

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԱՐՄԵՆ ՄՈՎՍԵՍԻ ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ՋՋԷՌ – 440 ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՊԱՑՄԱՆՆԵՐԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ՇՈԳԵԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐԻ
ՄԱՅՈՐԱՅԻՆ ՌԵՍՈՒՐՍԻ ՎԵՐ**

Ե. 14.02 - <<Միջուկային էներգետիկ կայանքներ>> մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի զիտական
աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2017

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

ВАРДАНИЯН АРСЕН МОВСЕСОВИЧ

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСТАТОЧНЫЙ
РЕСУРС УЗЛОВ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ЭНЕРГОВЛОКОВ ВВЭР-440**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.02 – “Ядерные энергетические установки”

ЕРЕВАН 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ տ.գ.դ., պրոֆ. Վ.Գ. Պետրոսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ. Վ.Վ. Հարությունյան
տ.գ.թ. Ա.Պ. Սահակյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Երևանի պետական համալսարան

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. հունիսի 8-ին, ժամը. 10⁰⁰-ին Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանում գործող ԲՈՀ-ի Էներգետիկայի 043 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0009, Երևան, Տերյան փ., 105, 2-րդ մասնաշենք, 2431):

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքվել է 2017թ. հունիսի 6-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
Գիտական քարտուղար, տ.գ.թ.՝



Ա.Ա. Գևորգյան

Тема диссертации утверждена в Национальном политехническом университете Армении.

Научный руководитель: д.т.н., проф. В.Г. Петросян

Официальные оппоненты: д.ф.-м.н., проф. В.В. Арутюнян
к.т.н. А.П. Саакян

Ведущая организация: Ереванский государственный университет

Защита диссертации состоится 8-го июля 2017г. в 10⁰⁰ часов на заседании Специализированного совета ВАК 043 – “Энергетика”, действующего при Национальном политехническом университете Армении (НПУА) (адрес: 0009, Ереван, ул. Теряна, 105, корпус 2, 2431).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НПУА.

Автореферат разослан 6-го июня 2017г.

Ученый секретарь
Специализированного совета, к.т.н.



А.А. Геворгян

Աշխատության արդիականությունը: Միջուկային էներգետիկայի զարգացման և կայանների երկարատև շահագործման, ինչպես նաև կյանքի տևողությունը մինչև 45...60 տարի երկարացման հիմնախնդիրներին զուգընթաց բարձրանում են ԱԷԿ-ների խողովակաշարերի և սարքավորումների հուսալիությանը և անվտանգությանը առաջադրվող պահանջները, որոնք հիմնականում պայմանավորված են ճշգրիտ տեխնիկական սպասարկմամբ:

ԱԷԿ-ների երկարատև շահագործման ընթացքում սարքավորումների մաշվածության և ճառագայթային միջավայրի վատթարացման հետևանքով զգալիորեն դժվարանում են սարքավորումների տեխնիկական սպասարկումը և վերանորոգումը, աճում են աշխատանքային ծախսերը և վերանորոգում կատարող անձնակազմի քանակը:

2007 թ.-ից սկսած՝ սարքավորումների և խողովակաշարերի 10X16H25AM6 տեսակի զոդման նյութերի օգտագործմամբ իրագործված եռակցման կարերի (ԵԿ) վնասվածքները առավել սուր խնդիրներից են գործող ԱԷԿ-ներում: Ընդ որում, դրանց բնույթի և առաջացման պատճառների վերաբերյալ համակարգված տեղեկություններ չկան: Այդ կապակցությամբ հայտնաբերված վնասվածքների վերլուծման և համակարգման, դրանց առաջացման պատճառների և բնույթի բացահայտման, ինչպես նաև բնութագրման միջոցառումների մշակման խնդիրները խիստ արդիական և հրատապ են:

Հետազոտության նպատակը: Ատենախոսության նպատակը ջրաջրային էներգետիկական ռեակտորի (ՋՋԷՌ-440) միջուկային էներգաբլոկների ԴՎ-1100 կոլեկտորի 08X18H10T չժանգոտվող պողպատից պատրաստված խողովակի և շոգեգեներատորի իրանի 22K մետաղից պատրաստված հանգույցների կոմպոզիտ եռակցման կարերի հետազոտությունն է:

Նշված նպատակին հասնելու համար սահմանվել են հետևյալ առաջադրանքները.

- մշակել և փորձնականորեն հիմնավորել վնասվածքների կանխմանը ուղղված համալիր միջոցառումներ,
- գնահատել շահագործման պայմանների ազդեցությունը կոլեկտորի խողովակի և ՌԴԲ-4c շոգեգեներատորի իրանի հանգույցի մնացորդային ռեսուրսի վրա,
- գնահատել 08X18H10T ջերմակրի չժանգոտվող պողպատից կոլեկտորի և շոգեգեներատորի 22K մետաղից իրանի հանգույցների եռակցման կարերի ճաքերի կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի չափերը:

Հետազոտության մեթոդները: Հետազոտական աշխատանքների իրականացման ընթացքում օգտագործվել են հետևյալ հետազոտական մեթոդները. ավտոմատացված ուլտրաձայնային հսկողության մեթոդը АБГУР 5.2 համակարգի օգնությամբ, ուլտրաձայնային X-32 համակազմի ֆազային վանդակներով մեթոդը, պլաստիկ առանցքի մեթոդը ճաքերի կրիտիկական և

թույլատրելի չափերի հաշվարկման համար, յինտեգրալի մեթոդը ճաքեր ունեցող լարված կարծր մարմնի վիճակի գնահատման համար, վերջավոր տարրերի մեթոդը՝ մնացորդային լարվարվածության գնահատման համար::

Հետազոտության գիտական նորույթը և գործնական նշանակությունը.

1. Որոշվել են երկարատև շահագործման արդյունքում տարբեր կառուցվածքային դասերին պատկանող պողպատներից (22K պողպատ+ 08X18H10T պողպատ) պատրաստված մասերի եռակցման կարերի (ՅԱ-395/9 էլեկտրոդներով կատարված) վնասվածքների բնույթը և մեխանիզմը:
2. Գնահատվել է շահագործման պայմանների ազդեցությունը ՈՒԲ-4c ՋՋԷՌ-440 շեգեգներատորների ջերմակրի կոլեկտորների և իրանի հանգույցների եռակցված կարերի մնացորդային ռետուրսի վրա:
3. Մշակվել է 08X18H10T չժանգոտվող պողպատից պատրաստված ջերմակրի կոլեկտորի և 22K մետաղից պատրաստված ՇԳ-ի իրանի հանգույցային եռակցման կարերի թերությունների կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի չափերի հաշվարկման մեթոդաբանությունը:
4. Մշակվել է «ՋՋԷՌ-440 էներգաբլոկների ՈՒԲ-4c շեգեգներատորի ԴՅ-1100 կոլեկտորի №23 կարի թերությունների նորմերի» հաշվարկման մեթոդիկա:
5. Գնահատվել է ՋՋԷՌ-440 էներգաբլոկների ՈՒԲ-4c շեգեգներատորի իրանի և ջերմակրի կոլեկտորի հանգույցի մնացորդային ռետուրսի արժեքը:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

1. 08X18H10T չժանգոտվող պողպատից պատրաստված ջերմակրի կոլեկտորի և 22K մետաղից պատրաստված ՇԳ-ի իրանի հանգույցային եռակցման կարերի թերությունների կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի չափերի հաշվարկման մեթոդաբանությունը:
2. «ՋՋԷՌ-440 էներգաբլոկների ՈՒԲ-4c շեգեգներատորի ԴՅ1100 կոլեկտորի №23 եռակցման կարի թերությունների նորմերի» հաշվարկման մեթոդիկան:
3. Եռակցման կարի մնացորդային ռետուրսի արժեքի հաշվարկումը՝ շահագործման նորմալ պայմանների դեպքում:

Փորձաքննությունը և հրատարակված աշխատանքները: Աշխատության անդյունքները գեկուցվել և քննարկվել են.

