

СЛАВУТИЦЬКА МІСЬКА РАДА
КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

IV Міжнародна конференція

**ПРОБЛЕМИ ЗНЯТТЯ
З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Fourth International Conference
on Nuclear Decommissioning
and Environment Recovery
INUDECO 19**

(24–26 квітня 2019 року, м. Славутич)

Збірник матеріалів

Чернігів
ЧНТУ
2019

УДК 621.039

П78

Друкується за Рішенням виконавчого комітету Славутицької міської ради Київської області від 24.01.2019 № 22 «Про проведення IV Міжнародної конференції INUDECО 19».

П78 Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО 19) : збірник матеріалів IV Міжнародної конференції (24–26 квітня 2019, м. Славутич). – Чернівці : ЧНТУ, 2019. – 248 с.

Збірник матеріалів IV Міжнародної конференції «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики і відновлення навколишнього середовища», яка пройшла 24-26 квітня в місті Славутич, з метою розгляду проблем і перспектив, підвищення рівня ефективності науково-практичних досліджень, налагодження співпраці та обміну досвідом у сфері зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики й поводження з радіоактивними відходами та відпрацьованим ядерним паливом.

Збірник призначений для вчених і фахівців з атомної енергетики та промисловості.

У збірнику представлені тези доповідей засідання конференції. Конференція організована за підтримки: виконавчого комітету Славутицької міської ради Київської області; Державного агентства з управління зоною відчуження, Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція»; Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України; Інституту проблем математичних машин і систем НАН України.

Це видання надруковано за сприяння Консорціуму NOVARKA.

ISBN 978-617-7571-39-0

Програмний науковий комітет (Оргкомітет)

Співголова оргкомітету

Фомічев Юрій Кирилович – Славутицький міський голова

Співголова оргкомітету

Носовський Анатолій Володимирович – директор Інституту проблем безпеки атомних електростанцій Національної академії наук України

Заступник голови оргкомітету

Линкевич Олександр Бернатович – заступник міського голови з питань діяльності виконавчих органів ради

Члени оргкомітету:

Петрук Віталій Вікторович - голова Державного агентства з управління зоною відчуження

Сейда Валерій Олександрович – в.о. генерального директора ДСП «Чорнобильська АЕС»

Згуровський Михайло Захарович – ректор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського»

Литвинов Віталій Васильович – голова Чернігівського осередку АТН України

Морозов Анатолій Олександрович – Президент Академії технологічних наук України

Удовиченко Володимир Петрович – керівник Офісу реформ у Київській області

Шикун Віталій Анатолійович – директор ВП «Атомремонтсервіс»

УДК 621.039

ISBN 978-617-7571-39-0

ЗМІСТ

<i>Nanba K., Onda Y., Sakaguchi A., Zheleznyak M., Hirao S., Igarashi Y., Ishiniwa H., Konoplev A., Rahman I., Shibasaki N., Takahashi J., Tsukada H., Uematsu S., Yoschenko V., Wada T., Wakiyama Y., Yamasaki S.</i> Initial phase of project satreps: strengthening of environmental radiation control and legislative basis for environmental remediation of radioactively contaminated sites in Ukraine	7
<i>Niels-Kristian Mark, Andrii Bilyk, Joachim Bratteli, Tom-Robert Bryntesen, Svein Tore Edvardsen</i> Chernobyl decommissioning visualisation centre – use of VR for real-time simulation in dose calculation and visualisation as part of decommissioning planning at CHNPP	15
<i>Shigekazu Hirao.</i> Overview of atmospheric dispersion of radionuclides after the accident at Fukushima dai-ichi npp from the past and current knowledge of modeling and monitoring data	24
<i>Безун В. В., Стрельников В. П., Гречанинов В. Ф., Безун С. В.</i> Наукове обґрунтоване скорочення циклу випробувань на надійність для визначення залишкового ресурсу	25
<i>Бовкун А. О.</i> Гриби – біоіндикатори радіаційного забруднення в умовах 30-ти кілометрової зони відчуження ЧАЕС.....	27
<i>Бурмака І. А., Хехай В. В.</i> Можливості використання розподіленої інтеграційної шини в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури.....	32
<i>Висотський Є. Д., Годун Р. Л., Сущенко К. О.</i> Оцінка поточного і прогнозного рівня підкритичності потенційно ядерно-небезпечного скупчення паливовмісних матеріалів	38
<i>Вольтерс А. О., Полегенький К. М.</i> Мережевий протокол LoRaWAN та можливості його використання для моніторингу зони відчуження	42
<i>Godun R., Krasnov V., Saveliev M.</i> The research of changing of the neutrons' effective multiplication factor after the construction of NSC-SO complex	45
<i>Годун Р. Л., Стадник С. М., Одинокин Г. И.</i> Перспективы использования еис для повышение эффективности мониторинга подкритичности скоплений тсм внутри комплекса НБК-ОУ	48
<i>Голуб С. В., Жирякова І. А.</i> Інформаційна технологія багаторівневого інтелектуального моніторингу.....	59
<i>Гудаков О.О., Бугай.О. М.</i> Застосування прискорювальної мас-спектрометрії для визначення ¹⁰ Ве.....	64
<i>Дорошенко А. О., Годун Р. Л., Муляр Д. О.</i> Оцінка ефективності системи контролю ядерної безпеки комплексу НБК-ОУ	65
<i>Дрозд О. Р.</i> Вдосконалення системи поводження з рав на ЗАЕС. Безконтактна лазерна дезактивація металевих радіоактивних відходів.....	69
<i>Євланов В. М., Задунай О. С., Азаров С. І.</i> Проблеми безпеки під час транспортування відпрацьваного ядерного палива	82

<i>Zhdanyuk N. V., Ocherednyk A. V.</i> Development of technology for the removal of uranium compounds from aqueous solutions	93
<i>Жирякова І.</i> Онтологічне моделювання загальної структури концептів бази модельних знань в системах інтелектуального моніторингу.....	94
<i>Истомин Н., Пантин М., Савельев М.</i> Пример импортозамещения в автоматизированном радиационном контроле	102
<i>Ілленко В. В., Косачевський А. О., Косачевська Н. Ф., Шпирка Н. Ф., Паренюк О. Ю., Рубан Ю. В., Нестерова Н. Г., Шаванова К. Є., Гудков І. М.</i> Моніторинг забруднення ¹³⁷ CS грибів полісся і лісостепу України	106
<i>Казимиров А. С., Беккер Б. И., Евсеев В. Р., Иевлев С. М., Качалин И. Г., Чорный Е. В.</i> Спектрометрические средства для контроля радиоактивных отходов.....	109
<i>Kalynovskyi A. K., Krasnov V. A., Filipov O. V., Makovskyi E. O.</i> Assessment of radiation situation in ground-level air near the object "Ukrytya" in period of construction of new safe confinement "Arka"	118
<i>Карамушка В. І., Бойченко С. Г.</i> Інтегрування довкілних пріоритетів та тенденцій зміни клімату в планування сталого розвитку громад і територій.....	125
<i>Kovalchuk I. A., Kornilovych V. Yu., Tobilko V. Yu., Bashchak O. E., Spasonova L. M.</i> Remediation technology for groundwater purification from radioactive contamination	127
<i>Круковський П., Склярєнко Д., Метель М., Олійник В., Дядушко Е.</i> CFD-аналіз і прогнозування розповсюдження радіоактивних аерозолів всередині і за межі нового безпечного конфайнменту при перетворенні об'єкта укриття в екологічно безпечну систему	129
<i>Кряжич О., Коваленко О., Грицишин В.</i> Вдосконалення способу опису пересічених територій при побудові моделей техногенного забруднення промислових міст.....	133
<i>Левченко В. В., Позосов О. Ю., Биковський Ю. М.</i> Нові можливості застосування цифрових вимірювальних перетворювачів для контролю температурних полів на етапі припинення експлуатації енергоблоків АЕС і моніторингу стану навколишнього середовища.....	136
<i>Литвинов В. В., Скітер І. С., Дорош М. С.</i> Концепція створення центру кібернетичної безпеки об'єктів критичної інфраструктури	146
<i>Машиністов В., Балакін В., Коверя А., Лукін Є.</i> Дослідження можливості рециклінгу металу з наведеною радіоактивністю.....	160
<i>Mirnyi S.</i> Chernobyl tourism: scope, purposes and potential to revive the affected areas and communities.....	168
<i>Мишкевич Є. О., Шевцова Л. В.</i> Використання вищих водних рослин як біомаркерів радіаційного забруднення.....	171
<i>Морозов Ю. В., Егоров В. В., Павловський Л. І., Холодюк А. О.</i> Зняття з експлуатації чаес. Проблемні аспекти демонтажу/підсилення виступаючих частин МЗ і ДЕ	175
<i>Ольховик Ю. О.</i> Проблемні питання щодо розміщення осклованих високоактивних відходів на комплексі «Вектор»	178

<i>Павлюченко М. І., Муляр Д. О., Дорошенко А. О.</i> Оцінка стану пиллопригнічуючого покриття в підпокрівельному просторі об'єкту «Укриття»	182
<i>Панасюк М. І., Стоянов О. І., Люшня П. А., Чикур Л. Б., Онищенко І. П.</i> Вплив «АРКИ» на радіоекологічні умови в підземних водах проммайданчика чорнобильської АЕС	185
<i>Панасюк М. І., Стоянов О. І.</i> Розвиток методу спектрометричного гамма-каротажу свердловин для характеристики захоронень радіоактивних відходів	188
<i>Пантин М., Турок А., Клюев Д.</i> Об одном Решении в области цифровой обработки документов	192
<i>Паскевич С. А., Кафтанагіна О. А., Городецький Д. В., Меньшєий Є. А.</i> Оцінка стану водоймища-охолоджувача ЧАЕС, як об'єкту з потенційно радіаційно-небезпечними впливами на навколишнє середовище	194
<i>Пашинов М. В., Паскевич С. А.</i> Моделювання процесів демонтажу елементів покрівлі об'єкта «укриття» та оцінка доз опромінення персоналу за допомогою сучасних програмних засобів	197
<i>Пилипенко О., Железняк М., Ківва С., Сорокін М., Igarashi Y., Коноплев О., Wakiyama Y., Nanba K., Onda Y., Кірєєв С., Обрізан С., Лаптєв Г., Войцєхович О.</i> Розробка моделей і комп'ютерних систем прогнозування виводу радіонуклідів з зони відчуження водним шляхом у випадках надзвичайних ситуацій.....	199
<i>Пількевич Ю., Розорінов Г.</i> Вплив іонізуючого випромінювання на системи відеоспостереження.....	205
<i>Полєшко І. В.</i> Досвід ВП «Атомремонтсервіс» ДП «НАЕК «Енергоатом» впровадження технології ремонту головного роз'єму реактора ВВЕР-1000 з використанням багатофункціонального пристрою US-3000R.....	214
<i>Розко А. М., Федоренко Ю. Г.</i> Особливості цементування борвміщуючого імітату рідких радіоактивних відходів шлаколужним з'вязуючим з цеолітом	216
<i>Сакаль О., Коваленко А., Баняє С.</i> Інтегроване управління природо-користуванням як основа сталого розвитку забруднених територій.....	217
<i>Сидоренко В.</i> Багатопараметрична модель зміни технічного стану складного комплексу «Новий безпечний конфайнмент – об'єкт "Укриття"».....	221
<i>Сімейко К. В., Куряничук С. В., Степаненко Ю. М., Івачкін Я. О., Сасно С. Ю., Улибкіна К. А.</i> Дослідження процесу іммобілізації зольних залишків атомної та теплоенергетики в електротермічному псевдозрідженому шарі	227
<i>Соболевська Л. Г., Некрашевич О. О.</i> Деякі особливості організації «розумних» міст	231
<i>Старостенко В. І., Шестопалов В. М., Кендзера О. В., Шибєцький Ю. О., Згонік В. О., Омєльченко В. Д.</i> Сейсмічність території розташування ЧАЕС потребує невідкладних заходів	233

Талерко М., Ковалець І, Сінкевич Р., Пилипенко О., Нірао S., Железняк М., Кірссєв С., Нікітіна Т. Розробка моделей і комп'ютерних систем прогнозування атмосферного перенесення радіонуклідів у випадках надзвичайних ситуацій в Чорнобильській зоні відчуження.....	237
Тимченко А. А., Савченко Є. А., Савченко М. Ю. Системний аналіз життєвого циклу комплексу технічних засобів атомних електростанцій	240
Ушаков Д. Р. Центр управління перевезеннями радіоактивних матеріалів.....	243
Шевченко В. Прямуємо разом: кроки славутича на шляху до економічного зростання	245

**INITIAL PHASE OF PROJECT SATREPS:
STRENGTHENING OF ENVIRONMENTAL RADIATION
CONTROL AND LEGISLATIVE BASIS
FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION OF
RADIOACTIVELY CONTAMINATED SITES IN UKRAINE**

*Nanba K.¹, Onda Y.², Sakaguchi A.², Zheleznyak M¹, Hirao S.¹,
Igarashi Y¹, Ishiniwa H.¹, Konoplev A.¹, Rahman I¹, Shibasaki N¹,
Takahashi J², Tsukada H.¹, Uematsu S.², Yoschenko V¹,
Wada T.¹, Wakiyama Y.¹, Yamasaki S.²*

¹ Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

² Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics
at University of Tsukuba
r702@ipc.fukushima-u.ac.jp

SATREPS “Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development” is a Japanese government program for international joint research operated by the Japan International Cooperation Agency (JICA) and the Japan Science and Technology Agency (JST). In accordance with the applications of the State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management (SAUEZM) the Fukushima University was granted by SATREPS program to execute in collaboration with the University of Tsukuba the project ““Strengthening of the Environmental Radiation Control and Legislative Basis for the Environmental Remediation of Radioactively Contaminated Sites in Ukraine” in period April, 2017- March, 2022.

The Project’s beneficiary is SAUEZM, the partner institutions in the execution of the Collaborative Researchers Plan are following 12 research teams: State Specialised Enterprise “Ecocentre” of SAUEZM, Chernobyl Radiation and Ecological Biosphere Reserve of SAUEZM (ChREBR), State Scientific Technical Centre on Nuclear and Radiation Safety of SNRIU (SSTC NRS), Institute of Hydrobiology of NASU (IHB), Institute of Mathematical Machine and System Problems of NASU (IMMSP), Institute of Safety Problems of Nuclear Power Plants of NASU (ISPNNP), Institute of Geological Sciences of NASU (IGS), Ukrainian Hydrometeorological Institute of SESU and NASU (UHMI), Central Geophysical Observatory of named after Boris Sreznevsky of SESU (CGO), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (NUBiP) via Ukrainian Institute of Ag-

gricultural Radiology (UIAR) of NUBiP, Radiation Protection Institute of Academy of Technological Sciences of Ukraine (RPI), National Institute for Strategic Studies (NISS).

The overall goal of the project is the support of the re-arrangement and sustainable management of the Chernobyl Exclusion Zone (ChEZ) by the development of the joint recommendations of Japanese and Ukrainian researchers based on the

- improved and sustainable monitoring system for radioactive substances in the ChEZ and outside it,
- contemporary modelling tools for the prediction of the environmental radionuclide fluxes in
in different hydrometeorological conditions and for the scenarios of the various emergency events.

The objectives of the projects include also the elaboration of new scientific results on radionuclide transfer in environment applicable around a globe, and the delivery to the partner institutions the contemporary scientifically instruments for the monitoring and modelling studies, dissemination between the Ukrainian experts and decision makers of the information on the experience of the mitigation of the consequences of the Fukushima Dai-ichi accident in Japan,

Our presentations overview the activities of the Japanese team of the Project provided in cooperation with the Ukrainian partners within the first years of the Project – 2017 and 2018.

The Project activities are organised in four Working Groups

Working Group 1: Radionuclides and hydrological environment in and around the Cooling Pond (CP) and the environmental changes caused by CP drawdown

We organized a sampling campaign in summers 2017 and 2018, and collected sediment from the bottom of the CP and from the area already dried. These samples have been determined for the ^{137}Cs and ^{90}Sr concentrations in Ecocentre, UHMI and UIAR, and the results were obtained. We are still working in UIAR to establish the procedures of analysis for ^{90}Sr , ^{241}Am and Pu isotopes in the sediment samples. Researchers from UHMI agreed to share with us the dataset collected from regular monitoring (4-5 times per year) of radionuclides and physico-chemical properties of water in the CP performed by UHMI. We received the dataset and we have been analyzing the data.

The groundwater flows at ChNPP are changing due to the draw-down of CP. For the assessment of the potential impacts of the draw-down on the groundwater radionuclide fluxes to the Pripjat river new monitoring and modelling studies should be performed. The automatic data loggers were installed into 10 existing groundwater monitoring wells of Ecocentre in October 2017. Changes in groundwater level and groundwater temperature were analyzed in detail using the data have been recorded every 30 minutes. . The monitoring data can be used for calibration of groundwater flow simulation model. The supplementary studies of the geological structures and groundwater level dynamics at CPP are required to develop the comprehensive groundwater model of the area. In cooperation with Ecocentre and the local subcontractors BROM and AQUA -BASIS the development of the technical project on the construction of three new sets of the monitoring wells of the depth 30-m, 60-m and 90 m at the coast of the Cooling Pond (Fig. 1) has started at the end of 2018. The drilling and development of these monitoring wells will be provided in first half of 2019. The data from new monitoring well as also the data from the existing wells of Ecocentre will be used for the development of 3D groundwater flows model that could predict the impact of the CCP drawdown on the changes in the groundwater flows at the site.

Japanese researchers together with the colleagues from IHB and UHMI collected aquatic organisms from the CCP. The sampling was successful, as we collected aquatic organisms including large catfish samples (Fig. 2), for which the contamination of radionuclides in organs is still unclear. The concentrations of Cs, Sr, Pu and Am radionuclides are being analyzed in ECOCENTRE.

The mice samples were collected at the coast of CP during the our joint filed survey in October , 2018 together with ChREBR and Ecocentre. The mice measurements were conducted in the Institute of Nuclear Researches, Kyiv, which cooperation with IER on the basis of the Memorandum of Understanding signed at the end of 2018. The measurements show high levels of Sr90 contamination of mice. The data are now processing in IER.

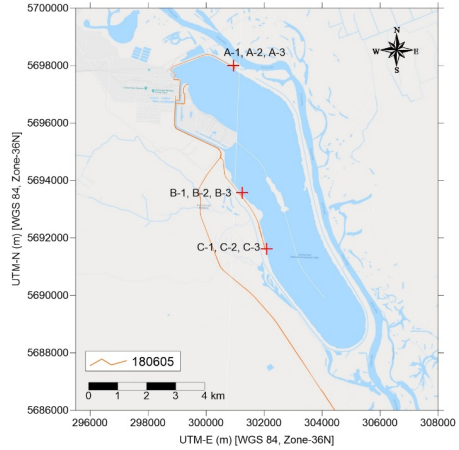


Fig. 1. Satellite picture of the drying Cooing Pond 26 June 2017 (presented by the company TVIS) and the selected locations of the groundwater monitoring wells



Fig.2. The field studies of the catfish in CP and trapping of the mice on the dried bottom of CP

Working Group 2: Contemporary radionuclide fluxes at watersheds, river systems, and forests of ChEZ quantified for the back-grounding of the re-zoning of ChEZ

The objective of this group activities is to evaluate radionuclide dynamics and to establish monitoring and modelling methodology. To achieve this goal, we started discussions with EcoCenter and UHMI, and obtained the previous data set collected from the ChEZ. We had installed a soil erosion plot, which was designed based on discussions and the previous knowledge. Following discussion by 2017, the WG2 is mainly working with ECOCENTRE, UHMI and UIAR. ECOCENTRE and UHMI support observations on radionuclides dynamics associated with hydrological processes. Field observation have been conducted in erosion plot since March 2018. We observed wash-off event in snowmelt season and heavy rainfall vent in summer. Breeding (buckwheat) experiment to clarify the transfer coefficient of radionuclides were conducted in 2 heavy-contaminated and 1 not-heavy-contaminated sites. The harvest was sampled in the October 2018. The sample were analysed in the EcoCentre.



Fig. 3. One of the constructed experimental plots with the automatic gage system to measure soil erosion and radionuclide wash out from the watersheds; field measurements of the snowmelting runoff and collection of river flow data

We have started sampling campaign in the Sakhan river catchment for elucidating factors controlling catchment scale radionuclides wash-off. The sampled water is analyzed by UHMI and Eco-centre. We are currently preparing the auto-sampling system for the river sites and also provide measurements in Braginka river.

