

V.G. PETROSYAN, A.D. GRIGORYAN, E.A YEGHOYAN,
A.P. PETROSYAN, M.R. MOVSISYAN

**DEVELOPING AN ALTERNATIVE METHOD FOR MITIGATION OF
HYDROGEN CHALLENGE AT A SEVERE ACCIDENT AT NUCLEAR
POWER UNITS WITH A WWER-440 REACTOR**

The most probable volumes are determined from the standpoint of accumulation of oxygen and dangerous ignition of hydrogen in case of a possible severe accident at nuclear power units with a WWER-440 reactor. For the most dangerous volume, an alternative method for mitigating the hydrogen challenge is proposed based on a deliberate release of the atmosphere and reduction of oxygen amount by injection of nitrogen.

Keywords: WWER-440, severe accident, hydrogen challenge, nitrogen injection system, filtered venting system, spray system.

ՀՏԴ 621.039.577

Մ.Հ. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ, Մ.Ա. ՄՈՎՍԻՍՅԱՆ

**ՋՋԷՌ-440 ՌԵԱԿՏՈՐՆԵՐՈՎ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈՎԻ ՌԵԱԿՏՈՐԻ ԵՎ
ՇՈԳԵՏՈՒՐԲԻՆԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ
ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ, ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ**

Նկարագրված են ՋՋԷՌ-440 ռեակտորներով ատոմային էլեկտրակայաններում (ԱԷԿ) ռեակտորի և շոգետուրբինի (ՇՏ) կարգավորման համակարգերի մաթեմատիկական մոդելները: Դիտարկվել է ռեակտորի և ՇՏ կարգավորման համակարգերի կայունությունը:

Առանցքային բառեր. ԱԷԿ, ռեակտոր, ՇՏ, սկզբունքային սխեմա, փոխանցման ֆունկցիա, մաթեմատիկական մոդել:

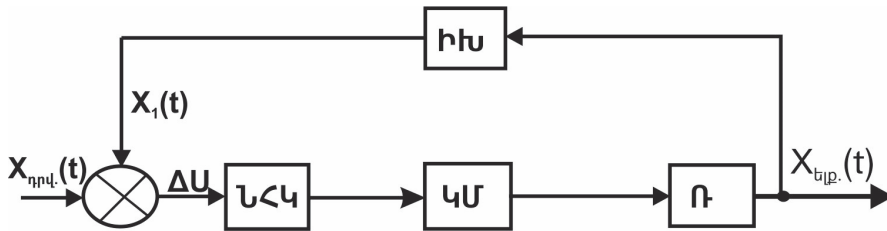
Ատոմային էլեկտրակայանը՝ որպես պոտենցիալ վտանգավորություն ունեցող օբյեկտ, պահանջում է տեխնոլոգիական պարամետրերի անընդատ կարգավորում, որն ապահովում է էներգաբլոկի անվտանգ և բնականոն աշխատանքային ընթացքը:

ԱԷԿ-ի կարգավորման հիմնական խնդիրը աշխատանքային ռեժիմներում ռեակտորի և շոգետուրբինի հզորությունների համապատասխանեցումն է, որը կատարվում է նախօրոք մշակված ավտոմատ կարգավորման համակարգերի միջոցով:

Կարգավորման համակարգերի որակական բնութագրերը ուսումնասիրելու համար կատարված է կարգավորման համակարգի մոդելավորում: Համակարգի մաթեմատիկական մոդելավորումը հնարավորություն է տալիս վիրտուալ ձևով

որոշել տվյալ տեխնոլոգիական գործընթացի արժեքները, այնուհետև դրանք համեմատել տվյալ գործընթացի համար սահմանված օպտիմալ արժեքների հետ:

ՋՋԷՌ-440 ռեակտորի կարգավորման համակարգի պարզեցված սկզբունքային գծային սխեման ունի նկ.1-ում բերված տեսքը, որտեղ ռեակտորը դիտարկված է որպես առանձին կարգավորման օբյեկտ:



Նկ. 1. ՋՋԷՌ-440 ռեակտորի կարգավորման համակարգի սկզբունքային գծային սխեման.

ՆՀԿ- նեյտրոնային հզորության կարգավորիչ, ԿՄ-կատարողական մեխանիզմ, Ռ -ռեակտոր, ԻՄ-իոնացման խուց, $X_{դրվ.}(t)$ -համակարգի դրվածքային մեծություն, $X_1(t)$ -ազդանշանը ըստ ԻՄ-ի, ΔU -շեղումը ընթացիկ և դրվածքային արժեքների միջև՝ $\Delta U = X_{ելք.}(t) - X_{դրվ.}(t)$, $X_{ելք.}(t)$ -համակարգի ելքային (ընթացիկ) ազդանշանը

Կարգավորման համակարգի բաղկացուցիչ օղակների փոխանցման ֆունկցիաները, որոնք համապատասխանում են ՋՋԷՌ-440 ռեակտորներով էներգաբլոկներին, հետևյալն են [1,2].

