

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,  
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ ԱՐԱՄ ԳԵՎՈՐԳԻ

**ՀԱՅԿԱԿԱՆ ԱԷԿՈՒՄ ՌԻՍԿ-ՏԵՂԵԿԱՑՎԱԾ ՍՏՈՒԳՈՒՄՆԵՐԻ  
ԵՐԹՈՒՂԻՆԵՐԻ ԿԱԶՄՄԱՆ ՄԵԹՈՂԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Ե.14.02 - «Միջուկային էներգետիկ կայանքներ» մասնագիտությամբ  
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի  
հայցման ատենախոսության

**ՍԵՂՄԱԳԻՐ**

ԵՐԵՎԱՆ-2022

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА  
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АРМЕНИИ

ХАЧАТРЯН АРАМ ГЕВОРГОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА СОСТАВЛЕНИЯ МАРШРУТОВ  
РИСК-ИНФОРМИРОВАННЫХ ИНСПЕКЦИЙ НА АРМЯНСКОЙ АЭС**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

ԵՐԵՎԱՆ-2022

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Հայաստանի Ազգային Պոլիտեխնիկական Համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝	տ. գ. թ.	Արամ Աշիկի Գևորգյան
Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝	Ֆ.-մ.գ.դ. տ.գ.թ.	Վաչագան Վիկտորի Հարությունյան Շահեն Վյաչեսլավի Պողոսյան
Առաջատար կազմակերպություն՝	Հայկական ՓԲԸ	Ատոմային էլեկտրակայան «ՀԱԷԿ»

Պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ. օգոստոսի 24-ին, ժամը 10.00-ին ՀԱՊՀ-ում գործող ԲՈՀ-ի էներգետիկայի 043 մասնագիտական խորհրդի նիստում (հասցե՝ 0009, Երևան, Տերյան փ, 105, 2-րդ մասնաշենք, 2431): Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀԱՊՀ գրադարանում: Առընտրված է 2022թ. հուլիսի 14-ին:

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



Ա. Ա. Գևորգյան

---

Тема диссертации утверждена в Национальном Политехническом Университете Армении.

Научный руководитель:	к.т.н.	Арам Ашикович Геворгян
Официальные оппоненты:	д.ф.-м.н. к.т.н.	Вачаган Викторович Арутюнян Шаген Вячеславович Погосян
Ведущая организация:		Армянская Атомная электростанция ЗАО “ААЭК”

Защита диссертации состоится 24-го августа 2022г. в 10<sup>00</sup> 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 14-го июля 2022г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета, к.т.н



А.А.Геворгян

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

**Աշխատանքի արդիականությունը:** Ատոմային էլեկտրակայանների անվտանգության վերիֆիկացիայի նպատակով իրականացվում են պարբերական դետերմինիստական ստուգումներ և համակարգերի տարրերի փորձարկումներ: Դետերմինիստական ստուգումների ծրագրման փուլում ստուգվող տարրերի շրջանակը սահմանելիս ելնում են փորձագիտական գնահատումներից և ճարտարագիտական վերլուծություններից: Այդ ստուգումների իրականացման ընթացքում հաշվի չի առնվում կայանի համակարգերի տարրերի ռիսկ-նշանակալիությունը: Այդ խնդիրը կարելի է լուծել ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների ներդրմամբ, որոնցում դետերմինիստական մոտեցումներին զուգահեռ հաշվի են առնվում նաև կայանի անվտանգության հավանականային վերլուծության (ԱՀՎ) արդյունքները: Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման անցնելու նպատակն է խնայել մարդկային, ֆինանսական ռեսուրսները և ժամանակը ստուգումների իրականացման ընթացքում՝ կայանի անվտանգության մակարդակի վրա դրական անդրադառնալու կամ ազդեցություն չունենալու պայմանի բավարարմամբ: Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման ժամանակ հնարավոր է դառնում բարձրացնել ստուգումների արդյունավետությունը՝ առավել կարևոր տարրերի վրա ուշադրությունը սևեռելով: Տարրերի կարևորությունը որոշվում է Անվտանգության Հավանականային Վերլուծության (ԱՀՎ) համապատասխան ցուցանիշների վրա հիմնվելով:

ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված անվտանգության վերիֆիկացիայի (ռիսկ-տեղեկացված ստուգումներ և փորձարկումներ) ներդրման համակողմանի ուսումնասիրության խնդիրն **արդիական է** ստուգումների գործընթացի ծրագրվող վերանայումից առաջ այդ ուղղությամբ գիտական և կիրառական հետաքրքրություն ներկայացնող խնդիրների լուծման և ավանդական դետերմինիստական ստուգումներից ռիսկ-տեղեկացվածի անցման նպատակահարմարության գնահատման տեսանկյունից: Ռիսկ տեղեկացված անվտանգության վերիֆիկացիայի անցնելը հնարավորություն կտա օգտագործել փորձարկումների և ստուգումների անվտանգության բարձրացման ներուժը:

**Աշխատանքի նպատակը:** Աշխատանքի նպատակը ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների ներդրմամբ անվտանգության վերիֆիկացիայի՝ ստուգումների և փորձարկումների, իրականացման միջոցով կայանի անվտանգության մակարդակի բարձրացումն է:

Այս նպատակն իրագործելու համար դիտարկվել և լուծվել են հետևյալ **խնդիրները**.

- ԱԷԿ-ի համակարգերի բարձր և միջին կարևորության տարրերի հայտնաբերում ըստ ռիսկ-նշանակալիության՝ Անվտանգության Հավանականային վերլուծության (ԱՀՎ) ցուցանիշների: Տարրերի ռիսկ-նշանակալիության վրա հիմնված ստուգումների՝ անվտանգության վերիֆիկացիայի, երթուղիների կազմման մեթոդի մշակում:
- Հայտնաբերված խախտումների և անհամապատասխանությունների վերացման հրատապության որոշման մոտեցման մշակում՝ ռիսկ-տեղեկացված վերլուծության հաշվարկային մեթոդների կիրառմամբ:
- Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներով փորձարկումների միջոցով անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման պարբերականության գնահատման մեթոդաբանության մշակում և մշակված մեթոդաբանության կիրառելիության ցուցադրում:
- l Որոշումների կայացման գործընթացում դետերմինիստական և ռիսկերի վերաբերյալ տեղեկույթի համադրման մոտեցման մշակում և մշակված մոտեցման կիրառում ՀԱԷԿ-ի աշխատած միջուկային վառելիքի (ԱՄՎ) չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի օրինակով:

**Հետազոտության մեթոդիկան:** Առաջադրված խնդիրների լուծման նպատակով իրականացվել է ՀԱԷԿ-ի համակարգերի տարրերի ռիսկ-նշանակալիության որոշում՝ կիրառելով տրամաբանահավանականային մաթեմատիկական մոդել և մաթեմատիկական վիճակագրության մեթոդներ: Դետերմինիստական և հավանականային մոտեցումների համադրմամբ մշակվել են արդի համակարգչային ծրագրային միջոցներ կիրառող՝ ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման նոր մեթոդ, ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման նոր մոտեցում, ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության գնահատման նոր մեթոդաբանություն, որոնց կիրառությունը ցուցադրվել է ՀԱԷԿ-ի օրինակով:

**Փիպական արդյունքները և նորույթը:**

1. Մշակվել է որոշումների կայացման գործընթացում դետերմինիստական և ռիսկերի վերաբերյալ տեղեկույթի համադրման նոր մոտեցում:
2. Մշակվել է ԱԷԿ-ներում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման նոր մեթոդ:
3. Մշակվել է ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման նոր մոտեցում:

4. Մշակվել է ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառմամբ ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատման նոր մեթոդաբանություն:
5. Տույց է տրվել ԱԷԿ-ներում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման մեթոդի կիրառելիությունը ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման երթուղիների կազմմամբ:
6. Գնահատվել է ՀԱԷԿ-ի ցայտաջրմուղային (սպրինկլերային), առաջին կոնտուրի ջերմակրի լրասնման և վթարային լրասնման համակարգերի փորձարկումների պարբերականության փոփոխման՝ ակտիվ գոտու վնասման հաճախության վրա հնարավոր ազդեցությունը ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատման մշակված մեթոդաբանության կիրառմամբ:
7. Մշակվել է ԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված մեթոդով անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման մոտեցում, որի կիրառելիությունը ցույց է տրվել ՀԱԷԿ-ի ԱՄԿ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի օրինակով:

***Աշխատանքի արդյունքների գործնական նշանակությունը:***

Ռիսկ-տեղեկացված երթուղիների կազմման մշակված մեթոդը հնարավորություն է տալիս բարձրացնել կայանի անվտանգության մակարդակը՝ անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման ժամանակ թիրախավորելով առավել ռիսկ նշանակալի տարրերը: Անվտանգության վերիֆիկացիայի ընթացքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մշակված մոտեցումը հնարավորություն է տալիս սահմանել եզակի և բազմակի խախտումների վերացման առաջնահերթությունները՝ կայանի անվտանգության վրա խախտումների բացասական ազդեցության նվազեցման նպատակով: Ատոմային կայանների համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատման մշակված մեթոդաբանությունը հնարավորություն է տալիս փորձարկումների պարբերականությունը փոփոխելով՝ նվազեցնել ռեակտորի ակտիվ գոտու վնասման հաճախությունը:

***Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:***

1. ԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման մեթոդ:
2. ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցում:

3. Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառմամբ ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատման մեթոդաբանություն:

**Փորձաքննությունը և հրապարակված աշխատանքները:**

Աշխատության արդյունքները գեկուցվել և քննարկվել են.

- 1 <ԱՊՀ «Ջերմաէներգետիկա և շրջակա միջավայրի պաշտպանություն» ամբիոնի նիստերում և գիտական սեմինարներում (2019-2022թթ., <ԱՊՀ, Երևան):
- 1 <ԱՊՀ տարեկան գիտաժողովներում (2019-2022թթ., <ԱՊՀ, Երևան):
- 1 «Միջուկային և ռադիացիոն անվտանգության գիտատեխնիկական կենտրոն» ՓԲԸ-ի սեմինարներում (2019-2022թթ., <ԱՊՀ, Երևան):
- 1 Միջուկային Անվտանգության Կարգավորման Կոմիտեի սեմինարներում (2019-2022թթ., <ԱՊՀ, Երևան):
- 1 Հունգարիայի Միջուկային կարգավորման կոմիտեի տեխնիկական աջակցության կենտրոնի (NUBIKI)՝ ԱՀՎ կիրառությունների միջազգային առցանց գիտաժողովում, (2020թ., Բուդապեշտ, Հունգարիա):

Ատենախոսության թեմայով հրատարակվել է 8 գիտական աշխատանք:

**Ապենախոսության կառուցվածքը և ծավալը:**

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլխից, եզրակացությունից, երկու հավելվածներից, 116 անուն գրականության ցանկից: Աշխատության ընդհանուր ծավալը 142 էջ է՝ հավելվածների ներառումով: Հիմնական ծավալը 119 էջ է՝ ներառյալ 16 նկար և 15 աղյուսակ:

**ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

**Ատենախոսության ներածությունում** հիմնավորվել է խնդրի արդիականությունը, սահմանվել է աշխատանքի նպատակը, առաջադրվել են նպատակին հասնելուն ուղղված խնդիրները, համառոտ ներկայացվել հետազոտության մեթոդիկան, աշխատանքի գիտական արդյունքները և նորոյթը, աշխատանքի արդյունքների գործնական նշանակությունը, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական գիտական դրույթները:

**Առաջին գլխում** կատարվել է ԱԷԿ-ներում անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման միջազգային և տեղական փորձի, այդ ուղղությամբ արված գիտական հետազոտությունների վերլուծություն: Առկա են անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման դետերմինիստական և ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներ: Ռիսկ-տեղեկացված անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացումը

ենթադրում է ստուգումները ծրագրելիս քանապես և որակապես հաշվի առնել ռիսկերը: Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումները համադրում են Անվտանգության հավանականային վերլուծության (ԱՀՎ) տեղեկությո՞ղ դետերմինիստականի հետ: Դետերմինիստական ստուգումները, սպառելով մեծ ռեսուրսներ, միշտ չէ, որ ներառում են անվտանգության վրա մեծ ազդեցություն ունեցող ռիսկ-նշանակալի տարրեր: Աշխարհի բազմաթիվ ԱԷԿ-ներում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումներին անցնելու արդյունքում հնարավոր է դարձել կրճատել ստուգումների ռեսուրսատարությունը, ստուգումներ իրականացնող անձնակազմի ճառագայթային բեռնվածքները՝ միաժամանակ նվազեցնելով ռեակտորի ակտիվ գոտու վնասման հաճախությունը: ՀՀ Միջուկային Անվտանգության Կարգավորման կոմիտեն (ՄԱԿԿ) ևս ՀԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների գործընթացը ծրագրում է համարել ռիսկ տեղեկացված մոտեցումներով: Այս համատեքստում կարևոր և արդիական խնդիր է ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման ողջ շրջանակի մշակումը, որը թույլ կտա ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների ներդրամա՞բ անվտանգության վերիֆիկացիայի՝ ստուգումների և փորձարկումների, իրականացման միջոցով բարձրացնել կայանի անվտանգության մակարդակը:

Գրականության վերլուծության արդյունքում ձևակերպվել են հետազոտվող խնդիրները՝

- ԱԷԿ-ի համակարգերի բարձր և միջին կարևորության տարրերի հայտնաբերում ըստ ռիսկ-նշանակալիության՝ Անվտանգության Հավանականային Վերլուծության (ԱՀՎ) ցուցանիշների: Տարրերի ռիսկ-նշանակալիության վրա հիմնված ստուգումների՝ անվտանգության վերիֆիկացիայի, երթուղիների կազմման մեթոդի մշակում:
- ┆ Հայտնաբերված խախտումների և անհամապատասխանությունների վերացման հրատապության որոշման մոտեցման մշակում՝ ռիսկ-տեղեկացված վերլուծության հաշվարկային մեթոդների կիրառմամբ:
- Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներով փորձարկումների միջոցով անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման պարբերականության գնահատման մեթոդաբանության մշակում և մշակված մեթոդաբանության կիրառելիության ցուցադրում:
- ┆ Որոշումների կայացման գործընթացում դետերմինիստական և ռիսկերի վերաբերյալ տեղեկությո՞թի համադրման մոտեցման մշակում և մշակված մոտեցման կիրառում ՀԱԷԿ-ի աշխատած միջուկային վառելիքի (ԱՄՎ) չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի օրինակով:

**Երկրորդ գլխում** մշակվել է ՀԱԷԿ-ում դիսկ-տեղեկացված անվտանգության վերիֆիկացիայի (ստուգումների) ծրագրման փուլում երթուղիների կազմման մեթոդ, ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցում, դիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառմամբ ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության վերագնահատման և թիրախային դիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացմամբ փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության բարձրացման մեթոդաբանություն:

Հավանականային վերլուծության մեթոդը օգտագործվում է որևէ կոնկրետ պատահարի վթարային շղթայի հավանականությունը և նրա հետևանքները որոշելու նպատակով: Այն թույլ է տալիս ի հայտ բերել նախագծում անվտանգության տեսանկյունից թույլ կողմերը և վերացնել դրանք: Ընդհանուր դիսկի գնահատման նպատակը ոչ թե մեծ անորոշություններ պարունակող՝ ակտիվ գոտու վնասման, ճառագայթակտիվ արտանետումների և մահացու ելքերի որոշումն է, այլ այդ հավանականության առանձին բաղադրիչների և դրանցից յուրաքանչյուրի կշռի մասին առավել ամբողջական տեղեկությոթի հավաքագրումը: Ատենախոսական աշխատանքում կիրառված են ԱՀՎ FC և RIF ցուցանիշները:

**FC (Fractional Contribution)** ցուցանիշը ցույց է տալիս, թե որքան է դիտարկվող բաղադրիչը կամ միջոցը նպաստում համակարգի խափանմանը:

$$FC(E) = \frac{\sum_i \text{cutset}_i(E)}{P_{\text{top}}}, \quad (1)$$

որտեղ՝  $\sum_i \text{cutset}_i(E)$ -ը E-րդ պատահարի առաջացման համար բավարար՝ խափանումների փոքրագույն համադրությունների հավանականությունների գումարն է, որը որոշվում է Բույան հանրահաշվի կիրառմամբ՝ ԱՀՎ համակարգչային գործիքների միջոցով,  $P_{\text{top}}$  - դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունն է:

**RAW (Risk Achievement Worth)** ցուցանիշը ցույց է տալիս, թե քանի անգամ է աճում դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը՝ դիտարկվող բաղադրիչի անաշխատունակության պատճառով:

$$RAW(E) = \frac{P_{\text{top}}(1)}{P_{\text{top}}}, \quad (2)$$

որտեղ՝ E -ն՝ դիտարկվող հիմնական իրադարձությունն է, P(E) -ն՝ E իրադարձության տեղի ունենալու հավանականությունը,  $P_{\text{top}}$  -ը՝ դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը,  $P_{\text{top}}(x)$ -ը՝ դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը, երբ P(E)=x:



**Ռիսկ-տեղեկացված երթուղիների կազմման մեթոդի մշակումը:**

Հաշվի առնելով գրականության վերլուծությունում նկարագրված՝ ռիսկ տեղեկացված մոտեցումներում առկա բացթողումները, մշակվել է ռիսկ տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման նոր մեթոդ: Դետերմինիստական ստուգումներից ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների անցման ժամանակ անվտանգության վերիֆիկացիա իրականացնող ներկայանային անձնակազմի ստուգայցերի երթուղիների կազմման մշակված նոր մեթոդը ենթադրում է հետևյալ քայլերի կատարում՝

**1. Համակարգերի տարրերի դասակարգում ըստ կարևորության.** Համակարգերի տարրերը դասակարգվել են ըստ կարևորության FC և RAW ցուցանիշների: Համակարգերի տարրերն ըստ կարևորության դասակարգելու պայմանները բերված են աղ.1-ում:

*Աղյուսակ 1*

*Տարրերն ըստ կարևորության դասակարգելու պայմանները*

<b>Պայման</b>	<b>Դասակարգում</b>
<input type="checkbox"/> RAW(E)>2 և FC(E)>0.005 <input type="checkbox"/> RAW(E)>100 <input type="checkbox"/> FC(E)>0.1	Բարձր կարևորություն
<input type="checkbox"/> 2<RAW(E)<100 և FC(X)<0.005 <input type="checkbox"/> RAW(E)<2, FC(E)>0.005;	Միջին կարևորություն
<input type="checkbox"/> RAW(E)<2 և FC(E)<0.005.	Ցածր կարևորություն

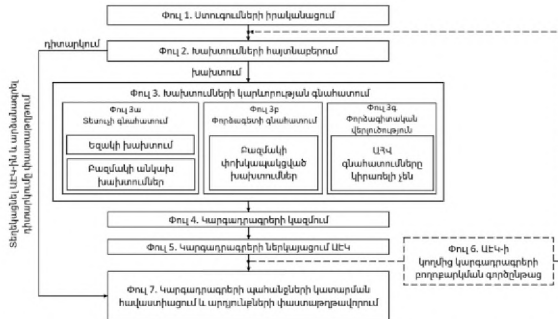
**2. Համակարգերի տարրերի դասակարգում ըստ սրահների.**

Բարձր կարևորության համակարգերի տարրերի ԱՀՎ FC և RIF ցուցանիշները պարունակող աղյուսակները համադրվում են համակարգերի նկարագրություններում բերված՝ տարրերի տեղադիրքին վերաբերող տվյալների հետ, որի արդյունքում ստացվում է բարձր կարևորության համակարգերի տարրերը ըստ սրահների խմբավորող աղյուսակ:

**3. Արդեն իսկ մշակված երթուղիների վերլուծության և սրահների դասավորության հիման վրա երթուղիների մշակում.** Արդեն իսկ մշակված երթուղիները լրացվում են ռիսկ-նշանակալի տարրեր պարունակող՝ նախկինում չստուգվող սրահներով: Սրահները երթուղում ներառվում են դրանց տեղադիրքը հաշվի առնելով, որպեսզի դրանց ստուգումը հնարավորինս նվազագույն չափով երկարացնի առկա երթուղին:

**ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցման մշակումը:** ՀԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների ընթացքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցումը

մշակվել է՝ հաշվի առնելով միջազգային փորձը, միջազգային կարգավորող փաստաթղթերի պահանջները և խորհրդատվությունները: Գործընթացը սխեմայի տեսքով պատկերված է նկ.1-ում:



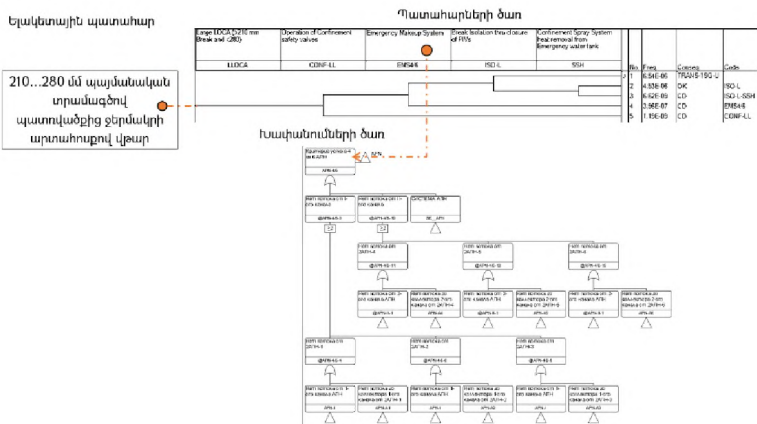
*Նկ.1. Ստուգումների իրականացման արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մշակված գործընթացը*

**ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատման ռիսկ տեղեկացված մեթոդաբանություն:** Փորձարկումները ԱԷԿ-ի համակարգերի և տարրերի աշխատունակության հավաստման հիմնական միջոցն են: Մշակված մեթոդաբանությամբ փորձարկումների իրականացման ժամանակ տարրի անպատրաստությամբ պատճառված ռիսկերի աճը համեմատվում է անվտանգության տեսանկյունից կարևոր այդ տարրերը հնարավոր անպատրաստ վիճակում ավելի երկար պահելու ռիսկերի հետ:

**Երրորդ գլխում** աշխատանքում մշակված՝ ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների ծրագրման փուլում երթուղիների կազմման մեթոդը, ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցումը, ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառմամբ ԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության վերագնահատման և թիրախային ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացմամբ փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության բարձրացման մեթոդաբանությունը, կիրառվել են ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման ծրագրի մշակման նպատակով: Մշակվել են ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման երթուղիներ: ՀԱԷԿ-ում ստուգումների արդյունքում արձանագրված պայմանական խախտումների օրինակով ցույց է տրվել խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցման կիրառելիությունը: ՀԱԷԿ-ի ՊՍՀՀ-ի օրինակով գնահատվել է ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման միջոցով համակարգի խափանման հավանականության նվազեցման ներուժը: Փորձարկումների

ծրագրի ռիսկ-տեղեկացված վերագնահատման մշակված մեթոդաբանության կիրառմամբ գնահատվել է ՀԱԷԿ-ի վթարային լրասնման, առաջին կոնտուրի ջերմակրի լրասնման և ցայտաջրմուղային (սպրինկլերային) համակարգերի փորձարկումների պարբերականության փոփոխման ազդեցությունը ռեակտորի ակտիվ գոտու վնասման հաճախության վրա:

Ատենախոսությունում հաշվարկների իրականացման համար օգտագործվել է RiskSpectrum միջավայրում մշակված ՀԱԷԿ-ի ԱՀԿ մոդելը, ինչպես նաև մշակվել են առանձին համակարգերի մոդելներ SAPHIRE միջավայրում: Առկա մոդելը յուրաքանչյուր կիրառության նպատակով ենթարկվել է բազմաթիվ փոփոխությունների՝ հաշվի առնելով ԱԷՄԳ TECDOC 1804 փաստաթղթում թվարկված հատկանիշները: ԱՀԿ մոդելում յուրաքանչյուր ելակետային պատահարից սկիզբ է առնում վթարային հաջորդականություն (պատահարների ծառ): Պատահարների ծառը մշակվում է ըստ ելակետային պատահարից սկիզբ առած վթարային շղթայի հակազդման: Հակազդող համակարգերը մոդելավորված են դրանց գլխավոր խափանումների տեսքով (top gate), որոնցից յուրաքանչյուրը մոդելավորված է համակարգի կամ համակարգի ուղու (канал системы) խափանումների ծառի տեսքով: ՀԱԷԿ-ի ԱՀԿ հաշվարկային մոդելի կառուցվածքի սկզբունքը մեկ վթարային շղթայի օրինակով ներկայացված է նկ. 2 -ում:



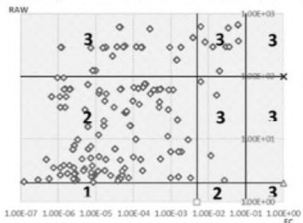
Նկ.2. ՀԱԷԿ-ի ԱՀԿ հաշվարկային մոդելի կառուցվածքի սկզբունքը մեկ վթարային շղթայի օրինակով

Վերլուծությունների արդյունքները հաշվի առնելով՝ մշակվել է ՀԱԷԿ-ում ստուգումների իրականացման բարելավված գործընթաց: ԱՀԿ

արդյունքները ստուգումների կազմակերպման գործընթացում կիրառվել են ռիսկ-նշանակալի տարրերի բացահայտման, և դրանց դասավորությունից ելնելով՝ ռիսկ-տեղեկացված երթուղիների մշակման նպատակով: ՀԱԷԿ-ի բարձր և միջին կարևորության սարքավորումների բաշխումը ըստ ռիսկ-նշանակալիության տիրույթների ներկայացված է նկ.3-ում:

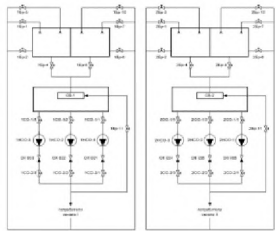
Հայտնաբերված տարրերի ներառումը ստուգումների երթուղիներում կնպաստի ԱԷԿ-ի անվտանգության մակարդակի բարելավմանը:

**Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման միջոցով համակարգի խափանման հավանականության նվազեցումը ՀԱԷԿ-ի ՊԱՀՀ-ի օրինակով:** ԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների շրջանակներում ստուգվում են բազմաթիվ համակարգերի տարրեր: Ներկայանային ստուգումների երթուղիներից մեկը ներառում է Պատասխանատու սպառիչների հովացման համակարգի (ՊԱՀՀ-ի) (նկ.4) պոմպակայանների և տարրերի ստուգումը:



Նկ.3. ՀԱԷԿ-ի բարձր և միջին կարևորության սարքավորումների բաշխումը

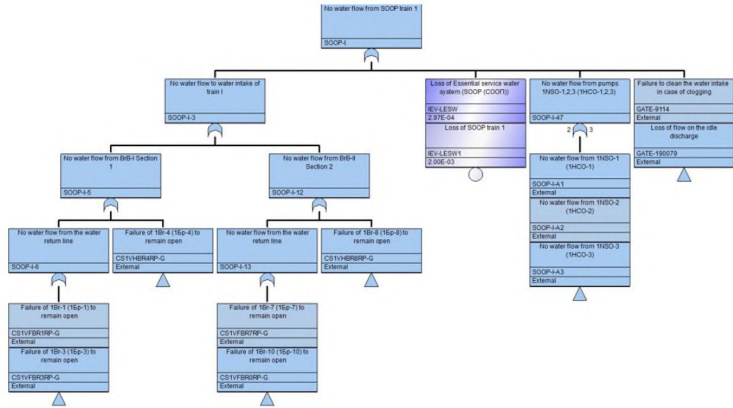
ըստ ռիսկ-նշանակալիության տիրույթների, որտեղ ռիսկ-նշանակալիության տիրույթների բերված թվային նշանակումներն են՝ 1-ցածր, 2-միջին, 3-բարձր



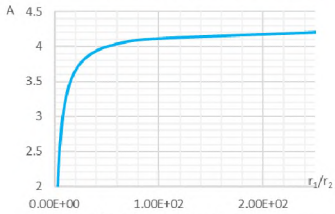
Նկ.4. ՊԱՀՀ-ի պարզեցված սխեման

ՊԱՀՀ-ի ուղու խափանումների ծառի (նկ.5) հաշվարկումը ցույց է տվել ձմռան ռեժիմում կիրառվող Եք-2, Եք-6 ամրանների չփակվելու հետ կապված տարրական պատահարների (CS1VFBR2GA և CS1VFBR6GA)՝ համակարգի ուղու խափանման տեսանկյունից ունեցած մեծ կշիռը (38.1%): Կատարված հաշվարկների արդյունքում ցույց է տրվել, որ ավանդական դետերմինիստական ստուգումների փոխարինումը ռիսկ-տեղեկացված ստուգումներով հնարավորություն կտա ստուգումների ընթացքում ճիշտ թիրախավորել ստուգվող տարրերը՝ այդպիսով նպաստելով ստուգման արդյունավետության էական բարձրացմանը և համակարգի խափանման հավանականության մի քանի (ՊԱՀՀ-ի դեպքում մինչև 4,25) անգամ նվազեցմանը: CS1VFBR2GA և CS1VFBR6GA տարրական պատահարների r հաճախության տարբեր արժեքների դեպքում Պատասխանատու սպառիչների հովացման համակարգի առաջին կանալի խափանման P

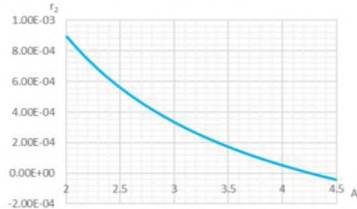
հավանականությունը վերահաշվարկելով և այդ կախման ուսումնասիրության արդյունքում մշակվել են հաջորդ երկու գրաֆիկները (նկ.6, 7):