By discussing with Eco-center and UHMI, we analyzed the long-term data set radionuclide wash-off (11 rivers, 1986 - 2015, 43 rainfall experiments in 1986, 1987, 1993 and 1994, and meteorological data 1986-2015). In cooperation with IMMSP we started the modelling of the radionuclide wash-off from the Pripjat river floodplain during the extreme floods and potential breaks of the dikes on the floodplain, incorporating in the site model developed with EC RODOS project the data collected in at the floodplain during the field trips 2018 and analysed in UHMI. The analyses of the floodplain samples show increasing the percentage of water exchangeable forms of ^{90}Sr at the floodplain up to 75%. The data are processing now to calibrate the values of “water-bottom” exchange parameters in the 2D model of ^{90}Sr dynamics on the floodplain.

The forest ecosystems of ChEZ studies started as joint work with UIAR on the estimation of biomass both based on the observations by a drone and based on the observations from the ground. The collected data by the both methods is being analyzed at UIAR. Young scientist from UIAR had a training course in Japan.

Working Group 3: Radioactive atmospheric aerosols in ChEZ and its dispersion in and outside ChEZ up to Kiev during forest fires and other emergency events

The specification of the meteorological and laboratory equipment to be delivered to ECOCENTRE, CGO, ISPNN for radioaerosol measurements in Kiev and ChEZ was finalised. Some of the equipment is delivered and installed, other will be delivered in 2019. ISPNN established the aerosol and radionuclides transfer model, and started the model comparison with Japanese side on the basis of the numerical meteorological scenarios presented by IMMSP for the case of forest fire in ChEZ in 2015.

The team members have visited ChEZ just during the forest fire 5 June 2018. The data about this forest fire were collected to be used for the further intercomparing modelling studies



Fig. 4. Forest fire in ChEZ 5.06.2018

Working Group 4: Elaboration of the proposals for environmental remediation and radiological protection in ChEZ on the basis of the experience of the researches at Fukushima and ChEZ sites

The proposals will be submitted after the results of all other activities 1-3 will be compiled. In 2018, we organized in IER an international symposium which invites authorities and researchers from both Ukraine and Japan and promoted mutual understanding and collaborative discussion for the documentation.

We invited 14 Ukrainian Governmental officials and scientists (see list below) to Japan in May 10-17, 2018. Members of WG4 organized their visit to local governments, Fukushima branch of national governments, research institutes and the areas affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Ukrainian experts obtained a possibility to obtain the information about Fukushima

exclusion zone, and environmental remediation technologies in Fukushima. It was excellent opportunity to exchange information, learn from lessons after Chernobyl and introduce our countermeasures in Fukushima to the Ukrainian stakeholders.



Fig. 5. Visits of the Ukrainian delegation of SATREPS Project to the cities of Fukushima Prefecture and to the site of Fukushima Dai-ichi NPP in May, 2018

As the main results of the Project activities in the initial period we consider the establishment of the cooperative team spirit in each Working Group of Japanese and Ukrainian researchers, the establishment with the fruitful support of SAUEZM and ECOCENTRE of the efficient procedures of the field works and project management, installation of the set of the monitoring sites, processing of the first sets of the experimental data, selection and testing of the modeling tools. This releable background will help to achieve all planned goals in the next project period.

CHORNOBYL DECOMMISSIONING VISUALISATION CENTRE – USE OF VR FOR REAL-TIME SIMULATION IN DOSE CALCULATION AND VISUALISATION AS PART OF DECOMMISSIONING PLANNING AT CHNPP

Niels-Kristian Mark,

Institute for energy technology (IFE), Halden, Norway
(niels.kristian.mark@ife.no)

Andrii Bilyk,

ChNPP Technical Director/Chief Engineer, Ukraine (gbi@chnpp.gov.ua)

Anton Gavrylin

Chornobyl NPP, Head of Bureau
for Decommissioning Information Support at ChNPP, Ukraine

Joachim Bratteli,

Institute for energy technology (IFE), Halden, Norway

Tom-Robert Bryntesen,

Institute for energy technology (IFE), Halden, Norway

Svein Tore Edvardsen,

Institute for energy technology (IFE), Halden, Norway

Introduction. The Norwegian Ministry of Foreign Affairs (NMFA) funded in 2006-2016 an assistance project at the Chornobyl Nuclear Power Plant (ChNPP) in Ukraine. The goal of the project was to assist in the decommissioning of the site through better planning and training. This was achieved by establishing the Chornobyl Decommissioning Visualisation Centre (CDVC) based on Virtual Reality (VR) technology. The project was performed as a close cooperation between ChNPP and the Norwegian Institute for energy technology (IFE). In December 2018 the NMFA approved a continuation of the project in 2018-2020 with the purpose of extending the CDVC.

Decommissioning safely ChNPP is a long-term technological and organisational challenge because of the complexity of the plant, the need for transferring of knowledge to the next generations, and the contamination. When planning, training, and performing the dismantling of an NPP, the need for information about the actual design and the current state of the plant is of highest importance for the staff, the authorities, and the public, in order to perform the work safely, efficiently and with acceptable economically costs.

Most important in the CDVC is the software called ChNPP Planner. The software enables the ChNPP staff to plan procedures for various work tasks involved in dismantling the facility with special focus on the tasks in the radioactive areas of the plant.

ChNPP Planner allows the users to plan the decommissioning work by simulating tasks in a VR model (3D model) of the work environment and by using manikins to represent the workers. The ChNPP Planner then calculates in real-time the radiation exposure for the given scenario. The user can see dose distribution graphs to determine if the dose for each worker is within acceptable limits, and identify when and where high radiation doses incurred. The ChNPP Planner thereby supports the principle about "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA).

The paper presents the background for the CDVC and the ChNPP Planner, the implementation of the centre at ChNPP and the experiences with the centre until today. In addition, the plans for the continuation of the project is mentioned.

Background. Since the beginning of 1990s the Norwegian government has funded assistance projects for supporting better safety at nuclear sites in Ukraine and Russia.

In the Norwegian government's action plan for nuclear activities it is defined how Norway through assistance projects should contribute increasing the safety at nuclear power plants and nuclear installations in Ukraine, Russia and in the former Eastern Europe. The action plan says that the decommissioning of ChNPP should be looked on as a unique knowledge base for decommissioning planning.

An explosion hit reactor No. 4 at the ChNPP in Ukraine in April 1986. The explosion destroyed the reactor and spread radioactive material into the surroundings. After the disaster, unit 4 could no longer be used and the entire plant including the three other reactors was finally closed in December 2000. The decommissioning of unit No. 1, 2 and 3 is now ongoing while the destroyed reactor No. 4 in 2016 got a new sarcophagus.

Decommissioning in a safe way the intact three reactors at ChNPP will be a long-term technological and organisational challenge because of the complexity of the plant, the need for transferring knowledge to the next generations, and the contamination. The overall time schedule for the decommissioning indicates that the fi-

nal shutdown and preservation will take up to 10 years from now. Then the safe enclosure is set to take 100 years, followed by the final dismantling taking 8-10 years. The state of the final plant site will be a “grey spot”. That is, when all systems are removed from the buildings and the radioactivity of the remaining constructions is lowered to an acceptable free-release level.

When planning, training, and performing the dismantling of an NPP, the need for information about the actual design and the current state of the plant is of highest importance for the staff, the authorities, and the public, in order to perform the work safely, efficiently and with acceptable economically costs. Therefore, dismantling an NPP requires highly detailed documentation.

Unfortunately, a large quantity of the original documentation at ChNPP was lost or is in a very bad shape and must be reconstructed. The documentation that exists may also be contaminated. Another problem is the loss of skills among the personnel, because the equipment has not been used for a long time meaning that the personnel is unfamiliar with it or the experienced staff is leaving the plant. Careful analysing and planning the dismantling tasks are therefore important in addition to giving thorough training to the personnel, both theoretical and in practice.

By facilitating improved planning, training and communication, many unwanted incidents may be avoided. Among the planning tools that seek to accomplish this are tools that support the ALARA principle. Virtual Reality (VR) based ALARA tools have the potential to being useful for minimizing doses, but also for improving the communication between involved parties, and thus better the safety. By facilitating improved planning, training and communication, many unwanted incidents may be avoided.

IFE has performed a number of projects with focus on developing software for use when planning work tasks in radioactive environments. That is software for radiation visualization and dose calculation using a 3D virtual environment. Several of the projects have been assistance projects funded by the Norwegian government such as the CDVC projects. Others have been commercial projects for running NPPs. In addition to ChNPP IFE has had assistance projects in Russia at Leningrad NPP and at the temporary site for storage of spent fuel elements from submarines in Andreeva Bay. The projects has been performed by IFE’s VR/AR department.

The software solutions in the projects have been based on IFE's VRdose Planner. The VRdose Planner is a desktop 3D tool for simulating work scenarios, with radiation visualization and dose-rate charts in addition to real-time dose calculation for scenario participants.

The VRdose Planner allows for interactive, real-time walk-through scenarios in a safe virtual environment (3D model). Virtual scenarios are easily defined by inserting virtual objects representing the content and items found in the real world. In addition, it is possible to supply the environment with radiation data, supporting both measurements as well as calculations based on radiological information from known sources. The radiation calculations can include shielding. The radiation can be visualized in various ways in the form of 2D maps or 3D figures in the 3D model. Also, information on the instant dose rates as well as the accumulated doses of the personal is supplied.

The ChNPP Planner in the CDVC is a version of the VRdose Planner, which has been adapted for ChNPP's special needs. Similar projects have been performed by IFE in Russia at Leningrad NPP (LNPP Planner in 2018) and in Andreeva Bay (Andreeva Planner in 2013). The different versions of the Planner software are based on the VRdose Planner in combination with the experiences and software developments done over time in the different assistance projects. There are plans for a new project in 2019 at Kola NPP about making a Kola Planner.

The establishing of the CDVC. The establishing of the CDVC started in 2006 by the approval of an assistance project funded by the Norwegian government. Originally the plan was to transfer a refueling machine simulator developed in a Norwegian assistance project at Leningrad NPP to ChNPP for use in training the removal of fuel elements from the reactor cores, but after the initial meeting the parties agreed to focus on creating a decommissioning visualisation centre.

A first version of the CDVC was established in 2007 with visualisation of a 3D virtual environment, features for dismantling procedure development and documentation, in addition to basic features for radiation visualisation. The CDVC at that time was a pilot version. The software supported only the most basic functionality for making procedures for the physical dismantling. A continuation of the pilot project into a real project was approved in 2008.

For a long period, the CDVC project had slow progress due to the need for establishing an intergovernmental agreement on cooperation between Norway and Ukraine regarding Norwegian funded assistance projects in Ukraine. The agreement was needed in the CDVC project before the requested, formal registration of the project in Ukraine could be fulfilled. The registration is needed in all projects in order to achieve the official approval of the cooperation and for handing over the results. On 30th November 2012 the intergovernmental agreement was signed in Oslo. The agreement lays the formal foundation for the practical execution of Norwegian assistance projects taking place at nuclear sites in Ukraine. Special focus is on ChNPP, but also other on-going work concerning nuclear safety and radiation protection in Ukraine are included in the agreement. The agreement is also the basis for the new ChNPP-IFE project in 2018-2020 about extending the CDVC.

In February 2016 the CDVC was finally completed with the Site Acceptance Test in the ChNPP training centre in Slavutich. More information in English about the CDVC as per 2016 can be found at IFE's website: <https://ife.no/en/project/chernobyl-npp-decommissioning-assistance-project>.

the features in the CDVC. The CDVC enables the ChNPP staff to plan procedures for various work tasks needed when dismantling the facility with special focus on the work in the radioactive areas of the plant.

The CDVC is an important tool for ChNPP in optimising the decommissioning plans and in the organisation of the work tasks. This includes the development of dismantling procedures and in radioactive waste management using visualisation to improve efficiency and safety of work performance at the ChNPP decommissioning stages, in particular:

- For use during planning of decommissioning activities;
- For effective storage and presentation of information about the ChNPP facilities for use in the different stages of the decommissioning.
- During periodical comprehensive engineering and radiation surveys (CERS);
 - During dismantling activities;
 - During radioactive material management;
 - For personnel training;

- For presentation of information to the public, authorities and licensing bodies;

The CDVC consists of three software: ChNPP ProCre, ChNPP Planner and ChNPP PCT.

The ChNPP ProCre is for use in planning the physical dismantling. The software makes it possible to plan in a 3D model the order in which physical objects are going to be removed and to document the procedure. The scenarios made in ChNPP ProCre can be used in the ChNPP Planner as basis for planning the use of people in radioactive environments.

The ChNPP Planner is for simulating work scenarios, with real-time radiation visualization, dose-rate charts and dose calculation for the scenario participants. That is; for planning the personnel usage. This is the main software in the CDVC. The functionality in the ChNPP Planner is explained in more detail below.

ChNPP Procedure Creator and Trainer (ChNPP PCT) is for briefing and training the personnel practicing work tasks in a safe virtual environment before performing the tasks in real life.

Of the three software in the CDVC the ChNPP Planner is the most important and the one that ChNPP focuses on using today. This software will be developed further in the newly started Norwegian funded assistance project with the title “Chornobyl Decommissioning Visualisation Centre - ChNPP Planner extension & optimization”.

In addition, the CDVC includes hardware and additional software needed by the ChNPP staff in data collection, 3D modelling of the ChNPP facilities and in the development of scenarios to be visualised in the CDVC. A separate room in the ChNPP training centre in Slavutich has been equipped with large screens for presenting for larger groups of employees, the management or the authorities the decommissioning scenarios created using the CDVC software. The room can also be used during scenario development when a group of specialists need to discuss. A video made by ChNPP about the CDVC can be found here: <https://youtu.be/1WeVzCDMyjQ>

The CHNPP planner. The ChNPP Planner allows the users to plan the work by simulating tasks in a VR model of the work environment and by using manikins to represent workers. For the 3D modelling ChNPP’s Strategic Planning Department uses SketchUp Pro. Today there exist 3D models of ca. 20 % of the ChNPP site.

The ChNPP Planner calculates in real-time the radiation exposure for the given scenario. The user can view dose distribution graphs to determine if the doses are within acceptable limits, and to identify when and where high radiation doses incurred. The ChNPP Planner thereby supports the ALARA principle.

ChNPP Planner lets one visualise gamma-radiation fields in the simulated area based on measured data or data obtained as part of CERS. Also, one can do occupational dose calculation for estimating the dose to be received by the personnel when entering the radioactively contaminated area. The visualisation of gamma-radiation fields and the dose calculation can help to minimise the personal risks and to optimise the usage of personnel. Radiation data for use in ChNPP Planner is made by ChNPP's Radiation department. The data is given in the form a measurement maps that can be loaded into ChNPP Planner. The software also supports direct loading of measurements.

The ChNPP Planner supports real-time visualization of measured dose rates based on interpolation algorithms. Provided the location and characteristics (i.e. type of isotopes and their activity) of radiological sources are known, ChNPP Planner is also able to calculate dose rates real-time, quantify the contribution from various radioisotopes and to consider the effects of shielding. Given the knowledge of activities of specific isotopes (if available), the future radiation situation can be predicted too by considering the half-life of the dominating isotopes.

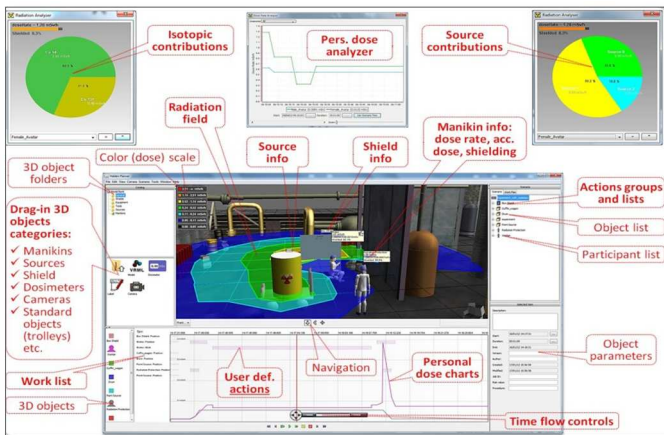


Figure 1. The user interface in ChNPP Planner with explanation of the functions

The ChNPP Planner can be a pedagogical means for the ChNPP personnel in training the dismantling procedures. Intensive training before the real dismantling process may be effective for reducing radiation exposure dose, workload and for enhancing safety.

The ChNPP Planner is also a valuable tool to support the making of the needed documentation and for training the dismantling phase. Thereby CDVC supports ChNPP in preserving the decommissioning expertise and knowledge at the plant in a long-term perspective.

Furthermore, the ChNPP Planner provides the project team with an effective medium in presentations to the public as well as for communicating with the management and the licensing authorities.

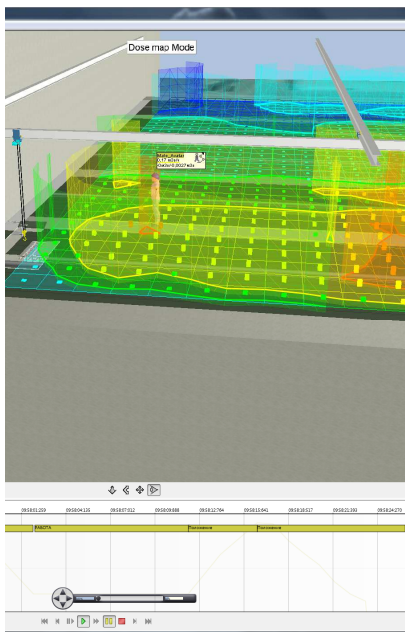


Figure 2. Example of radiation visualisation in ChNPP Planner

Lessons learned and plans for development of the CDVC. The interest and the involvement from the ChNPP side in the CDVC project was from the beginning in 2006 and throughout the project high. Despite the delays due to the missing overall Ukrainian-Norwegian agreement ChNPP prioritised staff and resources to the project making the ChNPP-IFE cooperation successful.

During the project work the parties experienced that some basic organisational issues need to be in place in order to utilise successfully the ChNPP Planner software. The most essential ones are:

- Direct involvement of the staff at ChNPP in addition to close cooperation between ChNPP and IFE in the project work.
- Creation of 3D models for use in the scenarios in ChNPP Planner. This was solved by ChNPP getting SketchUp Pro and starting to create 3D models of the site.
- Access to radiation data, for example radiation measurements, which was achieved from ChNPP's Radiation department.
- Updated hardware for running the software and equipment for working in the field during CERS. This was solved in the project by purchasing PCs etc.

This corresponds with experiences from the other similar Norwegian assistance projects that IFE has had at Leningrad NPP and in Andreeva Bay, where software based on VR technology has been introduced.

Since the finishing of the CDVC, the centre has been used continuously by ChNPP as part of the CERS, for making documentation and in scenarios visualising the radiation situation, for example for planning the transportation of spent fuel elements from the old Interim Fuel Storage #1 (IFS-1) to the new one (IFS-2).

Based on ChNPP's experience with the CDVC and the NPP's interest in developing the centre further, ChNPP and IFE applied the Norwegian government for a continuation of the CDVC project.

In November 2018 the Norwegian government approved a continuation of the CDVC project for the timeframe 2018-2020. The title of the new assistance project is "Chornobyl Decommissioning Visualisation Centre - ChNPP Planner extension & optimization". The scope of the project is:

- Update the user interface in ChNPP Planner and extend the software with new functionality.
- Increase the number of superusers of ChNPP Planner up to ca. 25.
- Give old and new superusers training in the use of the extended version of ChNPP Planner.
- Introduce more advanced 3D modelling at ChNPP.
- Develop test scenarios in the project in ChNPP Planner with focus on ALARA together with ChNPP.

- Purchase equipment for the extended number of superusers and for upgrading the equipment in the current CDVC.

Other tasks like more advanced algorithms for radiation calculation and certification in Ukraine of the dose calculator in ChNPP Planner may be applied for in later assistance projects.

OVERVIEW OF ATMOSPHERIC DISPERSION OF RADIONUCLIDES AFTER THE ACCIDENT AT FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP FROM THE PAST AND CURRENT KNOWLEDGE OF MODELING AND MONITORING DATA

Shigekazu Hirao

Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University
s-hirao@ipc.fukushima-u.ac.jp

The aim of this presentation is to overview atmospheric dispersion and deposition of radionuclides that were released after the accident of Tokyo Electric Power Company Fukushima Dai-ichi NPP (FDNPP) based on atmospheric transport model and monitoring data. To estimate dose to the public during the early stages of the accident in March 2011, it is essential to know the dynamics of radionuclide atmospheric dispersion and surface deposition. Unfortunately, the availability of measured radioactivity concentrations are extremely limited, and thus modeling approaches are necessary. Atmospheric dispersion models can calculate the spatiotemporal distribution of radioactive plumes.