- <<NDE Methods and Results of Composite Welds Inspections of ANPP Stream Generators, Participants from USA, Russian, Ukrainian, Czech and Armenian organizations>> միջազգային սեմինարում (2-5 սեպտեմբերի 2014թ., Երևան),
- <<Monitoring and Maintenance of Welds Connecting the Primary System Collectors With the SG Nozzles at the Stations with VVER-440>> <<WANO>> ռուսական կենտրոնի միջազգային սեմինարում (18-22 մայիսի 2015թ., ՆԱԷԿ, ՀՀ),
- Կիևի Տարաս Շևչենկոյի անվան ազգային համալսարանի միջուկային ֆիզիկայի ամբիոնի գիտական սեմինարում (1-3 մարտի 2017 թ., Կիև, Ուկրաինա)

- ՀԱՊՀ «Ջերմաէներգետիկա և շրջակա միջավայրի պաշտպանություն» ամբիոնի նիստերում իրականացված գիտական սեմինարներում (2014-2017թթ., ՀԱՊՀ, Երևան):

Ատենախոսության թեմայով հրատարակվել է 4 գիտական աշխատանք, որանց ցանկը բերված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը և ծավալը: Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, հապավումների ցանկից, չորս զլխից, եզրակացությունից, 96 անուն գրականության ցանկից և երեք հավելվածից: Աշխատության ընդհանուր ծավալը 148 էջ է՝ հավելվածների ներառումով: Հիմնական ծավալը 128 էջ է՝ ներառյալ 58 նկար և 43 աղյուսակ:

ԱՇԽԱՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ատենախոսության ներածությունում հիմնավորվել է խնդրի արդիականությունը, սահմանվել է հետազոտության նպատակը, ներկայացվել են գիտական նորույթը և գործնական նշանակությունը, հիմնական գիտական դրույթները, շարադրված է ատենախոսության համառոտ բովանդակությունը:

Առաջին գլուխը նվիրված է ջերմակրի կոլեկտորի և շոգեգներատորների իրանի ՋՋԷՌ-440 միջուկային էներգաբլոկների տարատեսակ մետաղներով արված եռակցված կարերի տեխնիկական սպասարկման առանձնահատկությունների վերլուծմանը, ՈՒԲ-440 իրանի և կոլեկտորների եռակցման կարերի վնասվածքների բնույթի և առաջացման պատճառների որոշմանը, որը կատարվել է ՋՋԷՌ-440 շոգեգներատորի №23 եռակցման կարի նմուշների հետազոտման միջոցով:

Կոլեկտորները ՈՒԲ-440 շոգեգներատորների (ՇԳ) կարևորագույն մասն են և նախատեսված են ջերմափոխանակման խողովակաշարերում ջերմակրի բաշխման համար: Նկ. 1-ում ներկայացված է ՋՋԷՌ-440 ՇԳ-ի ԴԿ-1100 խողովակների ջերմակրի կոլեկտորների ԵԿ-ի կառուցվածքի ուրվագիծը:

ՇԳ-ի իրանին կոլեկտորի եռակցված կարը (այսուհետ՝ №23 ԵԿ) տարբեր կառուցվածքային դասերին պատկանող պողպատների միացում է՝ 22K պեռլիտային պողպատից խողովակի և ՕՑՄ18Ի10T առևտենիտային չժանգոտվող պողպատից կոլեկտորի: Պեռլիտային պողպատից դեպի առևտենիտայինը անցումը իրագործվում է խողովակի եզրերին արված նախնական երկշերտ հալեցմամբ (առաջին շերտը՝ ՅՈՒՅՅ/9 (10X16H25AM6) էլեկտրոդներով, երկրորդը՝ ՅՈՒՅՅ/10T (04X19H11M3) էլեկտրոդներով):

Նման եռակցված կարի շահագործումը էներգետիկ սարքավորումներում պայմանավորված է դրանց համար բնորոշ առանձնահատկություններով, որոնք կարող են բացասաբար ազդել դրանց օգտագործման վրա.

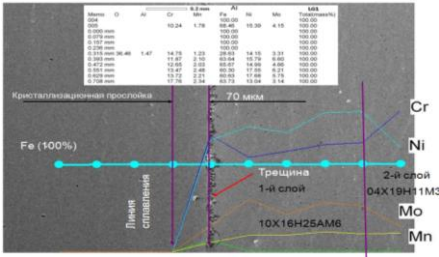
- շահագործման ընթացքում դիտվող բարդ լարվածության, այդ թվում գծային ընդարձակման գործակիցների տարբերության հետևանքով,

բ. գոդակցման գոտու կտրվածքը

ա)

բ)

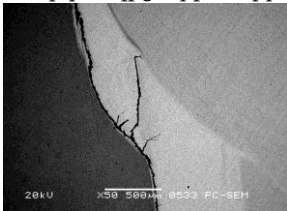
Կտրված փորձանմուշների մետաղագրաֆիկական հետազոտման ընթացքում առանձնահատուկ ուշադրությամբ ուսումնասիրվել է ԵԿ-ն, որը հիմնականում բաղկացած է 22K և 08X18H10T մետաղներից, նախնական երկշերտ հալվածքից և ԵԿ-ի հատուկ բյուրեղացված միջնաշերտից (նկ.3):



Նկ. 3. Տարատեսակ մետաղներից եռակցված կարի գոտու ուսումնասիրում

Ներկայացված եռակցված կարի լայնակի կտրվածքի հարթության փորձանմուշների (նկ.4) միկրոկառուցվածքի մետաղաբանական վերլուծության, էլեկտրոնային մանրադիտակային սկանավորման և միկրոռենտգենասպեկտրային վերլուծության մեթոդների կիրառմամբ հետազոտությունների, կառուցվածքի միկրոկարծրության չափումների արդյունքում արձանագրվել են ճեղքերի զարգացման հետևյալ առանձնահատկությունները.

- Ճաքերը լինում են գլխավոր (մագիստրալային), որոնք մեծ չափերի են և տարածվում են նախնական հալվածքի առաջին շերտի կարի երկարությամբ, և սատելիտային միկրոճեղքեր, որոնք որպես կանոն միմյանց հետ կապված չեն և տարածվում են մագիստրալային ճաքերի ուղղահայաց՝ հալված մետաղի դենդրիտներով.
- Ճաքերն ունեն կոռոզիոն բնույթ, որոնց առաջացումն և զարգացումը ընթանում է միջբյուրեղային կոռոզիայի մեխանիզմով, կոռոզիայի ծավալման ինտենսիվությունը և ճաքերի տարածման աստիճանը սրվում է տվյալ տարատեսակ ԵԿ գոտում առկա երկայնաձիգ լարման հետևանքով՝ նախ՝ հիմնական և եռակցված մետաղների ջերմային ընթարցակման գործակիցների տարբերության հաշվին:



Նկ. 4. Նախնական հալվածքի առաջին շերտի միջբյուրեղային ճեղքի տարածման բնույթի ընդհանուր տեսքը

ԵԿ №23-ում վնասվածքների առաջացման հիմնական պատճառը ցածր կոռոզիա կայունությունն է նախնական հավաքի առաջին շերտում <<տաք>> ճաքերի հավանական առաջացմանը զուգընթաց, ինչը և №23 ԵԿ-ի արմատի պաշտպանության բացակայության դեպքում կոլեկտորի և ՇԳ-ի խողովակի ԵԿ-ի «գրպանում»՝ միջավայրի հետ շփումից և երկարատև շահագործման պայմաններում ցիկլային լարումից (20 և ավելի տարի), ԵԿ-ի առևտնիտային և պեռիտային մետաղների գծային ընդարձակման գործակիցների տարբերությամբ առաջացած, հանգեցնում է ճաքերի առաջացմանը և տարածմանը: Ելնելով վերոնշյալներից ատենախոսության հիմքում դրվել են հետևյալ խնդիրները.

- ▶ գնահատել շահագործման պայմանների ազդեցությունը ՈՒԳ-4c ՇԳ-ների կոլեկտորների և իրանի հանգույցների ԵԿ-ի մնացորդային ռեսուրսի վրա,
- ▶ գնահատել 08X18H10T չժանգոտվող պողպատից կոլեկտորի և 22K մետաղից շոգեգեներատորի իրանի հանգույցների ԵԿ-ների ճաքերի կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի չափերը,
- ▶ գնահատել ՋՋԷՌ-440 էներգաբլոկների ՈՒԳ-4c ՇԳ-ների իրանի և ջերմակրի կոլեկտորի հանգույցի մնացորդային ռեսուրսի արժեքը:

Երկրորդ գլխում նկարագրված են ավտոմատացված ուլտրաձայնային տեխնոլոգիայով ստուգման մեթոդիկաները, որոնք իրականացվել են ատենախոսության գիտափորձնական հետազոտությունների շրջանակներում: 2014 թ.-ին ՀԱԷԿ-ում կատարվել է ՋՋԷՌ-440 ռեակտորի ԴԿ-1100 խողովակի և ՇԳ-ի անցումային օղակի ԵԿ-ի ստուգում «Ավտոմատացված ուլտրաձայնային ստուգման մեթոդով» (MA5-AՅ1-ՈՒՕԵ/9-K-08)՝ ԱԲԿԿ 5.2 համակարգի կիրառմամբ:

Կատարվել է նաև լրացուցիչ ստուգում ՋՋԷՌ-440 ռեակտորի ԴԿ-1100 շոգեգեներատորի անցումային օղակների և խողովակի եռակցված կարի (կոմպոզիտ) ուլտրաձայնային (X-32)՝ ֆազային վանդակների տեխնոլոգիայի կիրառմամբ, որը նախատեսված է 2018 թվականի ընթացքում որակավորման փորձարկումներ անցկացնելու համար:

ԱԲԿԿ 5.2 համակարգը չափիչ սարք է, որը նախատեսված է խողովակաշարերի հիմնական մետաղի և եռակցված կարերի թերությունների (տեսակը, չափերը, կոռոզիաստները) չափման համար:

Harfang X-32 համակարգը (այսուհետ՝ X-32 համակարգ) սարք է, որը նախատեսված է մետաղական և պոլիմերային խողովակների հիմնական իրանի, ինչպես նաև խողովակների ԵԿ-երի թերությունների պարամետրերի չափման համար: X-32 համակարգի ֆազային վանդակավոր տեխնոլոգիայի հիմնական առավելություններն են. աշխատանքի արագությունը, մեխանիկական հուսալիությունը, կիզակետված ճառագայթն, որն ավելացնում է ազդանշան-աղմուկ հարաբերությունը:

Երկրորդ գլխում ներկայացված է նաև մշակած մեթոդաբանությունը որով կարելի է հաշվարկել №23 ԵԿ-ի վնասվածքների կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի խորությունները: Այս եղանակով (որի

մանրամասն նկարագրությունը տրված է ստորև) հնարավոր է գնահատել եռակցման կարի վնասվածքների կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի խորությունները՝ հաշվի առնելով արդեն եղած թերությունների առկայությունը, որոնք արդեն հայտնաբերվել են ուլտրաձայնային տեխնոլոգիայով ստուգումներից հետո: Կրիտիկական և թույլատրելի ճաքերի գնահատումը կատարվել է American Society of Mechanical Engineers (ASME, մաս C-6000) ընթացակարգին համապատասխան (տեղի է ունեցել չափանիշների ընտրություն):

Թերության կրիտիկական և թույլատրելի չափերի հաշվարկման մեթոդաբանությունը: Շրջանաձև թերության չափանիշը որոշվել է որպես

$$\sigma_b \leq \sigma_c, \quad (1)$$

որտեղ σ_b -ը ճկվածքի լարվածությունն է պլաստիկ դեֆորմացիաների դեպքում, σ_c -ը՝ թույլատրելի լարվածությունը:

Թույլատրելի լարվածությունն ընդունվել է որպես

$$\sigma_c = \frac{1}{\zeta_-} \left[\frac{\sigma_b^c}{\gamma} - \sigma_s \right] - \sigma_m \left[1 - \frac{1}{\gamma \zeta_-} \right], \quad (2)$$

որտեղ և γ -ը ճկվածքի լարվածության անվտանգության գործակիցներն

են, ζ_- -ն՝ հոսունության սահմանը, ՄՊա, σ_s -ն՝ երկրորդ կոնտուրի

լարվածությունը ճկվածքի դեպքում, ՄՊա, σ_m -ն՝ առաջին կոնտուրի մեմբրանային լարվածությունները, ՄՊա:

Z գործակցի արժեքը հաշվարկված է հետևյալ բանաձևով.

$$Z = 1,35 \left[\right], \quad (3)$$

որտեղ D_{out} -ն արտաքին տրամագիծն է, մ:

A գործակցի արժեքը հաշվարկված է հետևյալ բանաձևով.

$$A = \sqrt[4]{0,125 \frac{R}{r} - 0,25}, \quad (4)$$

որտեղ R -ն խողովակի միջին շառավիղն է, մմ, r -ն՝ պատի հաստությունը, մմ:

Zոսունության սահմանը հաշվարկված է հետևյալ բանաձևով.

$$\sigma_b^c = \frac{2\sigma_f}{\pi} \left(2 - \frac{a}{r} \right) \sin \beta, \quad (5)$$

որտեղ

$$\beta = \frac{\pi}{2-a} \left(1 - \frac{a}{r} - \frac{\sigma_m}{\sigma_s} \right):$$

Առաջին կոնտուրի ճնշման հետևանքով առաջացած առաջին կոնտուրի առանցքային բեռնվածությունը, կարելի է հաշվարկել հետևյալ ձևով.

$$F_{liid,prim} = \pi \cdot \left(\frac{D_{in,cool}}{2} \right)^2 \cdot (P_{prim} - P_{sec}), \quad (7)$$

որտեղ σ_m –ը առաջին կոնտուրի ներքին կոլեկտորի ներքին տրամագիծն

է, մմ, σ_m –ը՝ առաջին կոնտուրի ճնշումն է, ՄՊա, σ_m –ը՝ երկրորդ կոնտուրի ճնշումը, ՄՊա:

Եկրորդ կոնտուրի ճնշման հետևանքով առաջացած առաջին կոնտուրի առանցքային բեռնվածությունը, կարելի հաշվարկել հետևյալ ձևով.

$$F_{lid,sec} = \pi \cdot \left(\left(\frac{D_{in}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{in}-2h}{2} \right)^2 \right), \quad (8)$$

որտեղ D_{in} –ը կոլեկտորի ներքին տրամագիծն է, մմ, h –ը՝ կոլեկտորի և եռակցման կարի միջև տարածությունը, մմ:

Առաջին կոնտուրի ընդհանուր աքսիալ բեռնվածության բանաձևն է՝

$$F_{ax} = F_{lid,prim} + F_{lid,sec} + |P_d| \quad (9)$$

որտեղ F_{ax} –ն սեփական կշռի առանցքային բեռնվածությունն է, Ն, F_{ax} –ն՝

ներքին ճնշման առանցքային բեռնվածությունը, Ն, F_{ax} –ը՝ սեյսմիկ առանցքային բեռնվածությունը, Ն:

Առաջին և եկրորդ կոնտուրների մեխանիկական ճկվածքի մոմենտները, հաշվի առնելով ոլորման մոմենտը, հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$M_b = \left| \sum_{j=1}^3 (|M_{j,dw} + M_{j,ip}| + M_{j,seism})^2 \right|, \quad (10) \quad M_s = \left| \sum_{j=1}^3 M_{j,s}^2 \right| : \quad (11)$$

որտեղ M_{dw} –ն՝ սեփական կշռի բեռնվածությունն է, Նմ, M_{ip} –ն՝ ներքին ճնշման

բեռնվածությունը, Նմ, M_{seism} –ը՝ սեյսմիկ բեռնվածությունն է, Նմ, M_{seism} –ն՝

ջերմային լարվածության բեռնվածությունը, Նմ:

Առաջին կոնտուրի մեմբրանային լարվածության բանաձևը հետևյալն է.

$$\sigma_m = \frac{F_{ax}}{\gamma \pi D r} : \quad (12)$$

Առաջին և եկրորդ կոնտուրի ճկվածքի դեպքում լարվածության բանաձևերը՝

Պլաստիկ առանցքի մեթոդ: Թերության կրիտիկական չափն այն է, որին հասնելու դեպքում տեղի է ունենում կառուցվածքի ակնթարթային փլուզում:

Շահագործման ընթացքում թերությունների թույլատրելի չափը չպետք է գերազանցի ամրության պաշարի համապատասխան գործակիցներով նվազեցված կրիտիկական չափի արժեքը:

Գլանաձև թաղանթների օղակավոր ուղղությամբ եղած a_c և c_c թերությունների կրիտիկական չափերի հաշվարկման բանաձևը հետևյալն է՝

$$\sigma_f = \frac{2 \cdot R \left[2 \cdot \sin \left(0.5 \cdot \left(\pi - n_a \cdot y \cdot n_\varphi \cdot x - \pi \cdot \frac{\sigma_m}{R} \right) \right) - n_a \cdot y \cdot \sin(n_\varphi \cdot x) \right]}{\pi}, \quad (15)$$

որտեղ σ_f –ը՝ ճկվածքի լարվածությունն է, R –ը՝ մածուցիկ միջավայրի մեջ փլուզման չափորոշիչը, $R = 1.2 \cdot R_{p0.2}$, $R_{p0.2}$ –ը՝ գլանի նյութի հոսունության սահմանը, ՄՊա, $y=a/S$ –ը՝ ճաքի կրիտիկական չափի հարաբերական խորությունը, a –ն՝ ճաքի խորությունը, մմ, S –ը՝ գլանի պատի հաստությունը, մմ, $x=C/R$ –ը՝ ճաքի կրիտիկական չափի երկարության կեսը, C -ն՝ ճաքի երկարության կեսը, մմ; n_x –ն՝ ամրության պաշարի գործակիցը ճաքի խորությամբ (կրիտիկական չափերի համար 1 է); n_φ –ն՝ ամրության պաշարի գործակիցը ճաքի երկարությամբ (կրիտիկական չափերի համար 1 է):

Թերությունը կարելի է ուրվագծել նկ. 5-ում ներկայացված ձևով:

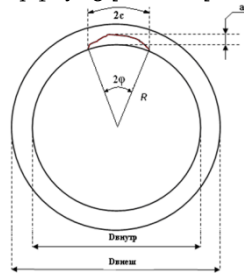
Ամրության պաշարի գործակիցներ.