Նկ.5. Պարասխանադրու սպառիչների հովացման համակարգի առաջին կանալի խափանումների ծառը SAPHIRE միջավայրում



Նկ.6. Պարասխանադրու սպառիչների հովացման համակարգի ուղու խափանման հավանականության նվազման չափը՝ կախված CS1VFBR2GA և CS1VFBR6GA փարրական պարասխանների խափանման հաճախությունների նվազման չափից



Նկ.7. CS1VFBR2GA և CS1VFBR6GA փարրական պարասխանների խափանման հաճախությունների նվազեցված արժեքը՝ կախված պարասխանադրու սպառիչների հովացման համակարգի ուղու խափանման հավանականության նվազման չափից

ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցման կիրառումը ՀԱԷԿ-ի համար սահմանված պայմանական խախտումների օրինակով: Պայմանական խախտումները սահմանվել են տարբեր համակարգերի համար՝ հաշվի առնելով կայաններում իրականում

արձանագրված խախտումների տիպերը: Տարբեր տիպերի Պայմանական խախտումները սահմանվել են տարբեր համակարգերի պոմպերի մղման հատվածի ձեռքով բանեցվող ամրանների համար:

Խախտումների առաջին տիպը ներառում է անձնակազմի A տիպի սխալները (Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>1,2):

Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>1. Վթարային լրասնման պոմպի մղման մասում ձեռքով բանեցվող ամրանը փակ է թողնվել անձնակազմի սխալի արդյունքում: Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>2. Նորոգումից կամ փորձարկումից հետո Լրասնման պոմպի մղման մասում ձեռքով բանեցվող ամրանը փակ է թողնվել:

Խախտումների հաջորդ տիպը ներառում է սխալ մակնիշավորման/նշագրման արդյունք հանդիսացող խախտումները (Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>3): Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>3. Ձեռքով բանեցվող ամրանի փակման ուղղության սխալ նշված լինելու արդյունքում Վթարային սնող պոմպի մղման մասում տեղադրված ամրանը փորձարկումից կամ նորոգումից հետո փակ է թողնվել:

Խախտումների մեկ այլ տիպ ընդգրկում է փաստաթղթերի միջև եղած անհամապատասխանությունները կամ փաստաթղթերում առկա սխալները (Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>4): Պայմանական խախտում N<sup>o</sup>4. Պատասխանատու սպառիչների հովացման համակարգին վերաբերող շահագործող անձնակազմի աշխատանքային ցուցումներում նշված չի եղել ղեկավարման վահանակի վրա պոմպի միացման փոխանջատիչը փորձարկման ավարտից հետո ճիշտ դիրք վերադարձնելու մասին:

Նշված պայմանական խախտումների տարբեր համադրություններով դեպքերի համար իրականացվել են վերահաշվարկներ կայանի համակարգելի ԱՀՎ մոդելներում, ինչպես նաև արդյունքների մշակման տարբերակի կիրառմամբ: Հաշվարկների արդյունքներն ամփոփված են աղ.2- ում:

*Աղյուսակ 2*

*Կայանի անվտանգության վրա Պայմանական խախտումների ազդեցությունը (CDF-ի աճը) ամփոփող հաշվարկային արդյունքները*

Դեպք	Պայմանական խախտում N <sup>o</sup>	Պայմանական խախտում N <sup>o</sup>	Պայմանական խախտում N <sup>o</sup>	ΔCDF
1	2	3	4	5

*Աղյուսակ 2-ի շարունակություն*

1	2	3	4	5
1ա	1	-	-	2.93E-07

1բ	4	-	-	8.31E-07
1գ	1	4	-	1.1E-06
2ա	2	3	-	1.7E-06
2բ	2	3	4	2.51E-06

**ՀԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների ծրագրի պարբերականության գնահատումը մշակված ռիսկ-տեղեկացված մոտեցմամբ:** Համակարգերի ընտրությունը կատարվել է ըստ անվտանգության վրա դրանց ունեցած ազդեցության: Համակարգերի կարևորության գնահատման համար (հիմնվելով կարևորության FC և RIF ցուցիչների վրա) կիրառվել է ԱՀՎ մոդելը:

Ընդհանուր առմամբ հաջող փորձարկումից հետո տարրի միջին անհասանելիությունը՝  $Q=0$  և աճում է ժամանակից կախված ֆունկցիայով: ՀԱԷԿ-ի ԱՀՎ մոդելում ընտրված համակարգերի փորձարկումների ծրագրում ներառված տարրերի խափանման հաճախությունը տվյալ կիրառության նպատակով փոփոխվել և ներկայացվել է փորձարկումների պարբերականությունից կախված ֆունկցիայով: Երբ ԱՀՎ մոդելում փորձարկվող տարրի միջին անհասանելիությունը ( $Q$ ) արտահայտվում է խափանման հաճախությունից ( $\lambda$ ) և փորձարկման պարբերականությունից ( $T$ ) կախված (3) բանաձևով՝

$$Q = \lambda \cdot \frac{T}{2}, \quad (3)$$

ապա մոդելը կիրառելի է փորձարկումների պարբերականության գնահատման խնդրի լուծման նպատակով: Այստեղ խափանման  $\lambda$  հաճախությունը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\lambda = \frac{N_F}{T_{\text{tot}}}, \quad (4)$$

որտեղ  $N_F$ -ը ընդհանուր շահագործման  $T_{\text{tot}}$  ժամանակահատվածում խափանումների թիվն է: Կայանի համակարգերի յուրաքանչյուր տարրի  $\lambda$  խափանման հաճախության հաշվարկման հիմքում ընկած է կայանի շահագործման ընթացքում կուտակված՝ տարրերի հուսալիությանը վերաբերող տվյալների վերլուծությունը: ՀԱԷԿ-ի ընտրված համակարգերի փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության գնահատման նպատակն էր գնահատել փորձարկումների պարբերականության փոփոխման հնարավոր ազդեցությունը կայանի անվտանգության (ռեակտորի ակտիվ գոտու վնասման հաճախության) վրա (աղ. 3):

*Աղյուսակ 3*

*Դիփարկված դեպքերի վերլուծության արդյունքները*

Դիտարկված դեպքը	Ակտիվ գոտու վնասման հաճախության արտահայտված %-ով	Նվազում / Աճ
<b>Վթարային լրասնման համակարգ</b>		
Դեպք 1	1,82%	Նվազում
Դեպք 2	3,26%	Աճ
<b>Լրասնման համակարգ</b>		
Դեպք 1	0,03%	Նվազում
Դեպք 2	0,03%	Աճ
<b>Ցայտաջրմուղային (սպրինկլերային) համակարգ</b>		
Դեպք 1	3,04%	Նվազում
Դեպք 2	8,06%	Աճ
<b>Վթարային լրասնման համակարգ, Լրասնման համակարգ, Ցայտաջրմուղային (սպրինկլերային) համակարգ</b>		
Դեպք 1	4,88%	Նվազում
Դեպք 2	11,10%	Աճ
<b>Դեպք 1. Տարեկան կրկնակի ավելի փորձարկում</b>		
<b>Դեպք 2. Տարեկան կրկնակի պակաս փորձարկում</b>		

