



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

- [8] Scrum и XP: заметки с передовой [Elektronnyi resurs]. Режим доступа: http://scrum.org.ua/wp-content/uploads/2008/12/scrum_xp-from-the-trenches-rus-final.pdf.

References

- [1] Protsedura stohastychnoi optmizatsii dlia modeli testuvannia z napivmarkovskumu pereklučeniamu [Elektronnyi resurs]. Reshym dostupu: http://irpis-npuv.gov.ua/cgi-bin/irpis_npuv/cgiirpis_64.exe?C21COM=2&I21DPN=UJRN&P21DPN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Mtkm_fiz_mat_2014_10_13.pdf;
- [2] Modeli i metody testuvannia prohramnyh system [Elektronnyi resurs]. Reshym dostupu: http://dspace.npuv.gov.ua/pitstream/handle/123456789/289/%D0%9A%D0%PE%D1%80%D0%PE%D1%82%D1%83%D0%PD_%231.pdf?sequence=1;
- [3] Kryterii dostatnosti protsesu testuvannia prohramnoho zabezpechennia / V. Iakovyna, M. Seniv, IA. Chabanuk, D. Fedasuk, U. Himka // Komputerni nauky ta informatsiini tehnologii : [zb. nauk. pr.] / vidp. red. U. M. Rashkevych. — L. : Vyd-v Lviv. politehnyky, 2010. — С. 346–358;
- [4] Durand J.P., Gaudoin O. Software reliability modelling and prediction with hidden Markov chains // Statistical Modelling (5) — 2005. — pp. 75–93;
- [5] Yamada S. S-shaped reliability growth modelling for software error detection / S. Yamada, M. Ohpa, S. Osaki // IEEE Transactionson Reliability. — 1983. — Vol. R-32, No. 5. — pp. 475–478;
- [6] Pryiniattia rishen v upravlinni rozhaluzhenymy tehnologichnymy protsesamy : monografia / V. M. Dubovoy, G. U. Derman, I. V. Pylypenko, M. M. Baias. — Vinnytsia : VNTU, 2014. — 216 s;
- [7] Dubovoy V. M., Pylypenko I. V., Stets R. S. Zastosuvannia markovskoi modeli dlia analizu vplyvu tsyklichnosti na upravlinnia rozhaluzhenym tehnologichnym protsesom. Naukovi pratsi VNTU, 2014, № 4 [Elektronnyi resurs]. Reshym dostupu: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3827/5583>;
- [8] Scrum i XP: zametki s peredovoi [Elektronnyi resurs]. Reshym dostupu: http://scrum.org.ua/wp-content/uploads/2008/12/scrum_xp-from-the-trenches-rus-final.pdf.

Отримано в редакцію: 10.11.2015 р./ Прийнято до друку: 11.12.2015 р./ Received by edition: 10.11.2015. Approved for the press: 11.12.2015

УДК 621.039.56

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ РАБОТЕ АЭС С ВВЭР-1000 В МАНЕВРЕННОМ РЕЖИМЕ.

Simulation of changes in the structure of technical means of automation at the VVER-1000 while maneuvering

Плахотнюк А.А.¹, Коккол Е.А.¹, Максимов М.В.² (Plakhotnuk A.A., Kokolo E.A., Maksimov M.V.)

^{1,2} Одесский национальный политехнический университет

² E-mail: prof.maksimov@gmail.com

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: [10.15673/2312-3125.24/2015.56334](https://doi.org/10.15673/2312-3125.24/2015.56334)

Аннотация

На атомных электростанциях станциях (АЭС) выдвигаются высокие требования к надежности и безопасности энергоблока. Особое внимание этому уделяется при проведении так называемого маневра мощностью. При эксплуатации энергоблока для более эффективной работы используются три различные



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

программы регулирования, и комбинации из них. На данный момент переключение в различные режимы управления происходят при помощи персонала, то есть вручную. Таким образом является актуальной проблема автоматизации данного процесса. В связи с этим была разработана оптимизационная структура управления оборудованием для обеспечения эффективной работы энергоблока, которая предполагает поддержание параметров на заданном уровне в зависимости от выбранной программы регулирования.

