

Ա.Ո. ԶԱՌԱՆՑՅԱՆ, Գ.Գ. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ

**ՋՐԱՋՐԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐԻ ԱՌԱՋԻՆ
ԿՈՆՏՈՒՐԻ ՋՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ՝
ՆՈՐ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐԻ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՈՎ**

Ջրաջրային էներգետիկական ռեակտորների առաջին կոնստրուկտիվ ջրամշակման համակարգերում առաջարկվել են նոր լուծումներ, որոնց նպատակն է նվազեցնել առաջին կոնստրուկտիվ առաջացող ռադիոնուկլիդների և կոռոզիոն արգասիքների քանակը, իրականացնել ռեակտիվության և pH-ի կարգավորման համար օգտագործվող բորաթթվի և հիմքերի ռեգեներացիան բորաթթու և հիմքեր պարունակող ռադիոակտիվ ջրերից, ինչպես նաև միջուկային տեղեկայանքի աշխատանքի արդյունքում անխուսափելիորեն առաջացող հեղուկ ռադիոակտիվ թափոնների մշակումը՝ արդյունավետ կերպով ապահովելով նրանցից երկարակյաց ռադիոակտիվ իզոտոպների կորզումը (պահպանման համար էականորեն փոքրացնելով ռադիոակտիվ թափոնների ծավալները):

Առանցքային բառեր: ջերմատար, առաջին կոնստրուկտ, ռեակտոր, ջրամշակման համակարգեր, ռադիոակտիվ թափոններ:

Ի հայտ են բերվել տնտեսական, էկոլոգիական, տեխնիկական այն հիմնահարցերը, որոնք առաջանում են արևմտյան (PWR) և ռուսական (ԹԹՆՀ) ջրաջրային էներգետիկական ռեակտորների առաջին կոնստրուկտի ջերմատարի pH-ի կարգավորման համար կիրառվող ջրաքիմիական ռեժիմների ընտրության ժամանակ: PWR-ների առաջին կոնստրուկտ ընդունված են լիթիումային ${}^7\text{LiOH}$, իսկ ռուսական ՋՋԷՌ-ներում՝ կալիում-ամոնիակային՝ $\text{KOH}+\text{NH}_4\text{OH}$ ջրաքիմիական ռեժիմները [1]:

Լիթիումային ջրաքիմիական ռեժիմն ունի հետևյալ առավելությունները.

- ռեակտորում ընթացող միջուկային ռեակցիաների արդյունքում ${}^7\text{Li}$ -ը գրեթե չի հանգեցնում ռադիոակտիվ արգասիքների առաջացմանը,
- քիմիական բարձր ակտիվության շնորհիվ ջերմատարում լիթիումի կոնցենտրացիան KOH -ի համեմատությամբ կարող է լինել մի քանի անգամ ավելի փոքր,
- լիթիումի օգտագործումն առավել բարենպաստ է ռեակտորի կոնստրուկցիոն նյութեր հանդիսացող աուստենիտային և պեռլիտային դասի պողպատների համար՝ կոռոզիոն պրոցեսների ինտենսիվության տեսանկյունից,
- լիթիում անընդհատ առաջանում է՝ ռեակտորում ընթացող հետևյալ միջուկային ռեակցիայի շնորհիվ.



Այս ջրաքիմիական ռեժիմի թերություններն են.

- o լիթիումի օգտագործման դեպքում կոռոզիոն պրոցեսներն ավելի արագ են ընթանում ցիրկոնիումի համաձուլվածքների վրա,
- o ջերմատարն անընդհատ անհրաժեշտ է սնել զազային ջրածնով՝ ազատ թթվածինը կապելու նպատակով,

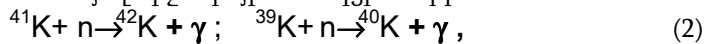
- լիթիումի բարձր արժեքը՝ 4500 ԱՄՆ դոլար/կգ:

Կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմն ունի հետևյալ առավելությունները.

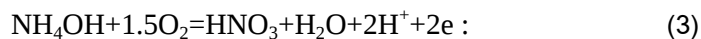
- կալիումի ցածր արժեք՝ 2 ԱՄՆ դոլար/կգ,
- անհրաժեշտություն չկա ջերմատարը սնել գազային ջրածնով. վերջինս առաջանում է ամոնիակի քայքայման արդյունքում,
- ջերմատարի ջերմաստիճանի իջեցման ժամանակ ամոնիակի էլեկտրոլիտիկ դիսոցման աստիճանի բարձրացումը զուգակցվում է ջերմատարի pH-ի արժեքի մեծացմամբ,
- կալիումն առավել բարենպաստ ազդեցություն է թողնում ցիրկոնիումի համաձուլվածքներից պատրաստված ռեակտորի ջերմանջատիչ էլեմենտների վրա,

Այս ջրաքիմիական ռեժիմի թերություններն են.