The atmospheric dispersion of the radionuclides released during March 2011 and the uncertainty of the model are discussed on the basis of the comparison between measured data and modeled data. The results of the study indicate that the atmospheric transport and present surface deposition distribution of radionuclides over eastern Japan can be reasonably reproduced by the atmospheric dispersion model, although the uncertainty of the source term and the error of the model are factored in atmospheric dispersion. A model intercomparison of the atmospheric dispersion of Fukushima derived Cs-137 was also conducted to understand the behavior of atmospheric Cs-137 in greater detail. The result indicated that meteorological data were most critical for reproducing the atmospheric transport and further revealed that differences in Cs-137

concentrations among the models originated from deposition and diffusion processes when the meteorological field was simulated reasonably well. Next model intercomparison will be conducted in future.

From the view of current situation, decommissioning of the FDNPP and decontamination in the evacuation zones are being conducted. Eventually, the evacuation zones will be lifted. Therefore, monitoring radioactivity concentrations in the air and the analysis of their spatial and temporal variation are required. To obtain radioactivity concentrations in the air airborne particles were collected on filters by using high-volume air samplers.

The measured activity concentrations of Cs-137 in the vicinity of FDNPP were still about two orders of magnitude higher than that obtained before the accident. The radioactivity concentrations in air seems to be fluctuated with the change on meteorological condition, for example wind speeds. However the concentration occasionally was increased by an unrelated reason of wind. This imply that the increase in air radioactivity concentrations is not due only to wind-blown (eolian) dust but also from other processes.

УДК 004.045

НАУКОВЕ ОБҐРУНТОВАНЕ СКОРОЧЕННЯ ЦИКЛУ ВИПРОБУВАНЬ НА НАДІЙНІСТЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

В.В. Бегун, к.т.н., доцент,

В.П. Стрельников, д.т.н.,

В.Ф. Гречанинов, к.т.н.,

С.В. Бегун, к.ф.-м.н., с.н.с.

Інститут проблем математичних машин и систем НАН України

Випробування одна з основних стадій життєвого циклу технічних виробів, військової техніки тощо. Замовника і користувачів технічних виробів у першу чергу після тактико-технічних характеристик цікавлять характеристики надійності та безпеки, як то: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість. Звичайно, такі випробування проводяться за стандартизованими процедурами, наприклад за ДСТУ 3004-95 «Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності по експериментальним даним». Відповідно до повного життєвого циклу виробу своєчасно

мають бути проведені наступні випробування: дослідні, приймальні, попередні, кваліфікаційні, приймально-здавальні, періодичні, типові та сертифікаційні. Зрозуміло, що на всі ці випробування потрібно затратити певний час й не малі кошти. В сучасних умовах швидкозмінних моделей виробів та жорсткої конкуренції частіше деякі види випробувань об'єднують або зовсім виключають, як то кажуть, процедури випробувань за замовченням переносяться на період експлуатації технічних виробів. Тобто, фактично обладнання використовується без обґрунтування його працездатності. Саме тому в інтернеті часто можна бачити повідомлення про відмови технічних виробів, іноді з летальними наслідками, або з великим збитком. У таких випадках якщо навіть частота відмов мала, ризик може бути великим.

У нашому інституті розроблена більшість існуючих стандартів випробувань. Остання розробка це ДСТУ 8647:2016 Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов, дата введення в дію: 01.07.2017, див.: http://www.immsp.kiev.ua/activity/Napriam%208_Standarty/Standart_Statystyka_vidmov.pdf . Як бачимо, вже з назви стандарту зрозуміла сфера його дії і переваги. Стандарт, ґрунтований на використанні найбільш адекватних імовірнісно-фізичних моделей відмов (дифузійних розподілів), дозволяє вирішувати поставлену задачу і прогнозувати показники надійності об'єктів в умовах малої або навіть відсутності статистики відмов при випробуваннях або спостереженнях декількох об'єктів за рахунок використання апріорної інформації про фізичні процеси деградації, об'єктів, що обумовлюють відмови. Авторами доведено, що використання імовірнісно-фізичних моделей відмов дослідження надійності технічних об'єктів, зокрема двохпараметричних дифузійних розподілів, призводить до наступних результатів: використання методів розрахунку на основі адекватніших двохпараметричних моделей відмов призводить до підвищення точності оцінок показників надійності технічних систем; при експериментальній оцінці (чи в результаті спостережень в процесі експлуатації) призводить до істотного скорочення об'єму випробувань або об'єму спостережень (зменшенню кількості випробовуваних (спостережуваних) зразків на 30-50% для заданої достовірності і точності),

а також до підвищення точності оцінок показників надійності. Точніша оцінка надійності експлуатованих систем дозволяє забезпечити заданий рівень надійності, приймати ефективніші рішення про терміни подальшої експлуатації і життя заходів по забезпеченню експлуатаційної надійності.

Висновки. Існуючі методики оцінки показників надійності за статистичними даними про відмови об'єктів вимагають значної статистики відмов, якої, як правило, не буває. Дослідникам необхідно робити оцінки і прогнозувати показники надійності об'єктів в умовах обмеженої статистики відмов. Пропонуємо розробити нові методики випробувань обладнання (військової техніки) на новій, найсучаснішій науковій базі з відповідним програмним забезпеченням. У підсумку будемо мати наступні привілеї: науково обґрунтовані показники надійності і безпеки технічних (військових) виробів за порівняльно короткій час і відповідно, суттєве скорочення витрат на випробування. Ми маємо стандарт, для розробки методики випробувань будь-яких технічних виробів, потрібно належним чином врахувати тип технічних виробів та його життєвий цикл.

ГРИБИ - БІОІНДИКАТОРИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В УМОВАХ 30-ТИ КІЛОМЕТРОВОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС

*Бовкун А. О., студентка II курсу факультету захисту рослин
Національний університет біоресурсів і природокористування України*

***Науковий керівник:** Крючкова Л. О., доктор біологічних наук,
професор кафедри фітопатології ім. акад. В.Ф. Пересипкіна
Національного університету біоресурсів і природокористування
України*

У сучасних наукових дослідженнях актуальним залишається пошук біоіндикаторів, що дозволяють оцінити стан біоти. При цьому вчені досліджують як самі організми-біоіндикатори, так і прояви у них специфічних реакцій у відповідь на певний вплив. Біоіндикаторами можуть бути живі організми, у яких добре виражена реакція на зовнішній вплив: різні види бактерій, водоростей, грибів, рослин, тварин. Провідна роль належить фітоінди-

кації – вивчення реакції рослин на стресовий вплив. Частіше в якості біоіндикаторів використовують лишайники [7, с. 29]. Сила реакції живих організмів на стрес залежить від інтенсивності впливу забруднення [7, с. 10]. Одним із таких негативних впливів антропогенного походження є забруднення навколишнього середовища радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС.

Особливої уваги як біоіндикатори радіоактивного забруднення заслуговують гриби, які становлять вагому частину серед ґрунтових мікроорганізмів, особливо у верхніх горизонтах ґрунту лісових біогеоценозів. Грибам властива висока радіорезистентність, що було доведено як експериментальними дослідженнями, так і натурними спостереженнями ґрунтових зразків, відібраних у районах радіоактивного забруднення після вибуху атомної бомби та при дослідженнях ґрунту у 30-кілометровій зоні відчуження ЧАЕС [8]. Вченими Н.Н.Ждановою, А.І.Василевською, В.А.Захарченко доведена висока радіостійкість мікроскопічних грибів порівняно з бактеріями, рослинами та тваринами до УФ та у-опромінення [5].

Відомо про високу акумулюючу властивість грибів по відношенню до широкого кола хімічних елементів, що ставить їх поряд з лишайниками, які є індикаторами стану повітря, забруднення оточуючого середовища важкими металами та радіонуклідами [2].

Систематичні дослідження грибів та інших представників біоти у зоні відчуження ЧАЕС проводяться з 1986 року. Метою досліджень було визначення видового складу видів грибів, які вижили в умовах радіоактивного забруднення, встановлення домінуючих видів та аналіз зміни чисельності окремих популяцій. Особливу увагу звертали на зустрічальність та місцезнаходження грибів, їх видове різноманіття з одночасним врахуванням впливу факторів оточуючого середовища. Уже у 1988 р., через два роки після аварії, в умовах підвищеної радіоактивності ґрунтів вчені констатували підвищення частоти зустрічальності таких видів як *Zygorhynchus moelleri*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium funiculosum* [5, с.21].

Пошук індикаторів радіаційного забруднення проводили як серед шапкових грибів-базидіоміцетів, що утворюють наземні плоді макротіла [4; 6], так і серед інших ґрунтових мікрооргані-

змів [1]. Було встановлено, що в екстремальних ситуаціях індикаторами несприятливого стану біоти можуть бути групи меланіномістких видів грибів. Це спостерігалось в перші роки після Чорнобильської катастрофи і саме в цей час у складі ґрунтової мікробіоти реєструвалося кількісне та якісне переважання темнопигментованих радіорезистентних мікроскопічних грибів.

На відміну від лишайників і базидіоміцетів, що розвиваються на поверхні різноманітних субстратів, виокремлення ґрунтових мікроскопічних грибів вимагає певних методичних підходів. Для виявлення біоіндикаторних видів мікроміцетів або їх комплексів Н.М. Жданова, В.А. Захарченко та інші застосували факторний аналіз – метод головних компонент з урахуванням зв'язку (кореляційний аналіз) значимих розрахункових факторних навантажень та рівня радіоактивного забруднення у місцях спостереження [5, с. 70].

За допомогою цього методу було отримано дані про частоту зустрічальності мікроскопічних грибів у ґрунті пунктів стаціонарного спостереження. Загальна радіоактивність ґрунтових зразків коливалася в межах шести порядків від 37 до $3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг ґрунту. Це дало можливість відібрати такі види, які відрізнялися високими значеннями факторних навантажень, серед яких було визначено домінуючі види та види, які зустрічаються зрідка. Перші не виявили специфічності до певних рівнів радіоактивності, як і другі, у зв'язку з нестабільністю їх зустрічальності у досліджуваних ґрунтах. Тому із усіх виявлених видів (понад 200) було відібрано 13, які і розглядалися в подальшому як можливі біоіндикатори радіоактивного забруднення.

Ці види були умовно розділені на три групи, в залежності від рівнів радіаційного забруднення: високого ($3,7 \cdot 10^7 - 3,7 \cdot 10^5$ Бк/кг ґрунту і вище), середнього ($3,69 \cdot 10^5 - 3,7 \cdot 10^3$) та низького ($3,69 \cdot 10^3 - 3,7$ Бк/кг ґрунту). Відповідно до такого поділу були проаналізовані всі пункти відбору ґрунтових зразків з врахуванням того, що, залежно від часу відбору, радіоактивність їх зменшувалась від високого до середнього і низького рівнів. Для відбору видів-біоіндикаторів кожен із 13 відібраних видів грибів оцінювався щодо частоти зустрічальності у діапазоні вказаних рівнів радіоактивного забруднення ґрунтів.

Таким чином із 13 було відібрано 6 видів мікроскопічних грибів, які були віднесені до одного з трьох рівнів забруднення. Так, види *Chaetomium aureum* і *Paecilomyces lilacinus* були віднесені до індикаторів високозабруднених радіонуклідами ґрунтів ($3,7 \cdot 10^5$ – $3,7 \cdot 10^6$ Бк/кг). *Acremonium strictum* і *Arthrinium sphaerospermum* віднесено до індикаторів ґрунтів середнього рівня забруднення ($3,7 \cdot 10^4$ – $3,7 \cdot 10^3$ Бк/кг). *Matarrhizium anisopliae* та *Dendrodochium toxicum* характеризують ґрунти слабкого (низького) рівня радіоактивного забруднення – $3,7 \cdot 10^3$ Бк/кг і нижче.

Перевага біоіндикації перед іншими засобами індикації радіоактивного забруднення полягає в тому, що окремі біоіндикаторні види грибів можуть стати основою для складання довготривалих екологічних прогнозів, а також можуть використовуватися при складанні радіоекологічних мап.

Таким чином, процес виявлення мікроміцетів – біоіндикаторів відповідних рівнів радіонуклідного забруднення включає три основних етапи: проведення кореляційного аналізу за методом головних компонент, відбір видів, які достовірно впливають на дисперсію мікробіоти, та визначення частоти їх зустрічальності з урахуванням значень величин факторних навантажень в рамках існуючих рівнів радіоактивного забруднення ґрунтів. Тобто при виборі видів-біоіндикаторів необхідно враховувати не лише базові дані відносно частоти зустрічальності кожного з видів грибів, а й такі види, для яких характерні високі факторні навантаження. Визначені види-біоіндикатори свідчать о спрямованості в часі реабілітаційних процесів, що відбуваються у забруднених радіонуклідами ґрунтах.

В.В. Вембер у своїх дослідженнях вперше показала здатність мікроскопічних грибів активно обростати частинки реактивного графіту та засвоювати радіовуглець з такого субстрату. Вчена виявила суттєві зміни в морфології і фізіології штамів мікроміцетів під впливом значних доз опромінення, в порівнянні з контрольними штамми [3]. Такі види як *Cladosporium sphaerospermum* та *Alternaria alternata* проявили стійкість до β -променів, стійкість залежала від місця існування та віку грибів, а рівень ферментативної активності у штамів *Cladosporium cladosporioides* залежав від наявності у них темних пігментів - меланінів.

Дослідження можливості існування та росту мікроміцетів в умовах потужного опромінення дало можливість вченим припустити існування у цих мікроорганізмів каскаду захисних реакцій, що робить можливим виживання та активний ріст грибів у таких умовах.

Виявлена у окремих видів грибів здатність руйнувати та використовувати вуглець з реакторного графіту може бути використана для створення біотехнологій, спрямованих на реабілітацію території радіаційного забруднення.

Література

1. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 348 с.
2. Бязров Л.Г. Некоторые аспекты лишеноиндикации загрязнения среды. Биоиндикация и биомониторинг. – М.: Наука. – 1991. – С. 54-59
3. Вембер В. В. Еколого-фізіологічні особливості мікроміцетів зони радіонуклідного забруднення : Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.07 / В. В. Вембер; Ін-т мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України. – К., 2000. – 22 с
4. Гродзинська Г.А., Сирчін С.О., Кучма М.Д., Коніщук В.В. Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України // Вісн. НАН України. – 2008. – № 9. – С.26-37.
5. Жданова Н. Н. Микобиота украинского Полесья : последствия Чернобыльской катастрофы: [монография] / Н. Н. Жданова, В. А. Захарченко, А. И. Василевская, А. Т. Школьный, Н. Д. Кучма; НАН Украины, Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного. - К.: Наук. думка, 2013. – 382 с.
6. Маркелов А. В. Грибы в системе биоиндикации радиационных нагрязок / А. В. Маркелов, Н. Я. Минеева, П. В. Гордиенко // Биоиндикация и мониторинг. -М., 1991. -С. 129-139.
7. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С-Петербур. ун-та, 2016. – 300 с.
8. Патики В.П. Екологія мікроорганізмів: посібник / В.П. Патики, Т.Г. Омелянець, І.В. Гриник, В.Ф. Петриченко; за ред. В.П. Патики. – К.: Основа, 2007. – 192 с.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНТЕГРАЦІЙНОЇ ШИНИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Бурмака Іван Анатолійович

Чернігівський національний технологічний університет,
Ivan.Bourmaka@stu.cn.ua

Нехай Валентин Валентинович

Чернігівський національний технологічний університет,
kilavv@live.com

Abstract: *Integration of the software services for objects of critical infrastructure has specific requirements of reliability, performance and security. Some services for information systems of critical infrastructure objects requires adaptation layer for integration, because they use proprietary messaging system.*

There are two major architectures for integration of software services. First one is fully decentralized microservice architecture — which means that system consists of lot of small independent services which communicate with each other directly by API. Another one is Enterprise Service Bus(ESB) which has a central message routing component. ESB architecture is more suitable because centralized component makes possible adaptation of the messages from one service to another and gives us additional security layer. But none of these architectures in the classic version does not meet the requirements of information systems for critical infrastructure objects.

We propose to optimize ESB architecture by distributing message routing layer as a main bottleneck. This optimization will increase reliability and performance of system in general and makes possible local message routing inside distributed blocks.

Keywords: *Critical object infrastructure, microservice architecture, Enterprise Service Bus, Message Queues.*

Анотація: *Розглянуті найбільш популярні архітектури сервіс-орієнтованих систем, а також їх переваги та недоліки для використання в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури, способи їх оптимізації.*

Ключові слова: *Об'єкт критичної інфраструктури, мікросервісна архітектура, Enterprise Service Bus, Message Queues.*

Вступ

Розвиток інформаційних технологій сприяє масштабному впровадженню автоматизації та комп'ютеризації інформаційних процесів в розподілених інформаційних системах. Але зворотньою стороною цього є те, що часто для автоматизації кожного процесу використовуються окремі програмні засоби або сервіси побудовані під певний процес. В подальшому це призводить до виникнення проблеми інтеграції цих сервісів в єдину інформаційну систему.

Не оминула ця проблема і об'єкти критичної інфраструктури, при цьому на такі інформаційні системи накладаються додаткові вимоги щодо надійності, безпеки та розмежування прав доступу.

Рішення для інтеграції

Найбільш популярними на даний момент підходи до інтеграції сервісів це Сервіс Орієнтована Архітектура (SOA) на основі Інтеграційної Шини (ESB) та архітектура Мікросервісів (на основі API або Message Queues). Кожна з цих архітектур має свої переваги та недоліки.

Мікросервіси — один з найбільш сучасних архітектурних підходів до інтеграції. Основна ідея мікросервісів в тому, що кожен елементарний додаток являє собою мікросервіс, який взаємодіє з іншими мікросервісами напряму за допомогою API з легкими протоколами (Рис.1). Взаємодія з клієнтами зазвичай відбувається через API Gateway.

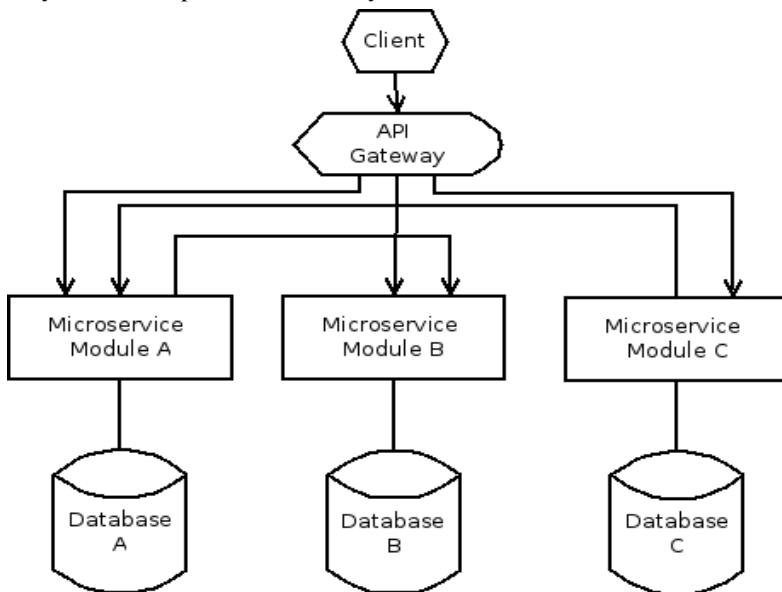


Рис. 1. Мікросервісна архітектура

До переваг мікросервісів можна віднести можливість незалежної розробки невеликих незалежних компонентів, незалежне розгортання, незалежне масштабування та можливість повтор-

ного використання компонентів. Також до переваг даного підходу можна віднести більш високу надійність систем на основі мікросервісів, у порівнянні із монолітними [1].

Але мікросервіси мають і достатньо серйозні недоліки - значне підвищення складності розробки і розгортання. Крім того треба враховувати, що при збільшенні числа компонентів, збільшується і кількість зв'язків між ними, при цьому велика кількість міжкомпонентних зв'язків значно ускладнює систему. Також при оновленні системи на основі мікросервісів може виникати проблема версійності, яка пов'язана зі змінами форматах зберігання або обробки даних.

У контексті систем для об'єкти критичної інфраструктури слід також враховувати те, що для мікросервісів контролювати права доступу та забезпечувати безпечну передачу даних повинен кожен сервіс, що не є оптимальним з точки зору безпеки, оскільки пряма взаємодія сервісів фактично не має централізованого керування та моніторингу обміну даними.

