного теплообміну в паливному елементі, як показано на рис. 2.

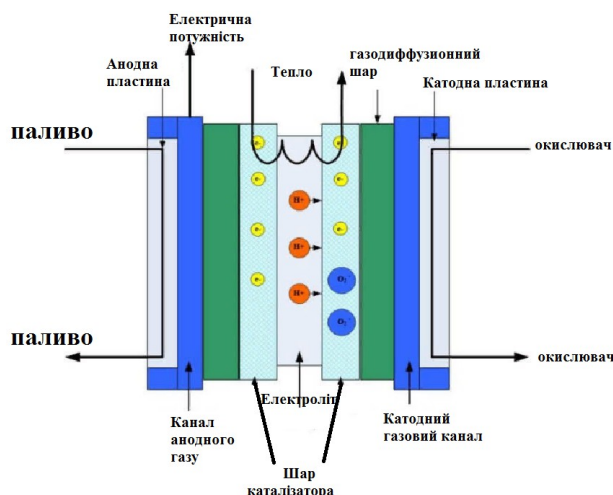


Рис. 2. Ілюстрація стека для дослідження теплового потоку

Загальний баланс енергії навколо паливного елемента базується на потужності, що виробляються, реакціях паливних елементів і втратах тепла, що відбуваються в паливному елементі. Енергетичний баланс змінюється для кожного типу паливних елементів через різні реакції, що відбуваються в різних паливних елементах.

В даній роботі розглянуто основні особливості пристрою, що працює від паливного елемента – водню. Виконано математичне моделювання цього процесу в програмі Matlab. Теоретично встановлено, що теплообмін і загальний енергетичний баланс навколо паливного елемента базуються на потужності, що виробляється, реакціях паливних елементів і втратах тепла, які відбуваються в паливному елементі.

Література

1. Клямкин С. Н., Тарасов Б. П. Воднева енергетика: досягнення і проблеми. *Поновлювані джерела енергії. Вип. 5: 6 Всерос. наук.-молодіжна школа, Москва, 26-27 листопаду 2008 р.* М.:, 2008. № 5. С. 147–157.
2. Герятовіч М. В. Вітро-сонячний комплекс з водневоакумуючої установкою // *Радіоелектроніка, електротехніка та енергетика. Т. 3: 13 Міжнар. наукова технічна конф. студентів і аспірантів, Москва, 1-2 березня 2007: Додати тез. доп.* М.:, 2007. №3. С. 353.

УДК

ALTAIR HYPERWORKS И ALTAIR SOLIDTHINKING - УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

Русанов Р. А.

Des Art sp. z o.o., Gdynia, Poland