УДК 621.313.333

О.Ю. КОЛЛАРОВ, В.І. КАЛАШНІКОВ (д-р техн.наук, проф.)
Донецький національний технічний університет
kollarov@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРСІЇ КИСНЮ У ВОДНЕВО-КИСНЕВОМУ ПАЛИВНОМУ ЕЛЕМЕНТІ

В статті розглянуті питання впливу конверсії кисню на параметри роботи паливного воднево-кисневого елементу. Дано рекомендації стосовно оптимізації ККД паливних елементів різного діапазону потужностей.

Вступ. У 1839 році англійський фізик Вільям Грув відкрив принцип електрохімічного перетворення енергії реалізований у паливних воднево-кисневих елементах [1]. Досить довгий час цей винахід був забутий, бо тодішній стан технологій не дозволяв утілити принципи прямого перетворення хімічної енергії в електричну у реальне життя. Сучасний розвиток науки і техніки, як передумова, й так звана «енергетична проблема світу», як поштовх, дозволили втілити в наше повсякденне життя ідею паливного воднево-кисневого елементу. З часом, застосування паливних елементів стало більш широким й набуло промислових масштабів. Високий коефіцієнт корисної дії й екологічна чистота роблять їх привабливими для застосування в автомобільній індустрії [1]. Особливої уваги заслуговує використання паливних воднево-кисневих елементів в автономних системах електроприводу у якості джерела електричної енергії. Перепоною ж для повсюдного використання паливних елементів є, насамперед, їх вартість й складність регулювання.

Аналіз попередніх досліджень. Проблемам роботи й функціонування паливних воднево-кисневих елементів присвячено багато наукових статей й праць. В багатьох із них акцентується увага на процесах обміну водню у паливних елементах. Одночасно вважається незначним вплив конверсії кисню на внутрішні процеси у паливних елементах [3]. При цьому найчастіше у якості джерела кисню використовується звичайне повітря вміст чистого кисню в якому складає приблизно 21%. Насправді ж вміст кисню у повітрі коливається у досить широкому діапазоні, отже виникає необхідність дослідити вплив цих коливань на роботу паливного елементу.

Мета роботи. Дослідити вплив конверсії кисню на параметри роботи паливного воднево-кисневого елементу. Дати рекомендації стосовно оптимізації коефіцієнту корисної дії паливних елементів різного діапазону потужностей.

Матеріал і результати дослідження. Необхідний для реакції, масовий потік кисню може бути розрахований за формулою [1]:

$$Q_{O_2}^M = n_{ïÅ} \frac{I_{ïÅ} \cdot M_{î_2}}{4 \cdot F}, \left[\hat{e}\tilde{a} \middle/ \tilde{n} \right], \quad (1)$$

де $Q_{O_2}^M$ - масовий потік кисню;

$n_{ПЕ}$ - кількість комірок джерела;

$I_{ПЕ}$ - сила струму;

M_{O_2} - молярна маса кисню;

F - постійна Фарадея.

Об'ємний потік повітря, при нормальних умовах, розраховується за наступною формулою [3]:

$$Q_{ПВ}^V = 4,31 \times 10^{-3} \cdot \lambda \cdot Q_{O_2}^M \cdot \frac{T_{HC}}{273,15}, \left[м^3 \middle/ c \right], \quad (2)$$

де $Q_{ПВ}^V$ - об'ємний потік повітря;

λ - стехіометричний коефіцієнт;

T_{HC} - температура навколишнього середовища.

Вольт-амперна характеристика паливного елементу має наступний аналітичний вигляд [2]:

$$U = U_o + \frac{R \cdot T_{ПЕ}}{n_{ne} \cdot F} \ln\left(\frac{p_{H_2} \cdot \sqrt{p_{O_2}}}{p_{H_2O}} \right) - \alpha \cdot \log_{10}\left(\frac{j}{j_o} \right) - j \cdot R_{ом} - \frac{R \cdot T_{ПЕ}}{n_{ne} \cdot F} \ln\left(1 - \frac{j}{j_{гр}} \right), \quad (3)$$

де U_o - термодинамічна рівноважна напруга (1,229 В);

R - стала Больцмана;

$T_{ПЕ}$ - температура паливного елементу;

© Колларов О.Ю., Калашніков В.І., 2011

p_{H_2} - тиск водню;

p_{O_2} - тиск кисню;

p_{H_2O} - тиск водяної пари;

α - коефіцієнт перезарядження [2];

j - щільність струму;

$j_{гр}$ - гранична щільність струму;

j_o - щільність обмінного струму;

$R_{ом}$ - омічний опір полімерної мембрани.

