

УДК 621.039.58

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.16

КОНТРОЛЬ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛУ ГОЛОВНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСА АТОМНОЇ СТАНЦІЇ

С. О. КУЧЕР

*Відділ міцності судів і насосів ядерної установки, Експертно-технічний центр «Енергоресурс», м. Київ, УКРАЇНА
email: kucher0972@ukr.net*

АНОТАЦІЯ Стаття присвячена контролю основних властивостей металу головного циркуляційного насоса, який необхідний для оцінки технічного стану насосного обладнання реакторного відділення атомної електростанції при розгляді питань з періодичної переоцінки безпеки його експлуатації. Проведення контролю дозволить проаналізувати механізми старіння з подальшим виявленням ефектів старіння для кожного елемента конструкції насоса і повне розуміння їх можливих наслідків. Крім того контроль сприяє визначенню відповідності між фактичним старінням конструкції насоса і прогнозованим, а також перевірці запасу щодо старіння для забезпечення безпечної експлуатації, як мінімум на період до наступної періодичної переоцінки безпеки.

Ключові слова: головний циркуляційний насос, технічний стан, оцінка безпеки, твердість металу, товщинометрія

CONTROL THE BASIC PROPERTIES OF THE METAL OF THE MAIN CIRCULATION PUMP NUCLEAR POWER STATION

S. KUCHER

Department of strength of vessels and pumps of a nuclear facility, LLC "Expert-technical center "EnergyResource", Kiev, UKRAINE

ABSTRACT The article is devoted to solving scientific and technical tasks – analysis of control of basic properties of the metal of the main circulation pump. The control of the basic properties of the metal of the main circulation pump is necessary for the evaluation of the technical condition of the pumping equipment of the reactor compartment of a nuclear power plant, when considering the questions on periodic reevaluation of safety of its operation. Holding control will allow you to perform the aging mechanisms followed by identification of all aging effects for each structural element of the pump and a full understanding of their possible consequences. Additionally, the control contributes to the determination of conformity between the actual aging of the pump construction and projected, as well as stock check on aging to ensure safe operation, at least for the period until the next periodic reevaluation of safety. The measurements and their analysis of the main properties of the metal of the main circulation pump will allow you to identify or expand technical parameters that determine the processes of degradation of equipment to further justify the method of assessing their current technical condition and residual life, taking into account the requirements of safe operation of nuclear power plants.

Keywords: the main circulation pump, technical condition, safety evaluation, the hardness of the metal, thickness measurement

Вступ

На атомних електростанціях (АЕС) України з метою підтримання у прийнятних межах деградації конструкцій та обладнання систем і елементів, важливих для безпеки (внаслідок старіння, зносу, корозії, втоми та інш.), а також здійснення необхідних дій для підтримання їх працездатності та надійності в процесі експлуатації, проводиться періодична переоцінка її безпечної експлуатації [1-3]. У першу чергу це стосується обладнання, яке вже відпрацювало проектний термін експлуатації і може отримати дозвіл на продовження термінів подальшої експлуатації. До цього обладнання відноситься головний циркуляційний насос (ГЦН) типу ГЦН-195М, призначений для створення циркуляції теплоносія в першому контурі реакторної установки (РУ) та для відведення тепла з активної зони реактора. Метою аналізу старіння в рамках періодичної переоцінки безпеки є: виявлення всіх ефектів старіння для кожного елемента конструкції насоса та повне розуміння їх можливих наслідків; визначення

відповідності між фактичним старінням конструкції насоса і прогнозованим; перевірка запасу щодо старіння для забезпечення безпечної експлуатації на період до наступної періодичної переоцінки безпеки. Старіння насоса, який відпрацював проектний термін служби [4], в першу чергу залежить від стану металу конструкцій і елементів насоса, ступеня його механічного та ерозійно-корозійного зносу [5]. Запаси міцності, закладені в конструкцію ГЦН, дозволяють продовжити подальшу безпечну експлуатацію насосів [7]. Але для цього крім звичайних методів огляду, які передбачені інструкціями експлуатації насосів і трубопроводів, повинні бути розроблені відповідні комплексні методики технічного діагностування. Методологія визначення чисельних значень технічних параметрів, що характеризують механізм накопичення незворотних змін в складових частинах ГЦН (наприклад, методологія виконання розрахунків циклічної міцності або методологія контролю основних властивостей металу) на сьогоднішній день повною мірою не вирішена. Відсутні також є вимоги до методів і систем вимірювання (визначення)

© С. О. КУЧЕР, 2016

параметрів, які характеризують деградаційні властивості ГЦН в цілому.