Також існує варіант мікросервісної архітектури де замість прямого обміну даними за допомогою API використовується Message Queues. Використання MQ дозволяє підвищити надійність системи, оскільки дозволяє у випадку відмови одного з цільових сервісів автоматично переадресувати повідомлення на аналогічне дзеркало сервісу. Також Message Queues забезпечують асинхронну передачу повідомлень (при надсиланні повідомлення, воно ставиться в чергу, і очікує доступності одного з сервісів який може його обробити) що перекладає задачу гарантованості доставки повідомлення з сервісу на MQ. Також Message Queues система бере на себе відповідальність за масштабування системи і розподілення запитів між дзеркалами сервісів[2].

Іншим підходом до інтеграції є використання інтеграційної шини (Enterprise Service Bus) - сполучне програмне забезпечення, що забезпечує централізований та уніфікований, орієнтований на події обмін повідомленнями між різними інформаційними системами на принципах сервіс-орієнтованої архітектури (рис. 2). Основний принцип сервісної шини - концентрація обміну повідомленнями між різними системами через єдину точку, в якій, за необхідності, забезпечується транзакційний контроль, перетворення даних, збереження повідомлень. Всі налаштування обробки

і передачі повідомлень передбачаються також сконцентрованими в єдиній точці, і формуються в термінах служб. Таким чином, при заміні будь-якої інформаційної системи, підключеної до шини, немає необхідності в перелаштуванні інших систем [3].

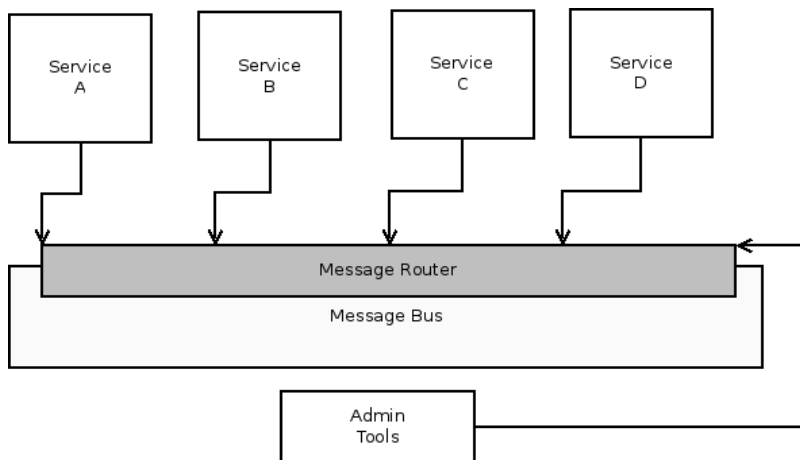


Рис. 2. Класична архітектура Enterprise Service Bus

Перевагою використання такого підходу є те, що ESB бере на себе достатньо великі об'єми задач пов'язаних з обробкою і маршрутизацією повідомлень, захищеною та цілісною (за допомогою транзакцій) їх передачею між сервісами, адаптацією повідомлень від сторонніх систем, оркестровкою служб. Також інтеграційна шина бере на себе задачі з контролю та управління (куди входять аудити та протоколювання) (рис. 3).

До недоліків інтеграційної шини можна віднести наявність центрального компонента, який може стати слабким місцем системи при високих навантаженнях.

Але на даний момент від інтеграційної шини часто відмовляються на користь мікросервісів, оскільки система побудована на мікросервісах є більш гнучкою, але для використання на об'єктах критичної інфраструктури достатньо вагомою перевагою є наявність централізованого рівня контролю керування та обмеження доступу.

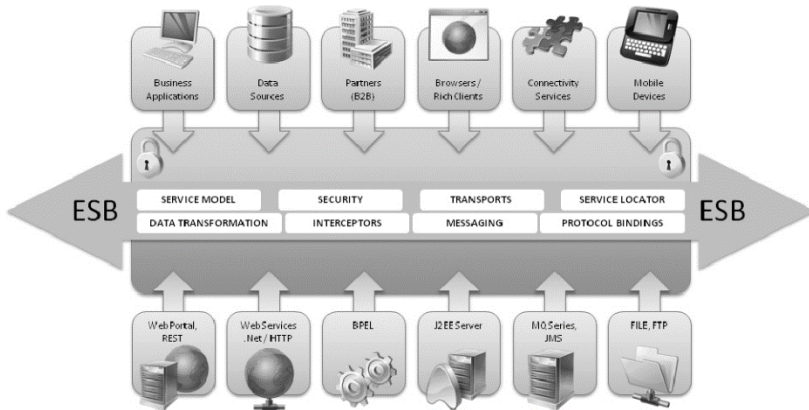


Рис. 3. Розподіл задач в системі на основі інтеграційної шини

Оптимізація інтеграційної шини для розгортання на об'єктах критичної інфраструктури

Оскільки однією з ключових особливостей ESB, яка є одночасно і перевагою і недоліком її класичної архітектури є наявність центрального компонента, оптимальним варіантом подолання цієї проблеми, із одночасним збереженням основних переваг інтеграційної шини є розподілення цього центрального компонента.

Так одним із найбільш завантажених компонентів в класичній ESB архітектурі є компонент маршрутизації повідомлень (Message Routing), оскільки усі повідомлення проходять саме через нього. Отже оптимізацію роботи інтеграційної шини слід починати саме з цього компонента.

Оптимальним рішенням в цьому випадку буде розподіл системи на окремі логічні блоки, кожен з яких має власний компонент маршрутизації, при цьому компоненти маршрутизації залишаються об'єднані між собою за допомогою шини (рис. 4) [4].

Однією з перших переваг яку ми отримуємо в даному випадку є можливість локальної маршрутизації між сервісами в межах блоку, що зменшує навантаження на шину вцілому (оскільки локальна маршрутизація не створюватиме навантаження на канали зв'язку з віддаленими блоками, а для об'єктів критичної інфраструктури є важливим підтримання оптимальної роботи каналів зв'язку між компонентами системи).

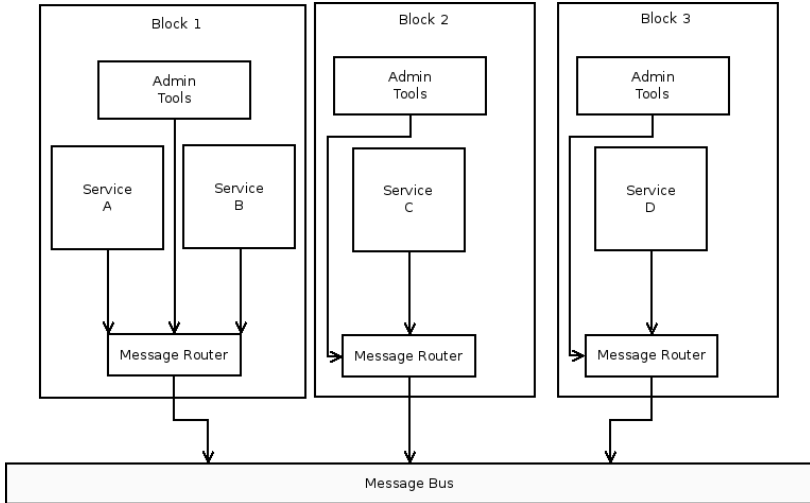


Рис. 4. Розподілена Enterprise Service Bus

Також таке масштабування системи робить її більш надійною в плані відмов, так як відмова не тільки одного сервісу, а й блоку в цілому, або одного з компонентів маршрутизації не призведе до повної втрати працездатності системи.

Висновки

Аналіз переваг та недоліків архітектури мікросервісів і Enterprise Service Bus для використання в інформаційних системах об'єктів критичної інфраструктури показав що оптимальним вибором для таких систем буде архітектура де обмін повідомленнями між сервісами відбувається за допомогою модуля маршрутизації та шини, але при цьому модуль маршрутизації може бути децентралізований задля підвищення ефективності роботи та надійності системи. Такий вибір зумовлений тим, що архітектура інтеграційної шини полегшує обмін повідомленнями між різнотипними сервісами, а також забезпечує додатковий рівень безпеки і повністю контролює взаємодію сервісів.

Література

[1] Taibi, Davide, et al. "Microservices in agile software development: a workshop-based study into issues, advantages, and disadvantages." *Proceedings of the XP2017 Scientific Workshops*. ACM, 2017.

[2] Rostanski, Maciej, Krzysztof Grochla, and Aleksander Seman. "Evaluation of highly available and fault-tolerant middleware clustered architectures using RabbitMQ." 2014 federated conference on computer science and information systems. IEEE, 2014.

[3] David Chappell, "Enterprise Service Bus" (O'Reilly: June 2004, ISBN 0-596-00675-6)

[4] Georgantas, Nikolaos, et al. "Service-oriented distributed applications in the future internet: The case for interaction paradigm interoperability." European Conference on Service-Oriented and Cloud Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

ОЦІНКА ПОТОЧНОГО І ПРОГНОЗНОГО РІВНЯ ПІДКРИТИЧНОСТІ ПОТЕНЦІЙНО ЯДЕРНО-НЕБЕЗПЕЧНОГО СКУПЧЕННЯ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Є. Д. Висотський, Р.Л. Годун, К. О. Суценко

Анотація: Приводяться консервативні інтегральні оцінки маси матеріалів, що діляться (до $1\text{ т }^{235}\text{U}$ і ^{239}Pu) в потенційно ядерно-небезпечних скупченнях (ПЯНС), прихованих в центральному залі (під шаром вертолітної засипки), а також в прим. 305/2 і 307/2 (в зонах проплавлення опорної плити шахти реактора). В умовах відсутності доступу до розмножуючого середовища в скупченнях допускається можливість існування гіпотетичних критичних композицій, в яких ризики виникнення самопідтримуваної ланцюгової реакції (СЛР) не можуть бути виключені в умовах комплексу НБК-ОУ. Показано, що моніторинг рівня підкритичності забезпечується на периферії ПЯНС (в південно-східній частині приміщення 305/2), де в червні 1990 р. була зареєстрована повторна критичність. СЛР виникла в процесі надходження води в остигаюче середовище скупчення, а самогасіння відбулося в результаті перезволоження. В даний час на периферії ПЯНС спостерігається постійне зростання нейтронної активності, що викликане збільшенням ефективного коефіцієнта розмноження нейтронів (K_{eff}) в процесі втрати води цим перезволоженим розмножуючим середовищем. За умови збереження в ПЯНС критичної композиції 1990 року, зростання K_{eff} може привести до зворотної критичності. Пропонується алгоритм і методичне обґрунтування процедур оцінки поточного рівня підкритичності ПЯНС по динаміці щільності потоку нейтронів (ЩПН), яка детектується на периферії скупчення. Отримано консервативні оцінки швидкості введення позитивної реактивності при втраті води розмножуючим середовищем ПЯНС ($\sim 10^{-8}$ $\beta/\text{с}$, $\beta = 0.0065$) та представлено прогноз динаміки зростання реєструємої ЩПН на інтервалі від 3 до 6 місяців.

Ключові слова: ядерна безпека, комплекс НБК-ОУ, подільні матеріали, нейтронна активність, критичність, паливовмісні матеріали (ПВМ).

Тези: Основним принципом при технічному забезпеченні ядерної безпеки ОУ є безумовне виключення ризиків виникнення СЛР. При цьому СЛР розглядається як «гіпотетична подія»,

тобто ймовірність появи якої можливо передбачити (теоретично) на основі наявної обмеженої інформації. В умовах відсутності доступу безпосередньо до розмножуючого середовища скупчень, отримані оцінки маси подільних матеріалів (близько 300 кг ^{235}U і ^{239}Pu , прихованих в центральному залі і до 600 кг в підреакторних приміщеннях 305/2 і 307/2) є підставою визнати ці скупчення ПВМ потенційно ядерно-небезпечними, а встановлення контролю рівня їх підкритичності ПЯНС – обов'язковим.

В даний час забезпечується моніторинг рівня підкритичності лише ПЯНС, прихованого під шаром «свіжого» бетону в південно-східній частині прим. 305/2 (в зоні проплавлення опорної плити шахти реактора). Аргументовано вважається, що це ядерно-небезпечне скупчення являє собою двошарову композицію. Верхній шар – чорні лавоподібні паливовмісні матеріали (ЛПВМ) з масовою часткою палива до 5% урану, що утворилися в результаті розчинення фрагментів паливних каналів в силікатному розплаві. Нижній шар – ЛПВМ з ймовірно критичною композицією (долею палива від 50% урану), що є продуктом взаємодії розплаву палива (коріуму) з бетоном шахти реактора. Штатні блоки детектування (БД СКЯБ) реєструють нейтрони, що з'являються: на верхній поверхні шару чорних ЛПВМ (БД №1); на бічних поверхнях ймовірно критичної композиції (БД №3). ЩПН, що реєструється кожним БД, включає в себе нейтрони, які генеруються шаром ЛПВМ і шаром ймовірно критичної композиції.

Скупчення ЛПВМ розглядаються як гетерогенні водо-уранові системи, в об'ємі однорідного низькозбагаченого ($\sim 1.15\%$ ^{235}U) паливного середовища яких рівномірно розподілені подільні матеріали, домішки і практично постійні внутрішні джерела нейтронів (спонтанного ділення і α -n реакції). Гетерогенна структура розмножуючого середовища скупчень визначається наявністю широкого спектру макропор, доступних для води через нескінченний кластер мікротріщин і порових каналів. Сукупність макропор визначає вологемкість і гетерогенність системи, а мікротріщини і порові канали - механізм міграції води, що забезпечує об'ємне поглинання води (абсорбцію). Характерною особливістю при зволоженні таких систем є наявність оптимального водо-уранового співвідношення, тобто концентрації води при якій $K_{\text{эф}}$ (ефективний коефіцієнт розмноження) досягає максимальних значень, а подальше зростання

концентрації призводить до перезволоження і падіння $K_{\text{эф}}$ до значень, що визначаються вологоємністю (доступною пористістю) розмножуючого середовища.

Аргументовано вважається, що при повторній критичності в червні 1990 р. гасіння СЛР сталося в результаті перезволоження ПЯНС. Повне зволоження, тобто заповнення водою всієї доступної пористості розмножуючого середовища ПЯНС утримувалося до установки НБК в межах сезонних відхилень від середньорічних значень менше 5% за рахунок регулярних надходжень води атмосферних опадів. Після установки НБК сезонні відхилення спостерігаються на фоні постійного тренду ЩПН, який може бути пов'язаний тільки з ростом $K_{\text{эф}}$ в процесі втрати вологи перезволоженим середовищем ЯНС. При цьому в процесі зневоднення ЯНС $K_{\text{эф}}$ буде рости тільки в разі зменшення об'ємної концентрації води в перезволоженому розмножуючому середовищі. Якщо втрата води призводить до втрати маси зволоженим розмножуючим середовищем, то $K_{\text{эф}}$ буде падати. У непереволоженому середовищі будь-який механізм втрати води призводить тільки до зменшення $K_{\text{эф}}$. Статистична обробка тимчасових реалізацій БД №1 і БД №3 показала, що зростання ЩПН визначається нейтронами вимушеного поділу, тобто ростом $K_{\text{эф}}$, а коефіцієнт кореляції показів БД склав не менше 0,8. В даний час при триваючому зростанні нейтронної активності ЯНС існує ймовірність зворотної критичності, при якій СЛР матиме запас реактивності порядку 0,3 β і позитивний температурний коефіцієнт реактивності, що прискорює зростання $K_{\text{эф}}$.

Пропонується методика експертної оцінки стану поточної підкритичності і прогнозованої величини ЩПН при втраті води розмножуючим середовищем ЯНС. Методика ґрунтується на використанні розрахунково-експериментальних залежностей $K_{\text{эф}}$ від концентрації води (отриманих для версій матеріальних моделей шару чорних ЛПВМ і критичної композиції) в розмножуючому середовищі і на зв'язку наступних динамічних параметрів розмножуючих систем в підкритичності:

$$\varphi \rightarrow n \rightarrow \frac{dn}{dt} \rightarrow \frac{dK_{\text{эф}}}{dt} \rightarrow \frac{dC}{dt} \rightarrow K_{\text{эф}}(t) \rightarrow \varphi(t),$$

де φ [н/см² · с] – детектована ЩПН; n [н/см³] – щільність нейтронів в системі; C [г/см³] – концентрація води в розмножуючому

му середовищі; $\frac{dn}{dt}$ – швидкість зростання щільності нейтронів; $\frac{dK_{\text{эф}}}{dt}$ – швидкість введення реактивності; $\frac{dc}{dt}$ – швидкість зміни концентрації води в процесі зневоднення ЯНС.

Отримані консервативні оцінки швидкості введення позитивної реактивності при втраті води розмножуючим середовищем ЯНС ($\sim 10^{-8} \beta / c$, $\beta = 0.0065$) і прогноз динаміки зростання детектованої ЩПН на інтервалі від 3 до 6 місяців. Консервативні прогнозні оцінки динаміки детектованої ЩПН отримані при допущенні, що швидкість втрати вологи критичною композицією на інтервалі прогнозу не перевищить розрахункової.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

Євгеній Висотський – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України;
e-mail: kosts2@ukr.net

Основні напрямки наукових досліджень: ядерна безпека; контроль підкритичності.

Роман Годун – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України;
e-mail: rgl.wtmw@gmail.com

Основні напрямки наукових досліджень: забезпечення ядерної і радіаційної безпеки комплексу НБК-ОУ; оцінки рівня підкритичності скупчень ПВМ; підвищення ефективності систем контролю.

Суценко Костянтин – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України;
e-mail: kosts2@ukr.net

Основні напрямки наукових досліджень: ядерна безпека; контроль підкритичності.

ESTIMATION OF CURRENT AND FORECAST LEVEL OF SUBCRITICALITY OF POTENTIAL NUCLEAR- DANGEROUS CLUSTER OF FUEL-CONTAINING MATERIALS

Vysotsky E. D., Godun R. L., Sushchenko K. O.

Abstract: *Conservative integral estimates of mass of fissile materials (up to 1t of ^{235}U and ^{239}Pu) in potentially nuclear-dangerous clusters (PNDC) of fuel-containing materials (FCM), located in the central hall (under the helicopter bulking layer) as well as in premises 305/2 and 307/2 (the zones of the melting of the reference plate of the reactor shaft) are given. There is the absence of direct access to the breeding system. In FCM clusters there is the possibility of the existence of hypothetical critical compositions, in which the risks of self-sustaining chain reaction (SSCR) cannot be excluded under the NSC-SO conditions. It was shown that control over the state of subcriticality was established only at periphery of the PNDC of FCM (at the south-eastern part of the room 305/2), where in June 1990 a re-criticality was registered.*

Currently, on the periphery of the PNDC of FCM there is a steady increase in neutron activity, which is a result of the increase of the effective neutron multiplication factor (K_{eff}) in the process of water loss by this over-moisten multiplication medium. Subject to the preservation of the potentially critical composition of FCM the K_{eff} growth can lead to repeated-criticality.

It is proposed the algorithm and methodological substantiation of procedures for estimating the current level of subcriticality of PNDC of FCM on the dynamics of the neutron flux density (NFD), which is detected on the periphery of this cluster. Conservative estimations of the rate of introduction of positive reactivity with water loss in the propagating/breeding medium of PNDC ($\sim 10^{-8} \beta / s$, $\beta = 0.0065$) were obtained and the forecast of the growth dynamics of the registered NFD in the interval from 3 to 6 months is presented.

Keywords: nuclear safety, fissile materials, NFD, sub-criticality, NSC-SO complex, fuel-containing materials.

AUTHORS' INFORMATION

Evgeniy Vysotsky – Institute for Safety Problems of NPP of NASU;
e-mail: kosts2@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

Roman Godun – Head of Department of Nuclear Safety, Institute for Safety Problems of NPP of NAS of Ukraine; e-mail: rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: the ensuring of nuclear and radiation safety of “Shelter” object (SO); the potential re-criticality of fuel-containing materials; the increasing of efficiency of neutron control

Kostyantyn Sushchenko – Institute for Safety Problems of NPP of NASU; Ukraine;

e-mail: kosts2@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: nuclear safety; subcriticality control

МЕРЕЖЕВИЙ ПРОТОКОЛ LORAWAN ТА МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Вольтерс Андрій Олександрович,

Полегенький Костянтин Миколайович

Київський Національний Університет Будівництва і Архітектури

Повітрофлотський просп., 31, Київ, 03037

wolters@atp.in.ua, polegenky.free@gmail.com

LoRaWAN – це протокол передачі даних каналного рівня для мереж з множиною вузлів, з великим радіусом дії та низькими енергозатратами. Мережа LoRaWAN має просту архітектуру типу «зірка» без ретрансляторів та проміжних зв'язків.