Коефіцієнт корисної дії паливного елементу можна знайти за формулою [2]:

$$\eta = m_f \frac{2 \cdot F \cdot U}{-\Delta \bar{h}_f}, \qquad (4)$$

де U - напруга на клемах джерела;

m_f - коефіцієнт використання палива;

$\Delta \bar{h}_f$ - теплотворна спроможність.

Існує прямий взаємозв'язок між кількістю повітря, що нагнітається компресором до паливного елементу та кількістю енергії яку цей компресор від нього споживає. Експериментальні дослідження роботи паливних воднево-кисневих елементів доводять, що збільшення частки кисню в загальному об'ємному потоці повітря, що нагнітається компресором до джерела, меншою мірою впливає на падіння потужності паливного елементу ніж допустиме, за рахунок збільшення частки кисню, зменшення енергетичних витрат самим компресором [3]. Зменшення об'ємного потоку повітря, за рахунок збільшення частки чистого кисню в ньому, дозволяє зменшити кількість споживаної компресором енергії в наслідок чого спостерігається збільшення коефіцієнту корисної дії паливного елементу. На рис. 1 представлено залежність коефіцієнту корисної дії паливного елементу від потужності при різних значеннях масового потоку кисню.

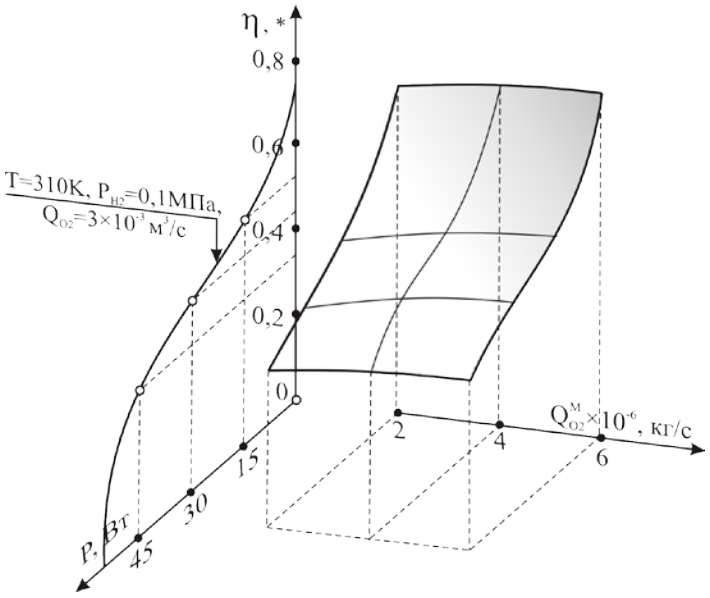

Рисунок 1 - Залежність коефіцієнту корисної дії паливного елементу від потужності при різних значеннях масового потоку кисню

На рис. 2 представлено залежність вольт-амперної характеристики паливного елементу від масових витрат кисню. Збільшення масового потоку кисню викликає падіння напруги джерела й, при певному струмі, падіння потужності паливного елементу перевищить скорочення витрат енергії компресором, що призведе до нестабільності системи, зокрема до нестабільності вихідної напруги джерела.

Результати математичного моделювання роботи паливного елементу було частково перевірено на реальному воднево-кисневому паливному елементі NP50 фірми Heliocentris, потужністю 50 Вт, максимальною вихідною напругою 12 В, максимально допустимою силою струму 14 А, кількістю комірок 10 шт., площею поверхні кожної комірки 0,0049 м^2 й товщиною кожної комірки 0,005 м. Дослідження проводились при температурі навколишнього середовища 25°С.

Висновки. По-перше, через регулювання об'ємного потоку повітря можна досягти оптимальних режимів роботи паливного елементу, зокрема, оптимального співвідношення коефіцієнту корисної дії та вихідної потужності паливного елементу, поліпшення динамічних властивостей джерела, стабілізації вихідної напруги, а, отже, й оптимального використання хімічних реагентів (водень, кисень).

