



KISLOROD O'TKAZUVCHI MEMBRANALI REAKTORDA SUV BUG'INING PARCHALANISHINING TERMODINAMIK CHEGARALARI

Bekniyazova G.R.¹, Sharopov U.B.²

¹ *Nukus davlat pedagogika instituti Akademik litseyi, Nukus;*

² *O'zR FA S.A. Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti, Toshkent*

e-mail: g.r.bekniyazova@gmail.com

e-mail: utkirstar@gmail.com

Vodorod energetikasini rivojlantirish O'zbekiston Respublikasining energetika siyosatidagi ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi [1]. Hozirgi kunda vodorodning asosiy qismi tabiiy gazni bug' bilan konversiyalash orqali olinadi va bu jarayon katta miqdorda CO₂ chiqishi bilan kechadi. Suvdan vodorodni quyosh energiyasi yordamida, uglerod chiqindisiz olish usullari ichida aralash ion-elektron o'tkazuvchi (MIEC) kislorod membranali reaktorlar alohida o'rin tutadi [2, 3]. Bunday reaktorda suv bug'i membrananing bir tomonida parchalanadi, ajralgan kislorod esa O²⁻ ionlari ko'rinishida membrana orqali chiqariladi va ta'minot tomonida toza vodorod to'planadi.

Suvni to'g'ridan-to'g'ri termik parchalash ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$) juda yuqori harorat talab qiladi: reaksiyaning standart Gibbs energiyasi 900 °C da 182,9 kJ/mol, 1000 °C da 177,3 kJ/mol ni tashkil etadi [4]. Shu sababli toza suv bug'idagi muvozanat kislorod parsial bosimi 700–1200 °C da atigi 10⁻⁷–10⁻⁴ atm bo'lib, parchalanish darajasi amalda nolga teng. Membrana bu chegarani o'zgartiradi, biroq qaysi sharoitda va qancha darajada — bu masala reaktorni loyihalash uchun asosiy hisoblanadi. Ushbu ishning maqsadi — membranali reaktorda suv bug'i konversiyasining termodinamik chegaralarini harorat va permeat tomonidagi kislorod bosimiga bog'liq holda aniqlash.

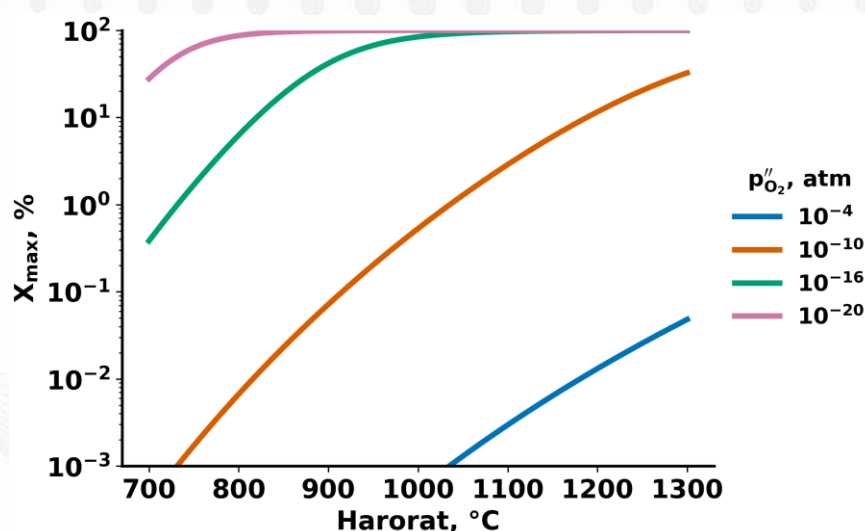


Usul. Reaksiyaning muvozanat konstantasi $K_p = p_{H_2} \cdot p_{O_2}^{1/2} / p_{H_2O}$ NIST-JANAF ma'lumotlari [4] asosida Cantera dasturida [5] 700–1300 °C oraliqda hisoblandi. Suv bug'i konversiyasi X bo'lganda membrananing ta'minot tomonidagi muvozanat kislorod bosimi $p'_{O_2} = [K_p(1 - X)/X]^2$ ifodasi bilan aniqlanadi. Kislorod membrana orqali faqat $p'_{O_2} > p''_{O_2}$ bo'lgandagina o'tadi, bu yerda p''_{O_2} — permeat tomonidagi kislorod bosimi. Demak, konversiya ikki tomondagi bosimlar tenglashganda chegaraviy qiymatga erishadi:

$$X_{\max}/(1 - X_{\max}) = K_p/(p''_{O_2})^{1/2}.$$

Hisoblashda permeat tomon uchun to'rt xil sharoit ko'rildi: inert gaz bilan puflash ($p''_{O_2} \approx 10^{-4}$ atm), chuqur vakuum yoki vodorod bilan puflash ($\sim 10^{-10}$ atm) hamda metan yoki boshqa qaytaruvchi gaz bilan reaksiya (10^{-16} – 10^{-20} atm) [2, 6].