Протокол LoRaWAN оптимізований для кінцевого обладнання, тому вузли мережі працюють з низькою витратою енергії (до 10 років роботи від елементів живлення типу AA). Їм характерні невисока швидкість обміну даними, з велика дальність зв'язку (15 км у сільській, та 1.5 км у міській місцевості) та низька вартість кінцевого обладнання.

Мережа забезпечує повний двосторонній зв'язок, а архітектура, завдяки спеціальним методам шифрування, забезпечує загальну надійність та безпеку усієї системи в цілому. Архітектура LoRaWAN розроблялася з урахуванням можливості активної роботи з мобільним кінцевим обладнанням (end-node), що являється одним з швидкозростаючих напрямлень Інтернету речей.

У типовій LoRaWAN мережі базова станція передає зашифровані дані, отримані від кінцевих пристроїв (end-node) на центральний сервер мережі провайдера і далі на сервер додатків сервіс-провайдера, з якого поступають кінцевому користувачу. Схема топології мережі LoRaWAN зображена на рисунку 1.

Дані в LoRaWAN мережі можуть передаватись в дві сторони, як від кінцевих пристроїв до серверу, так і навпаки. Кінцеві пристрої передають дані не постійно, а включають передачу лише на короткий проміжок часу (як правило на 1-5 секунд), по кінці якого відкриваються два часових проміжки для прийому даних. Весь інший час передатчики цих пристроїв знаходяться в неактивному стані або в стані прийому, в залежності від класу пристроїв (A, B або C). Пристрій класу A передає дані на БС короткими послідовностями по заданому графіку. Клас B вмикає приймач по графіку, заданому сервером. Сервер відправляє пакет пристрою відповідно розкладу. У пристроїв класу C вікно прийому відкрито постійно і закривається на період короткочасної передачі пакетів. Цей клас пристроїв споживає найбільшу кількість енергії (в порівнянні з класами A і B), тому зазвичай не використовують акумуляторне живлення. Пристрій класу C мають всі можливості пристроїв класу A і B.

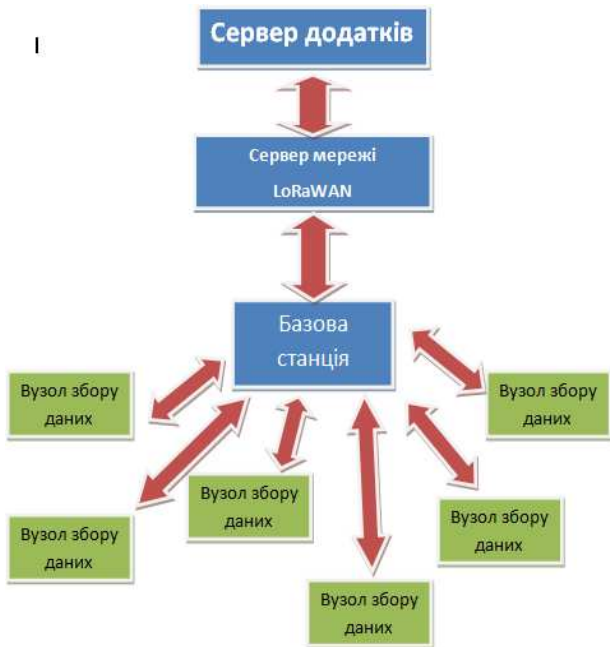


Рис. 1. Схема топології мережі LoRaWAN

Базова станція LoRa призначена для використання в зіркоподібних мережевих архітектурах великого радіусу дії в системі LoRaWAN. Із-за властивостей технології ці базові станції можуть являти собою багатоканальні мультимодемні передавачі, які можуть виконувати демодуляцію відразу декількох каналів одночасно, навіть одночасну демодуляцію множини сигналів на одному і тому ж каналі.

Враховуючи характеристики протоколу LoRaWAN та завдання збору даних та моніторингу згідно Концепції реалізації державної політики у сфері розвитку діяльності в окремих зонах радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, можна створювати ефективні системи моніторингу різноманітних параметрів, на базі технології LoRaWAN, в умовах та на території зони відчуження.

Першочерговими завданнями є постійний контроль та обслуговування земельних, водних та лісових ресурсів у зв'язку з можливістю виникнення на території небезпек не лише наявністю

ядерно- та радіаційно-небезпечних об'єктів, а і появою таких явищ, як лісові пожежі, неконтрольоване підтоплення та осушення ґрунтів, інших негативних процесів у навколишньому природному середовищі.

Крім того на території зони відчуження також розміщені, об'єкти інфраструктури, які потребують зняття з експлуатації, переведення в екологічно безпечний стан процесів у навколишньому середовищі.

В таких умовах протокол LoRaWAN та мережеве обладнання можуть забезпечити високу проникну здатності радіосигналу субгігагерцового діапазону у приміщеннях та підвалах забезпечуючи стабільний зв'язок там, де інші бездротові технології виявляються безсильними.

THE RESEARCH OF CHANGING OF THE NEUTRONS' EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR AFTER THE CONSTRUCTION OF NSC-SO COMPLEX

Roman Godun, Viktor Krasnov, Maxim Saveliev

The analysis of the processes, that currently taking place inside the Shelter object (SO), showed the presence of factors, which can destabilize the existing SO's state [1]. After the installation of New Safe Confinement (NSC) "Arka" to the design position, the storage conditions of clusters of fuel-containing materials (FCM) are changed. Therefore, the level of their nuclear and radiation safety must be re-evaluated. Partial solution of current problems with the ensuring of nuclear and radiation safety of the "NSC-SO" complex is possible with the implementation of accepted "Monitoring Program of FCM of SO", which provides for the development of new methods and approaches for FCM handling.

It was analyzed the regulatory and technical documentation as well as reports (for the last 25 years) on the state of SO's nuclear safety (NS). The formalization of the NS definition for the "NSK-SO" complex is presented. According to the results of previous studies and analysis the classification (from the viewpoint of their NS) of FCM clusters was performed. All FCM clusters were divided into three groups. The first group includes the FCM clusters, the properties of which are sufficiently studied and which (with any changes in their

storage conditions) will be nuclear safe. The second group - the FCM clusters, NS guarantees of which can be obtained only after the clarification (based on additional studies) of their properties/parameters.

The third group included potentially nuclear-dangerous clusters (PNDC) of FCM, which are located in sub-reactor rooms (there is no direct access to them) and whose neutron-physical properties are currently changing. After the commissioning of "NSK-SO" complex to the design position at the zone of localization of these clusters an increase in the neutron flux density (NFD) is recorded [2].

Based on the analysis of available experimental data and calculations, three possible reasons for the growth of the detected neutron activity were identified: a decrease of the concentration of absorber (water) in the medium between the stable source and detector; a change the detector's efficiency as a result of a changes in the neutrons' energy spectrum; an increase of the effective multiplication factor of neutrons (K_{eff}) in PNDC of FCM, on the periphery of which the detection units are located.

According to the results of executed analytical works and calculations, the first two options were practically excluded, which is indirect evidence that the recorded NFD increase is a consequence of a K_{eff} 's increase inside the FCM clusters. This assumption is also confirmed by the results of the statistical processing [3] of NFD measurements (for the period from 2017 to the current time), performed by regular system of NS monitoring (Nuclear Safety Monitoring System in the scope of Integrated Monitoring System, NSMS IAMS).

Under the conditions of "NSC-SO" complex the growth of K_{eff} inside the PNDC of FSM is most likely the result of water withdrawal from this breeding medium and connected with assumption, that the concentration of water (absorber and neutron moderator) in this FCM cluster is higher than the optimum value, at which there is the K_{eff} extremum (maximum point). Given the neutron incident, that recorded in June 1990 (also at periphery of this FCM cluster), there is an urgent need of: the development of methodological bases to increase the efficiency of K_{eff} monitoring, as well as the introduction of technical solutions to reduce (or eliminate) the risks associated with the changes of subcriticality's level of PNDC of FCM [4].

The Task-14 of the Shelter Implementation Plan (SIP) envisaged development the monitoring system of the FCM inside the SO. However, this task was postponed indefinitely due to the need to finance

the construction of the NSC. The implementation of NSMS IAMS Project (that supported by SIP) does not solve [5] the problem of credible and reliable monitoring of FCM in SO therefore it is proposed the software's upgrading and some technical modernizing of this system.

Keywords: nuclear safety, effective multiplication factor of neutrons, fuel-containing materials, neutron flux density, "Shelter" object, calculation and experimental research, New Safe Confinement "Arch".

BIBLIOGRAPHY

[1] R. L. Godun. The study of the cluster of fuel-containing materials under room No.305/2 of "Shelter" object / The 23rd international Quench workshop (Karlsruhe, Germany), 2017. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000076201>

[2] Ye. D. Vysotsky, R. L. Godun, A.O. Doroshenko. The dynamics of neutron activity and subcriticality of a nuclear-dangerous cluster under conditions of the "NSC-SO" complex / Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobulya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2018. – Vol. 30. – p. 78-86. (Rus)

[3] R. L. Godun and others. Statistical analysis of neutron activity, registered by nuclear safety monitoring system (NSMS IAMS) NSC-SO. The collection of theses/materials of "Third International Conference on Nuclear Decommissioning and Environment Recovery. Inudeco 2018" (25-27 April, Slavutych, Ukraine)

[4] V. O. Krasnov, R. L. Godun. The state of fuel containing materials inside the NSC "Arka" and problems regarding the ensuring of their nuclear and radiation safety / Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobulya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl). – 2019. – Vol. 32. – p. 32-41. (Rus)

[5] Висотський Є.Д., Савельєв М.В. Аналіз деяких аномалій в показаннях ППН СКЯБ Об'єкта «Укриття» / Збірник тез Другої міжнародної конференції «Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища» INUDECО – 2017. – С.24. http://2017.inudeco.pro/media/mixed_content/results_INUDECО_30_10_2017.pdf.

AUTHORS' INFORMATION

Roman Godun – Head of Department of Nuclear Safety, Institute for Safety Problems of NPP of NAS of Ukraine; e-mail: rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: the ensuring of nuclear and radiation safety of "Shelter" object (SO); the potential re-criticality of fuel-containing materials; the increasing of efficiency of neutron control; the modernization of monitoring system inside SO.

Viktor Krasnov – Head of Division of Nuclear and Radiation Safety, Institute for Safety Problems of NPP of NAS of Ukraine;

e-mail: rgl.wmw@gmail.com

Major Fields of Scientific Research: the ensuring of nuclear and radiation safety of “Shelter” object (SO); the potential re-criticality of fuel-containing materials; the increasing of efficiency of neutron control; the radioactive waste management; remote-controlled devices for sampling.

Maxim Saveliev – PhD, Researcher, Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of NAS of Ukraine;

e-mail: mcsim@sitex.com.ua

Major Fields of Scientific Research: Software Engineering, Automated System Life Circle Models, Requirements Evolution, System Analysis, System-of-Systems, Nuclear Decommissioning IT-Systems

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЄИС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ПОДКРИТИЧНОСТИ СКОПЛЕНИЙ ТСМ ВНУТРИ КОМПЛЕКСА НБК-ОУ

Р. Л. Годун, С. М. Стаднык, Г. И. Одинокин

В регламентной системе контроля ядерной безопасности (СКЯБ) объекта «Укрытие» (ОУ) не предусмотрены температурные измерения. К тому же на текущее время эта система не обеспечивает достаточно эффективный мониторинг плотности потока нейтронов (ППН) в зоне локализации потенциально ядерно-опасных скоплений (ПЯОС) топливосодержащих материалов (ТСМ), размещенных в помещении 305/2 и в центральном зале.

Частичным решением этой проблемы может быть ввод в эксплуатацию и настройка/калибровка «экспертной исследовательской системы контроля параметров ПЯОС ТСМ» (ЭИС), созданной на базе систем «Финиш-Р» и «Финиш-И». ЭИС в 2018 году была введена (ИПБ АЭС НАН Украины) в опытную эксплуатацию и на данный момент позволяет проводить температурные измерения и частичный мониторинг ППН.

Представлено описание ЭИС, особенности ее функционирования, а также перспективы использования. По результатам температурных измерений были восстановлены температурные поля в зоне локализации ПЯОС ТСМ в подреакторном помещении 305/2.

По результатам комплексного анализа только 7-9 измерительных каналов СКЯБ являются информативными, остальные необходимо вывести в резерв с возможностью использования их оборудования в более эффективных точках контроля. В связи с этим предложено использовать ЭИС для тестирования информативности возможных точек мониторинга ППН и температуры в зонах локализации ПЯОС ТСМ.

Ключевые слова: объект "Укрытие", нейтронные измерения, топливосодержащие материалы, измерения температуры, система контроля, экспертная исследовательская система

Текущая эффективность нейтронного мониторинга потенциально ядерно-опасных скоплений (ПЯОС) ТСМ внутри комплекса НБК-ОУ

Основным принципом, который определяет деятельность по техническому обеспечению ядерной безопасности на ОУ, является «принцип исключения», то есть «исключения самоподдерживающийся цепной реакции (СЦР) при существующих условиях и при любых предполагаемых изменениях существующих условий» [2]. При этом СЦР всегда рассматривается как «гипотетическая событие», что является результатом некоторых условий, наступление которых на уровне доступных знаний и имеющегося опыта безусловно предсказать невозможно.

Если СЦР невозможно исключить как «гипотетическое событие», то объект является потенциально ядерно-опасным. В таком случае для подобных объектов обязательным является организация эффективного постоянного мониторинга нейтронной активности, а также разработка и внедрение процедур выявления и интерпретации аномалий в динамике плотности потока нейтронов (ППН), которые могут быть связанными с опасными изменениями уровня подкритичности.

ПЯОС ТСМ внутри НБК-ОУ, для которых требуется эффективный мониторинг ППН и температуры

В отчете по результатам анализа текущей безопасности ОУ [3] на основании экспериментальных и расчетных оценок была проведена классификация помещений по степени ядерной опасности скоплений ТСМ, находящихся в них. Потенциально ядерно-опасными были признаны: центральный зал (ЦЗ), южный бассейн выдержки (ЮБВ) и подреакторное помещения 305/2.

Критерием было то, что «в ЦЗ, ЮБВ и пом. 305/2 допускалось существование композиций, в которых возникновение СЦР принципиально возможно».

В результате работ, выполненных ИПБ АЭС в 2006 – 2016 гг. [5], были получены гарантии ядерной безопасности и для ЮБВ. Было установлено, что гипотетическая ядерно-опасная композиция в ЮБВ могла бы образоваться только при падении и разрушении пеналов и последующим образованием компактного объединения концевых частей сборок с малым выгоранием. Мониторинг ППН показал, что активность уже переместилась в нижнюю часть ЮБВ и имеет стабильные показания. Таким образом, факт обрушения пеналов при гарантированном отсутствии воды на ОУ дает основания считать скопления ТСМ в ЮБВ ядерно-безопасными в условиях НБК-ОУ.

Касательно мониторинга нейтронной и гамма активности потенциально ядерно-опасных скоплений (ПЯОС) в помещении 914/2 (центральный зал), то детальные исследования ЦЗ в условиях отсутствия доступа не проводились.

Помещение 305/2 в юго-восточной части является эпицентром взаимодействия расплава активной зоны реактора с конструкционными материалами и, следовательно, местом образования основного объема потоков лавообразных ТСМ, которые растеклись по нижним помещениям ОУ [5]. Несмотря на очевидное предположение, что наиболее ядерно-опасные скопления ТСМ образовались в помещении 305/2, большая его часть оказалась практически не исследуемой, так как было остановлено бурение (в 1990 году) подреакторной плиты (ПП) из-за отсутствия технологии «выемки горячих кернов».

В этой части помещения: не совпали результаты теплометрических (~75 т) и концентрационных (~35 т) оценок количества топлива (таким образом было оценено количество топлива в ПЯОС ТСМ); зарегистрированы предположительно «холодный критический инцидент» (повторная критичность) в июне 1990 г., а также нейтронные аномалии 1996 г. и 2000 г.; с 1990 г. постоянно наблюдаются повышенный и нестабильный уровень нейтронной активности и температуры; до начала эксплуатации комплекса НБК-ОУ фиксировалось постоянное присутствие стоков горячей воды из зоны локализации этого ПЯНС ТСМ, а после начала эксплуатации НБК-ОУ – фиксируется рост ППН,

который наиболее вероятно вызван увеличением эффективного коэффициента размножения нейтронов в этом скоплении.

Конфигурации буровых проходок, выходящих в зону локализации ПЯОС ТСМ, а также материальный состав кернов (отобранных в забоях скважин) позволили оценить объем этого скопления ТСМ. Оцененные по результатам расчетно-экспериментальных исследований [4] объем и масса (около 20 т) топлива дают основания утверждать о вероятности высокой массовой доли ядерного топлива в этом скоплении ТСМ, что обеспечивает возможность существования критической композиции в его объеме.

По доступным экспериментальным данным были проведены модельные вариационные расчеты [5], которые не только не исключают, но практически подтверждают возможность существования критической композиции, а также вероятность наличия условий, необходимых для возникновения (при «возвратной критичности») СЦР в объеме этого ПЯОС ТСМ.

Таким образом на текущее время для обеспечения ядерной безопасности комплекса НБК-ОУ необходимо реализовать эффективный мониторинг ППН и температуры на периферии потенциально ядерно-опасных скоплений ТСМ в ЦЗ и под пом. 305/2.

Эффективность нейтронного мониторинга с помощью регламентной СКЯБ

В настоящее время функцию непрерывного мониторинга уровня подкритичности (нейтронной активности) ПЯОС ТСМ возложено на штатную СКЯБ ИАСК. По результатам анализа работы СКЯБ ИАСК было установлено, что мониторинг нейтронной активности ПЯОС ТСМ под пом. 305/2 реализован с помощью всего лишь трех штатных измерительных каналов (NFD001, NFD003 и NFD004), которые не обеспечивают эффективный мониторинг в связи с тем, что:

1. Детектор измерительного канала NFD001 установлен в пом. 305/2 через скважину Ю-12-78 (в пространстве над зоной размещения ЯОС на отм. +12,00) и средой раздела между нейтронным детектором и ПЯОС ТСМ являются: слой (0,6 м.) черных ЛТСМ, слой (0,8 м.) «свежего» бетона, и 1,5 м воздуха.

2. Детектор измерительного канала NFD003 установлен в бетоне подректорной плиты (в скважине 3-9-Ф) на отм. +9,30 м и средой раздела между нейтронным детектором и ПЯОС ТСМ являются: слой (1,5 м) бетона и слой (1,0 м) ЛТСМ.

3. Детектор измерительного канала NFD004 установлен в пом. 304/3 (через скважину З-10-Г) на поверхности ЛТСМ (отм. +9,70) и средой раздела между нейтронным детектором и ПЯОС ТСМ являются: слой (2,5 м) ЛТСМ или метровый слой бетона.

Все каналы регистрируют нейтроны утечки из зоны размещения ПЯОС ТСМ на фоне нейтронов среды раздела (между источником нейтронов и детектором). Собственный фон среды раздела определяется активностью черных ЛТСМ (для детекторов NFD003 и NFD004), а также активностью фрагментов технологических каналов в остатках «шахты» (для NFD001).

Скопления ТСМ в центральном зале в настоящее время практически не контролируются [6], так как нейтронные детекторы измерительных каналов (NFD № 017, 018, 019) штатной СКЯБ установлены только в проходках под нижним перекрытием ЦЗ (на отметке +33 м) и являются неинформативными из-за ослабления отклика сигнала более чем 10^3 раз.

К тому же по результатам комплексного статистического анализа нейтронной активности измерительных каналов (ИК) СКЯБ была выделена группа ИК, в которых отношение дисперсии к среднему изменяется весьма мало. В измерениях (этими ИК) ППН наблюдаются только сезонные изменения и нет никаких закономерных и заметных изменений после установки НБК «Арка». Эти ИК СКЯБ являются неинформативными и рекомендуется вывести их в резерв с возможностью использования их оборудования в эффективных точках мониторинга ПЯОС ТСМ.

Описание и особенности работы ЭИС

В связи с тем, что регламентная СКЯБ ИАСК не полностью выполняет свою функцию в части эффективного мониторинга ППН внутри комплекса НБК-ОУ, то предлагается для этих целей также использовать экспертную исследовательскую систему (ЭИС). ЭИС предназначена для ведения долговременных и постоянных наблюдений (мониторинга) за параметрами состояния скоплений ТСМ, расположенных во внутренних помещениях объекта "Укрытие".

