

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Դ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Է.Ա. ԵՂՈՅԱՆ

ՋՐԱԾՆԻ ՊԱՍՍԻՎ ԱՎՏՈԿԱՍԱԼԻՏԻԿ ՌԵԿՈՄԲԻՆԱՏՈՐՆԵՐԻ ՆԵՐԴՐՄԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԸ ԱՏՈՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՑԱՆՆԵՐՈՒՄ

Քննարկվում են խնդիրներ՝ կապված ԱԷԿ-ներում ծանր վթարների դեպքում ջրածնային անվտանգության ապահովման նպատակով ջրածնի պասսիվ ավտոկատալիտիկ ռեկոմբինատորների (ՋՊԱՌ) ներդրման հետ: Կատարվել է համեմատական վերլուծություն, որով հաստատվեց, որ փոքր նախագծային ճնշմամբ աշխատող էներգաբլոկների պարագայում ՋՊԱՌ-ի կիրառումը կարող է պայմանավորված լինել որոշակի ռիսկով՝ կապված միջավայրի իներտ կազմի ապահովման բարդությունների հետ:

Առանցքային բառեր. ԱԷԿ, ՋՋԷՌ-440, ծանր վթար, ջրածնային վտանգ, ջրածնային վտանգի մեղմում, ջրածնի պասսիվ ավտոկատալիտիկ ռեկոմբինատոր:

Ներածություն: ԱԷԿ-ներում հնարավոր ծանր վթարի դեպքում ջրածնային անվտանգության ապահովման համակարգերի բացակայությունը կարող է հանգեցնել դեպի շրջակա միջավայր ռադիոակտիվ արտանետումների ճանապարհին վերջին պատնեշի՝ ռեակտորային շինության ամբողջականության կորստին, որի պահպանումը ծանր վթարի կառավարման գերակա խնդիրներից մեկն է: Ծանր վթարի կառավարման համատեքստում կարևորագույն խնդիր է ջրածնային վտանգի մեղմման ռազմավարությունների արդյունավետ իրագործումը, ինչը շահագործվող բազմաթիվ ԱԷԿ-ներում, մասնավորապես՝ ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբլոկում, դեռ ամբողջությամբ լուծված չէ և շարունակում է պահպանել իր արդիականությունը:

Շատ ԱԷԿ-ներում (հատկապես ջրա-ջրային տեսակի ռեակտորով), հնարավոր ծանր վթարների դեպքում, որպես ջրածնային վտանգի մեղմման հիմնական ռազմավարություն, դիտարկվում են, իսկ որոշներում էլ արդեն կիրառվում են ջրածնի պասսիվ ավտոկատալիտիկ ռեկոմբինատորների (ՋՊԱՌ) համակարգեր:

Ավտոկատալիտիկ ռեկոմբինատորներն ամբողջովին պասսիվ սարքավորումներ են և ունեն մի շարք դրական հատկանիշներ: Դրանց աշխատանքը մեկնարկում է միջավայրում ջրածնի կոնցենտրացիայի որոշակի արժեքին հասնելուն պես, դրանք չունեն շարժական մասեր և չեն պահանջում արտաքին էներգիայի առկայություն [1]: ՋՊԱՌ-ի աշխատանքը հիմնված է կատալիտիկ թիթեղների մակերեսին ջրածնի և թթվածնի ռեկոմբինացիայի էկզոթերմիկ ռեակցիայի վրա: Ռեկոմբինատորներն ապահովում են ջրածնի դանդաղ այրում (առանց