Мета роботи

Основою для розробки методології з контролю основних властивостей металу ГЦН є накопичений автором досвід виконання робіт, спрямованих на продовження строку експлуатації і управління старінням тепломеханічного обладнання (ТМО) АЕС в цілому, та ГЦН зокрема. Проведені на енергоблоках Південно-Української (ПУ) АЕС дослідження ставили за мету подальше наукове обґрунтування методів оцінки технічного стану та залишкового ресурсу ГЦН (особливо його невідновлюваного елемента - "равлика", рис.1), враховуючи процеси його деградації для періодичної переоцінки безпечної експлуатації насосів.



Рис. 1 – Модель корпусу равлика ГЦН

Виклад основного матеріалу

Властивості металу ГЦН характеризуються насамперед характеристиками міцності конструкцій насоса [8]. Визначення фактичних характеристик міцності металевих конструкцій можливо методом виміру твердості. Зв'язок між міцністю металу і його твердістю досить відомо, а співвідношення між цими параметрами сталей зазначено в ГОСТ 22761-77 «Метод вимірювання твердості за Брінеллем переносними твердомірами статичної дії» [9]. Є велика кількість приладів неруйнівного методу контролю твердості, що дозволяють виконувати вимірювання у важкодоступних місцях. На ПУ АЕС було використано портативний твердомір ТМ-40 - легкий, малогабаритний, оснащений усіма необхідними функціями, прилад з високою продуктивністю і простотою проведення вимірювань, а також високим ступенем пиловогозахисту (IP54). Основні методи, застосовувані у приладі — це ультразвуковою і динамічний. У динамічному методі визначається непряма характеристика — відношення швидкості при ударі і відскоку індентора. В

ультразвуковому методі вимірюваним параметром є частота коливань індентора, при його впровадженні в зразок на певну глибину під дією постійного зусилля. Значення непрямих характеристик надалі переводяться в число твердості. Так як деякі дефекти практично неможливо виявити ультразвуковим методом у силу їх характеру, форми або розташування на об'єкті контролю, при проведенні вимірювань був використаний динамічний метод, що дозволяє враховувати складність конструкції, наявність виступаючих частин, наявність різних типів з'єднань – різбових, шпонкових, шліцевих, присутніх у конструкції насоса. Вимірювання твердості металу проводилося в районі зварних з'єднань з обох боків зварного шва в наступних зонах: зварний шов; околошовна зона - на відстані до 20 мм від краю зварного шва; основний метал - на відстані від 20 до 50 мм від краю шва. Вимірювання твердості здійснювалося безпосередньо на поверхні конструкції насоса, на шліфованому плоскому майданчику. Обробка поверхні при застосуванні ТМ-40 є обов'язковою умовою, а від якості її виконання багато в чому може залежати точність результату вимірювання. Для реалізації експерименту, поверхня зразків була оброблена декількома різними способами: зачистка від фарбувального шару; зачистка від шару окалини; шліфування поверхні шліфувальними кругами різної зернистості. Було виявлено, що зернистість шліфувальних кругів (від Z-40 до Z-120) практично не впливає на дисперсію значень. Коефіцієнт варіації при обробці склав 3,7...5,1 %. При цьому шорсткість обробленої поверхні, за даними аналізу, складала 0,35...1,79 мкм, що є допустимим для застосування динамічного методу. В процесі проведення вимірювань також було встановлено, що близькість ділянки вимірювання до зварного шва чинить значний вплив на похибку вимірювань, а підвищена твердість у зоні зварного шва зберігається в зоні, яка приблизно дорівнює трьом розмірам шва по ширині. Твердість металу визначалася як середнє арифметичне значення з трьох вимірювань в одному і тому ж місці. При цьому відносна похибка кожного вимірювання не перевищувала 4%. Схема зон контролю твердості металу показана на рис.2

У відповідності з проведенням контролю стану металу елементів ГЦН було виконано також вимірювання товщини основного металу ультразвуковим методом. Ультразвукова товщинометрія (УЗТ) проводилася з допомогою товщиноміра УТ-31. У приладі використовується контактний спосіб забезпечення акустичного контакту притиском контактної поверхні перетворювача до поверхні контрольованого об'єкта, на яку нанесена контактна змазка. Товщинометрія була виконана в обсязі, передбаченому нормативними документами [10]. На поточний момент у галузі відсутні затверджені до застосування нормативні документи (НД), що дозволяють розраховувати

швидкість утонення і тривалість експлуатації обладнання на основі даних експлуатаційного контролю. Це стримує використання вже розроблених документів з розрахунку мінімально допустимих товщин стінок конструкцій, методик проведення експлуатаційного контролю.