Цель такого мониторинга – обеспечение ядерной и радиационной безопасности объекта "Укрытие" за счет раннего обнаружения и идентификации возможных аномалий (устойчивых отклонений в значениях контролируемых параметров), которые могут указывать на опасное изменение состояния ТСМ.

ЭИС выполнена на базе аппаратуры систем «Финиш-Р» и «Финиш-И», выведенной из эксплуатации. На ЭИС используется станция сбора данных Yokogawa DX-230 [1]. Алгоритм наблюдения за состоянием ТСМ в общем случае включает в себя следующие процедуры:

1) непрерывное измерение параметров плотности потока нейтронов, температуры и сравнение текущих значений с контрольными уровнями;

2) обнаружение возможных аномалий и экспертная идентификация этих аномалий, как результата нарушения сложившегося состояния среды.

Система обеспечивает измерение подаваемых непосредственно на вычислитель ДХ-230 следующих величин: напряжения постоянного тока и активного сопротивления.

Импульсные сигналы, поступающие с выходов детекторов нейтронов, предварительно преобразуются аппаратурой КАМАК в аналоговые сигналы (напряжение постоянного тока), а затем подаются на измерительно вычислительные каналы (ИВК) ДХ-230.

Каждый импульсный канал имеет показывающий прибор и переключатель диапазонов измерений. Наличие автономной индикации результатов измерений в импульсных каналах повышает надежность контроля ядерно-физических параметров состояния ТСМ в случае отказа ИВК ДХ-230.

Поскольку в регламентной системе контроля ядерной безопасности (СКЯБ) ОУ отсутствует контроль температуры, то ЭИС будет использоваться также для обеспечения наблюдения за температурными режимами в местах скопления ТСМ.

Система инвариантна к набору подключаемых измерительных каналов в объеме информационной мощности рабочей версии – 30 каналов. Места установки датчиков показаны на Рисунке 1. Система обеспечивает измерение следующих параметров:

- средней скорости счета импульсов, поступающих с датчиков нейтронного потока, в диапазоне от 0,1 до $2 \cdot 10^5$ имп/с;
- температуры в диапазоне от минус 60 до плюс 600 °С.

Пределы допускаемых значений суммарной погрешности измерений в рабочих условиях применения не превышают:

- по каналам контроля ПНП – ± 30 %;
- по каналам контроля температуры – ± 5 %.

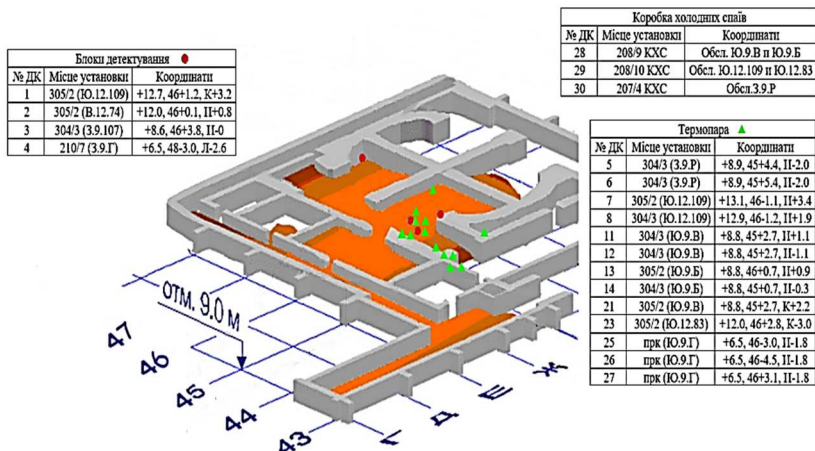


Рис. 1. Места установки измерительных датчиков

Режим опроса измерительных каналов "циклический" или "непрерывный" в соответствии с программой, заданной оператором. Скорость опроса – до 5 каналов в секунду.

Система обеспечивает централизованную подачу следующих питающих напряжений на датчики ПНП: ± 12 В; высокого напряжения до 400 В. Электрическое питание системы осуществляется от сети переменного тока частотой (50 ± 1) Гц, напряжением (220 ± 22) В по I кат. Потребляемая мощность не превышает 4 кВт.

Програмное обеспечение ЭИС рассчитано на пользователя, который выполняет процедуры задания текущих информационных характеристик системы (числа и типов подключаемых каналов, режима измерения, констант и соотношений первичной обработки и т.п.).

Мониторинг ПНН в зоне локализации ЯОС ТСМ с помощью ЭИС

В рамках реализации задачи расширения точек контроля ПНН начаты работы по проверке скважин на допустимую глубину погружения датчиков. Приведены результаты каротажа исследовательских скважин, в предполагаемо наиболее информативных местах (рис. 2).

Рассматривается возможность установки нейтронных детекторов в скважины Ю.9.А, Ю.9.Б, Ю.9.В, которые пробурены в помещении 304/3. Это позволит повысить надежность контроля нейтронной активности в помещении 307/2. На данный момент в скважинах Ю.9.Б, Ю.9.В установлены температурные зонды.

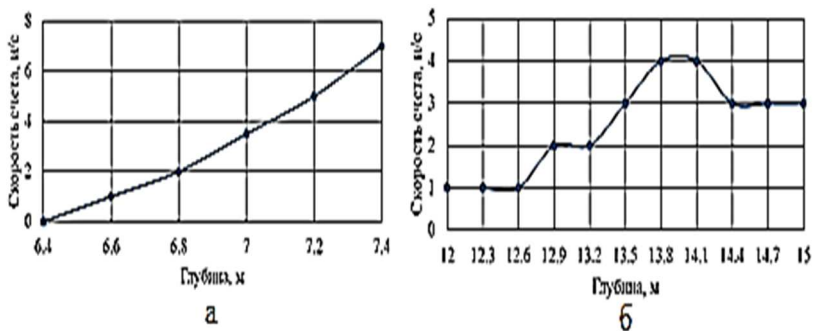


Рис. 2. Интенсивность нейтронного потока в скважине:
а – В.12.74, б – В.14.106

В таблице 1 приведены сводные данные по точкам детектирования, реализация которых позволит обеспечить функцию мониторинга состояния подкритичности скоплений ТСМ в ЦЗ. В каждой точке детектирования размещается по одному блоку детектирования нейтронов. Оптимальными маршрутами доставки детекторов в точки детектирования № 2, 3, 4 являются проходки в трубном накате кровли. Через эти проходки детекторы могут быть вывешены в заданных координатах (на высотных отметках +36,00 – +37,00). Доставка детекторов в нижнее перекрытие осуществляется через скважину Ю-22-129 из помещения 515/3. Подключение детекторов к системе мониторинга через кабельные магистрали, выходящие в помещение 6004 и 208/10. Место размещения предусилителей должно определяться в рабочем порядке, исходя из ограничений по длине допустимого расстояния между детектором и предусилителем.

Таблица

*Размещение и маршруты доступа к точкам детектирования
в зонах размещения потенциально ядерно-опасных скоплений
ТСМ в ЦЗ*

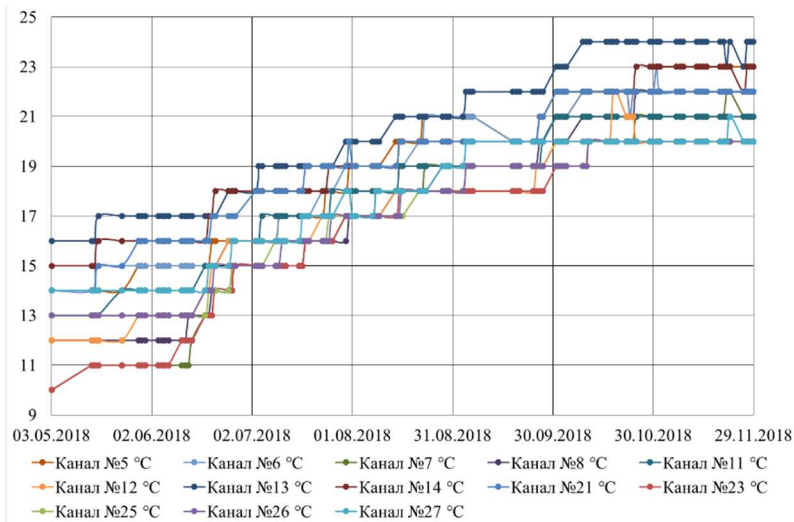
№ точки	Параметр контроля	Координаты точки контроля		Маршрут доставки	Характеристики маршрута		
		отметка	координаты		начало	координаты	диаметр, мм
1	ППН, МЭД	+35,00	К; 42	Наклонная скважина	515/3	И43; 22	127
2	ППН, МЭД	+37,00	К-Л; 45-46	Люк в кровле	Трубный накат	К-Л; 45-46; отм. +72,00	200
3	ППН, МЭД	+37,00	Л-М; 45-46	Люк в кровле	Трубный накат	Л-М; 44-45; отм. +72,00	200
4	ППН, МЭД	+37,00	Л-М; 40-41	Люк в кровле	Трубный накат	Л-М; 40-41; отм. +72,00	200

Мониторинг температуры в зоне локализации ЯОС ТСМ

На текущее время штатный мониторинг температуры в зоне локализации потенциально ядерно-опасного скопления ТСМ не реализован (в штатной СКЯБ ИАСК ОУ не предусмотрены температурные измерительные каналы).

До 2008 года мониторинг температуры бетона ПП проводился в юго-восточной части пом. 305/2 (на отм. +8,80-+9,30), металлической обшивке потолка ПРК (пом. 210/5 и 210/6, отм. +8,00) и на отм. +12,00 и +30,00 - +35,00. В 2009 году датчики температуры ИИС «Финиш-И» и «Финиш-Р», которые обеспечивали получение информации о температуре на периферии ПЯОС ТСМ (скв. 3-9-К, 3-9-В и 3-9-Ж), были демонтированы в связи с обсадкой скважин под детекторы СКЯБ. Поэтому, начиная с середины 2011 г., температура ПП продолжала контролироваться на удалении не ближе 2-3 м от границ ПЯОС ТСМ. Контроль температуры в непосредственной близости от границ (~1 м) осуществлялся при помощи только одного датчика из состава ИИС «Финиш-Р», оставленного в скважине 3-9-К.

На данный момент мониторинг температуры с помощью ИК ЭИС возобновлен в скважинах 3.9.Р, Ю.9.Б, Ю.9.В, Ю.9.Г, Ю.12.83, Ю.12.109 и в помещениях обслуживания этих скважин. Изменение температур за май-ноябрь представлено на рисунке 3.



*Рис. 3. Изменение температуры за май-ноябрь в скажинах:
 3.9.Р - 5,6 каналы; Ю.12.109 – 7,8 каналы; Ю.9.В – 11, 12, 21 каналы;
 Ю.9.Б – 13, 14 каналы; Ю.12.83 – 23 канал; Ю.9.Г – 25,26,27*

Выводы:

В зоне локализации ПЯОС ТСМ отсутствует регламентный температурный мониторинг, а эффективность нейтронного мониторинга является недостаточно эффективным для целей обеспечения ядерной безопасности. Частичным решением этой проблемы может быть ввод в опытную эксплуатацию «экспертной исследовательской системы контроля параметров потенциально ЯОС ТСМ», а также ее настройка/калибровка.

По результатам комплексного анализа только 9 ИК СКЯБ являются информативными, остальные необходимо вывести в резерв с возможностью использования их оборудования в эффективных точках мониторинга ПЯОС ТСМ. Для определения наиболее эффективных точек мониторинга также можно использовать ИК ЭИС. Для решения этой проблемы было предложено новые точки мониторинга, в некоторых выполнено каротаж, а также определено маршруты доступа до них.

Таким образом несмотря на ряд сложностей, связанных с устаревшим оборудованием ЭИС и отсутствием финансирования, ЭИС предоставляет уникальную возможность в ближайшее время частично решить следующие актуальные задачи: обеспе-

чение дублирования (для целей ядерной безопасности ОУ) измерений ППН, а также организация измерений температуры в зоне локализации ПЯОС ТСМ; поиск и тестирование информативности новых возможных точек мониторинга на доступной периферии ПЯОС ТСМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *А. И. Довыдьков, С. А. Довыдьков, В. А. Краснов, В. Н. Щербин* Повышение надежности контроля параметров топливосодержащих материалов в объекте «укрытие» и новом безопасном конфайнменте // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2014. – Вип. 22. - С. 84 - 92.
2. Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: Отчет о НИР (заключить.) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины; отв. исполнит. Боровой А.А. - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. – 337 с
3. Основные правила ядерной безопасности при переработке, хранении и транспортировании радиоактивных материалов ПБЯ -06-00-88.
4. Отчеты о состоянии безопасности объекта "Укрытие" за 2006-2018 года
5. Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС» 1Р-ОУ, 2011.
6. *Высотский Е. Д., Довыдьков А. И., Краснов В. А., Щербин В. Н.* Особенности контроля ядерной безопасности объекта «Укрытие» в период сооружения нового безопасного конфайнмента // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2011. – Вип. 17. - С. 91 - 97.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Роман Годун – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины;
e-mail: Rgl.wmw@gmail.com*

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности

Сергей Стаднык – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины;

e-mail: Ximi4eg.17@gmail.com

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности; статистическая обработка

Геннадий Одинокин – Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины;

e-mail: Igesha@ua.fm

Основные направления научных исследований: ядерная безопасность; контроль подкритичности

THE PERSPECTIVES OF USING OF ERS FOR THE IMPROVING OF MONITORING'S EFFICIENCY OF THE SUB-CRITICALITY OF FCM CLUSTERS INSIDE THE NSC-SO COMPLEX

R. L. Godun, S. N. Stadnyk, G. I. Odinokin

Abstract: *There are no temperature measurements in the regular/state Nuclear safety's monitoring system (NSMS) of "Shelter" object (SO). Moreover, at the current time, this system does not provide sufficiently effective monitoring of the neutron flux density (NFD) at zone of localization of the potentially nuclear-dangerous clusters (PNDC) of fuel-containing materials (FCM), that located in premises 305/2 and in the central hall.*

The solution to this problem can be the commissioning and setting/calibration of an "expert research system for monitoring of parameters of the PNDC of FCM" (ERS), created on the basis of systems "Finish-R" and "Finish-I". This system (ERS) was introduced in 2018 (by ISP NPP of National Academy of Sciences of Ukraine) into trial operation and currently allows to get the partial NFD monitoring and the temperature measurements.

It's presented a description of the system, features of its operation, as well as prospects for use. According to the results of temperature measurements, the temperature fields were restored at zone of localization of the PNDC of FCM in the sub reactor room 305/2.

According to the results of a comprehensive analysis, only 7–9 measuring channels of NSMS are informative. The rest must be turn into reserve with the possibility of using of their equipment for organization of more efficient monitoring points. In this regard, it was proposed to use the ERS to test the informativeness of possible monitoring points (of NFD and temperature) at the zones of localization of PNDC of FCM.

Key words: *"Shelter" object, neutron measurements, fuel-containing materials, temperature measurements, monitoring system.*

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОРІВНЕВОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГУ

Голуб Сергій Васильович

Черкаський державний технологічний інститут,

м. Черкаси, s.holub@chdtu.edu.ua

Журякова Ірина Анатоліївна

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,

м. Черкаси, irena_zh@ukr.net

Abstract. *The principles of implementing a new form of knowledge preservation in the technologies of multilevel intelligent monitoring are presented. The described approach to the creation of models of model knowledge - the core of the intellectual system. The proposed approach is focused on automatic formation and further automated maintenance of knowledge bases for any subject area. The strategy of coordination of model interactions in the structure of the global functional dependence of the monitoring intellectual system is formulated.*

Інтелектуальний моніторинг – це інформаційна технологія забезпечення знаннями процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень, обробки їх результатів та видобування знань на їх основі. Ця технологія реалізується у формі моніторингової інтелектуальної системи та програмно конструюється за об'єктно-орієнтованою технологією.

Ядром інтелектуальної системи є база знань. Існуючі бази знань в основному створюються для розв'язання однорідних задач в одній предметній області. При розв'язанні окремих груп задач виникає потреба в консолідації інформації отриманої із різнорідних джерел та різних предметних областях. Важливою вимогою для систем інтелектуального аналізу даних, що сконструйовані сьогодні є їх здатність розв'язувати задачі, які виникнуть за рік, 3-10 років. Бази ж знань конструюються на підставі досвіду минулих років. З часом властивості об'єктів змінюються. Джерелом неадекватності існуючих баз знань є те, що для розв'язання майбутніх задач використовуються відомості про властивості об'єкта, якими він володів у минулому.

Незважаючи на те, що питанням роботи зі знаннями та застосуванню баз знань у різних предметних галузях присвячено досить багато публікацій (з яких оглядовими є [1-5]), у науковому співтоваристві досі немає згоди щодо раціональності застосування тієї чи іншої моделі представлення знань для розв'язання практичних задач, які зводяться до наступних класів: продукційні моделі, семантичні мережі, фреймові моделі і формальні логічні моделі.

Також можна зазначити, що існуючі підходи не дають можливості отримати актуальні знання в рамках:

- задач кризового моніторингу, які потребують зміни структури бази знань за обмежений проміжок часу у відповідності до формування нових завдань;

- задач автоматичного формування, використання та реорганізації бази знань при необхідності їх подальшого атоматизованого застосування;

- задач оптимізації затрат часу на створення бази знань та перенесення уваги на розв'язок інтелектуальних задач.

Таким чином, існує протиріччя між необхідністю розв'язку комплексу задач, що ставляться перед інтелектуальними системами прийняття рішень та обмеженими можливостями науково-методичного апарату побудови існуючих баз знань, які основані на детерміністичному підході до моделювання навколишнього світу. Наявність цього протиріччя робить актуальними дослідження процесів формування нових підходів до збереження та використання знань в інтелектуальних інформаційних системах.

Нова форма збереження знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень отримала назву «База модельних знань» (БМЗ).

Постановка задачі побудови БМЗ ґрунтується на положеннях теорії ієрархічних багаторівневих систем [7], зокрема положенні про координацію елементів складної системи.

Створення БМЗ буде успішною кожного разу, коли вдасться отримати стратегію координації γ її елементів – глобальних функціональних залежностей, які є розв'язками задач перетворення інформації в окремих предметних областях D_i . Стратегія координації γ повинна забезпечити розв'язок глобальної задачі створення БМЗ як механізму забезпечення інформацією процесів прийняття рішень D , шляхом розв'язання локальних задач D_i за рахунок формування синергетичних зв'язків u^γ між елементами множини результатів неперервних спостережень $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де n – кількість характеристик об'єкта, поєднуючи їх в багатопараметричні моделі, які повинні адекватно відображати дійсні зв'язки u :

$$(\forall \gamma)(\forall x) \{ [P(x, D_i(\gamma)) \wedge K(u^\gamma) = u] \Rightarrow P(\pi_\Delta(x), D) \} \quad (1)$$

де γ – стратегія синтезу глобальної функціональної залежності; x – результати спостережень; $D_i(\gamma)$ – задачі перетворення інформації в окремій предметній області; D – глобальна задача перетворення інформації; u^γ – множина зв'язків, відображених в структурі багаторівневої глобальної функціональної залежності (моделі); u – множина дійсних зв'язків.

Розв'язок поставленої задачі отримується у відповідності до нової концепції виявлення, збереження та використання знань. Вона містить такі принципи:

– знання представляються у вигляді багатопараметричних моделей;

– зростання кількості знань досягається шляхом ієрархічного поєднання багатопараметричних моделей відповідно методу висхідного синтезу елементів в системах з багаторівневим перетворенням даних [6];

– використання положень теорії ієрархічних багаторівневих систем, зокрема положення про координацію елементів, є основою для розв'язання задач структурної ідентифікації глобальних функціональних залежностей;

– консолідація знань відбувається шляхом поєднання глобальних функціональних залежностей, сформованих в рамках різнорідних предметних областей.

Кожна глобальна функціональна залежність є ієрархічним поєднанням локальних багатопараметричних моделей, поєднаних в страти відповідно до рівнів моніторингу. Така структура забезпечує багаторівневе перетворення інформації від форми чисельних характеристик результатів спостереження до форми відомостей про властивості об'єктів, поданих в зручному для використання вигляді.

Поєднання кількох глобальних функціональних залежностей дозволяє БМЗ відобразити в своїй структурі різнорідну інформацію про множину об'єктів, що утворюють досліджуване середовище. Періодичне поновлення та доповнення системи останніми результатами моніторингу за об'єктами досліджуваного середовища та автоматичне адаптування структури БМЗ дозволяє врахувати динамічність природних об'єктів при забезпеченні інформацією процесів прийняття рішень.