բոցի) և չեն հանգեցնում միջավայրի ջերմաստիճանի կամ ճնշման թռիչքաձև աճին: Ռեկոմբինացիայի մեկնարկի համար անհրաժեշտ ջրածնի նվազագույն ծավալային կոնցենտրացիան սովորաբար կազմում է 1...2%, որը բավականին ցածր է վերջինիս այրման և դետոնացիայի նվազագույն կոնցենտրացիոն սահմաններից [2]: Նշված բնութագրերը որոշ վերապահումներով կարելի է վերագրել ՋՊԱՌ-ի դրական հատկանիշներին, սակայն գոյություն ունեն որոշ բացասական առանձնահատկություններ ևս, որոնք կարող են սահմանափակել դրանց կիրառումը: Մասնավորապես, ՋՊԱՌ-ի համակարգերը կարող են ապահովել ջրածնի հեռացման դանդաղ դինամիկա (մի քանի գրամ վայրկյանում)՝ համեմատած առաջացման տիպիկ արագությունների հետ [3]: Բացի այդ, հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ՋՊԱՌ-ի թիթեղների ջերմաստիճանը ինտենսիվ ռեկոմբինացիայի արդյունքում կարող է զգալիորեն բարձրանալ, գերազանցելով ջրածնի ինքնաբռնկման ջերմաստիճանը: Համաձայն [4]-ում ներկայացված հետազոտության արդյունքների՝ ջրածնի 8% ծավալային կոնցենտրացիայի դեպքում կատալիտիկ թիթեղների ջերմաստիճանը հասնում է 833 Կ, որը գերազանցում է ջրածնի ինքնաբռնկման ջերմաստիճանը: Հաշվի առնելով, որ ռեկոմբինատորները պասսիվ սարքավորումներ են, կատալիտիկ թիթեղների ջերմաստիճանի անմիջական կարգավորում գործնականում հնարավոր չէ իրականացնել, հետևաբար, ՋՊԱՌ-ը, հանդիսանալով ջրածնային վտանգի մեղմման հիմնական միջոցներից մեկը, որոշակի պայմաններում ինքնին վերածվում է ջրածնի բռնկման աղբյուրի: Վերոնշյալ խնդրից խուսափելու համար հարկավոր է ապահովել միջավայրի իներտ կազմ, որը կարելի է իրականացնել ջրային գոլորշու բարձր կոնցենտրացիայի (55% և ավելի) ապահովման եղանակով:

Ջրածնային խնդրի լուծումը պահանջում է կոնկրետ էներգաբյուրի նախագծի և վթարային սցենարների խոր և համակողմանի վերլուծություն, և որոշ դեպքերում էլ՝ այլընտրանքային մոտեցումների մշակում: Այդ առումով, ջրածնային անվտանգության տեսանկյունից, ՋՋԷՌ-440 ռեակտորով առաջին սերնդի էներգաբյուրկները (ինչպիսին է նաև ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբյուրը) ունեն շատ կարևոր նախագծային առանձնահատկություններ, ինչը խիստ բարդացնում է ՋՊԱՌ-ի կիրառումը: Հերմետիկ գոտու նախագծային ճնշումը համեմատաբար ցածր է, և ռեակտորային հերմետիկ շինությունը ճնշման բարձրացումից պաշտպանելու համար տեղադրված են պաշտպանիչ փականներ՝ դեպի շրջակա միջավայր արտանետմամբ: Պայմանավորված այս հանգամանքով, հնարավոր չէ արդյունավետ կերպով իրականացնել միջավայրի իներտ կազմի ապահովում ջրային գոլորշով, որի դեպքում հարկավոր է ապահովել ջրային գոլորշու բարձր կոնցենտրացիա և, հետևաբար, բարձր ճնշում: Բացի այդ, ՋՊԱՌ-ի աշխատանքը վերոնշյալ էներգաբյուրկների հերմետիկ շինության փոքր ծավալի և փոքր նախագծային

Ճնշման պայմաններում կարող է զգալիորեն մեծացնել միջավայրի ջերմաստիճանը և հանգեցնել արտանետման փականների ավելի հաճախակի բացվելուն, որով էլ պայմանավորված՝ կմեծանան ռադիոակտիվ արտանետումները դեպի շրջակա միջավայր (եթե չեն ձեռնարկվում ջերմության հեռացման ապահովմանն ուղղված համապատասխան միջոցառումներ):

Ժամանակակից էներգաբլոկներում, որոնք ունեն մեծ հերմետիկ շինություն (օրինակ՝ ՋՋԷՌ - 1000 ռեակտորով կամ PWR ռեակտորով արևմտյան նախագծի էներգաբլոկները) և նախատեսված են համեմատաբար բարձր նախագծային ճնշման պայմաններում աշխատելու համար (400...600 կՊա), ջրածնային վտանգի մեղմման հիմնական ռազմավարությունը ՋՊԱՌ-ի համակարգի ներդրումն է: Միջավայրի անվտանգ կազմի պահպանումը հնարավոր է ջրային գոլորշու բարձր կոնցենտրացիայի ապահովման եղանակով: Ի տարբերություն վերոնշյալ տիպի էներգաբլոկների՝ ՋՋԷՌ-440 ռեակտորով էներգաբլոկների հերմետիկ գոտում առավելագույն բացարձակ ճնշումը, որը հնարավոր է պահպանել, զգալիորեն ցածր է: Մասնավորապես՝ ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբլոկի դեպքում, հաշվի առնելով արտանետման փականների ավտոմատ բացման դրվածքային ճնշման մեծությունը, որը մոտ 73,5 կՊա է, և մթնոլորտային ճնշումը, որը մոտ 90 կՊա է, հերմետիկ գոտում առավելագույն բացարձակ ճնշումը, որը կարելի է պահպանել, մոտավորապես կազմում է 160 կՊա:

