

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

ՋՐԱԾՆԱՅԻՆ ՎՏԱՆԳԸ ՋՋԷՌ-440 ՈՒՄԱԿՏՈՐՈՎ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐՈՒՄ ԾԱՆՐ ՎԹԱՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Նկարագրված են ԱԷԿ-ներում ծանր վթարների կառավարման խնդիրները՝ առանձնակի ուշադրություն հատկացնելով ՀԱԷԿ-ում ջրածնային վտանգի խնդրին: Հիմնավորվում է որոշ վթարների բնութագրական լինելը ջրածնային վտանգի ուսումնասիրության համար: Քննարկվում են ջրածնային վտանգի մեղմման տարբեր ռազմավարություններ: Գնահատված է ջրածնի նվազագույն զանգվածը, որի այրումը կարող է հանգեցնել էներգաբլոկի հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների ամբողջականության կորստին:

Առանցքային բառեր. ԱԷԿ, ծանր վթար, վթարի կառավարում, ջրածնային վտանգ, սայրինկերային համակարգ:

Միջուկային ռեակտորների շահագործումը, չնայած խորությամբ պաշտպանության սկզբունքի կիրառմանը և բազմազան անվտանգության համակարգերի առկայությանը, կապված է որոշակի ռիսկի հետ: Ատոմային կայանների շահագործման մոտ կեսդարյա փորձը ցույց է տվել, որ անվտանգության բարձրացման ուղղությամբ կատարված բազմաթիվ միջոցառումները կարող են բավարար չլինել, և շահագործման ընթացքում կարող են ի հայտ գալ նախագծի կամ անվտանգության վերլուծության մեջ հաշվի չառնված իրավիճակներ, որոնք կարող են հանգեցնել միջուկային վառելիքի վնասվելուն: Միջուկային տեղակայանք շահագործող կազմակերպությունը պետք է պատրաստ լինի վթարի կառավարմանը՝ ինչպես անհրաժեշտ վթարային շահագործման փաստաթղթերի, այնպես էլ տեխնիկական միջոցների առկայության տեսանկյունից, ինչն ապահովվում է վթարների կառավարման ծրագրի մշակման և ներդրման միջոցով:

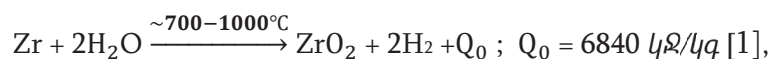
Միջուկային ռեակտորային տեղակայանքի վթարի կառավարումը բաժանվում է գործողությունների երկու հիմնական ոլորտի՝ կանխարգելիչ և մեղմացման: Դրանցից առաջինը գործում է վթարի զարգացման սկզբնական փուլում, երբ միջուկային վառելիքը դեռ չի վնասվել: Տվյալ դեպքում վթարի կառավարման նպատակն է կանխել վառելիքի վնասվելը՝ ապահովելով ակտիվ գոտու համարժեք հովացում: Վթարի կառավարման մեղմացման փուլը կապված է միջուկային վառելիքի վնասվելուց հետո իրականացվող գործողությունների համալիրի հետ: Այս դեպքում վթարի կառավարման առաջնահերթ նպատակներն այլ են. սահմանափակել ռադիոակտիվ նյութերի արտանետումը շրջակա միջավայր, ինչը պետք է ապահովվի հետևյալ խնդիրների իրականացման միջոցով.

- միջուկային վառելիքի վնասվելու/հալվելու զարգացման դադարեցում,
- ռեակտորի իրանի ամբողջականության պահպանում,

- հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների ամբողջականության պահպանում,
- հերմետիկ պաշտպանային կոնստրուկցիաների բայապսի կանխում,
- արտանետումների վերահսկում:

Ներկայումս աշխարհում ԱԷԿ շահագործող կազմակերպությունների համար ծանր վթարների ուսումնասիրությունը և դրանց կառավարման ռազմավարությունների մշակումը հանդիսանում է առաջնահերթ խնդիրներից մեկը: Հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաները ներկայացնում են ռադիոակտիվ նյութերի՝ դեպի շրջակա միջավայր տարածման ճանապարհին վերջին «խոչընդոտը», որի ամբողջականության պահպանումը հանդիսանում է ծանր վթարի կառավարման հիմնական խնդիրներից մեկը: Ծանր վթարի զարգացմանն ուղեկցող որոշ ֆիզիկաքիմիական պրոցեսների հետևանքով տեղի է ունենում մեծ քանակությամբ դյուրավառ ջրածնի առաջացում, որը կուտակվելով հերմետիկ սրահներում՝ թթվածնի առկայության պայմաններում կարող է հանգեցնել այրվող կամ նույնիսկ պայթյունավտանգ խառնուրդի առաջացման: Ջրածնային վտանգը, որը ծանր վթարի զարգացման անխուսափելի փուլերից մեկն է, հերմետիկ պաշտպանային կոնստրուկցիաների ամբողջականության պահպանման հարցում ամենակարևոր խնդիրներից է:

Վթարի զարգացման ընթացքում ակտիվ գոտու ջրազրկումը հանգեցնում է այդ հատվածում ջերմահեռացման կտրուկ վատթարացման և վառելիքի թաղանթի գերտաքացման: Բարձր ջերմաստիճանի և գոլորշու առկայության պայմաններում ցիրկոնիումային թաղանթներն օքսիդանում են, ինչը ուղեկցվում է ջրածնի ինտենսիվ անջատմամբ: Այդ ռեակցիան ունի էկզոթերմիկ բնույթ, և կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ.



որտեղ Q_0 -ն մեկ կիլոգրամ ցիրկոնիումի ամբողջական օքսիդացման արդյունքում անջատվող ջերմությունն է:

Թեթև ջրով ռեակտորներով կահավորված ԱԷԿ-ներում ծանր վթարների զարգացման ընթացքը ջրածնի առաջացման աղբյուրների տեսանկյունից կարելի է բաժանել երկու հիմնական ժամանակային փուլերի.

- Ծանր վթարի զարգացման ներիրանային փուլ, որն ուղեկցվում է ներիրանային կոնստրուկտիվ նյութերի՝ հիմնականում ցիրկոնիումային համաձուլվածքի ($\text{Zr}+1\%\text{Nb}$) և որոշ չափով նաև պողպատյա կոնստրուկցիաների օքսիդացմամբ:

- Ծանր վթարի զարգացման արտաիրանային փուլ, որն ուղեկցվում է ռեակտորի իրանի սահմաններից դուրս հալված վառելիքակոնստրուկցիոն զանգվածի, այսպես կոչված, կորիումի և բետոնի փոխազդեցությամբ, որի ընթացքում առաջանում է ոչ միայն ջրածին, այլ նաև մեծ քանակությամբ ածխածնի մոնօքսիդ, որը, ինչպես և ջրածինը, դյուրավառ է:

Ինչ վերաբերում է ռեակտորում պողպատյա կոնստրուկցիաների օքսիդացման արդյունքում առաջացող ջրածնի քանակությանը, ապա այն կարող է կազմել ներիրանային փուլում առաջացող ջրածնի մոտ 10-15%-ը:

Ավելի քան 50 տարի առաջ նախագծված ՋՋԷՌ-440 ռեակտորներով կահավորված էներգաբլոկներն ունեն նախագծային որոշ առանձնահատկություններ, որոնք ծանր վթարների տեսանկյունից խիստ կարևոր են, և ունեն մանրամասն ուսումնասիրության կարիք: Դրանցից կարելի է առանձնացնել հետևյալները.

- հերմետիկ սրահների փոքր ծավալ, ինչը կարող է հանգեցնել միջավայրի պարամետրերի, ներառյալ խառնուրդում առկա տարբեր գազերի կոնցենտրացիաների, արագ փոփոխության;

- հերմետիկ սրահների պաշտպանիչ փականների առկայություն, ինչը հանգեցնում է վթարի ընթացքում հերմետիկ գոտուց մեծ քանակությամբ օդի դուրսմղման;

- հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների տարրերի բարձր անկիպությունների առկայություն (մոտավորապես 5000-6000%/օր 80 կՊա հաշվարկային ավելցուկային ճնշման դեպքում [2]), ինչի հետևանքով հերմետիկ սրահներում ավելցուկային ճնշման առկայության դեպքում տեղի է ունենում միջավայրի, ներառյալ ջրածնի, արտահոսք դեպի շրջակա միջավայր և հարակից սրահներ; դա ապահովում է ջրածնի որոշակի բնական հեռացում հերմետիկ սրահներից, սակայն դրա հետևանքով հնարավոր է ջրածնի կուտակում հարակից սրահներում, որտեղ ևս կարող է տեղի ունենալ բռնկում;