Контроль товщини стінок конструкцій насосу, оцінки якості поверхні елементів ГЦН також був проведений з метою оцінки його технічного стану з подальшим визначенням можливості продовження його терміну експлуатації. Необхідність проведення вимірювань зумовлена недостатністю даних для підтвердження параметрів технічного стану та встановлення причин деградації ГЦН в цілому. Вибір контрольних елементів ГЦН для проведення вимірювання товщини визначався наявністю: зварних з'єднань елементів конструкції ГЦН; зварних з'єднань ГЦН з іншими елементами енергоблоку; зон з концентрацією напружень у конструкції ГЦН; дефектів в т. ч. - утоненій, допущених в період експлуатації; найбільш навантажених ділянок; ділянок, схильних до вібраційних навантажень.

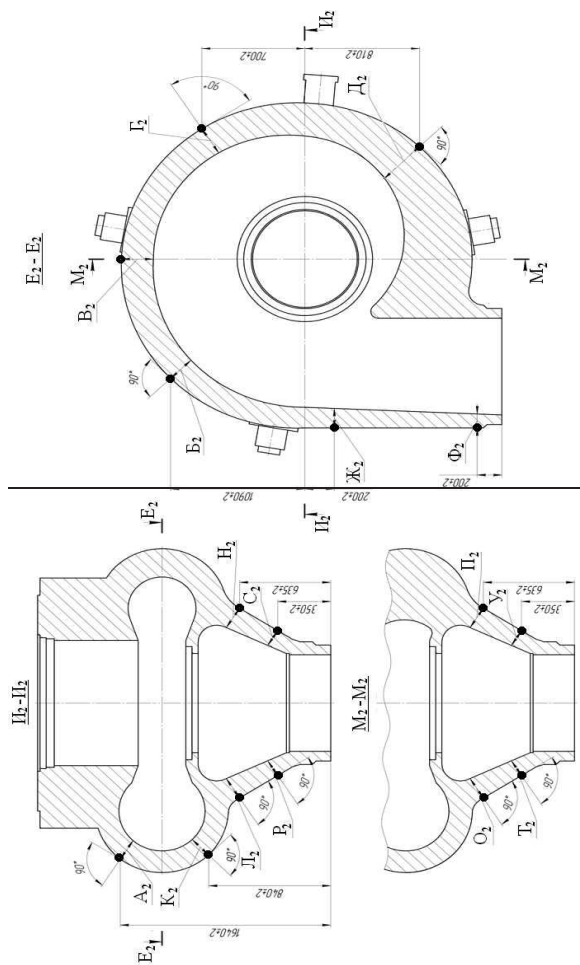


Рис. 2 – Схема зон контролю твердості металу ГЦН. Основний метал корпусу равліка насоса з боку зовнішньої поверхні

Схема зон контролю товщини металу насоса показана на рис.3. Вимірювання товщини стінок проведено в районі зварних з'єднань №1 і №2 приварки перехідників до всмоктуючих і напірних патрубків. Номінальна товщина зварювальних деталей в місці зварювання 100 мм (у зонах контролю). Мінімальна розрахункова товщина стінки перехідників 43 мм.