ՋՋԷՌ-440 ռեակտորով էներգաբլոկի հերմետիկ շինությունում ջրային գոլորշու բարձր կոնցենտրացիայի ապահովման համար անհրաժեշտ է, որ օդի պարունակությունը լինի սկզբնականի համեմատ զգալիորեն ցածր (հերմետիկ շինությունից օդի արտանետման բարձր աստիճան): ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբլոկի հերմետիկ շինության հարմարադասման վերլուծությունները և հնարավոր ծանր վթարային սցենարների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ հնարավոր են օդի փոքր արտանետումներ սցենարներ (մինչև վթարի ծանր փուլի սկսվելը): Այս հանգամանքը խիստ սահմանափակում է ջրային գոլորշու կոնցենտրացիայի բարձրացման հնարավորությունը, այսինքն, որոշ սցենարներում սպասվում են գոլորշու բավականին ցածր կոնցենտրացիաներ, որոնց դեպքում ՋՊԱՌ-ի առկայությունը կարող է խիստ ռիսկային լինել, կապված դրանց գերտաքացման և դրանով պայմանավորված՝ ջրածնի ինքնաբռնկման վտանգի մեծացման հետ: Վերոնշյալ էներգաբլոկներում ՋՊԱՌ-ի ներդրման խնդիրը բարդանում է նաև՝ կապված էներգաբլոկի փոքր ռեկատորային շինության, ինչպես նաև ռեակտորում ցիրկոնիումի համեմատաբար մեծ զանգվածի հետ, ինչի հետևանքով ծանր վթարի դեպքում հերմետիկ շինությունում ջրածնի, ինչպես նաև ջրային գոլորշու և մյուս կոմպոնենտների կոնցենտրացիաների փոփոխությունը կա-

րող է ընթանալ համեմատաբար արագ՝ ուղեկցվելով ջրածնի ավելի բարձր պիկային կոնցենտրացիաների ձևավորմամբ:

Համադրելով և հաշվի առնելով ներկայացված խնդիրները, ինչպես նաև նկատի առնելով դրանց արդիականությունը ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբլոկի համար, սույն աշխատանքի շրջանակներում խնդիր է դրվել՝ անալիտիկ եղանակով գնահատելու ժամանակակից էներգաբլոկներում և ՀԱԷԿ-ի գործող էներգաբլոկում ՋՊԱՌ-ի սպասվող արտադրողականության տիրույթները, ինչպես նաև պարզելու դրա վրա անուղղակի ազդման եղանակները:

Հետազոտության արդյունքները: Հայտնի է, որ ՋՊԱՌ-ի տարբեր մոդելները հիմնականում միմյանցից տարբերվում են կատալիտիկ թիթեղների քանակությամբ և չափերով, սակայն դրանք բոլորն էլ ունեն աշխատանքի միևնույն սկզբունքը, ուստի կարելի է սպասել, որ միջավայրի կազմի փոփոխության հետևանքով դրանց արտադրողականության փոփոխությունը որոշակի մոտավորությամբ կենթարկվի միևնույն օրինաչափությանը: Այս առանձնահատկությունը ճշտելու համար հաշվարկային եղանակով դիտարկվել են առավել մեծ տարածում ունեցող 3 տարբեր մակնիշների ռեկոմբինատորներ (արտադրողներ՝ AECL, AREVA, NIS), որոնց արտադրողականության որոշման համար օգտագործված մաթեմատիկական կախվածությունները ներկայացված են ստորև [5].