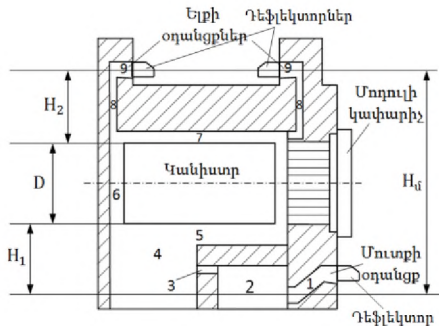
**Ռիսկ-տեղեկացված մեթոդով անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացում ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի օրինակով:** ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի օրինակով ցույց է տրված դետերմինիստական և ռիսկերին վերաբերող տեղեկույթի համադրումը որոշումների կայացման գործընթացում: Այլ կերպ ասած, մշակված է ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների միջոցով ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացման տարբերակ: Նպատակին հասնելու համար մշակվել է ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի ջերմահիդրավիկական հաշվարկի իրականացման պարզեցված մոդել, որը վերիֆիկացվել և վալիդացվել է ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերլուծության հաշվետվությունում ներկայացված հաշվարկների արդյունքների հետ: Ուսումնասիրվել են ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի վերիֆիկացված և վալիդացված ջերմահիդրավիկական հաշվարկի մոդելի արդյունքները տարբեր եղանակային պայմանների համար և այդ եղանակային պայմանների ի հայտ գալու հաճախությունները՝ արդյունքները անվտանգության վերիֆիկացիայի նպատակով կիրառելու



տեսանկյունից: ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր եղանակով պահման պահեստարանի անվտանգության վերիֆիկացիայի ժամանակ իրականացվում են մոդուլի ելքում օդի ջերմաստիճանի չափումներ: Մոդուլի ելքում օդի ջերմաստիճանի աճ սահմանային թույլատրելի արժեքից հնարավոր է մոդուլի օդանցքների խցանման պարագայում: Մոդուլի օդանցքների խցանման ռեժիմների ուսումնասիրության համար կիրառվել է մշակված պարզեցված մոդելը: Չոր եղանակով պահման պահեստարանում ԱՄՎ-ից ջերմությունը հեռացվում է օդի բնական կոնվեկցիայով և ջերմային ճառագայթմամբ: Չոր եղանակով պահպանման պահեստարանի մոդուլում կանխստրից հեռացվող ջերմության քանակը գնահատելու համար անհրաժեշտ է գնահատել բնական շրջանառության օդի զանգվածային ծախսը: Օդի ծախսը մոդուլում գնահատելու համար անհրաժեշտ է գտնել մոդուլում առաջացած շարժիչ հիդրավիկական էջքը: Մոդուլում օդի տաքացման հետևանքով առաջացած շարժիչ էջքը հավասար է մոդուլից դուրս և մոդուլում օդի սյունների ճնշումների տարբերությանը՝

$$\Delta p_{\text{օդ}} = \left( \frac{D}{2} + H_2 \right) \cdot g \cdot \left( \frac{\rho}{R \cdot T_0} - \frac{\rho}{R \cdot T_1} \right), \quad (5)$$

որտեղ  $D$ -ն կանխստրի արտաքին տրամագիծն է, մ,  $H_0$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  երկրաչափական չափսերը ցույց են տրված նկ.8-ում,  $\rho_{\text{օ}}$ -ն օդի խտությունն է մոդուլի ելքում,  $T_0$ -ն օդի բացարձակ ջերմաստիճանն է մոդուլի ելքում,  $\rho_0$ -ն և  $T_0$ -ն օդի խտությունը և բացարձակ ջերմաստիճանը մոդուլի մուտքում,  $R$ -ը չոր օդի գազային հաստատունն է ( $R = 287,058 \text{ Ծ}/(\text{ԾԾ} \cdot \text{Ծ})$ ),  $g$ -ն՝ ազատ անկման արագացումը:



Նկ.8. Մոդուլի

*ընդերկայնական կտրվածքը*

Մոդուլի մուտքի և ելքի ճնշումների տարբերությունը հավասար է մոդուլում հիդրավիկ դիմադրությունների հաղթահարման հետևանքով ճնշման անկմանը, որն էլ իր հերթին չոր պահեստարանի մոդուլում

ճանապարհային և տեղական դիմադրություններով պայմանավորված ճնշման անկումների գումարին՝

$$P_1 - P_2 = \Delta P_{\square, \square}, \quad (6)$$

$$P_1 - P_2 = \sum \Delta P_{\square} + \sum \Delta P_{\square}: \quad (7)$$

Մյուս կողմից, մոդուլի մուտքի և ելքի ճնշումների տարբերությունը հավասար է մոդուլում առաջացած շարժիչ էջքին՝

$$P_1 - P_2 = \left(\frac{D}{2} + H_2\right) \cdot (\rho_0 - \rho_{\square}) \cdot g: \quad (8)$$

Վերջին երկու արտահայտությունների աջ մասերի հավասարեցման արդյունքում ստանում ենք՝

$$\sum \Delta P_{\square} + \sum \Delta P_{\square} = \left(\frac{D}{2} + H_2\right) \cdot (\rho_0 - \rho_{\square}) \cdot g, \quad (9)$$

$$\left(\frac{0,25911}{G^{0,25}} + \frac{0,00722}{G} + 10,1774\right) \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,00352} \cdot \frac{G^2}{2,3091^2} = \left(\frac{D}{2} + H_2\right) \cdot g \cdot \left(\frac{\rho}{R \cdot T_0} - \frac{\rho}{R \cdot T_{\square}}\right): \quad (10)$$

Այստեղ անհայտները երկուսն են՝ G օդի ծախսը մոդուլում և  $T_{\square}$  ջերմաստիճանը մոդուլի ելքում: Անհայտները գտնելու համար պետք է ունենանք հավասարումների համակարգ, որտեղ անհայտների թիվը հավասար կլինի հավասարումների թվին: Դրա համար անհրաժեշտ է ավելացնել ևս մեկ հավասարում: Մոդուլում օդի ինտեգրալային ծախսի համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$G_{\square} = \frac{2 \cdot \rho_0^2 \cdot g \cdot (t_{\square} - t_0) \cdot \delta^3 \cdot L}{40 \cdot \mu \cdot (t_{\square} + 273)} = \left(\frac{2 \cdot \rho_0^2 \cdot g \cdot (t_{\square} - t_0) \cdot L}{40 \cdot \mu \cdot (t_{\square} + 273)}\right) \cdot \left(0,009387 \cdot \left(\frac{t_{\square} + 591}{t_{\square} - 45}\right)^{\frac{1}{4}}\right)^3: \quad (11)$$

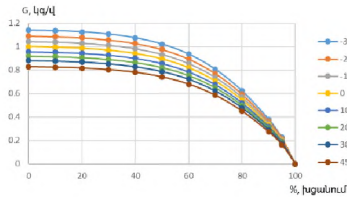
որտեղ L-ը կանխսորի երկարությունն է, մ,  $t_{\square}$ -ն կանխսորի արտաքին մակերևույթի միջին ջերմաստիճանը, °C,  $t_0$ -ն հովացնող օդի միջին ջերմաստիճանն է, °C:

Կանխսորի մակերևույթից ջերմատվությամբ հեռացվող ջերմությունը ընկալվում է օդի հոսքի կողմից՝

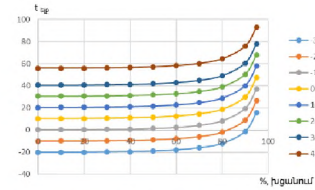
$$G_{\square} \cdot c_p \cdot (t_{\square} - t_0) = 1,36 \cdot (t_{\square} - t_0)^{1,333} \cdot F_{\square}: \quad (12)$$

որտեղ  $F_{\square}$  -ն կանխսորի կողմնային մակերևույթի մակերեսն է,  $\square^2$   $c_p$ -ն չոր օդի տեսակարար զանգվածային ջերմունակությունն է,  $\square/(\square \square \cdot ^\circ\text{C})$ : Արդյունքում կազմենք (10), (11), (12) երեք հավասարումներից և երեք անհայտներից կազմված համակարգ: Տարբեր ջերմաստիճանների համար իրականացված հաշվարկների արդյունքում ստացված օդի ծախսը մոդուլով, օդի ջերմաստիճանը մոդուլի ելքում, կանխսորի մակերևույթի