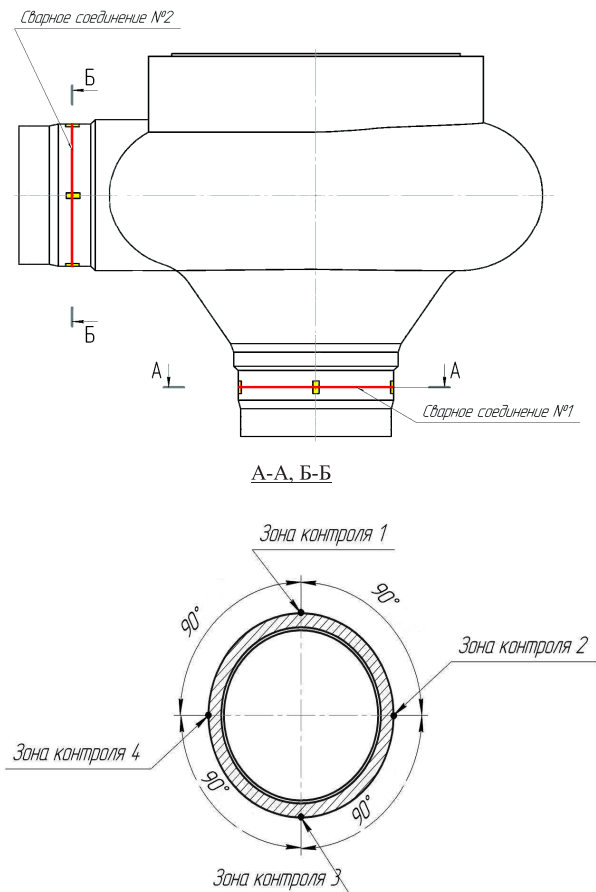


Рис. 3 – Схема зон контролю товщини металу ГЦН

Чисельні результати

Перевага запропонованої методології з контролю основних властивостей металу ГЦН при розгляданні питань оцінки технічного стану та продовження ресурсу обладнання полягає насамперед у чіткості та однозначності обраних напрямків виконання даних робіт.

Визначення твердості металу на обстежуваних елементах і конструкціях насоса було виконано з метою перевірки відповідності механічних характеристик значенням, встановленим нормативною документацією та технічною документацією на насос, і виявлення окремих ділянок з незадовільними значеннями.

Характеристики механічних властивостей металу елементів ГЦН у відповідності з вимірними

значеннями твердості за Брінеллем визначалися за кореляційним співвідношенням у відповідності з положеннями сучасних методик, у тому числі [11].

Таблиця 1 – Результати контролю твердості металу ГЦН

N	Вимірювання твердості, НВ		
	№1	№2	№3
A ₂	261	252	253
Б ₂	251	249	260
В ₂	238	233	244
Г ₂	241	236	232
Д ₂	215	219	221
Ж ₂	217	222	217
К ₂	228	230	235
Л ₂	223	226	218
Н ₂	241	239	240
О ₂	228	231	225

П ₂	224	222	229
Р ₂	226	227	223
С ₂	248	243	239
Т ₂	241	250	248
У ₂	250	244	252
Ф ₂	247	254	245

При обробці результатів контролю механічних властивостей по твердості металу повинно бути встановлено відповідність значень механічних властивостей металу ГЦН вимогам НД, а також – наявність і закономірності їх зміни в процесі експлуатації. При цьому, зміна (зменшення та/або збільшення) отриманих механічних властивостей порівняно з паспортними або отриманими раніше, на значення більше, ніж похибка їх визначення, оцінюється як необхідність урахування цього факту при перепризначенні терміну експлуатації ГЦН.

Таблиця 2 – Результати контролю товщин стінок металу ГЦН

№ п/п	Найменування контрольованого елемента	Зона контролю	Найменше виміряне значення товщини, мм			
			патрубок		перехідник	
			ОМ	ОЗ	ОЗ	ОМ
1	Зварне з'єднання №1	№1 (0-00 годин)	99,0	100,6	98,6	100,8
		№2 (3-00 години)	100,5	100,7	99,2	99,0
		№3 (6-00 годин)	100,7	100,5	98,7	98,8
		№4 (9-00 годин)	100,9	100,4	98,8	98,7
2	Зварне з'єднання №2	№1 (0-00 годин)	99,4	99,5	98,9	100,8
		№2 (3-00 години)	100,3	100,4	99,7	100,7
		№3 (6-00 годин)	100,5	100,7	100,2	100,9
		№4 (9-00 годин)	99,5	98,9	99,4	100,8

За отриманими значеннями твердості металу в кожній зоні контролю у відповідності з вимогами НД визначаються фактичні механічні характеристики основного металу равлика і основного металу, зварних швів і навколошовних зон перехідників всмоктувального та напірного патрубків ГЦН. При отриманні результатів твердості, що виходять за межі нормативних значень, необхідно в цих зонах провести зняття поверхневого шару з видаленням можливо зневуглецьованого або наклепанного шару металу і з забезпеченням необхідної шорсткості поверхні, але не виводячи товщини за мінімально-допустимі значення, після чого провести повторне вимірювання твердості. Якщо при повторному вимірюванні отримані показники, які не відповідають встановленим нормам, необхідно при додаткових вимірах визначити розміри ділянки із зміненими показниками. За результатами вимірювання твердості металу ГЦН з використанням [10] дається пряма оцінка їх міцнісних характеристик: межі міцності R_{Tm} , межі текучості $R_{Tр0,2}$, відносного звуження Z_T , відносного подовження A_T .