$$\dot{r}_{H2} = (0.15196 \cdot C_{H2} + 0.0126 \cdot C_{H2}^2) \cdot (198/T)^{1.10974} \cdot P^{0.57769} [lq/d], \quad (1)$$

$$\dot{r}_{H2} = \eta \cdot \min(C_{H2}, 2 \cdot C_{O2}, 8) \cdot (A \cdot p + B) \cdot \tanh(X_{H2} - 0.5) [q/l], \quad (2)$$

$$\dot{r}_{H2} = 1.134 \cdot C_{H2}^{1.307} \cdot (P/RT) [q/l], \quad (3)$$

որտեղ $\dot{r}_{H2} [lq/d]$ –ը ջրածնի ռեկոմբինացիայի զանգվածային ինտենսիվությունն է, P -ն՝ միջավայրի ճնշումը $[Pa]$, T -ն՝ միջավայրի բացարձակ ջերաստիճանը $[K]$, R -ն՝ ունիվերսալ գազային հաստատունը, η -ն՝ ռեկոմբինատորի արդյունավետությունը տվյալ պայմաններում, C_{H2} - $[\%]$ -ը՝ ջրածնի ծավալային կոնցենտրացիան ռեկոմբինատորի մուտքում, C_{O2} - $[\%]$ -ը՝ թթվածնի ծավալային կոնցենտրացիան ռեկոմբինատորի մուտքում, A -ն և B -ն՝ փորձնականորեն ստացված հաստատուններ:

Համեմատական վերլուծություն իրականացնելու համար սահմանվել է միջավայրի կազմերի որակապես տարբերվող համախումբ: Միջավայրի կազմը սահմանելիս հաշվի է առնվել իրականում սպասվող պարամետրերի տիրույթը՝ ելնելով հետևյալից.

• Օդի քանակությունը համապատասխանում է նորմալ շահագործման պայմանների վիճակին (ծանր վթարի սկզբնական փուլ, երբ թթվածնի քանակությունը դեռ էականորեն չի նվազել ռեկոմբինացիայի արդյունքում):

• Ջրային գոլորշու քանակությունը փոփոխվում է լայն տիրույթում՝ ապահովելով հերմետիկ սրահներում ճնշման մեծության փոփոխություն մթնոլորտայինից մինչ առավելագույն սպասվող արժեքը՝ 600 կՊա:

• Ջրածնի քանակության համար ընտրվել են 2 արժեքներ, որոնց ցածր ջերմաստիճանների տիրույթում (323 Գ) համապատասխանում են պարզիալ ճնշման 4 և 8 կՊա մեծությունները: Ջրածնի կոնցենտրացիայի հետագոտված տիրույթը սահմանափակվել է 8% մեծությամբ, ինչը կապված է ռեկոմբինատորների կիրառման նպատակային չափորոշիչների հետ (քննարկվում է ստորև):

ՉՊԱՌ-ի համակարգի ներդրման հիմնական նպատակն է սահմանափակել ջրածնի կոնցենտրացիան այնպիսի մեծությամբ, որի պայմաններում գազային միջավայրի բռնկումը չի հանգեցնի որևէ բացասական հետևանքի հերմետիկ շինության ամբողջականության տեսանկյունից: Յուրաքանչյուր էներգաբլոկի կամ հերմետիկ շինության տեսակի համար կոնցենտրացիայի այդ մեծությունը որոշվում է՝ շինության ամրության պաշարի վրա հիմնվելով: Սակայն, հաշվի առնելով ջրածնի այրման պրոցեսի բնութագրերը կոնցենտրացիայի տարբեր տիրույթներում, կարելի է սահմանել կոնցենտրացիայի թույլատրելի սահման, որը կիրառելի կլինի հերմետիկ շինության գրեթե բոլոր տեսակների դեպքում:

Փորձականորեն ցույց է տրվել, որ ջրածնի ցածր կոնցենտրացիաների դեպքում այրումն ընթանում է ասիմետրիկ կերպով [6].

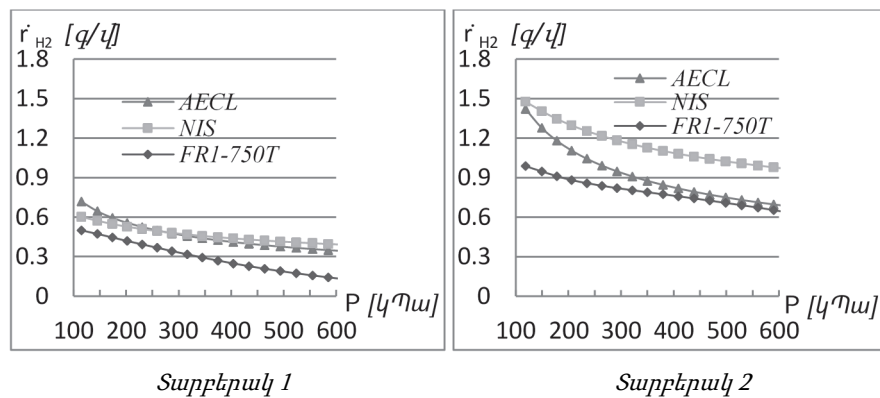
• ջրածնի 4,1...6% ծավալային կոնցենտրացիայի դեպքում բոցը հիմնականում տարածվում է դեպի վերև,