Abstract

High demands are claimed for reliability and safety of power-generating unit at nuclear power plants (NPPs). Special attention is paid to this during the so-called maneuver of capacity. For effective operation during using a power-generating unit there are three different regulation programs and combinations of them. Switching over to variable control modes is currently done by the staff, in other words by-hand. Consequently, the issue of automation of this process is of current importance. Considering this, there was developed an optimization structure of equipment's operation in order to ensure an efficient operation of a power-generating unit, which involves maintaining the parameters at a given level, depending on the selected control program.

Ключевые слова

Оптимизация структуры оборудования, программа регулирования, маневренный режим.

Сегодня в Украине АЭС с реакторами ВВЭР-1000 являются одним из основных поставщиков электроэнергии. В связи с этим существует проблема надежности тепловыделяющих элементов и срока их службы. Путем оптимизации управления структурой оборудования будет обеспечена эффективная работа энергоблока. Проведенный нами обзор и анализ литературы [1 - 3] показал, маневрирование мощностью имеют большую ценность для продления срока службы ресурса. При моделировании системы энергоблока за основу взят [8] сложные уравнения материального баланса наиболее качественно описывают данную систему.

Целью статьи является усовершенствование существующей АСР энергоблока АЭС с ВВЭР-1000, которая позволит с соблюдением регламентных требований, без снижения уровня безопасности, эксплуатировать энергоблок с автоматической системой переключения в разные режимы регулирования.

В [7] был разработан и описан принцип переключения усовершенствованной АСР в различные программы регулирования (рис.1). Программа переключения работает в соответствии с алгоритмом (рис.2)

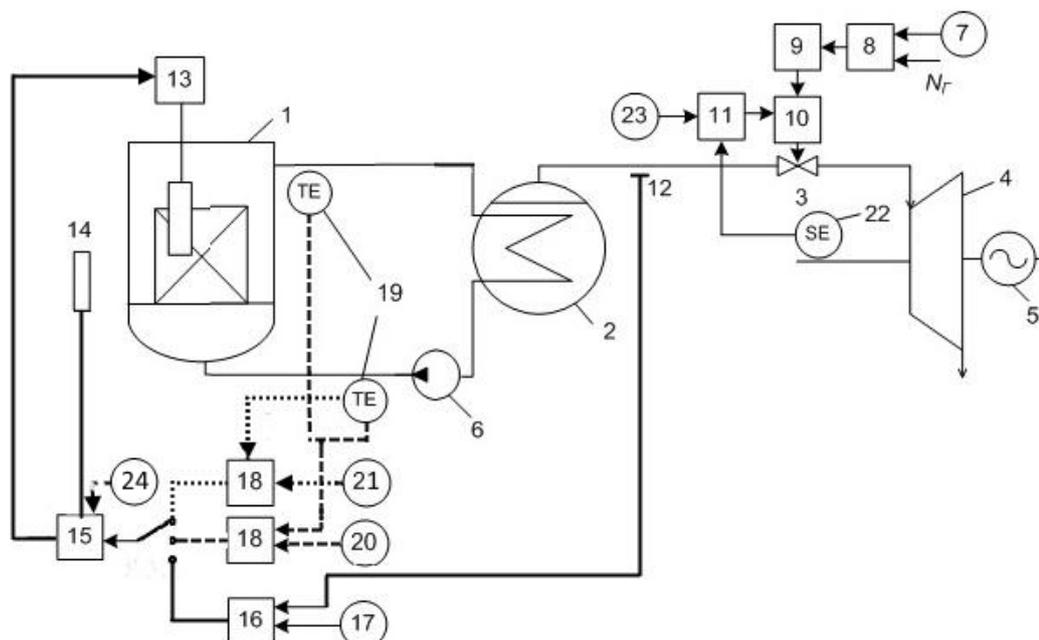


Рис. 1 - Усовершенствованная принципиальная схема АСР энергоблока с реактором ВВЭР-1000

**ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

На рис.1 изображены: 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – регулирующие клапаны турбины; 4 – турбина; 5 – генератор; 6 – главный циркуляционный насос; 7 – задатчик электрической мощности генератора; 8 – регулятор мощности энергоблока; 9 – механизм управления турбиной; 10 – сервомотор; 11 – регулятор частоты вращения турбины; 12 – первичный измерительный преобразователь давления пара во втором контуре; 13 – приводы регулирующих стержней; 14 – ионизационная камера; 15 – регулятор нейтронной мощности реактора; 16 – регулятор давления пара во втором контуре; 17 – задатчик давления пара во втором контуре; 18 – регулятор средней температуры теплоносителя первого контура; 19 – датчики температуры теплоносителя первого контура; 20 – задатчик средней температуры теплоносителя первого контура; 21 – задатчик входной температуры теплоносителя первого контура; 22 – датчик частоты оборотов турбины; 23 – задатчик частоты оборотов турбины; 24 – задатчик нейтронной мощности реактора.

Принцип работы заключается в комплексе действий для поддержания одного из параметров ($t_{cp} = \text{const}$, $N = \text{const}$, $\omega = \text{const}$). В момент маневра мощностью происходит расчет на определение оптимальной программы регулирования и переключение в неё. В связи с большой степенью важности объекта для того что бы не потерять управляемость реактора происходит поддержание нейтронной мощности, при стабилизации которой приходит разрешающий сигнал для переключения.

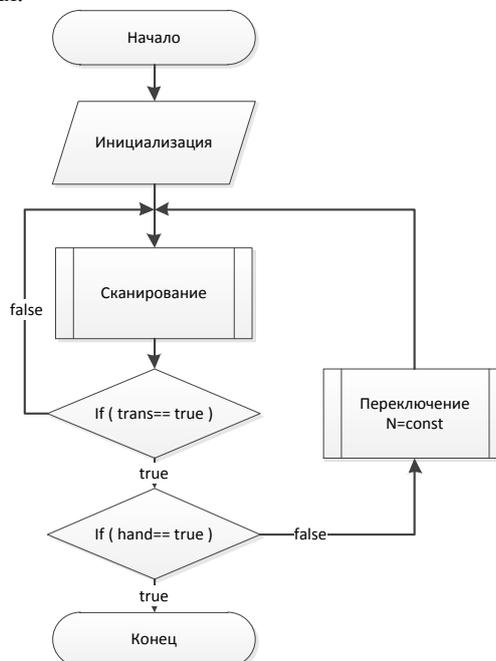


Рис. 2. Алгоритм работы усовершенствованной АСР

Данный усовершенствованная АСР работает в постоянном режиме сканирования сигналов. При получении сигнала о необходимости переключения ($\text{trans}==\text{true}$) в оптимальную программу регулирования, идет проверка на тип переключения ($\text{hand}==\text{true}$) ручной или автоматический. Выбор оптимальной программы регулирования происходит в подпрограмме «Сканирование» (рис.3) система производит расчет для трех программ регулирования..