При проведенні УЗТ фіксується спільна товщина відкладень продуктів корозії і неушкодженого металу, тому розрахунки на основі даних експлуатаційного контролю можуть мати значну похибку. В якості альтернативи необхідно використання розрахункових комп'ютерних кодів (КК) [12], що дозволяють розраховувати утонення стінок. На основі вимірних механічних характеристик зварних швів та отриманих характеристик основного металу здійснюються розрахунки напружено-деформованого стану ГЦН з використанням комп'ютерної програми «АРМ Structure» (WinMachine).

Висновки

Правильний вибір параметрів, які характеризують основні властивості металу і за додатковими розрахунками визначають деградаційні властивості елементів і конструкцій ГЦН і вибір вимірювальних приладів для проведення технічної

діагностики дозволяють за спеціально розробленою програмою виконати комплексну якісну оцінку поточного технічного стану насоса і оцінку залишкового ресурсу для одержання науково обґрунтованих об'єктивних висновків про можливість продовження ресурсу ГЦН.

Список літератури

- 1 НП 306.2.099-2004. Загальні вимоги до продовження експлуатації АЕС у понад проектний строк за результатами здійснення періодичної оцінки безпеки. Затверджені наказом Держатомрегулювання від 26.11.2004, №181.
- 2 TACIS U3.01/06 (UK/TS/38). Надання підтримки Державному комітету ядерного регулювання України в оцінці впровадження заходів з підвищення безпеки та програм управління старінням на блоках АЕС.МАГАТЕ.
- 3 Safety Aspects of Long Term Operation of Water Moderated Reactors. Recommendations on the Scope and Content of Programmers for Safe Long Term Operation. Final Report of the Extrabudgetary Programmer on Safety Aspects Long Term Operation of Water Moderated Reactors / IAEA-EBP-SALTO. – Vienna: IAEA. – 2007.
- 4 Кучер, С. А. Исследование параметров, определяющих старение главных циркуляционных насосов атомных станций Украины / М. П. Гиря, С. А. Кучер // *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. – 2016. – №1(43). – С. 14-24.
- 5 Аркадов, Г. В. Проблемы эрозивно-коррозионного износа трубопроводов АЭС. Материаловедение и контроль металла / Г. В. Аркадов, В. И. Бараненко, В. В. Потапов, А. А. Просвирнов, М. М. Нафталь, О. М. Гулина // *Восьмая международная научно-техническая конференция «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики»*. Москва, 2012.
- 6 M. Helmi Attia Fretting fatigue and wear damage of structural components in nuclear power stations—Fitness for service and life management perspective / M. Helmi Attia // *Tribology International*. – 2006. – vol. 39, is. 10. – P. 1294-1304. – doi: 10.1016/j.triboint.2006.02.052.
- 7 Долинский, В. М. Оценка качества сварных соединений сосудов и трубопроводов по результатам технического диагностирования / В. М. Долинский, В. И. Черемская // *Сварщик*. – 2005. – №2(42). – С.6-9.
- 8 ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Утверждены ГАЭН СССР. – 1987.
- 9 ГОСТ 22761-77. Метод вимірювання твердості за Брінеллем переносними твердомірами статичної дії.
- 10 ПНАЭ Г-7-031-91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов АЭУ. Ультразвуковой контроль. Часть 3. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий.
- 11 МТ-Т. 0.08.158-05. Методика оцінки технічного стану за міцнісними параметрами і розрахункового обґрунтування перепризначеного ресурсу корпусів насосів АЕС України.

- 12 Prosek, A. Quantitative assessment of thermal–hydraulic codes used for heavy water reactor calculations / A. Prosek, D. J. Richards, B. Mavko // *Nuclear Engineering and Design*. – 2006. – Vol. 236, is. 3. – P. 295-308. – doi:10.1016/j.nucengdes.2005.07.004.