• ջրածնի 6...9% ծավալային կոնցենտրացիայի դեպքում բոցը տարածվում է ինչպես վերև, այնպես էլ հորիզոնական ուղղությամբ,

• ջրածնի 9% և ավելի կոնցենտրացիայի դեպքում բոցը տարածվում է բոլոր ուղղություններով, սակայն դեպի վերև տարածման արագությունը կարող է մի փոքր մեծ լինել: Այս ասիմետրիան վերանում է միջավայրի բարձր տուրբուլենտության դեպքում:

Մյուս կողմից՝ փորձերը ցույց են տվել, որ ջրածնի 4...8% ծավալային կոնցենտրացիաների դեպքում ջրածինը ամբողջությամբ չի այրվում, իսկ բոցի տարածման արագությունները համեմատաբար փոքր են: Այրման խորությունը մեծանում է ջրածնի կոնցենտրացիայի մեծացմանը զուգընթաց և հասնում է 100%, երբ ջրածնի կոնցենտրացիան կազմում է 8...10% [6]: Հետևաբար, սպասվում է, որ մինչ 8% ջրածնի կոնցենտրացիաների պայմաններում բռնկման հետևան-

քով տեղի ունեցող ճնշման աճը կլինի համեմատաբար փոքր և հերմետիկ շինության տեսակների մեծ մասի համար՝ ոչ վտանգավոր: Պարզ է դառնում, որ ջրածնի կոնցենտրացիան 8% մեծությամբ սահմանափակելը կարելի է առաջին մոտավորությամբ համարել ռեկոմբինատորների ներդրման նպատակային չափորոշիչ: Հաշվի առնելով նշվածը՝ տվյալ աշխատանքի շրջանակներում կատարված հաշվարկային գնահատումների ժամանակ դիտարկվել է ջրածնի կոնցենտրացիայի մինչ 8% տիրույթը: Նկ.1-ում ներկայացված են հաշվարկների արդյունքները՝ ջրածնի պարգիալ ճնշման 4 կՊա (տարբերակ 1) և 8 կՊա (տարբերակ 2) մեծությունների դեպքում:

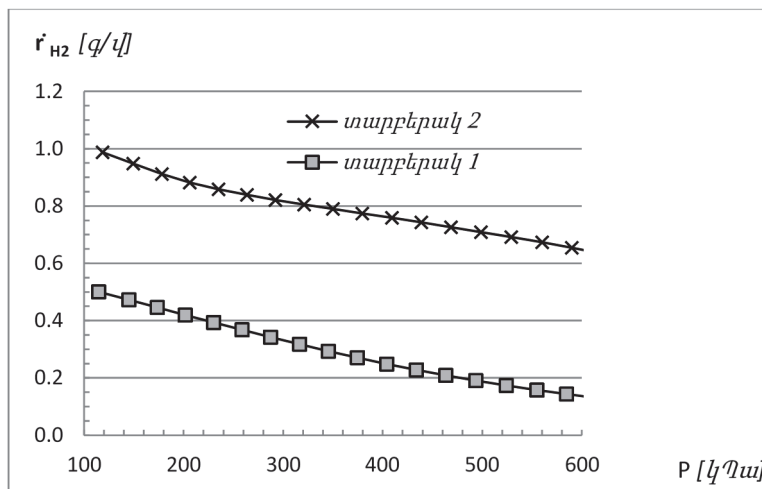


Նկ.1. Դիտարկված տեսակի ռեկոմբինատորների արտադրողականության կախվածությունը ճնշումից (ջրածնի պարունակության 2 տարբերակների դեպքում)