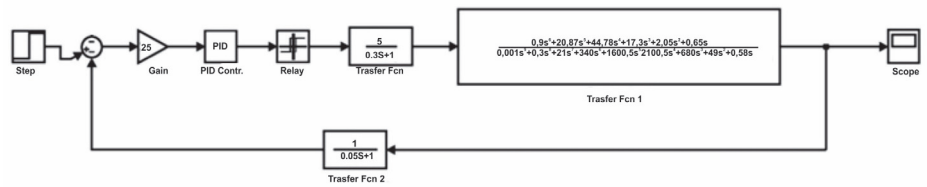
$$W_{\text{ՆՀԿ}}(S) = k_{\text{ՆՀԿ}} = 25, \quad (1)$$

$$W_{\text{ԿՄ}}(S) = \frac{k_{\text{ԿՄ}}}{(T_{\text{ԿՄ}}S + 1)}, \quad \text{որտեղ } k_{\text{ԿՄ}} = 5, T_{\text{ԿՄ}} = 0,3 \text{ ս}, \quad (2)$$

$$W_{\text{ԻՄ}}(S) = \frac{k_{\text{ԻՄ}}}{(T_{\text{ԻՄ}}S + 1)}, \quad \text{որտեղ } k_{\text{ԻՄ}} = 1, T_{\text{ԻՄ}} = 0,005 \text{ ս}, \quad (3)$$

$$W_{\text{Ռ}}(S) = \frac{0.9s^6 + 20.87s^5 + 44.78s^4 + 17.3s^3 + 2.05s^2 + 0.65s}{0.001s^9 + 0.3s^8 + 21s^7 + 340s^6 + 1600.5s^5 + 2100.5s^4 + 680s^3 + 49s^2 + 0.58s} : \quad (4)$$

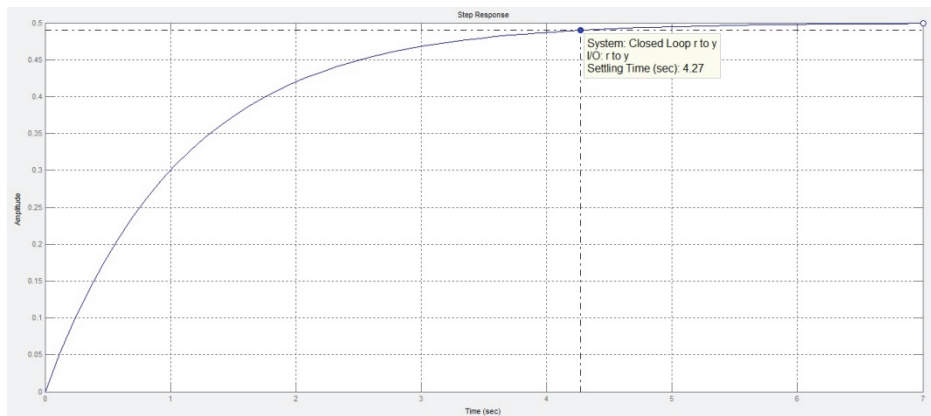
Այս բանաձևերում $W_{\text{Ռ}}(S)$ -ը, $W_{\text{ԻՄ}}(S)$ -ը, $W_{\text{ԿՄ}}(S)$ -ը, $W_{\text{ՆՀԿ}}(S)$ -ը համապատասխանաբար ռեակտորի, իոնացման խցի, կատարողական սարքի և կարգավորիչի փոխանցման ֆունկցիաներն են, k -ն՝ փոխանցման ֆունկցիաների ուժեղացման գործակիցները, T -երը՝ ժամանակի հաստատունները: Տեղադրելով այս փոխանցման ֆունկցիաները Matlab, «Simulink» ծրագրային միջավայրում՝ ստանում ենք ռեակտորի հզորության կարգավորման համակարգի կառուցվածքային սխեման (նկ.2):



Նկ. 2. Ռեակտորի հզորության կարգավորման համակարգի կառուցվածքային սխեման՝ կառուցված «Simulink» ծրագրային միջավայրում

Ռեակտորի կարգավորման համակարգը բաղկացած է գծային և ոչ գծային մասերից, սույն վերլուծության ընթացքում դիտարկված է համակարգի գծային մասը:

Ըստ նկ.2-ի կառուցելով ռեակտորի կարգավորման համակարգի անցողիկ պրոցեսի կորը՝ կստանանք հետևյալ գծապատկերը (նկ.3):

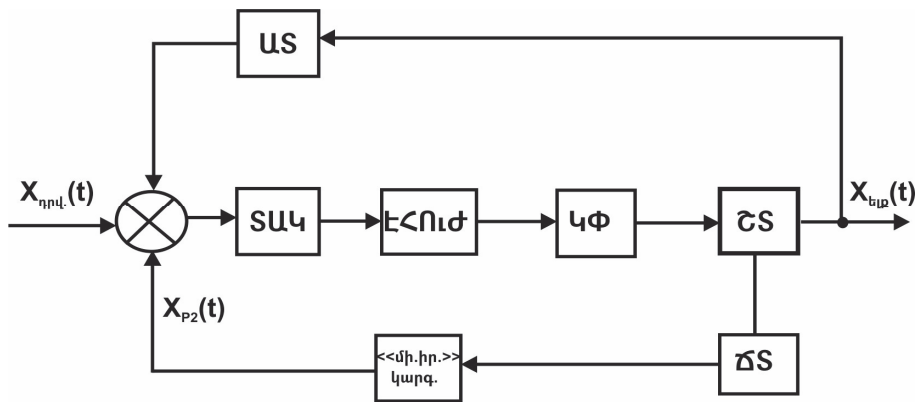


Նկ. 3. Ռեակտորի կարգավորման համակարգի գծային մասի անցողիկ պրոցեսի կորը

Անցողիկ պրոցեսի կորի մշակումից ստացվում է.

- կարգավորման ժամանակը՝ $T_u = 4,27$ վ,
- տատանումների թիվը՝ $n=0$,
- գերկարգավորումը՝ $\sigma = \frac{h_{max} - h_{\infty}}{h_{\infty}} = \frac{|0,48 - 0,5|}{0,5} * 100\% = 4\%$:

Շոգետուրբինի կարգավորման համակարգի մաթեմատիկական մոդելավորման արդյունքում մշակվել է ՇՏ-ի կարգավորման համակարգի սկզբունքային սխեման, որն ունի հետևյալ պարզեցված տեսքը (նկ.4) [3,4].



Նկ. 4. Շոգեպորբինի կարգավորման համակարգի սկզբունքային գծային սխեման. SU4-պորբինի արագության կարգավորիչ, է<Ուժ-էլեկտրահիդրավլիկ ուժեղարար, ԿՓ- կարգավորող փական, ՇՏ-շոգեպորբին, ՃՏ-ճնշման փոխիչ, «մինչև իրեն» կարգավորիչ, US-արագության փոխիչ, $X_{դրվ.}(t)$ - համակարգի դրվածքային մեծություն, $X_{p2}(t)$ -երկրորդ կոնտրոլի ճնշման փոխիչի ազդանշան, $X_{ելք.}(t)$ -համակարգի ելքային ազդանշանը

Ըստ նկ.4-ի տեղադրելով համակարգի բաղկացուցիչ օղակների փոխանցման ֆունկցիաները՝ ստանում ենք.

$$W_{SU4}(S) = \frac{k_{SU4}}{(T_1 S^2 + T_2 S + 1)}, \text{ որտեղ } k_{SU4} = 10, T_1 = 0,001 \text{վ}, T_2 = 0,2 \text{վ}, \quad (5)$$