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

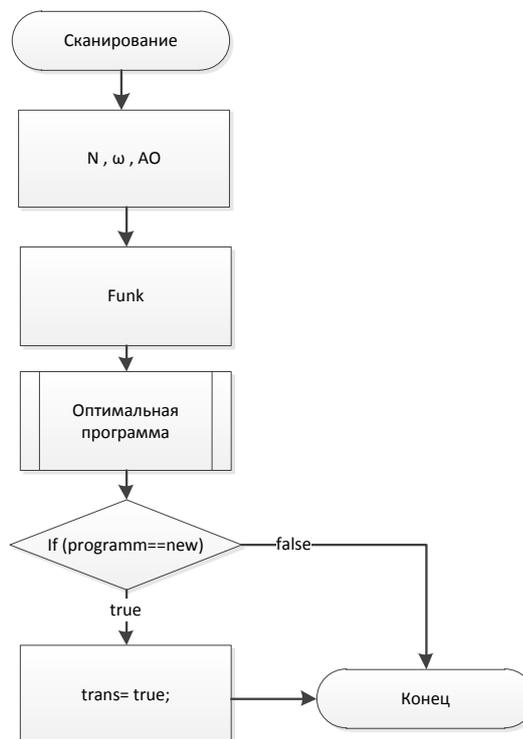


Рис. 3. Алгоритм расчета управляющего сигнала для переключения программ регулирования энергоблоком.

В [4] рассматривалась целевая функция по двум критериям (поврежденность и аксиальный офсет) недостатком данного подхода является не полнота модели в связи с этим предлагаем дополнить данную функцию в которой ключевыми параметрами определяющие оптимальность управления являются: Поврежденности (ω), Мощности (N), и Аксиальные Офсет (АО). Исходя из данного принципа критерием для переключения является оптимизационная функция (E_{ff}).

$$E_{ff} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1 - \omega_i^{max}}{\omega_{lim}}\right)^2 + \left(\frac{1 - (AO_i^{max} - AO_{rec})}{AO_{rec}}\right)^2 + \left(\frac{1 - (N_{max} - N_i)}{N_{max} - N_{min}}\right)^2}{3}} \quad (1)$$

Для расчета оптимальности используя изложенную методику расчета [2] были получены данные о том, как изменение мощности влияет на (АО) (таблица 1.) для трех программ регулирования.

Таблица 1. Изменение АО при разных программах регулирования во время маневра мощностью со 100% до 80%

Часы		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Макс
N, %	$t_{sr} = const$	100	86.5	80	80	80	80	80	80	80	90	100	20
	$t_{vx} = const$	100	89	83.5	82.3	80.5	80	80.1	82.8	87.6	93.4	100	20
	$p_{II} = const$	100	90	84	81.7	80.4	80	80.2	83	88	95.5	100	20
АО, %	$t_{sr} = const$	-3.41	-6	-3.82	-3.49	-3.54	-3.63	-3.95	-4.74	-5.99	-5	-3.38	2.59
	$t_{vx} = const$	-3.41	-4.9	-3.61	-3.52	-3.56	-3.58	-3.65	-3.81	-4.74	-3.8	-3.4	1.49
	$p_{II} = const$	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	-3.41	0



ТЕХНИЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

Так же на основе [6] получены данные линейной мощности ЯЭУ(ядерная энергоустановка), находящаяся на 100% и 80% мощности для рассматриваемых программ регулирования (табл. 2), 20 аксиальных сегментов. Моделирование осуществлялось для четырехгодичной кампании топлива, при стандартных перестановках ядерного топлива в активной зоне и осредненных значениях по энерговыделению каждой ТВС. Принималось, что группы ТВС одного года выгорания имеют одинаковую линейную мощность. Было принято, что перестановка ТВС между кампаниями соответствует стандартной компоновке при условии загрузки 41 свежей ТВС.