Bibliography (transliterated)

- 1 NP 306.2.099-2004. Zagal'ni vymogy do prodovzhennja ekspluatacij' AJeS u ponad proektnyj strok za rezul'tatamy zdjysnennja periodychnoi' ocinky bezpeky. Zatverdzhenni nakazom Derzhatomreguljuvannja vid 26.11.2004, № 181.
- 2 TACIS U3.01/06 (UK/TS/38). Nadannja pidtrymky Derzhavnomu komitetu jadernogo reguljuvannja Ukrai'ny v ocinci vprovadzhennja zahodiv z pidvyshhennja bezpeky ta program upravlinnja starinnjam na blokah AES.
- 3 Safety Aspects of Long Term Operation of Water Moderated Reactors. Recommendations on the Scope and Content of Programmers for Safe Long Term Operation. Final Report of the Extrabudgetary Programmer on Safety Aspects Long Term Operation of Water Moderated Reactors / IAEA-EBP-SALTO. Vienna : IAEA, 2007.
- 4 Kucher, S., Giryа, M. Issledovanie parametrov, opredelyaushih starenie glavnyh cirkuljacionnyh nasosov atomnih stancij Ukrai'ny. Kompresornoe i trnrgtticheskoe mashinostroenie. 2016, 1(43), 14-24.
- 5 Arkadov, G., Baranenko, V., Potapov, V., Prosvirnov, A., Naftal, M., Gulina, O. Problemy erozjno-korroziynogo iznosa truboprovodov AJeS. Materialovedenie I control metalla. Conference «Bezopasnost, effektivnost i ekonomika atomnoj energetiki». Moscow, 2012.
- 6 M. Helmi Attia Fretting fatigue and wear damage of structural components in nuclear power stations—Fitness for service and life management perspective. *Tribology International*, 2006, 39(10), 1294-1304, doi: 10.1016/j.triboint.2006.02.052.
- 7 Dolinskij, V., Cheremskaj, V. Ocenka kachestva svarnyh soedinenij sosudov i truboprovodov po rezul'tatam tehničeskogo diagnostirovanij. *Svarshik*. 2005, 2(42), 6-9.
- 8 PNAJe G-7-002-86. Normy rascheta na prochnost' oborudovanija i truboprovodov atomnyh jenergetičeskikh ustanovok. Utverzhdeny GAJeN SSSR, 1987.
- 9 GOST 22761-77. Metod vymiruvayyj tverdosti za Brinelle perenosnymi tverdomerami statychnoy diy; Vveden 01.01.77. Moscow: Izd-vo standartov, 1977, 20.
- 10 PNAJe G-7-031-91. Unifichirovanye metodiki kontrolya osnovnyh materialov svarnyh soedinenij I naplavki oborudovanij I truboprovodov AJeU. Ultrozvukovoj control. Izmerenie tolshiny monometallov, bimetallov i antikoroziionnyh pokrytij.
- 11 МТ-Т.0.08.158-05. Metodika ochinki tehničnogo stanу za michnisnymy parametramy i rozrahunkovogo obgruntuvannj perepriznachenogo resursu korpusiv nasosiv AJeS Ukrai'ny.
- 12 Prosek, A., Richards, D. J., Mavko, B. Quantitative assessment of thermal–hydraulic codes used for heavy water reactor calculations. *Nuclear Engineering and Design*, 2006, 236(3), 295-308. doi:10.1016/j.nucengdes.2005.07.004.

Відомості про авторів (About authors)

Кучер Сергій Олександрович – начальник відділу міцності судів і насосів ядерної установки, Експертно-технічний центр «Енергоресурс», м. Київ, УКРАЇНА; e-mail: kucher0972@ukr.net

Kucher Sergey Aleksandrovich – Head of Department of strength of vessels and pumps LLC "Expert-technical center "ENERGYRESOURCE", Kiev, Ukraine; e-mail: kucher0972@ukr.net

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кучер, С. О. Контроль основных властивостей металу головного циркуляційного насосу атомної станції / **С. О. Кучер** // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 107-112. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.16.

Please cite this article as:

Kucher, S. Control the basic properties of the metal of the main circulation pump nuclear power station. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **25** (1197), 107-112, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.16.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кучер, С. А. Контроль основных свойств металла главного циркуляционного насоса атомной станции / **С. А. Кучер** // Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 107-112. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.16.

АННОТАЦИЯ Статья посвящена контролю основных свойств металла главного циркуляционного насоса, который необходим для оценки технического состояния насосного оборудования реакторного отделения атомной электростанции при рассмотрении вопросов по периодической переоценке безопасности его эксплуатации. Проведение контроля позволит проанализировать механизмы старения с последующим выявлением эффектов старения для каждого элемента конструкции насоса и полное понимание их возможных последствий.

Ключевые слова: главный циркуляционный насос, техническое состояние, оценка безопасности, твердость металла, толщинометрия

Надійшла (received) 27.06.2016