По-друге, регулювання об'ємного потоку повітря треба розглядати з урахуванням стехіометрії реагентів (їх масового співвідношення), причому заданого стехіометричного коефіцієнту, що обернено пропорційний до кількості споживаного паливним елементом кисню у загальному об'ємному потоці повітря, можна досягти за рахунок зменшення або збільшення потужності повітряного компресору.

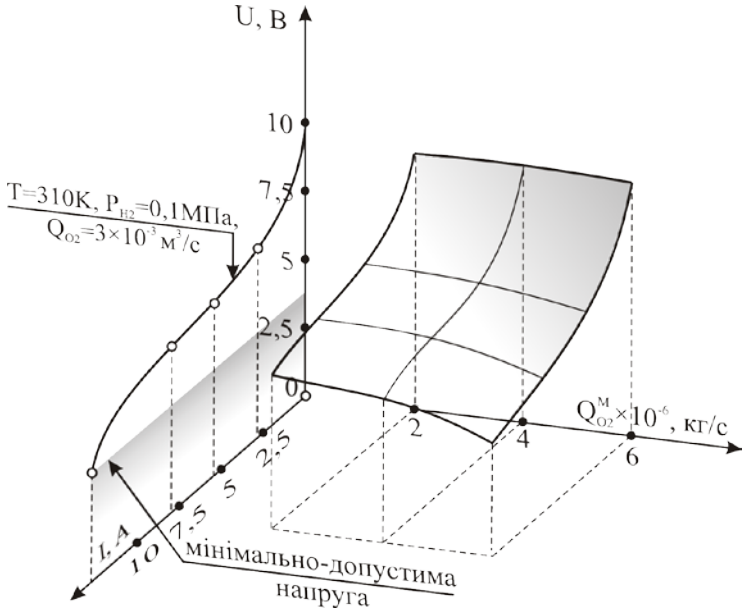

Рисунок 2 - Залежність вольт-амперної характеристики паливного елементу від масових витрат кисню

По-третє, покращення коефіцієнту корисної дії паливних елементів великої потужності можливо за умови високого коефіцієнту корисної дії периферійних пристроїв, що не тільки обслуговують паливний елемент, але й живляться від нього. Цієї ж умови слід дотримуватись в мобільних паливних елементах де важливими факторами є висока питома потужність, мала вага й якомога менша вартість. Для стаціонарних воднево-кисневих паливних елементів на першому місті стоїть загальний коефіцієнт корисної дії усієї системи з урахуванням потужності периферійних пристроїв, збільшення потреб в енергії яких відбивається на корисній потужності паливного елементу.

І останнє, беручи до уваги той факт, що установка, зазвичай, працює в діапазоні часткового навантаження, значного покращення електричного коефіцієнту корисної дії та співвідношення виробленої теплової енергії до електричної можна досягти використовуючи малопотужні периферійні пристрої.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fuel Cell Handbook 7th Edition, Morgantown: National Energy Technology Laboratory, 2004. - 427 с.;
2. Larminie J. A. Fuel cell systems explained, 2nd Edition / Larminie J., Dicks A. // Oxford, 2003. - 433с.;
3. Barbir F. PEM Fuel Cells / Frano Barbir // Elsevier Science & Technology Books, 2005. - 433с..

Надійшла до редколегії 29.09.2010 *Рецензент: В.Ф.Сивокобиленко*

О.Ю. КОЛЛАРОВ, В.И. КАЛАШНИКОВ
Донецкий национальный технический университет

O. KOLLAROV, V. KALASHNIKOV
Donetsk National Technical University

Исследование конверсии кислорода в водородно-кислородном топливном элементе. В статье рассмотрены вопросы влияния конверсии кислорода на параметры работы топливного элемента. Даны рекомендации касательно оптимизации КПД топливных элементов разного диапазона мощностей.

Scientific Study of Oxygen Conversion in the Oxygen-Hydrogen Fuel Cell. In the article the questions of influence of oxygen conversion on the parameters of oxygen-hydrogen fuel cell operation are considered. The recommendations concerning optimization of efficiency of fuel cells of different power range are given.