ՇՆՊ: $n_\sigma=3, n_\varphi=2;$

ՀՓ: $n_\sigma=2, n_\varphi=2;$

ՇՆՊ+ ՀՄԵ: $n_\sigma=1, n_\varphi=2.$

Նկ. 5. Թերությունների սխեմա



Միջանկյալ մեթոդը: Վերջինս լայնորեն կիրառվող մեթոդ է, որի հիմքում էնէրգետիկ հավասարակշռությունն է: Այն կիրառվում է ճաք ունեցող լարված պինդ մարմնի վիճակի գնահատման համար: Միջանկյալ արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով.

$$J = \int_r \left(W dy - T_i \frac{du_i}{dx} ds \right), \quad (16)$$

որտեղ Γ –ն՝ փակ կոնտուր է, որը պետք է շրջանցել ժամացույցի սլաքին հակառակ ուղղությամբ, T –ն Γ կոնտուրին ուղղահայաց է դեպի արտաքին կողմն ուղղված լարվածությունների վեկտորն է, $T_i = \sigma_{ij} n_j$ –ն՝ x առանցքի ուղղությամբ տեղաշարժումներն են, ds –ը՝ Γ կոնտուրի տարրերը, $W = \int_0^{\epsilon_i} \sigma_{mn} d\epsilon_{mn}$ –ը՝ կայունության մոդուլն է (եզրագծային կետերում),

լարվածություն – դեֆորմացիա կապը կարող է լինել ոչ գծային: Ճեղքի (x, y) կոորդինատները գտնվում են x առանցքի վրա:

Այս մեթոդը մշակվել է այնպես, որ դրանով հնարավոր է հաշվի առնել նաև ճկվածքի մոմենտը:

Երրորդ գլխավոր փորձագիտական հետազոտությունների արդյունքների հիման վրա կատարվել է ՋՋԷՌ-440 ПГБ-4с շոգեգնարատորների ДУ-1100 խողովակի և անցումային օղակի ԵԿ-ի համեմատական վերլուծությունը:

Դեռևս 2003 թ.-ին ՀԱԷԿ-ում կատարվել է բոլոր վեց ՇԳ-ի ԵԿ-ների (այդպիսի կարերը 12 են) փորձագիտական հետազոտություն (ավտոմատացված ուլտրաձայնային): Հետազոտության ընթացքում բոլոր

№ n/n	ՇԳ-ի համար		ԱՌԻՏ (PEUT)		ՖՎՏ (PAUT)	
			Երկ., մմ	Խոր., մմ	Երկ.,մմ	Խոր., մմ
1	2ՇԳ-1	«սառ» կոլ.	288	27,5	595	10

կարերի վրա բացահայտվել են ճաքեր, որոնց չափերը գնահատվել են թույլատրելի մակարդակից ցածր:

30.09.2014 – 09.10.2014 ժամանակահատվածում ՀԱԷԿ-ի № 2 էներգաբլոկի բոլոր ՇԳ-ների բոլոր կոլեկտորներում իրականացվել է ԵԿ-ի ԱՌԻՉՀ փորձագիտական հետազոտություն: Այն կատարվել է երկու մեթոդիկայով.

- ՈԻՉՀ «Էխո-պուլս» (PEUT – the Pulse-Echo technique using SIROCO=SUMIAD UT system) (այս մեթոդիկան որակավորված է և՛ Ռուսաստանում, և՛ Հայաստանում),
- ՈԻՉՀ ֆազային վանդակավոր ընդունիչների միջոցով (PAUT–the Phased Array technique): Այս մեթոդը առաջին անգամ է կիրառվել ՀԱԷԿ-ում, որակավորված չէ ո՛չ Ռուսաստանում, ո՛չ Հայաստանում:

Աղյուսակ 2-ում ներկայացված են ՈԻՉՀ արդյունքները՝ կատարված 2014 թ.-ին «Էխո- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով:

Աղյուսակ 3-ում ներկայացված է ՈԻՉՀ արդյունքների համեմատությունը՝ կատարված 2003 թ. նույն «Էխո-պուլս» մեթոդիկայով (PEUT), բերված են երկարության և խորության աճի առագությունները 11 տարվա ընթացքում:

Աղյուսակ 2

Բացահայտված ճաքերի առավելագույն չափերը (խորության մաքսիմումներ, 2014 թ. «Էխո- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT)

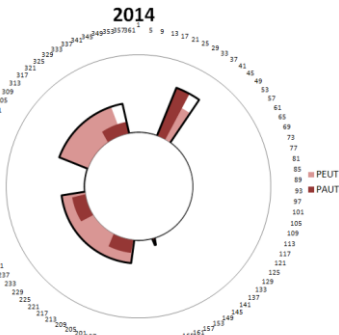
2		«տաք» կող.	648	22,8	329	15,4
3	2ՇԳ -2	«սառը» կող.	944	24,6	515	13,1
4		«տաք» կող.	393	25,2	300	16,7
5	2ՇԳ -3	«սառը» կող.	210	25,6	217	9,1
6		«տաք» կող.	227	22,4	456	14
7	2ՇԳ -4	«սառը» կող.	657	26,5	1160	12,7
8		«տաք» կող.	327	27,2	68	14
9	2ՇԳ -5	«սառը» կող.	824	24	678	11,3
10		«տաք» կող.	748	27,5	312	46,6
11	2ՇԳ -6	«սառը» կող.	506	26,3	727	12,2
12		«տաք» կող.	116	32,9	77	48,4

Աղյուսակ 3

Բացահայտված ճաքերի առավելագույն չափերը (խորության մաքսիմումներ, 2003 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT))

Շոգեզենարատոր № 6, «տաք» կողեկտոր, 2003 և 2014 թթ.

Նկ. 6-ում ներկայացված են ընդհանուր և առավելագույն ճաքերը՝ կատարված 2014 թ. «Էխտ-պուլս»(PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով միասին վերցված:



ում	«Էխտ- պուլս» (PEUT)		Արագություն (11 տարվա ընթացքում)	
	Երկ., մմ	Խոր., մմ	Երկ., մմ	Խոր., մմ
տոր	200	26,8	8,8	0,08
տոր	687	22,7	-3,7	0,01
տոր	521	19,2	42,3	0,5
տոր	431	22,7	-3,8	0,25
կտոր	321	24,5	-11,1	0,11
լտոր	348	23,0	-12,1	0,06
կտոր	784	26,5	-12,7	0
լտոր	527	27,2	20	1,15
կտոր	408	22,2	41,5	-0,18
լտոր	182	27,1	56,6	0,04
կտոր	227	25,1	27,9	0,06
լտոր	227	25,1	-11,1	0,78

Նկ.6. 2014 թ. ստուգման արդյունքները՝ կատարված «Էխտ- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով միասին վերցված:

Ընդհանուր և մաքսիմալ ճաքերը, կատարված «Էխտ- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով միասին վերցված, ներկայացված են աղյուսակ 4-ում: Աղյուսակ 5-ում ներկայացված են 2003 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) մեթոդով կատարված ստուգումների արդյունքները:

Աղյուսակ 4

2014 թ. «Էխտ - պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) եղանակներով կատարված ստուգման արդյունքները միասին վերցված

Դիրք				
№	Անկ. սկիզբ	Անկ. վերջ	Երկ., մմ	խոր., մմ
1	21,50	35,04	130,0	48,42
2	164,00	165,00	9,6	6,86
3	186,47	264,08	745,0	21,91
4	291,85	349,90	557,2	28,44

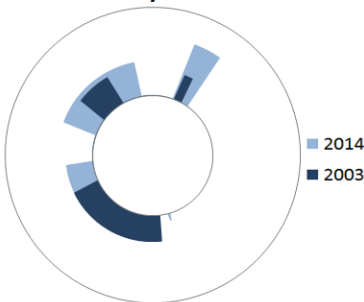
Աղյուսակ 5

2003 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) մեթոդով կատարված արդյունքները

Դիրք				
№	Անկ. սկիզբ	Անկ. վերջ	Երկ., մմ	խոր., մմ
1	21,77	28,24	62,10	21,99
2	174,79	245,78	681,40	22,38
3	308,26	331,92	227,10	25,06

Նկ. 7-ում ներկայացված են 2003 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) մեթոդով և 2014 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով կատարված ստուգումների արդյունքները միասին վերցված:

2014/2003



Նկ. 7. 2003 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) մեթոդով և 2014 թ. «Էխտ- պուլս» (PEUT) և «Ֆազային վանդակ» (PAUT) մեթոդներով միասին վերցված ճաքերի արդյունքները:

ՈՒՁՀ հետազոտությունների ընթացքում բոլոր 12 կարերի վրա բացահայտվել են օղակաձև թերություններ, որոնց խորությունները չեն գերազանցում 7 մմ: №5 և №6 ՇԳ-ների «տաք» կոլեկտորների ԵԿ-ներում հայտնաբերված ճաքերի խորությունների չափերը տարբերվում են իրենց զգալի մեծությամբ և գտնվում են ռեակտորի իրանի ուղղությամբ:

Չորրորդ գլխում կատարվել է փորձագիտական արդյունքների վերլուծություն և ՋՋԷՌ-440 ՇԳ-ի իրանի և ջերմակրի կոլեկտորների հանգույցների մնացորդային ռեսուրսի գնահատում:

ԱԷԿ-ի տարրերի մնացորդային ռեսուրսի գնահատումը կատարվում է ըստ ընթացիկ տեխնիկական վիճակի գնման, շահագործման պատմության վերլուծության, վատթարացման գործոնների վերլուծության, ինչպես նաև հաշվի առնելով վթարային իրավիճակի հնարավոր հետևանքները, որը կարող է առաջանալ տարրի ռեսուրսի սպառմամբ:

Մնացորդային ռեսուրսի վրա վատթարացման գործոնների ազդեցության վերլուծության համար անհրաժեշտ է որոշել բոլոր սթրեսորները, գնահատել դրանց կարևորությունը: Մասնավորապես, ջերմակրի կոլեկտորների և ՇԳ-ի իրանի կոմպոզիտ ԵԿ միջոցով արված միացման հանգույցների կառուցվածքի վատթարացման հնարավոր պատճառներ կարող են հանդիսանալ մետաղի ձերացման հետևյալ մեխանիզմները.