կալիումի օգտագործումն առաջին կոնտուրի ջերմատարում զգալիորեն ակտիվացնում է այն՝ ըստ հետևյալ միջուկային ռեակցիաների.



- կալիումի օգտագործումն առավել անբարենպաստ է ռեակտորի կոնստրուկցիոն նյութեր հանդիսացող առևտնետիտային և պեռլիտային դասի պողպատների համար՝ կոռոզիոն պրոցեսների ինտենսիվության տեսանկյունից, ցիրկոնիումի վրա 280...300° C պայմաններում ամոնիակի և թթվածնի համատեղ փոխազդեցության ժամանակ արագանում են կոռոզիոն պրոցեսները՝ ջերմանջատիչ էլեմենտների վրա առաջացնելով փխրուն շերտ, որի պատճառն ազոտական թթվի առաջացումն է և օքսիդիչ շերտի հետ վերջինիս հետևյալ փոխազդեցությունը՝



Ըստ կատարված ուսումնասիրության արդյունքների, կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմի հիմնական թերությունը ռեակտորում կալիումի զգալի ակտիվացումն է (2) միջուկային ռեակցիաների արդյունքում [2]: Մասնավորապես, Հայկական ԱԷԿ-ի առաջին կոնտուրի ջերմատարում գումարային $2 \cdot 10^7$ *Բկ/լ* ակտիվության $8 \cdot 10^6$ *Բկ/լ*-ը առաջացնում է ^{42}K իզոտոպը, մինչդեռ լիթիումի դեպքում այն ավելի քան հարյուր անգամ փոքր է: Սակայն այս ռեժիմը տնտեսական արդյունավետության տեսանկյունից ավելի շահավետ է: Հայկական ԱԷԿ-ի վառելիքի մեկ կամպանիայի ընթացքում օգտագործվում է մոտ 50...60 *կգ* KOH, որի գումարային արժեքը կազմում է 120 ԱՄՆ դոլար: Եթե KOH-ի փոխարեն օգտագործվի $^7\text{LiOH}$, ապա անհրաժեշտ մոտ 40 *կգ* լիթիումի հիդրօքսիդը կարժենա մոտ 180000 ԱՄՆ դոլար:

Լիթիումի օգտագործումն առավել բարենպաստ պայմաններ է ստեղծում ԱԷԿ-ի ինժեներատեխնիկական անձնակազմի անվտանգ աշխատանքի համար: Բացի դրանից, նույն պայմաններում $^7\text{LiOH}$ -ի ավելի փոքր կոնցետրացիա օգտագործելիս, փոքրանում է ջրամշակման համակարգերի իոնափոխանակիչ գտիչների խեղճերի ծախսը [3]: Ապագայում $^7\text{LiOH}$ -ի օգտագործումը կդառնա ավելի շահավետ, քանի որ, ըստ տնտեսական կանխատեսումների, ^7Li -ի արժեքը

մոտակա տարիներին զգալիորեն նվազելու է: Լիթիումային ջրաքիմիական ռեժիմի կիրառման դեպքում անհրաժեշտ ֆինանսական ներդրումների ծավալը, ինչպես նաև ծախսվող իոնափոխանակիչ խեժերի և առաջացող ռադիոակտիվ թափոնների քանակը փոքրացնելու համար առաջարկվում է կիրառել լիթիումի վերաշրջանառության համակարգեր: Մասնավորապես, դիտարկվել են արևմտյան PWR-ների ջերմատարի pH-ի կարգավորման համար օգտագործվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի հնարավոր վերաշրջանառության հետ կապված խնդիրները: Հաշվարկները ցույց են տվել, որ հատկապես կիսագազաթային ռեժիմում աշխատող արևմտյան PWR տիպի ռեակտորների ջրամշակման համակարգերում կարող է խնայվել ${}^7\text{LiOH}$ -ի մեծ քանակություն՝ ռեակտորի աշխատանքի տարբեր օպերացիաների իրականացման ժամանակ, եթե այն դրվի վերաշրջանառության մեջ [4]: Այս դեպքում կօգտագործվի ավելի փոքր քանակությամբ ${}^7\text{LiOH}$ և, որպես արդյունք, կնկատվի ջրամշակման համակարգերի գոծիչների իոնափոխանակիչ խեժերի ծախսի նվազում: Պետք է նշել, որ թե՛ ${}^7\text{LiOH}$ -ը և թե՛ իոնափոխանակիչ խեժերը շատ թանկ են, և LiOH -ի վերաշրջանառության շնորհիվ կարելի է ունենալ բավականին մեծ տնտեսական արդյունավետություն:

Առաջին կոնսուրում ${}^7\text{LiOH}$ -ի հաշվեկշիռը հետևյալն է.