Таблица 2. Линейная мощность установки для четырехгодичной кампании топлива

Q	Среднее значения линейной мощности							
	1-й год 240 Вт/см		2-й год 250 Вт/см		3-й год 170 Вт/см		4-й год 120 Вт/см	
	100%	80%	100%	80%	100%	80%	100%	80%
1	120,0	90,0	140,0	90,00	100,0	75,0	70,0	50,0
2	170,2	131,1	192,0	150,75	135,1	100,5	91,3	68,9
3	200,4	159,8	214,0	175,10	147,5	113,9	102,0	77,6
4	215,5	176,0	224,9	182,71	152,1	120,7	106,9	81,6
5	220,4	179,8	243,2	193,28	163,6	126,3	111,0	86,2
6	229,6	184,7	244,7	195,66	164,8	129,7	112,9	89,8
7	234,0	188,7	247,5	200,59	168,0	133,8	114,5	91,6
8	236,6	192,6	248,6	204,14	171,0	137,0	116,0	92,9
9	239,0	196,6	249,2	204,84	174,4	138,2	117,8	95,1
10	242,6	195,1	250,2	206,98	178,6	140,2	120,4	94,9
11	238,3	195,1	249,1	205,39	175,9	141,0	120,0	94,1
12	236,4	192,4	248,2	201,87	176,1	140,6	120,2	93,2
13	236,2	184,5	248,1	196,91	175,7	138,5	119,7	93,1
14	228,6	183,9	243,3	189,23	173,1	136,0	118,8	91,6
15	224,7	179,7	239,7	179,33	169,8	132,7	117,9	89,8
16	220,8	172,1	230,8	167,59	165,9	128,1	115,7	86,7
17	209,3	158,5	210,6	154,51	157,7	122,9	111,4	83,6
18	198,3	138,6	186,6	119,40	151,0	115,4	108,8	76,9
19	169,2	112,4	147,8	80,51	133,4	99,7	99,9	67,0
20	100,0	80,0	80,4	60,00	90,0	70,0	75,4	54,9

В табл. 3 приведены результаты расчетов поврежденности оболочек твэлов ω (в основу расчетов было положено [11]) по двадцати аксиальным сегментам для рассматриваемых программ регулирования на 350, 700, 1050 и 1400 сутки эксплуатации активной зоны..

Таблица 3 Поврежденности оболочек твэлов для рассматриваемых программ регулирования

I	$t^{ex} = const$				$p_{II} = const$				$t^{cp} = const$			
	ω_{350}	ω_{700}	ω_{1050}	ω_{1400}	ω_{350}	ω_{700}	ω_{1050}	ω_{1400}	ω_{350}	ω_{700}	ω_{1050}	ω_{1400}
1	0.000	0.040	0.101	0.190	0.020	0.045	0.081	0.190	0.044	0.055	0.066	0.209
2	0.004	0.045	0.189	0.312	0.017	0.053	0.186	0,321	0,033	0.066	0,207	0.363
3	0,007	0.062	0,259	0,407	0,015	0.071	0,266	0,424	0,026	0.088	0,310	0,484
4	0,011	0.089	0,311	0,477	0,015	0.099	0,326	0,499	0,021	0.120	0.380	0.572
5	0.015	0.127	0.349	0.522	0.016	0.137	0.369	0.546	0.019	0.163	0.425	0.627
6	0.018	0.176	0.377	0.540	0.019	0.186	0.398	0.565	0.021	0.216	0.453	0.649
7	0.022	0.214	0.395	0.549	0.022	0.219	0.417	0.570	0.025	0.250	0.470	0.657
8	0.022	0.233	0.409	0.563	0.027	0.235	0.429	0.579	0.032	0.266	0.484	0.669
9	0.029	0.250	0.419	0.578	0.034	0.251	0.437	0.591	0.042	0.283	0.501	0.679
10	0.039	0.264	0.429	0.592	0.048	0.265	0.445	0.604	0.056	0.301	0.514	0.690



ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ

11	0.054	0.275	0.441	0.606	0.061	0.277	0.457	0.616	0.068	0.318	0.522	0.699
12	0.073	0.285	0.446	0.617	0.073	0.287	0.464	0.628	0.078	0.332	0.529	0.708
13	0.086	0.294	0.448	0.625	0.082	0.294	0.466	0.635	0.088	0.341	0.534	0.716
14	0.094	0.302	0.452	0.628	0.090	0.303	0.471	0.639	0.095	0.343	0.538	0.723
15	0.096	0.304	0.453	0.627	0.096	0.312	0.477	0.636	0.101	0.349	0.540	0.730
16	0.091	0.303	0.449	0.619	0.097	0.312	0.477	0.626	0.110	0.348	0.540	0.731
17	0.080	0.287	0.435	0.604	0.091	0.302	0.466	0.607	0.112	0.344	0.540	0.713
18	0.062	0.256	0.408	0.582	0.077	0.270	0.439	0.578	0.100	0.312	0.496	0.676
19	0.038	0.211	0.366	0.549	0.054	0.219	0.390	0.537	0.077	0.250	0.430	0.622
20	0.008	0.150	0.303	0.507	0.022	0.150	0.315	0.483	0.044	0.165	0.341	0.550

После получения всех необходимых данных для расчетов, была рассчитана текущая эффективность каждой программы регулирования. В таблицу 4 выведены данные в моменты эксплуатации на 350, 700, 1050, 1400 сутки эксплуатации активной зоны.

Таблица 4. Показатели эффективности программ регулирования в течении четырехгодичной кампании

Программа Регулирования	Eff_{350}	Eff_{700}	Eff_{1050}	Eff_{1400}
$t^{cp} = const$	0,701	0,681	0,668	0,659
$p_{II} = const$	0,621	0,599	0,585	0,575
$t^{ex} = const$	0,707	0,688	0,677	0,668

Вывод

В результате разработки была смоделирована система изменения структуры технических средств автоматизации при работе АЭС с ВВЭР-100 в маневренном режиме. Рассчитана эффективность работы программы переключения на 1400 суток эксплуатации активной зоны. Автоматическое переключение программ регулирования осуществлялось при помощи оптимизационной функции, с учетом изменения Поврежденности (ω), Мощности (N), и Аксиальные Офсет (АО), для повышения эффективности работы.

Литература

- [1] ЦИСЕЛЬСЬКА Т.А. УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ У МАНЕВРЕНИХ РЕЖИМАХ ДОБОВОГО ЦИКЛУ : Автореферат дис. канд. техн. наук Одеса ОНПУ, 2012 -24с;
- [2] Пелих С.М. Теоретичні та технологічні основи безпечної експлуатації твєлів легководного реактора : Автореферат дис. дос. техн. наук Одеса ОНПУ, 2013 -44;
- [3] Баскаков В.Є. Компромісно-комбінований метод регулювання потужності ру з ввер-1000 (в-320) у змінному режимі навантаження : Автореферат дис. канд. техн. наук Одеса ОНПУ, 2010 -23с;
- [4] Пельх С.Н. Комплексный критерий эффективности алгоритма маневрирования мощностью РУ с ВВЭР–1000 в переменном режиме / С.Н. Пельх, В.Е. Баскаков, Т.В. Цисельская // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2009. – Вып. 2(32). – С. 53 – 58;
- [5] Пелих, С.М. Математична модель зміни властивостей оболонки твєла ВВЕР–1000 в змінному режимі навантаження // Ядерна фізика та енергетика. – 2010. – Т. 11, № 3 – С. 275–279;
- [6] Цисельская, Т. А. Исследование АКЗ ВВЭР-1000 при разных программах регулирования энергоблоком / Т. А. Цисельская // Автоматика-2011. 18-а Міжнар. конф. з автоматичного керування. – Львів : «Львівська політехніка», 2011 р. – С. 237–239;
- [7] Плахотнюк А.А. Усовершенствованная АСУ ТП переключения программ регулирования энергоблоком. / Плахотнюк А.А., Кокол Е.А., Максимов М.В. / Автоматизация технологических и бизнес-процесов Volume 7, Issue 3 /2015 – С 26-33;
- [8] Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control [Text] / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya // Пр. Одес. політехн. ун-ту. — Одеса, 2012. — Вип. 1(38). — С. 99-106;

**ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ**

- [9] Цисельская Т. А. Усовершенствованная АСР энергоблоком реактора [Текст] / О. Б. Максимова, Т. А. Цисельская // тез. доп. 10-та між нар. наук.–практ. конф. по атом. Енергетиці, Севастополь, 2002. – С. 33 – 40;
- [10] Фощ, Т.В. Анализ влияния методов управления мощностью энергоблока с водо-водяным реактором на аксиальный офсет / Т. В. Фощ, М. В. Максимов, М. В. Никольский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ,2014 - С. 19 – 27;
- [11] Сузуки, М. Моделирование поведения твэла легководного реактора в различных режимах нагружения / Мотоэ Сузуки; автор. пер. с англ. С.Н. Пельх. – Одесса: Астропринт, 2010. – 248 с.

References

- [1] Tsyselska t.a. udoskonalennia avtomatyzovanoi systemy keruvannia potuzhnistiu enerhobloka aes dlia ekspluatatsii u manevrenykh rezhymakh dobovoho tsyklu : Avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk Odesa ONPU,2012 -24s;
- [2] Pelykh S.M. Teoretychni ta tekhnolohichni osnovy bezpechnoi ekspluatatsii tveliv lehkododnoho reaktora : Avtoreferat dys. dos. tekhn. nauk Odesa ONPU,2013 -44;
- [3] Baskakov V.Ie. Kompromisno-kombinovanyi metod rehuliuвання potuzhnosti ru z vver-1000 (v-320) u zminnomu rezhymi navantazhennia : Avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk Odesa ONPU,2010 -23s;
- [4] Pelykh S.N. Комплексный критерий эффективности алгоритма маневрирования мощностии RU с VVER–1000 в переменном режиме / S.N. Pelykh, V.E. Baskakov, T.V. Tsyselskaia // Tr. Odes. polytekh. un-ta. – 2009. – Выр. 2(32). – S. 53 – 58;
- [5] Pelykh, S.M. Matematychna model zminy vlastyvostei obolonky tvela VVER–1000 v zminnomu rezhymi navantazhennia // Yaderna fizyka ta enerhetyka. – 2010. – Т. 11, № 3 – S. 275–279;
- [6] Tsyselskaia, T. A. Yssledovanye AKZ VVER-1000 pry raznykh prohrammakh rehulyrovannia enerhoblokom / T. A. Tsyselskaia // Avtomatyka-2011. 18-a Mizhnar. konf. z avtomatychnoho keruvannia. – Lviv : «Lvivska politekhnika», 2011 r. – S. 237–239;
- [7] Plakhotniuk A.A. Usovershenstvovannaia ASU TP perekliuchennia prohramm rehulyrovannia enerhoblokom. / Plakhotniuk A.A , Kokol E.A, Maksymov M.V / Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv Volume 7, Issue 3 /2015 – S 26-33;
- [8] Maksimov, M. V. A model of a power unit with VVER-1000 as an object of power control [Text] / M. V. Maksimov, K. V. Beglov, T. A. Tsiselskaya
- [9] Tsyselskaia T. A. Usovershenstvovannaia ASR enerhoblokom reaktora [Tekst] / О. В. Maksymova, Т. А. Tsyselskaia // тез. доп. 10-та мизн нар. наук.–практ. конф. по атом. Енергетиці, Sevastopol, 2002. – S. 33 – 40;
- [10] Foshch, T.V. Analiz vliyannia metodov upravleniya moshchnostiу enerhobloka s vodo-vodianym reaktorom na aksyalnyi ofset / Т. V. Foshch, М. V. Maksymov, М. V. Nykolskyi // Vostochno-Evropеiskyi zhurnal передовыkh tekhnolohiyi ,2014 - S. 19 – 27;
- [11] Suzuky, M. Modelyrovanye povedeniya tvэla lehkododnoho reaktora v razlychnnykh rezhymakh nahruzheniya / Мотоэ Suzuky; avtor. per. s anhl. S.N. Pelykh. – Odessa: Astroprynt, 2010. – 248 s.