Իրականացված գնահատումների արդյունքները ցույց տվեցին, որ բոլոր 3 տեսակի ռեկոմբինատորների դեպքում, միջավայրի կազմի փոփոխությունից կախված, դրանց արտադրողականության փոփոխության օրինաչափությունը գրեթե միևնույնն է (արտադրողականության բացարձակ արժեքների տարբերությունը հիմնականում պայմանավորված է սարքերի չափերի և կատալիտիկ մակերևույթների մակերեսների տարբերությամբ): Դա կարելի է բացատրել այն հանգամանքով, որ անկախ ԶՊԱՌ-ի մակնիշից՝ դրանք ունեն աշխատանքի միևնույն սկզբունքը:

Նկ.1-ում բերված արդյունքների համեմատական վերլուծությունից պարզ է դառնում, որ դիտարկված մակնիշի ռեկոմբինատորների արտադրողականության փոփոխությունը, շոգեզագային խառնուրդի ճնշման յուրաքանչյուր 100 կՊա փոփոխման հետևանքով, կազմում է շուրջ 20% : Նշված բնութագիրը էականորեն շեղված է միայն AECL-ի մոդելի ռեկոմբինատորի դեպքում՝ ջրածնի համեմատաբար բարձր պարունակության դեպքում և ճնշման 100...200 կՊա տիրույթում, կազմելով մոտ 30%: Այսինքն, գոյություն ունեցող նվազեցումը կարող է հանգեցնել ռեկոմբինացիայի ինտենսիվության զգալի աճին:

Ինչպես արդեն հիմնավորվեց, միջավայրի կազմի և ճնշման փոփոխությունը միևնույն կերպ է ազդում տարբեր մակնիշի ռեկոմբինատորների արտադրողականության վրա: Այս հանգամանքը հաշվի առնելով, հետագա բոլոր հաշվարկային հետազոտություններն իրականացվել են FR1-750T մակնիշի ռեկոմբինատորի բնութագրերի դիտարկմամբ: Նկ.2-ում ներկայացված է FR1-750T մակնիշի ռեկոմբինատորի արտադրողականության կախվածությունը ճնշումից դիտարկվող հաշվարկային տարբերակների դեպքում:



Նկ. 2. Ջրածնի ռեկոմբինացիայի ինտենսիվության փոփոխությունը՝ կախված ճնշումից, դիտարկված հաշվարկային տարբերակների դեպքում

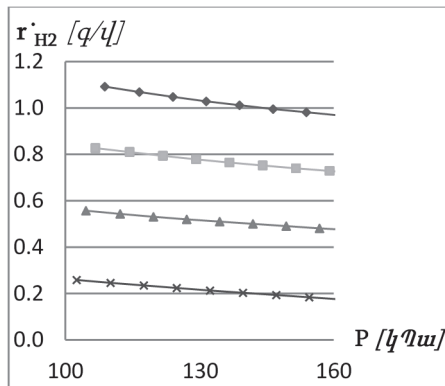
Նկ.2-ում ներկայացված արդյունքներից ակնհայտ է դառնում, որ դիտարկված FR1-750T մոդելի ռեկոմբինատորի արտադրողականությունը առավելապես զգայուն է ջրածնի սկզբնական կոնցենտրացիայի նկատմամբ և էականորեն նվազում է ջրային գոլորշու քանակության ավելացմանը զուգահեռ: Պարզ է դառնում, որ միջավայրում ջրային գոլորշու քանակության նվազումը կարող է նպաստել ռեկոմբինատորի արտադրողականության զգալի մեծացմանը (կապված ջրային գոլորշու հարաբերական կոնցենտրացիայի նվազման և ջրածնի ու թթվածնի հարաբերական կոնցենտրացիաների աճի հետ): Այս եղանակով նույնիսկ կարելի է անուղղակի ձևով ազդել ՋՊԱՌ-ի արտադրողականության վրա:

Փոքր նախագծային ճնշմամբ հերմետիկ գոտիով էներգաբլոկներն ունեն մի շարք էական նախագծային առանձնահատկություններ, որոնք պետք է հաշվի առնել ՋՊԱՌ-ի ներդրումից առաջ: Կոնսերվատիվ գնահատումների համաձայն՝ միջավայրի իներտ կազմի ապահովման համար (ջրային գոլորշու կոնցենտրացիայի առնվազն 55%) հերմետիկ գոտում անհրաժեշտ կլինի ապահովել մոտ