Natijalar va muhokama. Hisoblash natijalari rasmda va jadvalda keltirilgan. Harorat 700 °C dan 1200 °C gacha oshganda reaksiyaning Gibbs energiyasi 194 dan 166 kJ/mol gacha kamayadi, muvozanat konstantasi esa taxminan besh tartibga ortadi. Shunga qaramay, toza bug'ning o'zidagi kislorod bosimi 10^{-4} atm dan oshmaydi, ya'ni membranasiz parchalanish darajasi 0,01 % dan kichik.



Rasm. Suv bug'ining maksimal konversiyasini haroratga va permeat tomonidagi kislorod bosimi p''_{O_2} ga bog'liqligi.

Jadval. Suv bug'ining maksimal konversiyasi X_{max} , %

p''_{O_2} , atm	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
10^{-4} (inert gaz)	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
10^{-10} (vakuum, H_2)	0,007	0,07	0,53	2,9
10^{-16} (qaytaruvchi gaz)	6,3	41,8	84,2	96,7
10^{-20}	87,0	98,6	99,8	~100

Natijalar permeat tomonni inert gaz bilan puflash vodorod olish uchun samarasiz ekanligini ko'rsatadi: 1000 °C da ham konversiya 0,001 % dan oshmaydi. Vakuum yoki vodorod bilan puflash (10^{-10} atm) konversiyani 1000–1100 °C da bir necha foizgacha oshiradi, bu esa amaliy qurilma uchun yetarli emas. Sezilarli konversiya (40–85 %) faqat permeat tomonda kislorod bosimi 10^{-16} atm va undan past bo'lganda erishiladi. Bunday sharoit permeat tomonda metanning parsial oksidlanishi hisobiga yaratilishi mumkin; bu holda ta'minot tomonida vodorod, permeat tomonida esa sintez-gaz ($CO + 2H_2$) bir vaqtda olinadi [6].



Haroratning ta'siri ham muhim: 900 °C dan 1000 °C gacha qizdirish $p''_{O_2} = 10^{-16}$ atm da chegaraviy konversiyani ikki baravar (42 % dan 84 % gacha) oshiradi. Shuning uchun quyosh konsentratori membranani kamida 900 °C gacha bir tekis qizdirishi kerak. Past kislorod bosimi esa membrana materialiga qo'shimcha talab qo'yadi: kobalt saqllovchi perovskitlar bunday qaytaruvchi muhitda parchalanishi mumkin, shuning uchun kobaltsiz yoki ikki fazali tarkiblar afzal [3, 7].

Xulosa. 1) Toza suv bug'ining 700–1200 °C da termik parchalanishi amalda kechmaydi ($X < 0,01$ %). 2) Kislorod o'tkazuvchi membrana konversiyani faqat permeat tomonida kislorod bosimi 10^{-16} atm va undan past bo'lganda sezilarli darajaga (40–85 %) chiqaradi; inert gaz bilan puflash samarasiz. 3) Quyosh energiyasi bilan ishlaydigan membranali reaktor uchun 900–1000 °C harorat, qaytaruvchi permeat muhiti va past kislorod bosimida barqaror membrana materiali zarur.

Adabiyotlar

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2021-yil 9-apreldagi «O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi va vodorod energetikasini rivojlantirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi PQ-5063-son qarori.
2. Balachandran U., Lee T.H., Wang S., Dorris S.E. Use of mixed conducting membranes to produce hydrogen by water dissociation // Int. J. Hydrogen Energy. – 2004. – Vol. 29, № 3. – P. 291–296.
3. Wu X.-Y., Ghoniem A.F. Mixed ionic-electronic conducting (MIEC) membranes for thermochemical reduction of CO₂: A review // Prog. Energy Combust. Sci. – 2019. – Vol. 74. – P. 1–30.
4. Chase M.W. NIST-JANAF Thermochemical Tables. 4th ed. // J. Phys. Chem. Ref. Data. Monograph 9. – 1998. – 1951 p.
5. Goodwin D.G., Speth R.L., Moffat H.K., Weber B.W. Cantera: An object-oriented software toolkit for chemical kinetics, thermodynamics, and transport processes. Version 3. – 2023. – URL: <https://www.cantera.org>.



6. Jiang H., Wang H., Werth S., Schiestel T., Caro J. Simultaneous production of hydrogen and synthesis gas by combining water splitting with partial oxidation of methane in a hollow-fiber membrane reactor // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2008. – Vol. 47, № 48. – P. 9341–9344.
7. Sunarso J., Baumann S., Serra J.M., Meulenberg W.A., Liu S., Lin Y.S., Diniz da Costa J.C. Mixed ionic–electronic conducting (MIEC) ceramic-based membranes for oxygen separation // *J. Membr. Sci.* – 2008. – Vol. 320, № 1–2. – P. 13–41.