Запропонований підхід реалізує методологію створення автоматизованих систем багаторівневого перетворення інформації, яка забезпечує поєднання методів та засобів формування ієрархії багатопараметричних моделей [6]. Основною гіпотезою дослідження є те, що моделі містять інформацію, а поєднання моделей містять знання про об'єкт дослідження. Формування нових знань передбачає постійний процес перетворення інформації. Перетворення інформації забезпечується в процесі моніторингу у випадку, коли моніторингом вважається технологія забезпечення інформацією процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень за об'єктом та обробки і перетворення

їх результатів. Отже, саме моніторинг – це основа процесу прийняття рішень, адже забезпечує його новими знаннями, особливо, коли рішення приймається в умовах невизначеності.

Передбачається чітке розмежування задач координації, які розв’язуються її окремими модулями на кожному етапі побудови функціонування системи. БМЗ, розв’язує комплекс задач із формування множини глобальних функціональних залежностей, що різнобічно відображають властивості досліджуваного середовища.

БМЗ є базисом для блоку прийняття рішень ІСПР, який дає можливість формувати адекватні для поточного стану об’єкту керуючі впливи (рис. 1). Дана структура інваріантна до досліджуваного середовища і носить універсальний характер.

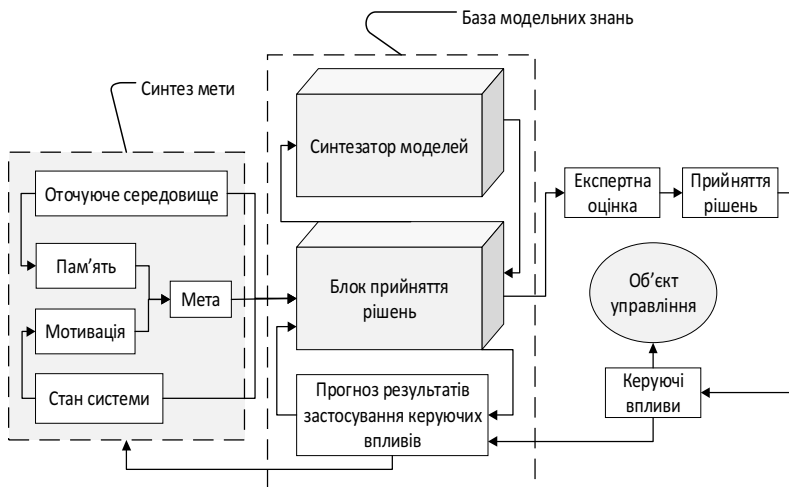


Рис. 1. Структурна схема ІСПР

У даній роботі розглянуто основні положення єдиного концептуального підходу до реалізації бази модельних знань в рамках слабоформалізованих процесів підтримки прийняття рішень. Запропонований підхід орієнтований на автоматичне формування та подальший автоматизований супровід баз знань для будь-якої предметної області. Крім того, така форма подання знань легко читається, і аналітик майже завжди може простежити шлях, по якому рухалася ІСПР при побудові остаточної класифікації і відборі методів управління.

Література

1. Knowledge Acquisition Tools, Methods, and Mediating Representations [Text] / [Motoda H., Mizoguchi R., Boose J.H., Gaines B.R.]. – Proceedings of the First Japanese Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop: JKAWS-90, Ohmsha Ltd: Japan, 1990. – 32 p.
2. Wielinga B. KADS: A Modeling Approach to Knowledge Engineering [Text] / B. Wielinga, G. Schreiber, J.A. Breuker // In Knowledge Acquisition. – 1992. – vol. 4, n. 1. – P. 5-53.
3. Tuthill G.S. Knowledge Engineering [Text] / G.S. Tuthill. – TAB Books Inc., 1994. – 750 p.
4. Adeli H. Knowledge Engineering [Text] / H. Adeli. – New-York: McGraw-Hill Publishing Company, 1994. – 914 p.
5. Приобретение и формализация знаний [Текст] / [Аверкин А.Н., Блишун А.Ф., Гаврилова Т.А., Осипов Г.С.] / Искусственный интеллект: [в 3 т.] / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – Т. 2: Модели и методы. – 304 с.
6. Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С.В. Голуб. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 220 с.
7. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахама. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСКОРЮВАЛЬНОЇ МАС-СПЕКТРОМЕТРІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ^{10}Be

Гудаков О. О. Бугай. О. М.

Інститут прикладної фізики НАН України

Космогенний радіонуклід ^{10}Be викликає великий інтерес через його потенціал як індикатора в навколишньому середовищі та застосування в геології, археології, гляціології та океанографії. Основним джерелом ^{10}Be є взаємодія космічних променів з атмосферою Землі [1]. Ядерні вибухи також продукують ^{10}Be шляхом реакції швидких нейтронів з ^{13}C в двоокисі вуглецю в повітрі. Це один з показників минулої активності на об'єктах ядерних полігонів. Незначна кількість ^{10}Be утворюється і в ядерних реакторах, тому концентрація цього ізотопу використовується при моніторингу радіаційного забруднення місцевості. Тому методики визначення концентрації ^{10}Be і власне моніторинг його в навколишньому середовищі поблизу атомних електростанцій є актуальною проблемою.

Для визначення ^{10}Be у будь-яких зразках необхідна виключна чутливість методики, оскільки концентрації цього нукліда знаходяться у межах декількох ppb. Найкраще для цього підходить прискорювальна мас-спектрометрія, який має унікальну ізотопну чутливість та може визначати мізерні концентрації ізотопу ^{10}Be .

Особливої уваги заслуговує процедура пробопідготовки, оскільки результати аналізу можуть бути спотворені іншим ізотопом – ^{26}Al . Для цього використовують метод колонкової хроматографії [2].

Література

1. Balco G. et al. Regional beryllium-10 production rate calibration for late-glacial northeastern North America //Quaternary Geochronology. – 2009. – Т. 4. – №. 2. – С. 93-107.

2. Binnie S. A. et al. Separation of Be and Al for AMS using single-step column chromatography //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2015. – Т. 361. – С. 397-401.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ КОМПЛЕКСУ НБК-ОУ

А. О. Дорошенко, Р. Л. Годун, Д. О. Муляр
Інститут проблем безпеки АЕС НАН України,
вул. Кірова, 36а, Чорнобиль
a.doroshenko@ispnpp.kiev.ua

It is presented the effectiveness' analysis of the Nuclear Safety Monitoring System in the scope of Integrated Monitoring System (NSMS IAMS). A group of measuring channels (MChs) with growth of neutron flux density (NFD) since the installation of the New Safe Confinement (NSC) in the normal position has been determined.

The experience of NSMS operation in years 2016-2019 was analyzed and the main reasons for the NSMS system's lacks are identified. Among them are the presence of the occasional interference in signal measurement, low-informative Human-Machine Interface and the installation of some MChs in low-informative boreholes.

To improve the NSMS efficiency it is proposed to modernize the system by relocating some non-informative MChs and the implementing to the software's upgrading.

Keywords: control systems, Nuclear Safety Monitoring System, neutron flux density, Shelter object, nuclear safety.

В умовах зруйнованого 4-го енергоблоку ЧАЕС для ефективного контролю ядерної безпеки необхідно проводити безперервний моніторинг щільності потоку нейтронів (ЩПН) та температури в місцях локалізації паливовмісних мас (ПВМ).

На сьогоднішній день безперервний моніторинг температури ПВМ відсутній, а функцію моніторингу ЩПН покладено на регламентну систему контролю ядерної безпеки (СКЯБ) яка включає 19 вимірювальних каналів (ВК) ЩПН та потужності експозиційної дози (ПЕД). ВК СКЯБ розміщені в дослідних свердловинах, пробурених в різних приміщеннях об'єкту «Укриття» (ОУ) та обсаджених трубами для ізоляції від бруду та води.

З моменту введення НБК в проектне положення група каналів СКЯБ, розміщених в підреакторному просторі, реєструє збільшення ЩПН до 40 %, що пов'язано зі зміною температурно-вологісного режиму в середині об'єкту «Укриття»(ОУ) [1, 2]. Статистична обробка довгих рядів вимірювань ЩПН виявила зростання відношення дисперсії до середнього, що свідчить про зміну ефективного коефіцієнту розмноження.

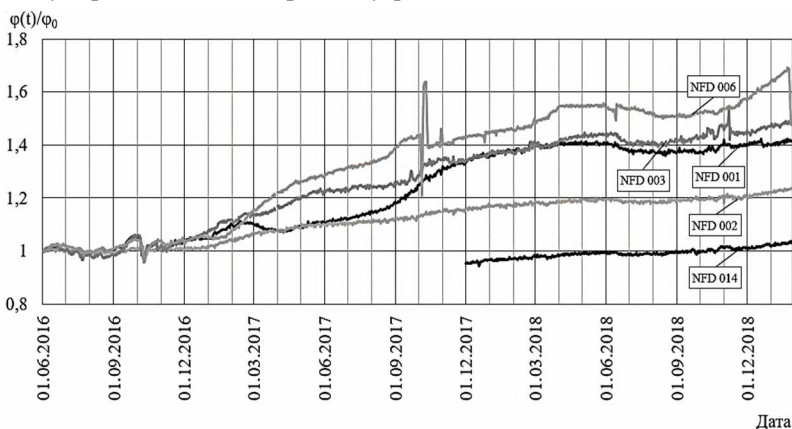


Рис. Група вимірювальних каналів, в яких спостерігається зростання ЩПН

Передпроектні дослідження для метрологічної атестації ВК СКЯБ проводились за допомогою камер ділення КНТ-31 і не враховували відмінність від встановлених FC216/2000/U²³⁵, що впливає на точність вимірювання абсолютних значень ЩПН.

При проведенні будівельних робіт НБК «Арка» був пошкоджений контур заземлення вимірювальних систем і вся вимірювальна техніка була скомутована на загальну землю що спричи-

нило появу великої кількості шумів в сигналах ВК. Введення в систему групи фільтрів дали змогу зменшити кількість перешкод проте не прибрали їх повністю.

Статистична обробка результатів вимірювань показала наявність групи неінформативних ВК. Дані детектори були встановлені в місцях, де не спостерігається жодної нейтронної активності через значне віддалення від паливо-вмісних матеріалів (ПВМ). Ці детектори створюють холосте навантаження на систему, потребують обслуговування як і всі інші детектори, проте не дають ніякої важливої інформації.

Інтерфейс керування СКЯБ, передбачає виведення на монітори поточної інформації та звукову сигналізацію при перевищенні контрольних рівнів, які встановлюються по результатами вимірювань за попередній рік. Таке представлення інформації не дає оператору оцінити реальні зміни в динаміці нейтронної активності, оскільки процеси росту показників ЩПН дуже повільні (1 – 2 % на місяць). На графіках щомісячних звітів, що представляються ДСП ЧАЕС, через наявність шумів (короткочасних піків, що змінюють масштаб графіків) та коротких періодів спостереження зареєстрована нейтронна активність має вигляд прямої лінії, в той час як реальні показники хоч і повільно але безперервно зростають [3].

Згідно з останніх звітів, в яких робилась оцінка ядерної безпеки, на ОУ є 3 приміщення в яких знаходяться потенційно небезпечні скупчення ПВМ. Через складність проведення бурових робіт та невдалий вибір місць встановлення ВК поблизу ядерно-небезпечних скупчень (ЯНС) розміщено лише 3 – 5 ВК. При цьому центральний зал та скупчення в зоні проплавлення простінку приміщення 305/2 та 307/2 взагалі не мають точок контролю нейтронної активності. Так як СКЯБ повинен забезпечувати моніторинг у всіх потенційно небезпечних місць локалізації ЯНС, то пропонується провести роботи по перекомутації та переміщенні неінформативних ВК в оптимальні точки контролю в центральному залі та приміщенні 305/2.

ЛІТЕРАТУРА

1 Ye. D. Vysotsky, R. L. Godun, A.O. Doroshenko. Statistical analysis of neutron activity, registered by the nuclear safety monitoring system (NSms iams) NSC-SO. Збірник тез третьої міжнародної конференції "Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища" INUDECО. Славутич. – 2018. С.64.

2. Высотский Е.Д., Годун Р.Л., Дорошенко А.О.- Нейтронная активность и критичность скопления ТСМ в условиях НБК ОУ. Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2018. - Вип. 30. – С. 78-87.

3. Высотский Е.Д., Савельев М.В.- Анализ некоторых аномалий в показаниях ППН СКЯБ Объекта «Укрытие». Збірник тез Другої міжнародної конференції "Проблеми зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища" INUDECО. Славутич. – 2017. С. 24

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Анатолій Дорошенко – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; м.н.с.

Основні напрями наукових досліджень: моніторинг та контроль нейтронної активності, модернізація системи моніторингу всередині ОУ, підвищення ефективності контролю нейтронної активності.

e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

Роман Годун – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; в.о. завідувача відділу.

Основні напрями наукових досліджень: забезпечення ядерної та радіаційної безпеки об'єкта «Укриття» (ОУ); потенційна повторна критичність паливовмісних матеріалів; підвищення ефективності контролю нейтронної активності; модернізація системи моніторингу всередині ОУ.

e-mail: Rgl.wmw@gmail.com

Дар'я Муляр – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; інженер I кат.

Основні напрями наукових досліджень: заходи по стабілізації радіаційного стану ОУ, методи та технології радіаційного захисту ОУ, розрахунок активності ТСМ.

e-mail: 3055113@gmail.com

УДК 621.039.73

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З РАВ НА ЗАЕС. БЕЗКОНТАКТНА ЛАЗЕРНА ДЕЗАКТИВАЦІЯ МЕТАЛЕВИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

О.Р. Дрозд

Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» Відокремлений підрозділ «Запорізька атомна електростанція», м. Енергодар, Україна
or.drozd@gmail.com

The article is devoted to one of the activities in the system of radioactive waste management at SE ZNPP, such as the deactivation of metallic radioactive waste, and the importance of improving the methods and technologies used. The relevance of this work is beyond doubt, since currently used technologies for the deactivation of metallic materials can only reduce (to varying degrees) radioactive contamination on the metal surface, but to remove from regulatory control, complete removal and cleaning material from radionuclides. In most cases, the «traditional» deactivation methods don't provide the required degree of deactivation, or the high material, time and dose costs completely negate the expediency of this process. As part of this work, not only the current state was analyzed and pointed out the shortcomings of the current system for handling radioactively contaminated metal, but also proposed an alternative method of contactless laser deactivation. The most significant advantages of this method, based on the use of a laser pulse, are: high speed and efficiency of cleaning, the absence of the formation of secondary radioactive waste, low production costs (in fact, only electricity), safety. This will allow creating at Zaporizhzhya NPP a full cycle of handling metal radioactive waste and will ensure the possibility of safe operation of the power units not only within the design period, but also under conditions of extending their service life.

Вступ

Технологічний процес виробництва електричної енергії на будь-якій атомній електростанції супроводжується утворенням і накопиченням значної кількості радіоактивних відходів. Значимість процесу поводження з радіоактивними відходами (РАВ) на АЕС в період експлуатації постійно зростає, набуваючи особливого значення при продовженні термінів експлуатації енергоблоків і, особливо, в процесі зняття АЕС з експлуатації.

У даний час в усьому світі, за різними експертними оцінками, накопичено понад 20 млн. тонн металевих радіоактивних відходів (далі – МРВ), і Запорізька АЕС в цьому не є винятком. Станом на березень 2019 року в сховищах ВП ЗАЕС накопичено понад 600 тонн радіоактивно забрудненого металу, кількість

якого буде тільки збільшуватися, при виконанні робіт по ремонту і заміні обладнання енергоблоків в рамках продовження терміну експлуатації.

При експлуатації атомних електростанцій постійно виникає потреба зниження рівня радіоактивності різних металевих деталей обладнання і агрегатів реактора. З економічної точки зору не вигідно замінювати забруднене радіонуклідами обладнання на нове, тому потрібне застосування методів дезактивації поверхонь металевих деталей без зміни їх фізичних і конструктивних властивостей.

Необхідно відзначити, що на АЕС України відсутні установки, які цілеспрямовано вирішували б проблему дезактивації МРВ. Ті установки, на яких виконують дезактивацію демонтованого обладнання, як правило, вирішують окремі завдання щодо зниження потужності дози від устаткування, що експлуатується, але не призначені для цілеспрямованого вирішення в повній мірі питання дезактивації МРВ, з метою їх подальшого звільнення від регулюючого контролю. Більш того, при експлуатації цих установок утворюється значна кількість вторинних рідких радіоактивних відходів, що ще більше посилює проблему.

Таким чином, очевидна необхідність пошуку нових методів дезактивації МРВ, які дозволили б значно скоротити обсяги металевих відходів, що вимагають кондиціонування, повернути очищений метал на повторне використання, у тому числі кольорові метали, а також забезпечувати отримання на майданчику кінцевого «продукту», який відповідає критеріям приймання радіоактивних відходів на спеціалізовані підприємства по захороненню.

1. Порівняльна характеристика існуючих методів дезактивації МРВ

Дезактивація – це видалення радіоактивного забруднення з поверхонь з використанням різних речовин.

Основна мета дезактивації – забезпечити безпеку персоналу, шляхом виключення шкідливого впливу радіоактивних речовин на організм людини.

Дезактивація повинна відповідати таким вимогам:

– забезпечувати ефективне видалення радіоактивних забруднень;

- не викликати істотною корозією та руйнування матеріалу;
- кількість вторинних радіоактивних відходів повинна бути мінімальна;
- метод дезактивації повинен бути економічним, безпечним, не приводити до поширення радіоактивного забруднення.

1.1 Механічні методи дезактивації

Механічні методи дезактивації пов'язані з впливом на поверхню оброблюваних металевих деталей різних абразивних матеріалів. Такий метод дезактивації забезпечує видалення поверхневого шару металу, забрудненого радіонуклідами, на істотну глибину (десятки і сотні мкм). Метод ефективний для видалення поверхневих і глибинних забруднень. Недоліком механічної дезактивації є утворення вторинних відходів, нерівномірна обробка поверхні металу, а також застосування ручної праці, з впливом на організм людини шкідливих факторів (високе пилоутворення). До таких методів відносяться абразивний обдуб, гідроабразивна дезактивація, які використовуються для сухого очищення металу від нефіксованих радіоактивних забруднень, на кшталт пилу або поверхневого сміття. Ці способи дезактивації універсальні, але мають ряд вищезазначених недоліків. Також при обробці металу вручну продуктивність низька, можливо забруднення навколишнього середовища радіоактивним пилом, впровадження абразивних частинок в матеріал й пошкодження поверхні, низька ефективність дезактивації заглиблень, тріщин, тому метод малоефективний. Використовують його зазвичай тільки як перший ступінь дезактивації [1].

1.2 Термічні методи дезактивації

Термічні методи дезактивації МРВ засновані на видаленні поверхневих шарів металу у вигляді окалини, що утворюється в результаті прожарювання металу в спеціальних печах.

Одним з варіантів термічної дезактивації є повне переплавлення металів з видаленням радіоактивних забруднень у вигляді шлаків (пірометалургійний метод). При плавленні відбувається гомогенний розподіл радіонуклідів по всьому об'єму скрапу, приводячи до значного зниження питомої активності металу. При цьому йде часткове очищення скрапу через виділення радіонуклідів з розплавів в шлам і з частинками газами, вловлюва-

ними газоочисним обладнанням. Ефективність дезактивації становить від 10% до 40%. Плавлення є екологічно безпечним, але отримана продукція з переплавленого металу має обмеження в застосуванні на об'єктах промисловості та енергетики через неможливість повного очищення від радіонуклідів.

Головним недоліком методу є те, що після такої обробки подальше використання металевих деталей і конструкцій в первісному вигляді неможливо. Також термічні способи вимагають використання габаритного стаціонарного обладнання (печей) зі значними витратами палива і/або електроенергії і організації ефективних систем газоочиснення. Термічні методи переробки супроводжуються утворенням великих об'ємів різних вторинних РАВ: твердих (окалина, шлаків, пилу) та рідких (конденсатів, нейтралізуючих розчинів) [2].

1.3 Рідинні методи дезактивації

Рідинний метод дезактивації знайшов найбільш широке застосування на АЕС. Даний метод полягає в обробці забруднених металів різними дезактивуєчими розчинами, так і в поєднанні такої обробки з іншими методами обробки або активізації процесу: механічними, електрохімічними, ультразвуковими та ін.