1. քիմիական կարգավորման համակարգի կողմից ${}^7\text{LiOH}$ -ի ներմղում առաջին կոնսուր,
2. ռեակտորում Li -ի արտադրություն,
3. Li -ի կլանում Li/Cs իոնափոխանակիչ գոծիչով,
4. առաջին կոնսուրում առկա ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրացիան,
5. առաջին կոնսուրից ջերմատարի պահեստավորման համակարգ արտամղված ${}^7\text{LiOH}$:

Ջերմատարի մշակման համակարգում կատարելով անհրաժեշտ սխեմատիկ փոփոխություններ [4], կունենանք երկու տարողություն, որոնցից մեկը պարունակում է միայն H_3BO_3 -ի կոնցենտրատ, իսկ մյուսը՝ H_3BO_3 -ի և վերաշրջանառվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատ: H_3BO_3 -ի և վերաշրջանառվող ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատները կարող են օգտագործվել ռեակտորի աշխատանքի հետևյալ օպերացիաների իրականացման ժամանակ.

1. ջերմատարի բորացում մինչև վառելիքի վերաբեռնավորումը,
2. վառելիքի վերաբեռնավորումից հետո ռեակտորի գործարկում,
3. ռեակտորի հզորության փոփոխում,
4. իոնափոխանակիչ գոծիչների հազեցում ${}^7\text{LiOH}$ -ով (հազեցումը կատարվում է H_3BO_3 -ի և ${}^7\text{LiOH}$ -ի կոնցենտրատի բաքը և գոծիչները միացնող անկախ հանգույցով):

Առաջարկված լուծման հիմնական առավելություններն են.

- ${}^7\text{LiOH}$ -ի տնտեսում այն բոլոր դեպքերում, երբ պետք է առաջին կոնսուր ներմղել բորի բարձր կոնցենտրատ,
- իոնափոխանակիչ գոծիչների խեժերի ծախսի կրճատում (հաշվի առնելով, որ նրանց արժեքը կազմում է մի քանի տասնյակ հազար դոլար),
- վերաշրջանառության շնորհիվ ռադիոակտիվ թափոնների քանակի կրճատում:

Ըստ հետազոտության արդյունքների՝ Ֆրանսիական 1450 ՄՎտ հզորությամբ ԱԷԿ-ում վառելիքի յուրաքանչյուր կամպանիայի ընթացքում կարելի է խնայել մինչև 25 կգ ${}^7\text{LiOH}$, ընդ որում՝ իոնափոխանակիչ գոտիների խեղդերի ծախսը կփոքրանա մինչև 1 տոննայով: Գումարային տնտեսական արդյունավետությունը կարող է կազմել մինչև 150000 ԱՄՆ դոլար: Ինչպես արդեն նշվել է, ռուսական ՋՋԷՌ տիպի կայաններում օգտագործվում է կալիում-ամոնիակային ջրաքիմիական ռեժիմը: KOH-ի վերաշրջանառության համանման համակարգի ստեղծումը նպատակահարմար չէ՝ նկատի ունենալով KOH-ի փոքր արժեքը: Սակայն, որպես հիմք ${}^7\text{LiOH}$ -ի օգտագործման դեպքում, մեկ կամպանիայի համար անհրաժեշտ 40 կգ-ից կարելի է վերաշրջանառության առաջարկվող համակարգի միջոցով խնայել 20 կգ ${}^7\text{LiOH}$ և 0,7 տոննա իոնափոխանակիչ խեժ:

ԱԷԿ-ների շահագործման արդյունքում անխուսափելիորեն առաջանում են մեծ քանակությամբ միջին և ցածր ակտիվության հեղուկ ռադիոակտիվ թափոններ (ՀՌԹ): Ծավալի փոքրացման նպատակով վերջիններիս հետագա մշակումն այսօր կարևոր հիմնահարց է: Ներկայումս լայնորեն կիրառվում են ՀՌԹ-ների ծավալների փոքրացման հետևյալ եղանակները.