- երմաստիճանային ձերացում – սարքավորումների տեղային հատվածների ջերմաստիճանի պարբերական զգալի փոփոխություններ, և որպես հետևանք՝ մետաղի ամրության նվազում, Չ

- ռոռզիոն ճաքեր՝ լարման տակ – լարվածություններ ագրեսիվ միջավայրում: Հետևանք՝ միկրոճաքերի առաջացում և զարգացում, Կ

- իջբյուրեղային կոռոզիոն ճաքեր – լարվածություններ ագրեսիվ միջավայրում և բարձր ջերմաստիճանի դեպքում: Հետևանք՝ միկրոճաքերի առաջացում և զարգացում, մ

- նդիանուր կոռոզիա – ագրեսիվ միջավայրի բարձր աստիճան, մետաղի քիմիական կայունության անհամապատասխանություն, որի հետևանքը հատվածների մեխանիկական հատկությունների կորուստն է:: Ը

Վատթարացման այս ընդհանուր գործոններից բացի, ԱԷԿ-ների տեխնիկական վիճակի և տարրերի մնացորդային ռեսուրսի վրա էական ազդեցություն ունեն շահագործման պայմանները:

Ջերմաստիճանի գրադիենտը: ՇԳ-ի մետաղի և սնուցող ջրի ջերմաստիճանների կանոնակարգված տարբերությունը խթանում է լարվածությունները եռակցված կարերում, դրանում պարունակվող պեռլիտային և աուստենիտային դասի պողպատների ջերմաստիճանային գծային ընդարձակման գործակիցների տարբերության հետևանքով: Այսպիսով, ՇԳ-ի իրանի մետաղի և սնուցող ջրի ջերմաստիճանային փոփոխությունների տիրույթը, այդ փոփոխությունների արագությունը շահագործման անցումային ռեժիմների ընթացքում, ինչպես և սնուցման ջրի ջերմաստիճանի տատանումները շահագործման նորմալ ռեժիմի ժամանակ,

նկատելի բացասական ազդեցություն են գործում եռակցված կարերի մետաղի վիճակի, ինչպես նաև այդ տարրի մնացորդային ռեսուրսի վրա:

Աշխատանքային միջավայրը. ԵԿ-ի ներքին մակերեսը մշտապես շփման մեջ է գտնվում սնուցող ջրի հետ, որն ագրեսիվ միջավայր է:

Սնուցող ջրի մեջ առկա քլորիդ-իոնների, նատրիումի, կոնդենսատորներից ողողված պղնձի, պատճառով առաջանում են կարի արմատի միջբյուրեղային ճաքեր, առաջացած ճաքերով սնուցող ջուրը ներթափանցում է դեպի առաջին շերտի եզրին գտնվող մետաղը:

Ֆերիտային դասի և աուստենիտային դասի պողպատների միացությունը առաջացնում է գալվանական տարր, որը սնուցող ջրի էլեկտրահաղորդիչ միջավայրում ԵԿ մետաղների «գալվանական կոռոզիայի» պատճառ է դառնում: Ֆերիտի կոռոզիայի ավելի բարձր գործակիցը հանգեցնում է արմատային հատվածի 22K մետաղի կորստի և կոռոզիայի առաջացմանը՝ հալման առաջին շերտի 22K պողպատի և ԵԿ-ի սահմանագծում:

Ներքին լարվածությունը: ПГВ-440 ՇԳ-ի №23 ԵԿ վնասվածքների առաջացման և զարգացման հիմնական պատճառների որոնմանը նվիրված բազմաթիվ ուսումնասիրությունները և վերլուծությունները ի վերջո հանգեցրել են այն ընդհանուր կարծիքին, որ այդ տարրի վատթարացումը առաջանում է մեխանիկական լարվածությամբ, որը կուտակվում է շոգեզեներատորի իրանի խողովակի գալտելային անցման մեջ:

Հնտրվել են շահագործման երեք ռեժիմներ.. ՇՆՊ (շահագործման նորմալ պայմաններ), ՇՆՊ+ՀՄԵ (հաշվարկային մաքսիմալ երկրաշարժ) և հիդրավլիկ փորձարկումներ (ՀՓ) (ըստ խտության և ամրության): Կոնսերվատիզմը բարձրացնելու նպատակով, հաշվարկը կատարվել է ՇՆՊ+ՀՄԵ ռեժիմների դեպքում: Բեռնվածությունները ներկայացված է աղյ. 6-ում:

Աղյուսակ 6

«Տաք» կոլեկտորի ԵԿ բեռնվածությունները՝ ՇՆՊ+ ՀՄԵ պայմաններում

Բեռնվածություն	Առանցքային բեռնված. P, [Ն]	Պտտման մոմենտի բեռնված. M ₁ , [Նմ]	Z առանցքի ծովածքի լարված. M ₂ , [Նմ]	X առանցքի ծովածքի լարված. M ₃ , [Նմ]
Սեփական կշռի	-49341,52	-15488,64	-40638,36	12862,94
Ներքին ճնշման	112,82	208,42	-690,32	-1138,23
Սեյսմականության	124301,84	171551,14	110842,45	95326,98
Ջերմային ընդարձակման	չի օգտագործ.	25865,31	130430,67	1868,04

Առաջին կոնստրուկտիվ ճնշման հետևանքով առաջացած առաջին կոնստրուկտիվ առանցքային բեռնվածությունը կարելի է հաշվարկել (7) բանաձևով: Եկորդ կոնստրուկտիվ ճնշման հետևանքով առաջացած առաջին կոնստրուկտիվ առանցքային բեռնվածությունը կարելի է հաշվարկել (8) բանաձևով (գլուխ 2).

$$F_{lid,prim} = 3,82 \cdot 10^6 \text{ Ն}, \quad F_{lid,sec} = 7,44 \cdot 10^5 \text{ Ն}:$$

Առաջին կոնստուրի ընդհանուր առանցքային բեռնվածությունը «տաք» կոլեկտորի ԵԿ-ի համար, ավելի կոնսերվատիվ արդյունքներով, հաշվարկվում է (9) բանաձևով.

$$F_{ax} = 3,82 \cdot 10^6 + 7,44 \cdot 10^5 + |-49341,52 + 112,82| + 124301,84 = 4,74 \cdot 10^6 \text{ Ն}.$$

Առաջին և երկրորդ կոնստուրի մեխանիկական ձկվածքի մոմենտը, հաշվի առնելով ոլորման մոմենտը, հաշվարկվում է (10) և (11) բանաձևերով՝ «տաք» կոլեկտորի եռակցման ԵԿ, ավելի կոնսերվատիվ արդյունքներով

$$M_{b,rop} = 263670 \text{ Նմ}, \quad M_{e,rop} = 132984 \text{ Ն}:$$

Լարվածությունների արժեքները ներկայացված են աղ. 7, 8-ում՝ ՇՆՊ+ ՀՄԵ և ՀՊ (ըստ խտության և ամրության) ռեժիմների համար:

Աղյուսակ 7

Առաջին կոնստուրի լարվածությունները ԵԿ-ի վրա ՇՆՊ+ ՀՄԵ

Լարվածություն	«տաք» կոլ.	«սառը» կոլ.
Առաջին կոնստուրի մեմբրանային լարվածությունները	17,4 ՄՊա	15,2 ՄՊա
Առաջին կոնստուրի ձկվածքի դեպքում լարվածությունը	3,44 ՄՊա	1,61 ՄՊա
Երկրորդ կոնստուրի ձկվածքի դեպքում լարվածությունը	1,74 ՄՊա	1,60 ՄՊա

Աղյուսակ 8

Ըստ խտության և ամրության փորձարկումների ժամանակ լարվածությունը

«տաք» կոլեկտորի ԵԿ-ում

Լարվածություն	Ըստ խտության	Ըստ ամրության
Առաջին կոնստուրի մեմբրանային լարվածությունները	22,5 ՄՊա	31,4 ՄՊա
Առաջին կոնստուրի ձկվածքի դեպքում լարվածությունը	0,33 ՄՊա	0,33 ՄՊա
Երկրորդ կոնստուրի ձկվածքի դեպքում լարվածությունը	0,43 ՄՊա	0,43 ՄՊա