- ցիրկոնիումի համեմատաբար մեծ զանգված ռեակտորի ակտիվ գոտում (որը համեմատելի է մեծ հզորությամբ այլ տեսակի ջրային ռեակտորների ակտիվ գոտում ցիրկոնիումի զանգվածի հետ), ինչը ծանր վթարի դեպքում հանգեցնում է մեծ զանգվածով ջրածնի առաջացման;

- հերմետիկ սրահների համեմատաբար փոքր հաշվարկային ճնշում, ինչի հետևանքով փոքր զանգվածով ջրածնի այրումը կարող է հանգեցնել հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների ամբողջականության կորստին, բացի այդ, ցածր թույլատրելի ճնշման հետ է կապված ծանր վթարի կառավարման ռազմավարությունների ցածր արդյունավետությունը. ջրածնի վտանգի մեղմման հիմնական ռազմավարություններից է միջավայրի իներտացումը ջրային գոլորշու բարձր կոնցենտրացիայի պահպանման շնորհիվ, ինչը կապված է միջավայրի բարձր ճնշումների հետ:

Ներկայումս Հայկական ԱԷԿ-ի ծանր վթարների կառավարման ծրագրի իրականացման և ուղեցույցների մշակման շրջանակներում իրականացվող աշխատանքները ներառում են ջրածնային խնդրի մանրամասն և համակողմանի ուսումնասիրություններ:

Այդ նպատակով օգտագործվում է ՀԱԷԿ-ի ծանր վթարների հաշվարկային ուսումնասիրությունների համար կիրառվող **MELCOR** ծրագրով մշակված մոդելը:

Տվյալ ուղղությամբ կատարված ուսումնասիրություններն ընդգրկում են բազմաթիվ վթարային սցենարների հաշվարկներ կայանի տարրերի և համակարգերի կոնֆիգուրացիայի բազմազան տարբերակների դեպքում՝ հաշվի առնելով այն գործոնները, որոնք կարող են էապես ազդել ջրածնային վտանգի վրա: Դրանք են հիմնականում սպրինկլերային համակարգի աշխատանքի մեջ լինելու կամ չլինելու գործոնը, ինչպես նաև դրա աշխատանքային ռեժիմը և հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների անկիպությունների մակարդակը: Վերջինս դիտարկվել է կայանի գործող վիճակին համապատասխան և կիպության լավացված պայմանի դեպքում (կիպության մակարդակի բարձրացման աշխատանքներ են նախատեսված կայանի շահագործման ժամկետի երկարացման շրջանակներում, իսկ հաշվարկներում դիտարկվել է կիպության մակարդակի նպատակային արժեքը):

Ուսումնասիրությունների շրջանակներում կատարվել են ներքոնշյալ վթարային սցենարների հաշվարկները և վերլուծությունը՝

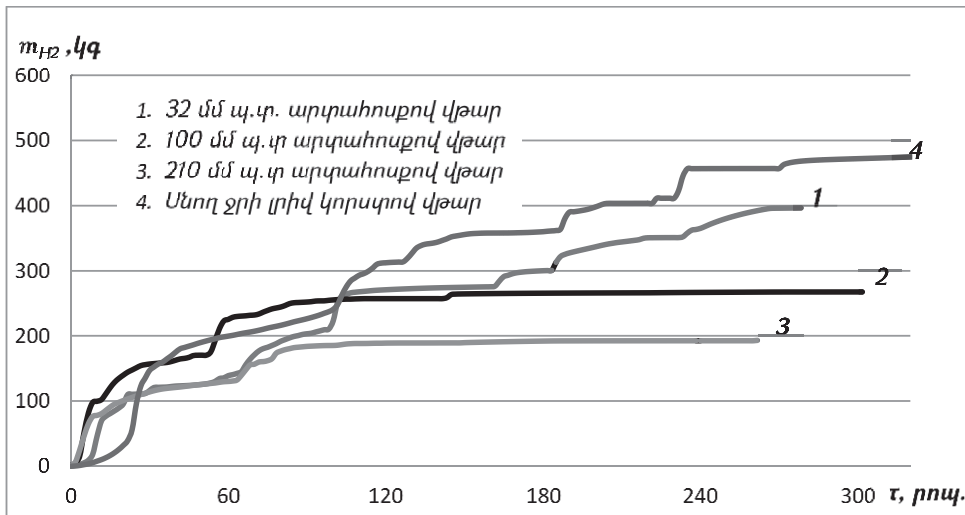
1. առաջին կոնտուրի ջերմատարի 32 մմ պայմանական տրամագծով արտահոսք («վոքը» արտահոսք) վթարային լրասնուցման համակարգի խափանմամբ;
2. առաջին կոնտուրի ջերմատարի 100 մմ պայմանական տրամագծով արտահոսք («միջին» արտահոսք) վթարային լրասնուցման համակարգի խափանմամբ;
3. առաջին կոնտուրի ջերմատարի 210 մմ պայմանական տրամագծով արտահոսք («մեծ» արտահոսք) վթարային լրասնուցման համակարգի խափանմամբ;
4. շոգեգեներատորների սնող ջրի լրիվ կորուստ:

Նկ. 1-ում բերված է ջրածնի առաջացման դինամիկան՝ առաջացող ջրածնի գումարային զանգվածի փոփոխությունը ծանր վթարի զարգացման ներիրանային փուլում: Որպես ժամանակի սկզբնական պահ յուրաքանչյուր վթարի համար ընտրվել է ջրածնի առաջացման մեկնարկային պահը (ցիրկոնիումից պատրաստված ջերմանջատիչ թաղանթի օքսիդացման ռեակցիայի սկիզբը), ինչը մոդելում համապատասխանում է թաղանթի՝ առավելագույն ջերմաստիճանի (700 °C) արժեքին հասնելուն:

Արդյունքներից պարզ է դառնում, որ վթարի զարգացման ներիրանային փուլում ջրածնի առավելագույն գումարային քանակը (480 կգ) առաջանում է սնող ջրի լրիվ կորստով ուղեկցվող վթարի դեպքում: Դիտարկված ջերմատարի արտահոսքով վթարների դեպքում առաջանում է մոտ 190-400 կգ ջրածին:

Հատկանշական է, որ «միջին» և «մեծ» արտահոսքերի դեպքում ջրածնի հիմնական մասը (190-250 կգ) առաջանում է սկզբնական համեմատաբար կարճ ժամանակահատվածում՝ 80-90 րոպե: Ջրածնի առաջացման վաղ դանդաղումը և դադարումը հիմնականում կապված են ակտիվ գոտու արագ ջրազրկմամբ և քայքայումով, ինչի հետևանքով ցիրկոնիումի և գոլորշու շփման մակերևույթի մակերեսը կտրուկ նվազում է: Նման վթարների դեպքում ջրածնի առաջացումը սկսվում է

վթարի սկզբից մոտ 5-15 րոպե հետո, իսկ ներհրանային փուլում օքսիդանում է ցիրկոնիումի զանգվածի ոչ մեծ մասը՝ 20-25%:



Նկ. 1. Ջրածնի առաջացման դինամիկան վթարային տարբեր սցենարների դեպքում

Ջրածնի առաջացման ինտենսիվությունը հետազոտված բոլոր վթարների դեպքում ունի պարբերաբար փոփոխվող բնույթ: Ջրածնի առաջացման ինտենսիվության փոքր և մեծ թռիչքները բացատրվում են հետևյալով. վթարի տարբեր փուլերում ջրային գոլորշու հոսքի խտությունը ռեակտորի իրանի ծավալում կարող է լինել անբավարար՝ օքսիդացման ռեակցիայի բավարար ինտենսիվություն ապահովելու համար (դիտվում է, այսպես կոչված, գոլորշային «քաղց» երևույթը), և այն պահերին, երբ տեղի է ունենում ակտիվ գոտու որոշ հալված զանգվածի տեղափոխում ռեակտորի իրանի ստորին հատվածներ, որտեղ դեռ գոյություն ունի ջրի որոշակի քանակ, սպասվող ինտենսիվ գոլորշացումը կարող է հանգեցնել գերտաքացած մետաղական կոնստրուկցիաների և գոլորշու նոր մասնաբաժինների շփման և, հետևաբար, օքսիդացման ռեակցիայի ժամանակավոր թռիչքային ինտենսիվացման: Ադյուսակում բերված են հետազոտված վթարների դեպքում ջրածնի առաջացման ինտենսիվության որոշ ցուցանիշներ:

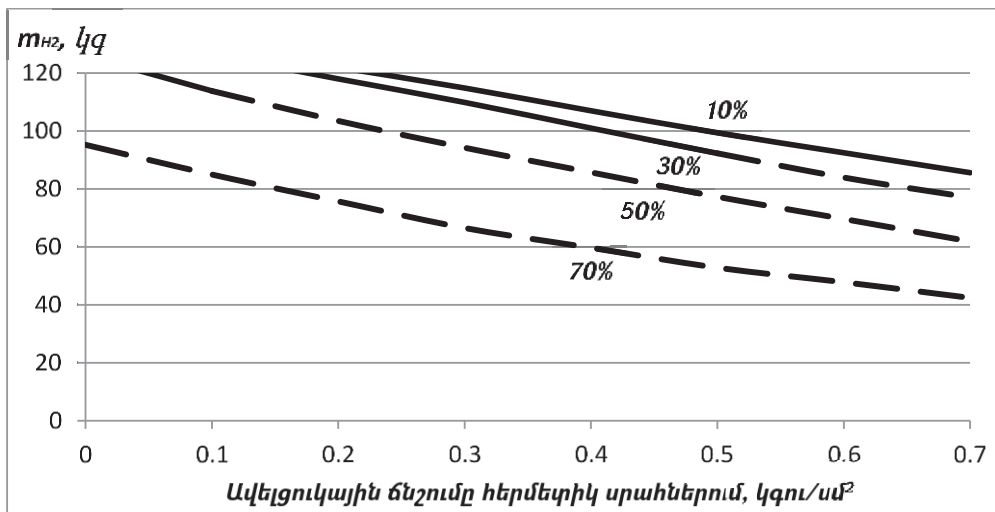
Ստացված արդյունքներից ակնհայտ է դառնում, որ «մեծ» արտահոսքով վթարները բնութագրական վթարներ չեն ջրածնային վտանգի ոսումնասիրության տեսանկյունից: Մնացած վթարներն առանձնանում են կամ առաջացող ջրածնի գումարային զանգվածով, կամ վթարի զարգացման տարբեր փուլերում ջրածնի առաջացման ինտենսիվությամբ և պետք է ենթարկվեն ավելի խոր և համակողմանի ուսումնասիրության:

Վթարը	10 ր ժամանակային միջակայք		30 ր ժամանակային միջակայք	
	$\frac{dm_{H_2}^{max}}{dt}$, կգ/վրկ	m_{H_2} , կգ	$\frac{dm_{H_2}^{max}}{dt}$, կգ/վրկ	m_{H_2} , կգ
32 մմ պ.մ. փր. արտահոսք	0,1267	76,0	0,0664	119,5
100 մմ պ.մ. փր. արտահոսք	0,1632	97,9	0,0866	155,9
210 մմ պ.մ. փր. արտահոսք	0,1335	80,1	0,0635	114,4
Մետղ ջրի լրիվ կորուստ	0,1736	104,1	0,09553	171,9

Ջրածնի առաջացմանը զուգահեռ (անմիջապես կամ որոշ ուշացումով) տեղի է ունենում դրա արտահոսքը դեպի էներգաբլոկի հերմետիկ սրահներ, որտեղ, թթվածնի առկայության պայմաններում, այն կարող է բռնկվել: Կախված այրման ռեժիմից, հետևանքները հերմետիկ սրահի վրա ազդեցության տեսանկյունից կարող են խիստ տարբեր լինել: Դետոնացիայի դեպքում առաջացող ճնշման ալիքը կարող է մոտ 30 անգամ գերազանցել ճնշման սկզբնական արժեքը և այդպիսով հանգեցնել հերմետիկ շինության ամբողջականության միանշանակ կորստի: Այրման դեֆլագրացիոն ռեժիմում բոցի տարածման արագությունը գտնվում է մինչձայնային տիրույթում, սակայն որոշակի պայմանների առկայության դեպքում կարող է տեղի ունենալ բոցի արագացում և դեֆլագրացիայից դետոնացիայի փոխարկում:

Ջրածնային վտանգի տեսանկյունից կարևոր է գնահատել ջրածնի այն նվազագույն քանակությունը, որի այրումը կարող է հանգեցնել հերմետիկ պաշտպանային կոնստրուկցիաների ամբողջականության կորստին: ՀԱԷԿ-ի հերմետիկ սրահի օրինակով, հիմնվելով ամերիկյան մեթոդաբանության վրա՝ ներկայացված [3]-ում, տարբեր սկզբնական ճնշումների (0-0.7 կգուսմ²) և դուրս մղված օդի ծավալային քանակությունների (10%, 30%, 50% և 70%) համար գնահատվել են ջրածնի սահմանային քանակությունները, որոնք կարող են հանգեցնել վերջինիս ամբողջականության կորստին: Հաշվարկի մեջ հաշվի է առնվել միջավայրի իներտ կամ այրվող լինելու հանգամանքը: Արդյունքները բերված են նկ.2-ում: Ընդհատվող գծերով տիրույթը կազմող կետերը համապատասխանում են իներտ միջավայրին, իսկ հոծ գծերով տիրույթի կետերը՝ հնարավոր այրման վիճակներին: Որպես իներտության չափորոշիչ կիրառվել է ջրային գոլորշու 55% և բարձր ծավալային կոնցենտրացիան: Համաձայն ստացված արդյունքների՝ մոտ 80-85 կգ ջրածնի այրումը (դեֆլագրացիոն այրման դեպքում) կարող է հանգեցնել հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների ամբողջականության խախտման: Տվյալ քանակությամբ ջրածնի այրման համար անհրաժեշտ է մոտ 640-680 կգ թթվածին:

Հաշվի առնելով հաշվարկի մեթոդիկայի բավականին վատատեսական լինելը, ինչպես նաև միջավայրի ընտրված սկզբնական վիճակի ավելի հավանական տիրույթը, ջրածնի գնահատված մեծության իրատեսական արժեքը պետք է կազմի ավելի քան 120 կգ: Սակայն նշենք, որ այդ մեծությունները ծանր վթարի ընթացքում առաջացող ջրածնի զանգվածի համեմատաբար փոքր մասն են կազմում, և ակնհայտ է, որ ջրածնի հնարավոր բռնկման դեպքում հավանական է հերմետիկ սրահների ամբողջականության կորուստ:



Նկ. 2. Հերմետիկ սրահների ֆիզիկական ամբողջականությանը սպառնացող ջրածնի նվազագույն քանակությունը տարբեր սկզբնական պայմանների դեպքում

Հիմնվելով ուսումնասիրությունների արդյունքների վրա՝ կարելի է կատարել հետևյալ եզրակացությունները.

1. ՀԱԷԿ-ի թիվ 2 էներգաբլոկի դեպքում ջրածնային վտանգի ուսումնասիրության տեսանկյունից որպես բնութագրական վթարներ կարելի է դիտել առաջին կոնտուրի ջերմատարի «փոքր» և «միջին» արտահոսքով վթարները, ինչպես նաև առանց առաջին կոնտուրի սահմանների խզման ծանր վթարները՝ սնող ջրի լրիվ կորստով վթարի օրինակով:

2. Առաջացող ջրածնի գումարային առավելագույն զանգվածը 10 րոպեանոց ժամանակահատվածի համար կազմում է մոտ 76-104 կգ, իսկ 30 րոպեանոց ժամանակահատվածի համար՝ մոտ 114-172 կգ:

3. Վատատեսական գնահատումների համաձայն՝ մոտ 80-85 կգ ջրածնի այրումը ՀԱԷԿ-ի հերմետիկ սրահներում կարող է բավարար լինել հերմետիկ պաշտպանական կոնստրուկցիաների ամբողջականության խախտման համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Mitigation of Hydrogen Hazards in Severe Accidents in Nuclear Power Plants IAEA-TECDOC-1661. - 2011. – P. 9.
2. Разработка Комплексной программы модернизации блока №2 ААЭС, 2011г.
3. Westinghouse Owners Group SEVERE ACCIDENT MANAGEMENT GUIDANCE-1994. - V.1.

Վ.Գ. ПЕТРОСЯН, Э.А. ЕГОЯН, А.Д. ГРИГОРЯН

ВОДОРОДНАЯ УГРОЗА НА ЭНЕРГОБЛОКАХ С ВВЭР-440 ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ

Описаны цели управления тяжелыми авариями на АЭС. Особое внимание уделяется вопросу водородной угрозы в ААЭС. Обоснована представительность некоторых аварий с точки зрения исследования угрозы водорода. Обсуждаются разные стратегии смягчения водородной угрозы. Оценена минимальная масса водорода, сжигание которой может привести к потере целостности гермоограждения.

Ключевые слова: АЭС, тяжелая авария, управление аварией, водородная угроза, спринклерная система.

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

HYDROGEN CHALLENGE AT NUCLEAR POWER UNITS WITH THE WWER-440 REACTOR AT A SEVERE ACCIDENT

The aims of severe accident management at NPPs are described, paying a special attention to the hydrogen challenge issue in the ANPP. The representativeness of several accidents from the standpoint of hydrogen challenge is justified. Different strategies of the hydrogen challenge decrease are discussed. The minimal mass of hydrogen whose burning can lead to the loss of confinement integrity is assessed.

Keywords: NPP, severe accident, accident management, hydrogen challenge, spray system.