- գոլորշիացման մեթոդը, որի հիմնական թերությունն այն է, որ բոլոր ռադիոնուկլիդները մնում են գոլորշացուցչի արգասիքներում՝ հանդիսանալով պինդ ռադիոակտիվ թափոն և առաջացնելով վերջիններիս հետագա պահպանման խնդիրը,
- իոնափոխանակման մեթոդը, որի հիմնական թերություններն են.
 1. կիրառվում է մինչև 1 գ/լ աղապարունակությամբ ՀՌԹ-ի դեպքում,
 2. օգտագործվող իոնափոխանակիչ խեժերը իրենք իսկ դառնում են ռադիոակտիվ թափոններ,
 3. գործնականում չի ապահովվում մաքրման անհրաժեշտ խորությունը, որի պատճառով էլ այն կիրառվում է միայն աշխատանքի փակ ցիկլերի դեպքում:

Այս խնդիրը լուծելու համար Հայկական ԱԷԿ-ում կառուցվել է էլեկտրադիալիզի սկզբունքով աշխատող ՀՌԹ-ի մշակման տեղակայանք: Աղյուսակում բերված է գոլորշիացման և առաջարկվող մեթոդների համեմատությունը:

Աղյուսակ

Գոլորշիացման և էլեկտրադիալիզի մեթոդների համեմատությունը		
Ցուցանիշներ	Գոլորշիացման մեթոդ	Էլեկտրադիալիզի առաջարկվող մեթոդ
Ծավալի փոքրացում	160 անգամ	2000 անգամ
Բորաթթու	չի կորզվում	կորզվում է
Տեխնիկական բարդության աստիճան	միջին	մեծ
Շահագործման արժեք	մեծ	փոքր
Պահպանման արժեք	մեծ	փոքր
Ջրի մաքրման արժեք	մեծ	փոքր
Ստացվող ռադիոնուկլիդների կյանքի տևողություն	186 տարի	6 տարի
Բաքերի անհրաժեշտ քանակություն	մեծ	փոքր
Բաքերի երկարակեցություն	կարճ	երկար
Հատուկ անձնակազմի ուսուցանում	չի պահանջվում	պահանջվում է

Հայտնի է, որ երկարակյաց ռադիոակտիվ թափոնների մեկ տոննայի պահպանման արժեքը կազմում է 28888 ԱՄՆ դոլար: Գոլորշիացման սարքավորման աշխատանքի արդյունքում ՀԱԷԿ-ում ամեն տարի առաջանում է 60 տոննա պինդ ռադիոակտիվ թափոն: Երեսուն տարվա ընթացքում առաջացող 1800 տոննա նման թափոնների մշակման համար անհրաժեշտ կլինի 52 մլն. ԱՄՆ դոլար, այնինչ առաջարկվող մեթոդի դեպքում այն կկազմի ընդամենը 27 մլն. ԱՄՆ դոլար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Jean Bussac, Paul Reuss.** Traité de Neutronique. 1985, Hermann.
2. **Коростелев Д.П.** Водный режим и обработка радиоактивных вод атомных электростанций. -М.: Энергоатомиздат, 1983. - 240 с.
3. **Мартинова О.И., Живилова Л.М., Субботина Н.П.** Химический контроль водного режима атомных электростанций. -М.: Атомиздат, 1980. - 208 с.
4. **Նալբանդյան Գ.Գ.** PWR տիպի ռեակտորների ջրամշակման համակարգում Li-ի օգտագործման նոր մեթոդ// ՀՊՃՀ-ի տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2001.- էջ 170-171:

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.10. 2002:

А.В. ЗАРАНЦЯН, Г.Г. НАЛБАНДЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ПЕРВОГО КОНТУРА ВОДО-ВОДЯНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С УЧЕТОМ НОВЫХ РЕШЕНИЙ

В системах водоподготовки первого контура водо-водяных энергетических реакторов предложены новые решения, целью которых является уменьшение количества образований радионуклидов и продуктов коррозии, обеспечение регенерации борной кислоты и щелочей, необходимых для регулирования реактивности и pH боросодержащих радиоактивных вод, а также переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) с эффективным выделением из них долгоживучих радиоактивных изотопов (существенным уменьшением объема ЖРО для дальнейшего хранения).

A.V. ZARANTSYAN, G.G. NALBANDYAN

INVESTIGATION OF COOLANT TREATMENT SYSTEMS OF PRIMARY CIRCUIT OF PRESSURIZED WATER REACTORS CONSIDERING NEW HYPOTHESES

New hypotheses on the coolant storage and treatment systems of primary circuit of pressurized water reactors to decrease the quantity of radioactive production and corrosion products in the primary circuit and to regenerate boric acid and hydroxides from the borated radioactive waters as well as to treat the radioactive liquid wastes (RLW) in effective way providing the removal of long life radioactive isotopes (essentially decreasing the volume of RLW) are considered.