$$W_{է<Ուժ}(S) = k_{է<Ուժ} = 10,$$

$$W_{ԿՓ}(S) = k_{ԿՓ} = 0,7,$$

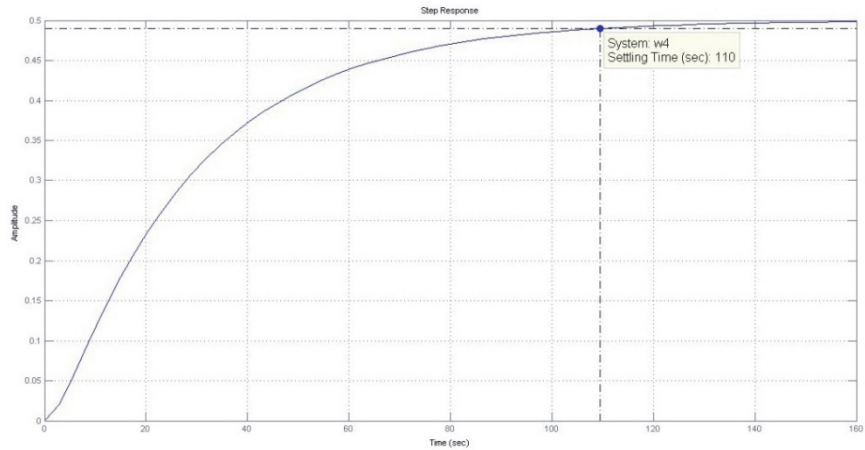
$$W_{ՇՏ}(S) = k_{ՇՏ} = 1, \quad (6)$$

$$W_{մի.իր.}(S) = \frac{k_{մի.իր.}}{(T_{մի.իր.} S + 1)}, \text{ որտեղ } k_{մի.իր.} = 0,8, T_{մի.իր.} = 5 \text{վ}, \quad (7)$$

$$W_{US}(S) = k_{US} = 0,4, \quad (8)$$

$$W_{ՃՏ}(S) = \frac{0,5S^3 + 2,3S^2 + 60S + 52}{0,005S^3 + 1,01S^2 + 5,2S + 1} : \quad (9)$$

Matlab միջավայրում կառուցելով կարգավորման համակարգի անցողիկ պրոցեսի կորը՝ ստանում ենք համակարգի որակական ցուցանիշները (նկ.5):



Նկ. 5. ՇՏ-ի կարգավորման համակարգի անցողիկ պրոցեսի կորը

Անցողիկ պրոցեսի կորի մշակումից ստացվում է.

- կարգավորման ժամանակը՝ $T_u = 110$ վ,
- տատանումների թիվը՝ $n=0$,
- գերկարգավորումը՝ $\sigma = \frac{h_{max} - h_{\infty}}{h_{\infty}} = \frac{|0,47 - 0,5|}{0,5} = 6\%$:

Այսպիսով, հիմնվելով ռեակտորի և ՇՏ-ի կարգավորման համակարգերի մաթեմատիկական մոդելների ուսումնասիրությունների արդյունքների վրա՝ կարելի է կատարել հետևյալ եզրակացությունները.

1. Կարգավորման համակարգերում անցողիկ պրոցեսների որակական ցուցանիշները ցույց են տալիս, որ համակարգերում տատանումներ չկան՝ $n=0$, դիտարկված համակարգերն ունեն գերկարգավորման պաշար և համապատասխանում են կարգավորման համակարգերին ներկայացված պահանջներին:
2. Ռեակտորի կարգավորման համակարգի անցողիկ պրոցեսի կորից կարող ենք ասել, որ անցողիկ պրոցեսը տևում է 4,27 վ, ինչը դրական ցուցանիշ է, քանի, որ ռեակտորում անցողիկ պրոցեսների կարգավորման ժամանակը պետք է տևի հնարավորինս քիչ: ՇՏ-ի անցողիկ պրոցեսի կորից նկատում ենք, որ համակարգում անցողիկ պրոցեսը տևում է 110 վ, այնուհետև այն ինքնաբերաբար կայունանում է և մնում է հաստատուն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Демченко В.А.** Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС. -Одесса: Астропринт, 2001. -305 с.
2. **Шульц М.А** Регулирование энергетических ядерных реакторов / Пер. с англ.; Под ред. Д.И. Воскобойникова. – М.: Изд-во иностр. лит., 1957. – 460 с.
3. **Шальман М.П., Плютинский В.И.** Контроль и управление на АЭС. - М.: Энергия, 1979. -270 с.
4. **Плютинский В.И., Погорелов В.И.** Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок АЭС. -М.: Энергоатомиздат, 1983. -296 с.

М.А. МНАЦАКАНЯН, М.А. МОВСИСЯН

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТОРА И ПАРОТУРБИНЫ ЭНЕРГОБЛОКА С РЕАКТОРАМИ ВВЭР-440

Описаны математические модели систем регулирования реактора и паротурбины в АЭС с реакторами ВВЭР. Рассмотрены вопросы устойчивости систем регулирования реактора и паротурбины.

Ключевые слова: атомная электростанция (АЭС), реактор, паротурбина, принципиальная схема, передаточная функция, математическая модель.

М.Ն. ՄՆԱՏՎԱԿԱՆՅԱՆ, Մ.Ա. ՄՈՎՏԻՏՅԱՆ

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS, DETERMINATION OF THE STABILITY OF REGULATION SYSTEMS OF THE REACTOR AND STEAM TURBINE OF THE POWER UNIT WITH WWER-440 REACTORS

The mathematical models of the reactor and steam turbine regulation systems in NPP with WWER reactors are described, the stability of the regulation systems of the reactor and steam turbine are considered.

Keywords: NPP, reactor, steam turbine, circuit diagram, transfer function, mathematical model.