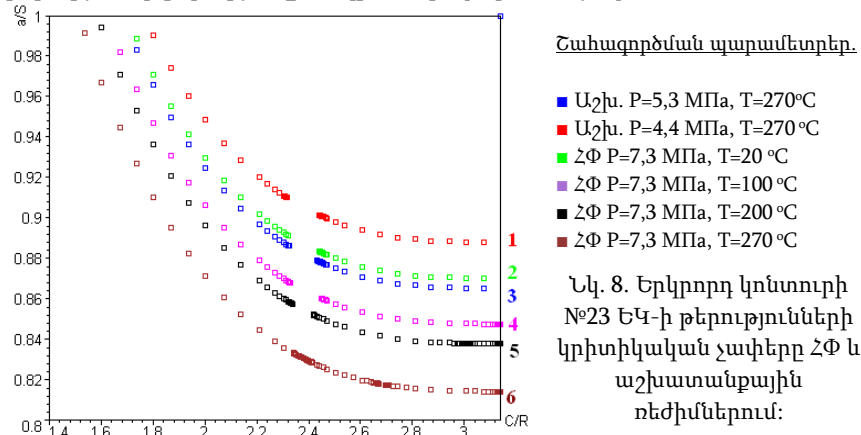
ձկվածքի առկայությամբ լարվածությունը σ_b պլաստիկ դեֆորմացիաների դեպքում, թույլատրելի լարվածությունները S_e ծովածքի դեպքում a/t ճեղքերի տարբեր խորությունների համար ներկայացված են աստենախոսության Հավելված 1-ի աղյուսակներում: Ստացված արդյունքներն օգտագործվել են հետագա հաշվարկների համար:

Կատարվել է կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի թերությունների չափերի որոշում ՇՆՊ, ՀՊ ըստ ամրության և ՇՆՊ+ՀՄԵ ռեժիմներում ՀԱԷԿ-ի ՋՋԷՌ-440 էներգաբլոկի բոլոր Δy -1100 12 խողովակի ԵԿ №23-ի շրջանում: Պլաստիկ առանցքի մեթոդով արված հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են աստենախոսության Հավելված 2-ում: Հաշվարկները իրականացվել են ASME (American Society of Mechanical

Engineers) ծրագրային փաթեթով:

Շահագործման համար թույլատրելի թերությունների չափը չպետք է գերազանցի այն արժեքը, որը հավասար է կրիտիկական չափին նվազեցված համապատասխան ամրության պաշարի գործակցով:

ՇԳ-ի իրանի ներքին բեռնվածության ազդեցությունը №23 ԵԿ մնացորդային ռետուսի վրա ներկայացված է շահագործման ռեժիմների տարբեր պարամետրերի համար թերությունների կրիտիկական չափերի դիագրամներով: Նկ. 8-ում ներկայացված են կրիտիկական չափերի հաշվարկի արդյունքները՝ երկրորդ կոնսուրի հիդրոփորձարկումների ռեժիմում և աշխատանքային ռեժիմում: ՀՓ ռեժիմի համար ընդունվել են տարբեր ջերմաստիճաններ՝ 20°C -ից մինչև 270°C: Նկ. 8-ի կոորդինատներն են՝ ուղղահայաց - թերության հարաբերական խորությունը, հորիզոնական - թերության երկարությունը՝ ռադիաններով արտահայտված:



Ինչպես երևում է թերությունների կրիտիկական արժեքների համադրումից, 1 և 6 ռեժիմների տարբերությունը կազմում է ամբողջ պարագծի թերությունների համար – մինչև 6 մմ թերության խորությամբ, մակերեսի վրա երևացող թերությունների համար – մինչև 220 մմ թերության երկարությամբ: Ակնհայտ է, որ կրիտիկական չափերը զգալիորեն կախված են շահագործման ռեժիմներից: Ռեժիմ 1 (աշխատանքային) և 6 (ՀՓ) կրիտիկական չափերի միջև գոյություն ունի որոշակի տարածություն, այսինքն պաշար: Մինչ այն պահը, երբ թերությունը կհասնի կրիտիկական չափի, աշխատանքային ռեժիմում փլուզումն անհնարին է:

Հաշվարկումից հետո ստացված արդյունքներից վերցվել են ամենաանբարենպաստ տարբերակը, հաշվի առնելով պաշարի գործակիցները, և ձևավորվել են թերությունների կրիտիկական չափերը:

Պատի հաստության ուղղությամբ ճաքի թույլատրելի չափի պաշարը և հնարավորինս առավելագույն թերության երկարության պաշարի գործակիցը

օգտագործվել են շահագործման համար թույլատրելի թերությունների չափերի որոշման համար:

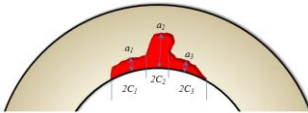
«ԴՅ-1100 խողովակների №23 ԵԿ-ի թերությունների նորմերի» հաշվարկման մեթոդիկան: Վերը կատարված վերլուծության հիման վրա մշակվել է «ԴՅ-1100 խողովակի №23 ԵԿ թերությունների նորմերի» հաշվարկման մեթոդիկան ПГБ-4с շոգեգնեթատորների համար:

Մեթոդիկայում ընդունված է, որ №23 ԵԿ-ի բոլոր թերությունները համարել օղակաձև այնպիսի երկարությամբ, որը հավասար է խողովակի պարագծին ըստ ներքին տրամագծի, այսինքն՝ $2c = 2\pi R$, որտեղ $2c$ -ն թերության երկարությունն է, R -ը՝ ԴՅ-1100 խողովակի ներքին տրամագիծը: Օղակաձև թերության խորությունը $a_{\text{кол}}$ որոշվում №23 ԵԿ-ի ստուգման ընթացքում բացահայտված բոլոր եզակի թերությունների (a_j ; c) չափերը հաշվի առնելով.

$$a_{\text{кол}} = \frac{\sum_{i=1}^k F_i}{2\pi R}, \quad (17)$$

որտեղ F_j -ն եզակի թերության մակերեսն է, մմ²; k -ն՝ ԵՄ №23 գոտում հայտնաբերված եզակի թերությունների քանակը:

Եզակի թերության մակերեսը պետք է գնահատել՝ դրա փաստացի ձևը հաշվի առնելով (նկ. 9).



Նկ. 9. ԵՄ №23 գոտու եզակի թերության մակերեսի ճշգրտում

$$F = (a_1 \cdot 2C_1) + (a_2 \cdot 2C_2) + (a_3 \cdot 2C_3)$$

Օղակաձև թերության խորությունը պետք է լինի թույլատրելի մեծությունից $[a_{\text{кол}}]$ ոչ ավելի՝ կախված առաջիկա շահագործման ժամանակից մինչ հաջորդ հսկումը՝ $a_{\text{кол}} \leq [a_{\text{кол}}]$: Եզակի թերության a_j խորությունը պետք է լինի թույլատրելի արժեքից ոչ ավելի՝ կապված առաջիկա շահագործման ժամանակից մինչ հաջորդ հսկումը՝ $a_j \leq [a_{\text{единичн}}]$: Մեթոդիկան հաշվարկված է այն պայմանով, որ թերության երկարությունը $2c_j$ չի գերազանցում 312 մմ մեծությունը, էներգաբլոկի ԵՄ №23 գոտում տեղադրված են հոսքի հսկման երեք անկախ համակարգ՝ 3,8 լիտր րոպեում զգայունությամբ:

Սույն մեթոդի դրույթների կատարումն ապահովում է շահագործման հուսալիությունը մինչ հաջորդ հսկումը և ըստ դրա արդյունքների վերանորոգումը, ամբողջ պատվածքի համար՝ ոչ ավել քան 10^{-7} հավանականությամբ, դիմադրության չափանիշներով և թերության միջով հայտնաբերված հոսքի առաջացման հավանականությամբ՝ ոչ ավել քան 10^{-5} ՝ շահագործման նույն ժամանակահատվածից մինչ հերթական ստուգումը:

Աղյուսակ 9

Օղակաձև և եզակի թերությունների նորմեր

Թերության խոր., մմ	Մինչ հաջորդ ստուգումը առաջիկա շահագործման ժամանակը կամ ըստ արդյունքների վերանորոգման ժամանակը			
	1 տարի	2 տարի	3 տարի	4 տարի

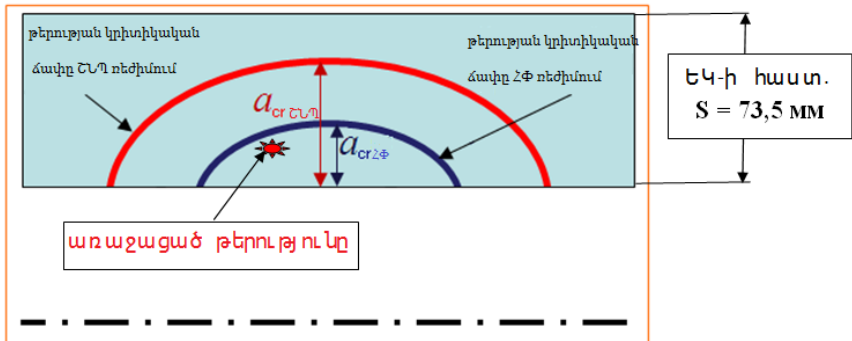
[$a_{единичн.}$]	45	43	41	39
[$a_{кол}$]	19	18	17	16