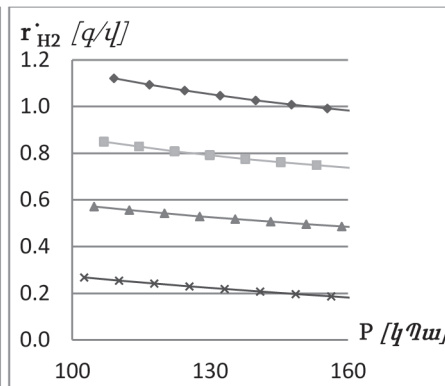
290 կՊա և ավելի բացարձակ ճնշում (օդի չնվազած քանակի դեպքում): Ժամանակակից էներգաբլոկների ճնշող մեծամասնության դեպքում այս խնդիրը լուծելի է: Խնդիրը բարդանում է ՋՋԷՌ-440 ռեակտորով էներգաբլոկների դեպքում, երբ հերմետիկ շինությունում նման բարձր ճնշման ապահովումը գործնականում հնարավոր չէ, քանի որ վերջինս սահմանափակվում է արտանետման փականների բացման դրվածքային ճնշմամբ: Ասվածից կարելի է եզրակացնել, որ նշված էներգաբլոկների դեպքում ՋՊԱՌ-ի համակարգի ներդրումը ամեն դեպքում կապված կլինի որոշակի ռիսկի հետ. ոչ բոլոր ծանր վթարների սցենարների ընթացքում հնարավոր կլինի պահպանել միջավայրի իներտ կազմ: Հետևաբար՝ որոշակի պայմանների դեպքում վերջիններս կարող են վերածվել ջրածնի բռնկման աղբյուրի:

Ինչպես արդեն նշվեց, փոքր հերմետիկ շինությամբ և փոքր նախագծային ճնշմամբ առաջին սերնդի էներգաբլոկներում, ինչպիսիք են ՋՋԷՌ-440 տիպի ռեակտորներով էներգաբլոկները, ՋՊԱՌ-ի աշխատանքային պայմանները էականորեն տարբեր են, և հետևաբար՝ արդյունավետությանը վերաբերող ցուցանիշները, որոնք պետք է սպասել ճնշման բարձր արժեքների պայմաններում, այս դեպքում, հավանաբար, կարող են տարբերվել: Այդ հանգամանքը խիստ կարևոր է ինչպես դրանց օպտիմալ թվաքանակի ընտրության, այնպես էլ դրանց անվտանգ աշխատանքային պարամետրերի տիրույթների սահմանման տեսանկյունից:

Նկ.3-ում ներկայացված է AREVA կազմակերպության կողմից արտադրվող FR1-750T տիպի ռեկոմբինատորի արտադրողականության փոփոխությունը միջավայրի այնպիսի պայմանների դեպքում, որոնք առավել բնութագրական են վերոհիշյալ էներգաբլոկների համար: Առավել բնութագրական արդյունքների ստացման նպատակով՝ հաշվարկները կատարվել են միջավայրի սկզբնական 2 տարբեր վիճակներին համապատասխանող տարբերակների համար (միջավայրի սկզբնական պայմաններն ընտրվել են օդի սկզբնական քանակությունից տարբեր սկզբնական քանակի՝ 20%, և 60% արժեքների դեպքում), իսկ ջրածնի սկզբնական քանակություններն ընդունվել են համապատասխանաբար 2 կՊա, 4 կՊա, 6 կՊա և 8 կՊա: Հաշվարկային տարբերակներում, կախված ջրային գոլորշու պարօցիալ ճնշումից, փոփոխվել են ինչպես միջավայրի կազմը, այնպես էլ ջերմաստիճանը:



Տարբերակ 1



Տարբերակ 2

Նկ.3. Ռեկոմբինացիայի ինտենսիվության կախվածությունը ճնշումից միջավայրի սկզբնական տարրեր պայմանների դեպքում

Համեմատելով նկ.3-ում ներկայացված արդյունքները, ակնհայտ է դառնում, որ դիտարկված հաշվարկային դեպքերում օդի սկզբնական քանակության փոփոխությունը էական ազդեցություն չունի ռեկոմբինատորի սպասվող արտադրողականության վրա: Համադրելով նկ.2-ում և 3-ում բերված արդյունքները, պարզ է դառնում, որ ինչպես ժամանակակից էներգաբլոկներում, այնպես էլ առաջին սերնդի էներգաբլոկներում ռեկոմբինատորների սպասվող արտադրողականության արժեքները (ճնշման 100...160 կՊա միջակայքում) գտնվում են գրեթե միևնույն տիրույթներում:

Օդի սկզբնական ցածր պարունակությամբ դեպքերը (նկ.3 գ, դ), որոնք առանձնանում են գոլորշու բարձր և օդի ցածր պարունակությամբ, առավելապես բնութագրական կարող են լինել այն պայմաններում, երբ տևական ռեկոմբինացիայի հետևանքով թթվածնի քանակությունը զգալիորեն նվազում է:

Ընդհանրացնելով հետազոտության արդյունքները՝ կարելի է կատարել հետևյալ հիմնական եզրակացությունները.