միջին ջերմաստիճանը և օդի ջերմաստիճանի աճը՝ կախված մուտքի օդանցքի խցանման տոկոսից ներկայացված են նկ. 9...12-ում:

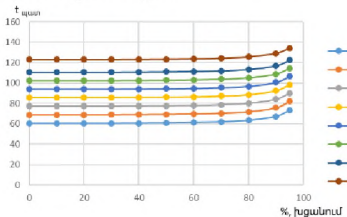


Նկ. 9. ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր պահեստարանի մոդուլով օդի ծախսը արտաքին օդի փարբեր ջերմաստիճանների դեպքում՝ օդի մուտքի օդանցքի խցանման փոփոխից կախված

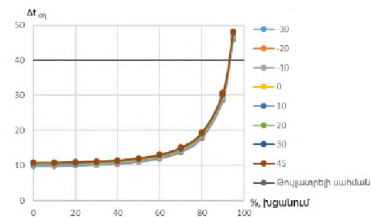


Նկ. 10. ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր պահեստարանի մոդուլի ելքում օդի ջերմաստիճանը արտաքին օդի փարբեր ջերմաստիճանների դեպքում՝ օդի մուտքի օդանցքի խցանման փոփոխից կախված

Այսպիսով խցանման հետևանքով մոդուլում օդի ջերմաստիճանի աճը անթույլատրելի 40°C արժեքի կարող է հասնել արտաքին օդի ցանկացած ջերմաստիճանի դեպքում, ուստի չոր պահեստարանի հարթակի ստուգման պարբերականությունը չի կարելի կապել արտաքին միջավայրի օդի ջերմաստիճանի հետ՝ նվազեցնելով ստուգումները տարվա ցուրտ եղանակին:



Նկ. 11. ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր պահեստարանում փեղադրված կանխարի մակերևույթի միջին ջերմաստիճանը արտաքին օդի փարբեր ջերմաստիճանների դեպքում՝ օդի մուտքի օդանցքի խցանման փոփոխից կախված



Նկ. 12. ՀԱԷԿ-ի ԱՄՎ-ի չոր պահեստարանի մոդուլում օդի ջերմաստիճանի աճը արտաքին օդի փարբեր ջերմաստիճանների դեպքում՝ օդի մուտքի օդանցքի խցանման փոփոխից կախված

### ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Մշակվել է ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների երթուղիների կազմման մեթոդ: Մեթոդի կիրառմամբ մշակվել են

ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման երթուղիներ: Հայտնաբերվել և երթուղիներում ներառվել են ՀԱԷԿ-ի համակարգերի ռիսկ-նշանակալի տարրեր, որոնք գործող ստուգումների ծրագրում չէին ընդգրկված:

2. ՊՍՀՀ-ի օրինակով ցույց է տրվել, որ ավանդական անվտանգության վերիֆիկացիայի՝ ստուգումների, փոխարինումը ռիսկ-տեղեկացված ստուգումներով կարող է հանգեցնել համակարգի ուղու (канал системы) խափանման հավանականության 4,25 անգամ նվազեցման, որը կնպաստի ՀԱԷԿ-ի անվտանգության մակարդակի բարձրացմանը:
3. Մշակվել է ԱԷԿ-ներում իրականացվող անվտանգության վերիֆիկացիայի արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մոտեցում: Առաջարկվող մոտեցման կիրառելիությունը հաստատվել է բազմակի միաժամանակյա պայմանական խախտումների կարևորության հաշվարկմամբ: Կատարված վերահաշվարկումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ մշակված մոտեցման կիրառմամբ հնարավոր է բազմակի միաժամանակյա խախտումներով դեպքերը դասակարգել ըստ անվտանգության վրա ունեցած ազդեցության:
4. Մշակվել է ԱԷԿ-ներում փորձարկումների ծրագրի արդյունավետության ստուգման մեթոդաբանություն և դրա հիման վրա իրականացվել է ՀԱԷԿ-ի ընտրված համակարգերի փորձարկումների պարբերականության գնահատում: Ցույց է տրվել, որ վթարային լրասնման, առաջին կոնտուրի լրասնման, ցայտաջրմուղային (սպրինկլերային) համակարգերի փորձարկումների իրականացման հաճախականության միաժամանակյա կրկնակի մեծացման պարագայում ակտիվ գոտու վնասման հաճախությունը նվազում է 4,88%-ով:
5. Ռիսկ-տեղեկացված մեթոդով անվտանգության վերիֆիկացիայի իրականացմամբ, հաշվի առնելով մոդուլի օդանցքի խցանման ռեժիմների ջերմահիդրավիկական հաշվարկի արդյունքները և կայանի հարթակում օդի ջերմաստիճանների հաճախությունները, եզրակացվել է, որ չոր պահեստարանի հարթակի ստուգման պարբերականությունը չի կարելի կապել արտաքին միջավայրի օդի ջերմաստիճանի հետ:

#### **Ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկ**

1. **Գևորգյան Ա., Խաչատրյան Ա.** Աշխատած միջուկային վառելիքի չոր պահպանման պահեստարանի ջերմահիդրավիկական հաշվարկը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական

- հողվածների ժողովածու - Մաս 2. - Երևան: Ճարտարագետ, 2017.  
- էջ 756-764:
2. **Խաչատրյան Ա.** ԱԷԿ-ներում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման միջազգային փորձի վերլուծություն // Հայաստանի Ճարտարագիտական Ակադեմիայի Լրաբեր (ՀՃԱԼ). - Երևան, 2020. - Հ.17, №2. - էջ 167-170:
  3. **Խաչատրյան Ա. , Կանեցյան Գ. , Գևորգյան Ա.** ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթացի մշակումը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. Գիտ. սերիա. - Երևան, 2021. - Հ. LXXIV, №2. - էջ 158-167:
  4. **Խաչատրյան Ա.** ՀԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների թեմաների ցանկի մշակում՝ միջազգային և տեղական փորձը հաշվի առնելով // Հայաստանի Ճարտարագիտական Ակադեմիայի Լրաբեր (ՀՃԱԼ). - Երևան, 2021. - Հ. 18, №1. - էջ 57-65:
  5. **Խաչատրյան Ա. , Կանեցյան Գ. , Գևորգյան Ա.** ԱԷԿ-ում ստուգայցերի ռիսկ-տեղեկացված երթուղիների կազմման մոտեցման մշակումը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հողվածների ժողովածու. - Մաս 2. - Երևան: Ճարտարագետ, 2021. - էջ 243-250:
  6. **Խաչատրյան Ա. , Կանեցյան Գ. , Գևորգյան Ա.** ԱԷԿ-ի համակարգերի խափանման հավանականությունների նվազեցումը ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման միջոցով // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. - Երևան, 2021. - Հ. LXXIV, №4. - էջ 406-414:
  7. **Khachatryan A., Kanetsyan G., Amirjanyan A., et.al** Application of Risk-Informed Approaches in Significance Determination of Armenian NPP Inspection Findings // Scientific and Technical Journal “Nuclear and Radiation Safety” -Kyiv, 2022.- Vol. 93, № 1.- pp. 27-39. [https://doi.org/10.32918/nrs.2022.1\(93\).03](https://doi.org/10.32918/nrs.2022.1(93).03)
  8. **Կանեցյան Գ. , Խաչատրյան Ա. , Ամիրջանյան Ա. , Գևորգյան Ա.** ՀԱԷԿ-ի համակարգերի փորձարկումների ծրագրի ստուգում ռիսկ-տեղեկացված մոտեցմամբ // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. - 2022. - Հ. 75, №1. - էջ 55-64:

Хачатрян Арам Геворгович

## **Разработка метода составления маршрутов риск-информированных инспекций на Армянской АЭС**

### **РЕЗЮМЕ**

Для верификации безопасности Армянской АЭС (ААЭС), проводятся периодические детерминистские инспекции и опробования систем станции. На этапе планирования детерминистских инспекций исходят из экспертных оценок и инженерного анализа. Во время проведения данных инспекций не учитывается риск-значимость компонентов систем. Проблему можно решить с помощью внедрения риск-информированных инспекций, в которых параллельно с детерминистскими подходами учитываются также результаты Вероятностного Анализа Безопасности (ВАБ). Целью перехода к проведению риск-информированных инспекций является сбережение человеческих, финансовых ресурсов и времени с обязательным удовлетворением условия положительно или нейтрально повлиять на уровень безопасности АЭС. Во время проведения риск-информированных инспекций становится возможным повысить эффективность инспекций, фокусируя внимание на наиболее важные компоненты. Важность компонентов определяется основываясь на соответствующие показатели Вероятностного Анализа Безопасности (ВАБ). Проблема всестороннего исследования внедрения риск-информированной верификации безопасности (риск-информированные инспекции и опробования) ААЭС актуальна с точки зрения определения целесообразности перехода с традиционных детерминистских инспекций на риск-информированные и решения задач в этом направлении, представляющих научный и практический интерес перед планируемым пересмотром процесса проведения инспекций, а также для оценки целесообразности перехода с традиционных детерминистских инспекций на риск-информированные. Переход к риск-информированной верификации безопасности предоставит возможность использовать потенциал опробований и инспекций, повысить безопасность ААЭС посредством проведения верификации безопасности (инспекций и опробований) внедряя риск-информированные подходы. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: Обнаружение компонентов систем АЭС высокой и средней важности исходя из риск-значимости, т.е. показателей Вероятностного Анализа Безопасности (ВАБ). Разработка метода составления маршрутов инспекций, т.е. верификации безопасности, основанных на риск-значимости компонентов; Разработка

подхода определения срочности устранения обнаруженных нарушений и несоответствий применяя расчетные методы риск-информированного анализа; Разработка методологии оценки периодичности верификации безопасности с помощью опробований, посредством риск-информированных подходов и показание применительности разработанной методологии; Разработка подхода сочетания информации о рисках и детерминистской информации в процессе принятия решений и применение разработанного подхода на примере верификации безопасности сухого хранилища отработанного ядерного топлива ААЭС.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан метод составления маршрутов риск-информированных инспекций на ААЭС. Применяя метод, разработаны маршруты проведения риск-информированных инспекций на ААЭС. Обнаружены и включены в маршруты, риск-значимые компоненты систем ААЭС, которые не были включены в программу действующих инспекций.
2. На примере Системы Охлаждения Ответственных Потребителей (СООП) показано, что замена традиционных детерминистских инспекций риск-информированными может привести к уменьшению вероятности отказа канала системы в 4,25 раза, что поспособствует повышению уровня безопасности.
3. Разработан подход оценки важности нарушений, обнаруженных в результате проведения верификации безопасности АЭС. Применимость предложенного подхода утверждена на примерах расчета важности одновременных условных нарушений. Результаты проведенных перерасчетов показывают, что применяя разработанный подход возможно упорядочить по важности случаи с одновременными условными нарушениями.
4. Разработана методология проверки эффективности программы опробований на ААЭС и на основе данной методологии проведена проверка эффективности программы опробований выбранных систем АЭС. Показано, что при одновременном повышении частоты опробований системы аварийной подпитки, системы нормальной подпитки первого контура и спринклерной системы, частота повреждения активной зоны уменьшается на 4,88%.
5. Проведением верификации безопасности риск-информированным методом, учитывая результаты теплогидравлического расчета режимов засорения вентиляционного отверстия модуля и частоты температур воздуха на площадке АЭС, заключено, что периодичность проверки площадки сухого хранилища нельзя связывать с температурой наружного воздуха.

## **Developing a method to draw up risk-informed inspection routes for the ANPP inspections**

### **SUMMARY**

To verify the safety of the Armenian Nuclear Power Plant (ANPP), periodic deterministic inspections and testing of the plant systems are performed. The planning phase of deterministic inspections is based on expert judgment and engineering analysis. During these inspections, the risk significance of system components is not taken into account. The problem can be solved by introducing risk-informed inspections, which, in parallel with deterministic approaches, also take into account the results of the Probabilistic Safety Analysis (PSA). The purpose of the transition to risk-informed inspections is to save human, financial resources and time with the obligatory satisfaction of the conditions to positively or neutrally affect the level of NPP safety. During risk-informed inspections, it becomes possible to increase the effectiveness of inspections by focusing on the most significant components. The significance of the components is determined based on the relevant indicators of the Probabilistic Safety Analysis (PSA). The problem of a comprehensive study of the implementation of risk-informed safety verification (risk-informed inspections and testing) of the ANPP is relevant in terms of determining the feasibility of switching from traditional deterministic inspections to risk-informed ones and solving problems in this direction that are of scientific and practical interest prior to the planned revision of the process of conducting inspections, as well as to assess the feasibility of moving from traditional deterministic inspections to risk-informed ones. The transition to risk-informed safety verification will provide an opportunity to harness the potential of testing and inspections to improve safety.

The purpose of the dissertation is to improve the safety of the ANPP through safety verification (inspections and testing) by introducing risk-informed approaches. To achieve this goal, the following tasks were set: Detection of components of NPP systems of high and medium importance based on risk significance, i.e. Probabilistic Safety Analysis (PSA) indicators. Development of a method for compiling inspection routes, i.e. safety verification based on the risk-significance of the components; Development of an approach for determining the urgency of eliminating detected violations and inconsistencies using the calculation methods of risk-informed analysis; Development of a methodology for assessing the frequency of safety verification via testing, using



risk-informed approaches and showing the applicability of the developed methodology; Development of an approach to combine risk and deterministic information in the decision-making process and application of the developed approach on the example of verification of the safety of the dry storage of spent nuclear fuel at the ANPP.

## BASIC CONCLUSIONS

1. A method has been developed for compiling routes for risk-informed inspections at the ANPP. Using the method, routes for conducting risk-informed inspections at the ANPP have been developed. Risk-significant components of the ANPP systems, which were not included in the program of current inspections, were discovered and included in the routes.
2. Using the Essential Service Water System (ESWS) as an example, it is shown that replacing traditional deterministic risk-informed inspections can lead to a 4.25-fold reduction in the probability of system channel failure, which will contribute to an increase in safety.
3. An approach has been developed for assessing the importance of violations detected as a result of NPP safety verification. The applicability of the proposed approach is confirmed by examples of calculating the importance of simultaneous conditional violations. The results of the recalculations show that, using the developed approach, it is possible to order cases with simultaneous conditional violations in order of importance.
4. A methodology for checking the effectiveness of the testing program at the ANPP has been developed, and on the basis of this methodology, the effectiveness of the testing program for selected NPP systems has been checked. It is shown that with a simultaneous increase in the frequency of testing the emergency make-up system, the normal make-up system of the primary circuit and the spray system, the core damage frequency decreases by 4.88%.
5. Carrying out safety verification by a risk-informed method, taking into account the results of thermal-hydraulic calculation of module vent clogging modes and the frequency of air temperatures at the NPP site, it was concluded that the frequency of checking the dry storage site cannot be decided based on the outdoor air temperature.