Հաշվի առնելով ԾԳ-ի կարևորությունը որպես ռեակտորային կայանքի սարքավորման, ԱԷԿ-ի էներգաբովի ապահով և անվտանգ շահագործման հարցերում շատ պատասխանատու խնդիր է շոգեգեներատորի առավել պրոբլեմատիկ հանգույցի մնացորդային ռեսուրսի գնահատումը: ՀԱԷԿ-ի ԾԳ-ի №23 ԵԿ հայտնաբերված ճաքերի մաքսիմալ երկարությունը 312 մմ է՝ 46,6 մմ խորությամբ: Այդ ճաքի տարածումը մինչև մակերես կհանգեցնի ջրի հոսքին 22 671 լ/րոպե ինտենսիվությամբ:

Եռակցված կարի մնացորդային ռեսուրսը որոշվում է բացահայտված թերությունների չափերով և դրանց տարածման արագությամբ: Մնացորդային ռեսուրսի թվային արտահայտությունը (անվտանգ շահագործման առավելագույն ժամանակը) հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$T_S = (S - a_i)/V_S, \quad T_C = (a_r - c_i)/V_C, \quad (18)$$

որտեղ T -ն տարի մնացորդային ռեսուրսն է, S -ը՝ ԵԿ-ի հաստությունը, մմ, a_i -ն՝ բացահայտված թերության խորությունը, մմ, a_r - եզակի թերության կրիտիկական երկարությունը, մմ, c_i - բացահայտված թերության երկարությունը, մմ, V_S, V_C - թերության զարգացման արագությունը ըստ խորության և երկարության, մմ/տարի: Հաջորդությամբ անցկացված ՀՓ-ները հաստատում են, որ խողովակում բացակայում են $a_{cr2\Phi}$ չափից ավելի մեծ



թերությունները, բայց կարող են լինել $a_{cr2\Phi}$ չափից փոքր (նկ. 10):

Նկ. 10. Շահագործման տարբեր ռեժիմների պայմաններում խողովակի պատին թերությունների կրիտիկական չափերի տեղակայման սխեմա

Թերությունները կարող են աճել և հասնել $a_{cr,շն}$, այդ դեպքում խողովակի պատման հավանականություն կա: 2ԾԳ-6 համար ԵԿ խորությամբ և հաստությամբ թերության զարգացման միջին արագությունը՝

$$\frac{a_{\max} + a_{\min}}{2\tau_{\text{жс}}} = \frac{48,4 + 0}{2 * 34} = 0,71 \quad \text{մմ/տարի} \quad (19)$$

որտեղ $a_{\min} = 0$, քանի որ դիտարկվող առարկան կոնսերվատիվորեն ընդունվել է որպես շրջանաձև (երկարությունը հավասար է պարագծին) բացահայտված թերության առավելագույն խորությամբ հավասար խորությամբ, $a_{\max} -$ ը ձեռք է, որի մաքսիմալ խորությունը 48,4 մմ է (2ПГ-6):

Տարրի մնացորդային ռետուրը պետք է ընկալել որպես ժամանակահատված, որի ընթացքում ապահովված է նախագծային ֆունկցիաների կատարումը այդ տարրի կողմից:

Քանի որ ուսումնասիրվող թերությունը կոնսերվատիվ կերպով ընդունված է որպես շրջանաձև, որի խորությունը հավասար է բացահայտված թերության առավելագույն խորությանը, ԵԿ ամբողջականությունն ապահովված է այն թերությունների բացակայության հավաստմամբ, որոնց խորությունը հավասար է կրիտիկական խորությանը՝ հաշվարկված շահագործման համապատասխան ռեժիմի համար:

$a_{cr\Gamma A} = 66$ մմ և $a_{cr2\Phi} = 62$ մմ ստացված արժեքները համեմատվում են իրական (բացահայտված) թերության չափված արժեքների հետ՝ $a_i = 48,4$ մմ:

Թերության փաստացի և կրիտիկական խորությունների բացահայտված տարբերության և թերության զարգացման արագության հարաբերությունը մնացորդային ռետուրի արժեքի թվային արտահայտությունն է.

$$T_{2\Phi} = (62 - 48,4)/0,71 = 19 \text{ տարի}, \quad T_{\Gamma A} = (66 - 48,4)/0,71 = 24 \text{ տարի}:$$

Պահանջվող կոնսերվատիվորեն ապահովելու համար հարկավոր է հիմնվել հիդրավլիկ փորձարկմամբ ապացուցված թերության հնարավոր խորության վրա – ՀՓ դրական արդյունքները բացառում են այնպիսի թերությունների առկայությունը, որոնց խորությունը հավասար է կամ ավելի մեծ է քան $a_{cr2\Phi}$ -ից:

Նման մոտեցման դեպքում ընդունելով $a_i = a_{cr2\Phi}$ ՝ ստանում ենք ԵԿ-ի մնացորդային ռետուրի իրական արժեքը կայանի կայուն շահագործման համար:

$$T_{\Sigma} = \frac{66 - 62}{0,71} = 5,6 \text{ տարի}:$$

Յուրաքանչյուր ՀՓ-ից հետո այդ ռետուրի արժեքը մնում է անփոփոխ:

Ընդհանրացնելով չորրորդ գլխում կատարված աշխատանքի արդյունքները, կարելի է եզրակացնել, որ ՀԱԷԿ-ում ՇԳ-ի ДУ-1100 խողովակների №23 ԵԿ-ում ճաքերի հնարավոր աճը չի գերազանցում տարեկան 0,71 մմ և շոգեգնեռատորի իրանի և ջերմակրի կոլեկտորի եռակցման հանգույցի մնացորդային ռետուրի արժեքը հավասար է 5,6 տարի: ՇԳ-ի հուսալիության և ամբողջականության պահպանման համար հետազոտությունը պետք է պարբերաբար կրկնվի հետագա շահագործման ընթացքում:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Ցույց է տրված, որ ՈԴԵ-4c ՇԳ-ի ԵԿ-ի աուստենիտային և պեռլիտային մետաղների գծային ընդարձակման գործակիցների տարբերության հետևանքով առաջացած ցիկլային բեռնվածությունները բազմամյա շահագործման պայմաններում հանգեցնում են ճաքերի առաջացմանը և զարգացմանը:
2. Ապացուցված է, որ ՀԱԷԿ-ի № 2 էներգաբլոկի ԴԿ-1100 շՊԴ-5 և շՊԴ-6 «տաք» կոլեկտորների ԵԿ-ում հայտնաբերվել են գնահատման նորմերով անթույլատրելի ճաքեր:
3. Հիմնավորված է, որ №23 ԵԿ-ի վերլուծվող թերության զարգացման հետևանքով առաջացած ջերմակրի կոլեկտորները և շոգեգեներատորների իրանների կապող հանգույցի հնարավոր գիլյոտինային պատռվածքը գրեթե չի տարբերվում 2-րդ կոնտուրի համակարգից տեղի ունեցող ցանկացած այլ հոսքից դեպի ՇԳ-ի և ԳՇՊ-ի բոքսեր:
4. Առաջին անգամ մշակվել է հաշվարկման մեթոդաբանություն ԱԷԿ-ի բոլոր ԴԿ-1100 խողովակների №23 ԵԿ-ի շրջանում կրիտիկական և շահագործման համար թույլատրելի թերությունների չափերի գնահատման համար ՇՆՊ, ՀՓ և ՇՆՊ+ ՀՄԵ ռեժիմների դեպքում:
5. Ապացուցված է, որ ՀԱԷԿ-ի շոգեգեներատորների №23 ԵԿ-ում հայտնաբերված թերությունների առավելագույն երկարությունը 312 մմ է՝ 46,6 մմ խորությամբ: Այդ ձեռքի զարգացումը մինչև մակերես կհանգեցնի ջրի հոսքին՝ 22 671 լ/րոպե ինտենսիվությամբ:
6. Մշակվել է «ԶՋԷՌ-440 ռեակտորային տեղակայանքների շոգեգեներատորների ԴԿ-1100 խողովակի №23 ԵԿ թերությունների նորմերը» հաշվարկման մեթոդիկան:
7. Հաստատվել է, որ խողովակի պարագծով №23 ԵԿ-ում ճաքերի հնարավոր աճը չի գերազանցում տարեկան 0,71 մմ և գնահատվել է ԶՋԷՌ-440 ՊԴԵ-4c շոգեգեներատորի իրանի և ջերմակրի կոլեկտորի եռակցման հանգույցի մնացորդային ռեսուրսի արժեքը:

Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկ

1. **Petrosyan V., Vardanyan A., Sevikyan G., Kryukov A.** Irradiation embrittlement assessment and prediction of Armenian NPP reactor pressure vessel steels // Nuclear Engineering and Design. – 2014. – Vol. 272. - P. 28-35.
2. **Варданян А.М.** Причины образования повреждений сварных соединений приварки коллекторов к корпусу парогенераторов ПГВ-440 // Вестник ИАА. – 2016. – Т. 13, № 2. – С. 263-270.
3. **Варданян А.М.** Экспериментальное исследование сварных швов парогенераторов второго энергоблока Армянской АЭС // ВЕСТНИК НПУА. Электротехника, Энергетика. – 2016. - №1. - С. 86-96.