- Տարբեր մոդելների ՋՊԱՌ-ների արտադրողականության փոփոխության անալիտիկ ուսումնասիրության արդյունքների վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ջրային գոլորշու քանակի փոփոխությունը խառնուրդում միևնույն ձևով է անդրադառնում վերջիններիս արտադրողականության վրա:

- Նախագծային փոքր ճնշմամբ հերմետիկ գոտիով էներգաբլոկներում ՋՊԱՌ-ի ներդրման հետ կապված հիմնական սահմանափակող գործոնը պայմանավորված է դրանց անվտանգ աշխատանքային պարամետրերի ապահովման խնդրով:

• ԶՊԱՌ-ի արտադրողականության վրա անուղղակի ազդման գործնականորեն իրագործելի եղանակ կարող է լինել գոլորշու կոնցենտրացիայի կարգավորումը, որը կարելի է իրագործել սպրինկլերային համակարգի աշխատանքի կառավարմամբ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. CFD Analysis of Passive Autocatalytic Recombiner / **B. Gera, P. K. Sharma, et al** // Science and Technology of Nuclear Installations.- 2011, Article ID 862812, 9 doi:10.1155/2011/862812.
2. Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety/ **W. Breitung, C. Chan, et al** NEA/CSNI/R(2000)7.
3. Final Results of the Hydrogen Igniter Experimental Program-NUREG/CR-2486 UCRL-53036 R-4.-February, 1982.
4. IAEA, “Mitigation of hydrogen hazards in water cooled power reactors”.- IAEA-TECDOC-1196-Vienna, 2001.
5. **Stephan Kelm, Wilfried Jahn, Ernst-Arndt Reinecke**. Operational behaviour of catalytic recombiners—experimental results and modelling approaches.- <http://www.oecd-neo.org/nsd/csni/cfd/workshops/XCFD4NRS/technical-sessions/co/CO-06.pdf>
6. Mitigation of Hydrogen Hazards in Severe Accidents in Nuclear Power Plants - IAEA-TECDOC-1661.-Vienna, 2011.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 16.01.2018:

В.Г. ПЕТРОСЯН, А.Д. ГРИГОРЯН, Е.А. ЕГОЯН

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ПАССИВНЫХ АВТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕКОМБИНАТОРОВ ВОДОРОДА НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Обсуждаются проблемы, связанные с внедрением пассивных автокаталитических рекомбинаторов водорода (ПАРВ) в целях обеспечения водородной безопасности на атомных электростанциях (АЭС) в случае тяжелых аварий. Проведен сравнительный анализ, который подтвердил, что в случае энергоблоков старшего поколения с малым расчетным давлением применение ПАРВ может быть связано с определенным риском в зависимости от сложности обеспечения инертной среды. Предложен косвенный способ повышения производительности ПАРВ.

Ключевые слова: атомная электростанция, ВВЭР-440, тяжелая авария, водородный риск, смягчение водородного риска, пассивные автокаталитические рекомбинаторы водорода.

V.G. PETROSYAN, A.D. GRIGORYAN, E.A. YEGHOYAN

**PROBLEMS OF IMPLEMENTING PASSIVE AUTOCATALYTIC HYDROGEN
RECOMBINERS AT NUCLEAR POWER PLANTS**

The problems associated with the implementation of passive autocatalytic hydrogen recombiners (PARH) in order to ensure hydrogen safety at the NPP at severe accidents are discussed. A comparative analysis is carried out which confirms that in case of older generation power units with a small design pressure, implementation of PARH may be associated with a certain risk, depending on the complexity of providing an inert environment. An indirect way to increase the performance of PARH is proposed.

Keywords: NPP, WWER-440, severe accident, hydrogen risk, hydrogen risk mitigation, hydrogen passive autocatalytic recombiner.