4. **Петросян В.Г., Варданян А.М.** Оценка остаточного ресурса узлов крепления коллекторов теплоносителя к патрубкам корпусов парогенераторов энергоблоков ВВЭР-440// Вестник ИАА. – 2017. – Т. 14, № 2. – С. 215-218.
Варданян Арсен Мовсесович

Оценка влияния условий эксплуатации на остаточный ресурс узлов парогенераторов энергоблоков ВВЭР-440

РЕЗЮМЕ

Наряду с развитием атомной энергетики и длительной эксплуатацией действующих энергоблоков, а также исходя из задачи повышения срока их службы до 45...60 лет при повышении коэффициента использования установленной мощности за счет сокращения сроков ремонта, возрастают требования к надежности и безопасной работе оборудования и трубопроводов атомной электростанции (АЭС), которые во многом определяются правильным техническим обслуживанием.

По мере роста срока эксплуатации АЭС в связи с износом оборудования и ухудшением радиационной обстановки значительно осложняются техническое обслуживание и ремонт оборудования, увеличиваются трудозатраты и численность ремонтного персонала.

Начиная с 2007 года одной из наиболее острых проблем на действующих АЭС являются повреждения разнородных сварных соединений (СС) трубопроводов и оборудования, выполненных с использованием сварочных материалов типа 10X16H25AM6 (электроды ЭА-395/9 и сварочная проволока Св-10X16H25AM6). При этом отсутствуют систематизированные сведения о характере и причинах возникновения вышеназванных повреждений. В связи с этим актуальной задачей является анализ и систематизация выявленных повреждений, определение характера и причин их образования, а также разработка мероприятий по предотвращению образования повреждений и их устранению.

Целью диссертационной работы является исследование разнородных сварных соединений Ду-1100 узла приварки коллекторов теплоносителя из нержавеющей стали 08X18H10T к патрубкам корпусов парогенераторов (ПГ) из стали 22К атомных энергоблоков водо-водяного энергетического реактора 440 (ВВЭР-440).

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: разработать и экспериментально обосновать комплекс мероприятий, способствующих предотвращению образования повреждений сварных соединений узла приварки коллекторов теплоносителя к патрубкам корпусов

парогенераторов; оценить влияние условий эксплуатации на остаточный ресурс узлов крепления коллекторов теплоносителя к патрубкам корпусов парогенераторов ПГВ-4с; оценить размеры критических и предельно допустимых в эксплуатации дефектов сварных соединений узла приварки коллекторов теплоносителя из нержавеющей стали 08X18H10T к патрубкам корпусов парогенераторов из стали 22К.

В диссертации проведен всесторонний анализ результатов экспериментальных исследований и проведен сравнительный анализ сварных швов переходного кольца и патрубка Ду-1100 парогенераторов ПГВ-4с ВВЭР-440. А также проведен анализ экспериментальных результатов и дана оценка остаточного ресурса узла приварки коллекторов теплоносителя к корпусам парогенераторов ВВЭР-440.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что в сочетании с циклическими нагружениями, нагружения, вызванные разницей коэффициентов линейного расширения между аустенитными и перлитными металлами СС ПГВ-4с, в условиях многолетней эксплуатации вызывают образование и развитие трещин.
2. Доказано, что в СС Ду-1100 “горячих” коллекторов 2ПГ-5 и 2ПГ-6 энергоблока № 2 ААЭС выявлены недопустимые по нормам оценки качества несплошности.
3. Обосновано, что возможный гильотинный разрыв переходной втулки узла крепления коллекторов теплоносителя к патрубкам корпусов парогенераторов вследствие развития анализируемого дефекта сварного соединения №23 мало чем отличается от любой другой течи из системы 2-го контура в помещении бокса ПГ и ГЦН.
4. Впервые разработана методология расчетов критических и предельно допустимых в эксплуатации размеров несплошностей в режимах НУЭ, НУЭ+МРЗ и ГИ на прочность и на плотность для всех патрубков Ду-1100 в районе СС23 ПГВ-4с.
5. Доказано, что максимальная длина выявленных дефектов в сварных соединениях №23 парогенераторов ПГВ-4с равна 312 мм при глубине 46,6 мм. Развитие этой трещины до выхода на поверхность (до сквозной) приведет к истечению воды интенсивностью 22 671 л/мин.
6. Разработана методика “Норм дефектов сварных соединений №23 патрубков Ду-1100 парогенераторов реакторных установок ВВЭР-440”.
7. Установлено, что максимально возможный подрост трещины по периметру патрубка в районе сварного шва №23 не превышает 0,71 мм в

год, и оценено значение остаточного ресурса узла приварки коллекторов теплоносителя к корпусам парогенераторов ПГВ-4с ВВЭР-440.

Arsen Movses Vardanyan

The operational conditions' impact assessment of the residual resources of steam generators' components (nodes) for the VVER-440 type units

SUMMARY

Along with the development of nuclear energy and long-term operation of nuclear power plants (NPP), as well as for about 45-60 years lifetime extension issues, the requirements for the reliability and safety of the NPP's loops (pipes) are increasing, which are mainly due to the precise technical maintenance.

During the long-term operation of NPPs due to the depreciation of the equipment and the worsening of the radiation environment the technical maintenance and repairing actions of the equipment are becoming significantly harder, the labor costs and the quantity of staff performing maintenance actions are rising.

Starting from 2007 the damages of welding seams of the equipment and pipes, done with the use of 10X16H25AM6 type welding materials, are the most critical problems for NPPs in operation. Moreover, there is no coordinated information available about the nature and the causes of their generation. For that purpose the investigation and coordination of identified damages, the discovery of the causes and the characters of their occurrence, as well as the issues of actions' characterization are extremely important and urgent.

The aim of current thesis is the study of the seams of composite welding stitches of ДУ-1100 type collectors', made from 08X18H10T type stainless steel pipe, and the steam generator's vessel, made from 22K type metal.

For achieving the objective the following tasks were set: to develop and experimentally justify the complex measures for preventing the damages, to evaluate the operational conditions' impact on collector's pipe and on the residual resource of the loop of ПГВ-4с type steam generator's vessel, to evaluate the critical and operational permissible sizes of the cracks of the coolant collector's (made from 08X18H10T type stainless steel) and steam generator's (made from 22K type metal) vessels's welding loop's.

In the current thesis the comprehensive studies of the experimental investigations were performed and based on that results, the comparative analyses of the welding seams of VVER type reactors ПГБ-4с type steam generators' ДУ-1100 type pipe and transitional circle was done. As well as the analyses of experimental results and evaluation of residual resources of loops of the VVER-440 type steam generator's vessel and coolant's collector were carried out.

BASIC CONCLUSIONS

1. It was shown that, in comparison with cyclic loading, the loads caused by the differences of the coefficients of linear expansions between the austenitic and perlite metals of ПГБ-4с type steam generator's welding seams, under conditions of long-term operation, leads to the formation and increase of the cracks.
2. It has been proved that in the welding seams of the "hot" collectors of ДУ-1100 type 2SG-5 and 2SG-6 of ANPP Unit 2 the unacceptable cracks from the point of view quality control norms were found.
3. It is justified that the possible guillotine rupture of the connecting loop of steam generators' vessels and the coolant collectors generated as a result of the №23 welding seams' defects development little differs from the any other leak from the system of 2nd circuit to the premises of steam generator and of the main circulation pump (MCP).
4. For the first time, a methodology has been developed for calculating the critical and maximum permissible discontinuity sizes in the modes of НУЭ, НУЭ+МРЗ и ГИ for strength and density for all ДУ-1100 type pipes in the area of №23 welding seams' for SG-4.
5. It has been proved that the maximum length of the defects identified in №23 welding seams of steam generators at ANPP is 312 mm, with the depth of 46,6 mm. The development of this crack before reaching the surface will result in the expiration of water with an intensity of 22 671 l / min.
6. Calculation methodology "The norms of the defects in the VVER-440 type reactor's steam generators' ДУ-1100 pipe's №23 welding seams" was established.
7. It was found that increase/development of the crack along the perimeter of the pipe in the area of the welded seam No. 23 does not exceed 0.71 mm per year, and the value of the welding seam loop's residual resource of the VVER type SG-4с steam generator's vessel and coolant collector was estimated.