Дезактивація МРВ здійснюється із застосуванням різних розчинів лугів, кислот, окиснювачів, поверхнево-активних речовин та їх комбінацій. Найбільш ефективними є кислотні способи обробки сірчаної, соляної, азотними та іншими кислотами з додаванням різних добавок. Однак суттєвою проблемою є нейтралізація і утилізація великих обсягів відпрацьованих дезактивуєчих розчинів [3].

2. Опис існуючої системи поводження з МРВ на ЗАЕС

2.1 Порядок поводження з МРВ у ВП ЗАЕС

У даний час система поводження з радіоактивним металом у ВП ЗАЕС передбачає дезактивацію тільки свіжоутворених, в результаті проведення робіт в зоні суворого режиму (ЗСР), металевих деталей і конструкцій. Для низькоактивних металу існують затверджені процедури, відповідно до яких і виконується дезактивація. При утворенні металевих відходів, в результаті виконання робіт в ЗСР, керівник робіт організовує проведення радіаційного контролю (РК) для визначення рівня радіоактивного забруднення. Якщо за результатами радіаційного контролю

фіксоване забруднення становить від 0,3 мкЗв/год до 100 мкЗв/год, то даний метал вважається низькоактивними РАВ та підлягає передачі на дезактивацію. Після закінчення дезактивації металу організовується проведення повторного радіаційного контролю металу, в результаті якого приймається рішення про можливість подальшого видалення «чистого» металу за межі ЗСР, або ж передачі забрудненого металу для зберігання в сховища радіоактивних відходів.

2.2 Дезактивація МРВ на ЗАЕС

Процедура дезактивації МРВ у ВП ЗАЕС представляє собою вибір оптимального способу дезактивації в залежності від матеріалу металевого виробу, його конфігурації, ступеня і виду забруднення та інших факторів, і подальшу обробку металу одним з рідинних способів дезактивації, які використовуються на ЗАЕС.

В даний час на ЗАЕС застосовуються такі рідинні способи дезактивації радіоактивно забрудненого металу:

– *дезактивація зануренням (хімічний метод дезактивації):*
дезактивація проводиться послідовною обробкою поверхні металу спочатку лужним, а потім кислотним розчинами з наступним промиванням хімічно знесолоної водою (ХЗВ). Для підвищення ефективності проводиться нагрів розчину до 30-90°C, а також його перемішування або циркуляція. Витримка в розчинах може становити від 3 годин до 7 годин, в залежності від ступеня забруднення металу і його конфігурації. Головним недоліком даного способу є тривалість процесу дезактивації (в середньому становить 5-7 годин), велика витрата хімреагентів, ХЗВ для приготування розчинів і промивання (приблизно 0,5 м³ на одну дезактивацію), і, відповідно, великі об'єми утворених в результаті дезактивації вторинних рідких радіоактивних відходів.

– *дезактивація розтиранням розчину (хіміко-механічний метод дезактивації):*

видалення радіоактивних забруднень здійснюють шляхом нанесення розчину на поверхні (10-30 хвилин), з наступним промиванням ХЗВ. Склад і концентрація розчинів аналогічні попередньому методу. У деяких випадках додатково застосовують протирання етиловим спиртом. Витрата розчину становить 2-3 л/м² поверхні.

– *струменева дезактивація (гідродинамічний метод дезактивації)*:

дезактивація проводиться за допомогою апарату високого тиску «Karcher HD 10/25 S». В якості дезактивуючих розчинів застосовують розчин шавлевої кислоти. Головний недолік даного методу – утворення великих об'ємів вторинних рідких радіоактивних відходів.

Всі вищевикладені способи дезактивації МРВ довели свою ефективність, але не гарантують отримання позитивного результату в усіх випадках. Також вони не вирішують проблему дезактивації металу, який буде вилучатись зі сховищ, тому що існуючі виробничі потужності не розраховані на збільшення обсягів, в зв'язку з постійним завантаженням обладнання при виконанні робіт з дезактивації свіжоутворених, в результаті проведення ремонтних і реконструктивних робіт в ЗСР, металевих деталей і конструкцій.

Необхідно відзначити, що активно ведуться роботи з вдосконалення дільниці з дезактивації обладнання ВП ЗАЕС, а саме в частині впровадження технології ультразвукової дезактивації металу. Впровадження даної технології дозволить суттєво скоротити тривалість обробки металевого обладнання (до декількох годин, замість 5-7 годин), крім того, застосовуючи даний метод можна використовувати більш розбавлені розчини, що призведе до економії хімреагентів і зниження вартості переробки вторинних РРВ. Відповідно до «Комплексної програми поводження з радіоактивними відходами у ДП «НАЕК «Енергоатом» ПМ-Д.0.18.174-16 (п. 5.1.3) введення в експлуатацію установки ультразвукової дезактивації заплановано на 2021 год.

2.3 Поводження з МРВ, що накопичені в сховищах ВП ЗАЕС

За весь час експлуатації енергоблоків в сховищах твердих радіоактивних відходів (СТРВ) ВП ЗАЕС накопичено більш ніж 600 тонн радіоактивно забрудненого металу.

На сьогоднішній день система поводження з накопиченим металом ВП ЗАЕС полягає тільки в зберіганні МРВ навалом в ємностях СТРВ.

З введенням в експлуатацію в 2019 році установки вилучення твердих радіоактивних відходів (УВТРВ), перспективна схема поводження з МРВ полягатиме в:

1) вилученні на УВТРВ з ємностей СТРВ накопиченого низькоактивних металу, з метою звільнення вільних обсягів сховищ, необхідних для зберігання РАВ протягом усього періоду експлуатації енергоблоків ВП ЗАЕС, а також в умовах продовження експлуатації енергоблоків у понадпроектний період;

2) подрібненні МРВ на установці фрагментації твердих радіоактивних відходів (стрічкова пила, плазмовий інвертор, гідравлічні ручні та стаціонарні ножиці), з метою зменшення їх обсягів і забезпечення прийнятних габаритних розмірів для їх подальшої дезактивації та пресування;

3) дезактивації МРВ, з метою подальшого вивезення «чистого» металу за межі ЗСР;

4) закатуванні подрібнених МРВ, які не відповідають за значеннями активності радіоактивного забруднення для передачі на дезактивацію, в контейнери для твердих радіоактивних відходів об'ємом 200 л на установці пресування ВНР-500;

5) пресуванні заповнених МРВ контейнерів на установці суперпресування твердих радіоактивних відходів і завантаженні отриманих брикетів у вторинні упаковки об'ємом 280 л, з метою їх подальшого зберігання до передачі на спеціалізоване підприємство для захоронення.

Аналізуючи перспективну систему поводження з вилученими МРВ, а також спираючись на досвід експлуатації існуючої системи дезактивації металу на ЗАЕС, можна стверджувати, що існуючого обладнання з дезактивації металу буде недостатньо для здійснення очищення усієї кількості вилученого металу від радіоактивного забруднення, внаслідок малих обсягів завантаження, значною тривалістю процесу дезактивації, а також завантаженості устаткування в періоди ППР енергоблоків.

3. Перспективний напрямок безконтактної лазерної дезактивації МРВ

3.1 Постановка завдання

Експлуатація, заміна відпрацьованого обладнання та агрегатів, зняття з експлуатації АЕС вимагає постійного моніторингу стану об'єктів і розробки ефективних технологій дезактивації та утилізації відпрацьованих свій термін вузлів, агрегатів і споруд атомних об'єктів. Одна з головних проблем, яка активно вирішується в цей час фахівцями, є відновлення вихідного стану ма-

теріалів і деталей, які зазнали поверхневому радіоактивного забруднення в процесі реалізації ядерно-паливного циклу, і включення їх в промисловий оборот. Як правило, в результаті проведення щорічних профілактичних і ремонтних робіт на АЕС накопичується велика кількість відпрацьованих свій ресурс радіаційно-забруднених металоконструкцій, вузлів і елементів.

Існують два типи радіоактивних забруднень: «наведена» радіація і поверхневі забруднення. Більше 90% всіх радіаційно забруднених об'єктів мають поверхневі забруднення. Як правило, тверді частинки радіонуклідів розташовуються в поверхневому шарі і можуть бути видалені без руйнування всієї конструкції.

Внаслідок підвищеного рівня радіоактивності МРВ зберігаються у спеціальних СТРВ, рівень заповнення яких постійно зростає, збільшуючи екологічне навантаження на навколишнє середовище й вимагає значних матеріальних ресурсів на підтримання необхідної безпеки.

Як показують дослідження, плівка, товщина якої не перевищує 150...200 мкм, містить до 90...95% радіонуклідів, що забруднюють метал. Крім того, внаслідок дифузійних процесів деяка частина радіонуклідів з корозійної плівки може проникати в кристалічну решітку металевої підкладки, забруднюючи поверхневі шари металу на глибину в кілька мікрон [4]. Таким чином, видалення тільки корозійної плівки з поверхні металу дозволяє в значній мірі знизити рівень радіоактивності останнього, забезпечивши при цьому можливість повторного його використання або промислової утилізації.

За наявними оцінками, більше 80...90% обсягу вузлів і різноманітних деталей з високоякісних сталей і сплавів, що зберігаються в спеціальних сховищах АЕС, являють собою поверхнево забруднені радіонуклідами металеві відходи, потенційна вартість яких в разі включення їх в промисловий оборот значно зростає.

Основні методи дезактивації поверхневих радіоактивних забруднень мають такий суттєвий недолік як утворення значної кількості рідких радіоактивних відходів. Прості оцінки показують, що при лазерній дезактивації тих же металоконструкцій загальний обсяг радіоактивних відходів, які накопичуються в твердому стані, не перевищує 1,5...2 м³. Все це робить лазерну дезактивацію потенційно серйозною альтернативою традиційним методам.

Аналізуючи існуючу ситуацію, пов'язану з поводженням з МРВ ВП ЗАЕС, виникла потреба пошуку альтернативного способу дезактивації, який дозволив би уникнути обмежень, пов'язаних з виробничими потужностями та завантаженістю обладнання, і дав би можливість виконувати ефективну дезактивацію МРВ без виконання суттєвої модернізації технологічного процесу. Для вирішення поставленого завдання був проведений аналіз сучасних способів дезактивації металів. Результатом даного пошуку є представлений нижче перспективний метод безконтактної лазерної дезактивації МРВ для впровадження в систему поводження з радіоактивними відходами у ВП ЗАЕС.

3.2 Наукове обґрунтування запропонованого методу безконтактної лазерної дезактивації МРВ

Суть запропонованої для впровадження на ВП ЗАЕС технології полягає в застосуванні обладнання нового покоління, заснованого на фізичному методі лазерної абляції.

Лазерна абляція (англ. «laser ablation») – метод видалення забруднення з поверхні лазерним імпульсом. При низькій потужності лазера речовина випаровується або сублімується у вигляді вільних молекул, атомів і іонів, тобто над поверхнею утворюється слабка плазма, зазвичай в даному випадку темна, що не світиться (цей режим часто називається лазерною десорбцією). Режим лазерної абляції іноді також називається лазерною іскрою (за аналогією з традиційною електричною іскрою в аналітичній спектроскопії) [5].

3.3 Принцип дії обладнання безконтактної лазерної дезактивації

Пропоноване обладнання генерує потужні, дуже короткі і швидкого руху лазерні імпульси, які створюють мікроплазменні сплески, внаслідок чого утворюються ударні і теплові хвилі, які призводять до сублімації і викиду тонких частинок шару забруднюючої речовини, які підхоплюються системою всмоктування (рисунок 1). Сфокусований лазерний промінь досить короткий для того, щоб уникнути виникнення термічних явищ, які могли б пошкодити поверхню, тому він як би випаровує цільове покриття або забруднення, при цьому не ушкоджуючи саму поверхню.



Рис. 1. Принцип дії обладнання безконтактної лазерної дезактивації

Для ефективної роботи інтенсивність енергії повинна бути пристосована і відрегульована на рівні між двома порогами:

- поріг очищення, при якому в забруднює шарі створюється плазма,
- поріг збитку, при якому плазма починає погіршувати метал.

Кожен імпульс лазера видаляє деякий шар забруднюючої речовини. Якщо шар товстий, для ідеальної очищення основи будуть потрібні кілька імпульсів. Дуже важливий ефект, одержуваний при поєднанні двох порогів – самообмеження очищення: світлові імпульси, щільність енергії яких перевершує перший поріг, будуть «рити» бруд до основи. У цьому місці, щільність їх енергії нижче порога шкоди основи. Ніяка взаємодія в даному випадку неможлива. Ця здатність дозування робить з безконтактної лазерної дезактивації металу спектрально виборчу технологію, яка дозволяє впливати на певні речовини сильніше, ніж на інші. Дане обладнання здатне в лічені хвилини очистити металеві поверхні від іржі, фарби, масел, мастил та інших виробничих відходів, які містять радіоактивне забруднення, в той же час робить це безпечно і без шкоди для основного матеріалу.

Оптимізація процесу лазерної чистки забезпечує максимально швидке видалення радіоактивного забруднення з поверхні матеріалу на глибину до 500 мкм, без зміни або пошкодження основного металу. Устаткування налаштоване таким чином, що

дії лазерної чистки піддається тільки цільове покриті (його залишки або оксиди), без порушення основної підстильної поверхні металу. Для досягнення найкращих результатів очищення щільність потужності лазерного променя можна точно і легко налаштувати в залежності від виду поверхні, що очищується [4].

3.4 Переваги та недоліки обладнання безконтактної лазерної дезактивації МРО

Основними технологічними перевагами обладнання безконтактної лазерної дезактивації металів є:

- простота в експлуатації і обслуговуванні (точно налаштовується для оптимізації швидкості процесу і тонкого очищення поверхні металу, не вимагає очищення);
- можливість інтеграції в будь-які виробничі лінії;
- безпека для персоналу за рахунок виключення контакту з хімічними речовинами і частинками абразиву;
- зменшення тривалості контакту персоналу з МРВ;
- відсутність шуму і необхідності обладнання спеціального приміщення;
- відсутність механічного або хімічного контакту з оброблюваним матеріалом, що запобігає появі наклепу, зміна структури поверхні;
- відсутність виносу частинок металу, що попереджає зміну розмірів;
- універсальність, завдяки можливості використання обладнання для очищення деталей з різних матеріалів;
- висока точність обробки за рахунок відсутності видалення основного матеріалу деталі;
- можливість локального лазерного очищення металу;
- висока надійність;
- не вимагає витратних матеріалів (абразивів, хімічних очищувачів, розчинників), що знижує експлуатаційні витрати і підвищує рентабельність обробки;
- екологічність технології – відсутність вторинних рідких радіоактивних відходів і пилу;
- процес можна безпечно використовувати в польових умовах і в тих випадках, коли інші способи застосувати неможливо.

Порівняльна характеристика показників хімічної та безконтактної лазерної дезактивації металів представлені в таблиці 1.

Головним та єдиним «недоліком» даного методу дезактивації є висока вартість обладнання. Маркетингові дослідження ринку виробників обладнання лазерної дезактивації показали, що вартість промислових моделей зростає на порядок у порівнянні з портативними («рюкзачними») малопотужними зразками (до 50 кВт), які вкрай зручні у використанні в польових умовах і можуть працювати з дуже маленькими поверхнями [6-8].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика показників хімічної та безконтактної лазерної дезактивації МРВ

№ з/п	Показник	Хімічна дезактивація	Лазерна дезактивація
1	Тривалість дезактивації 1 м ² , год	від 3 до 7	від 0,05 до 0,14
2	Витрати електроенергії, кВт/год	до 1	від 0,7 до 4,5
3	Необхідність регулювання температурного режиму	+	± охладження (повітряне або водяне)
4	Точність обробки	-	+
5	Використання витратних матеріалів	+	-
6	Утворення вторинних відходів	+	-
7	Застосування агресивних хімічних речовин	+	-
8	Можливість локального очищення поверхні	-	+
9	Універсальність поверхонь обробки	-	+
10	Вплив на структуру поверхні основного матеріалу (роз'ятрювання, зміна розмірів і т. ін.)	-	+
11	Шум	+	-
12	Дозові навантаження на персонал	≤ 0,1 мЗв/зміну	< 0,1 мЗв/зміну

Висновки

Очікуваний ефект від впровадження технології безконтактної лазерної дезактивації МРО на ЗАЕС:

1) реалізація технології без істотних витрат на здійснення модернізації існуючої системи поводження з РАВ;

2) зниження дозових навантажень на персонал при виконанні дезактивації;

3) скорочення витрат хімічних реагентів і ХЗВ і, як наслідок, зменшення обсягів утворення вторинних рідких радіоактивних відходів:

За фактом, у 2018 році внаслідок проведення робіт з дезактивації МРВ рідинними методами утворилось 590 м³ відпрацьованих дезактивуючих розчинів.

4) зменшення кількості контейнерної продукції, що використовується для зберігання МРВ до передачі на захоронення;

5) зменшення фактичної собівартості зберігання РАВ у ВП ЗАЕС;

6) повернення звільненого від регулюючого контролю металу на повторне використання;

7) звільнення вільних обсягів сховищ в умовах продовження експлуатації енергоблоків;

8) виконання ремонтних робіт в ЗСР по відновленню власностей металевих деталей та обладнання без їх ушкоджень.

Список використаних джерел:

1. Обращение с радиоактивными отходами: учебное пособие / под ред. Касьяненко А.А. – М.: ИАЦ «Энергия», 2008. – 282 с.

2. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними: монография / под ред. Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. – К.: ИПБ АЭС НАН Украины, 2005. – 140 с.

3. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС: учебное пособие / под ред. Скачек М.А. – М.: издательство МЭИ, 2007. – 82 с.

4. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении: учебное пособие / под ред. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.

5. Phase Transformations and Ablation in Laser-Treated solids / E.N. Sobol. – Michigan: Wiley, 1995. – 332 p.

6. Електронний pecyrc: <http://www.cleanlaser.de>.

7. Електронний pecyrc: <http://www.maxlasers.org/fiber-laser/laser-cleaning>.

8. Електронний pecyrc: <https://tdbulat.ru/htfclean>.

ПРОБЛЕМИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ВІДПРАЦЬВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

В. М. Євланов¹, О. С. Задунай², С. І. Азаров³

¹Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки
м. Київ, vm_evlanov@sstc.com.ua.

²Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку
та захисту інформації м. Київ, a.zadunaj@gmail.com.

³Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ,
azarov@kinr.kiev.ua.

***Abstract.** Problem of the nuclear waste in peace has been analyzed. This paper is represented investigation of the causes of accidents at the NPP during the process of spent fuel. According to the results of the analysis, the main causes of incidents and emergency situations in the process of handling spent nuclear fuel were identified. The sequence of events from the initial to the final state enables the development of measures aimed at preventing and not repeating a wide class of similar emergency situations at the expense of timely accepted technical and organizational measures. A careful study and consideration of the experience of accidents and incidents with spent nuclear fuel will make it possible to assert that the technical solutions and operational procedures adopted may qualify for systematic, exhaustive completeness and guarantee protection from serious accidents.*

***Key words:** spent nuclear fuel, central storage, endurance pool, spent fuel assemblies, accidents and incidents at NPPs.*

Вступ. Сучасний нестабільний соціально-політичний та економічний стан в країні, різноманітні природні катаклізми і постійно зростаюча загроза гібридної війни і тероризму примушують активізувати роботи з захисту довкілля від негативних впливів об'єктів ядерної енергетики України до яких відносяться АЕС. Одна з головних проблем в процесі експлуатації АЕС – відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП). В даний час в Україні не розроблена і не реалізована національна стратегія поводження і переробки ВЯП. Отже пішли по шляху «відкладеного рішення» (проміжне тимчасове зберігання ВЯП в пристанційних а потім в центральному сховищі на території Чорнобильської зони відчуження), щоб отримати час для прийняття обґрунтованого і зваженого рішення про переробку або поховання в майбутньому.

Актуальність теми дослідження полягає в необхідності вдосконалення та розробки систем ядерної та радіаційної безпеки, пошуку нових підходів до організації захисту від аварій (вибухів, пожеж тощо) в процесі вивезення ВЯП залізничним

транспортом із застосуванням сучасних техніки та технології вибухопожежного захисту, комп'ютерних систем управління аварійними ситуаціями та підтримки прийняття рішень.

Метою роботи є дослідження існуючого стану поводження з ВЯП в світі для підвищення рівня ядерної та радіаційної безпеки шляхом запобігання неконтрольованого розвитку ядерних реакцій і поширення радіації в навколишнє середовище.

Проблематика дослідження. Відпрацьоване паливо - це ядерне паливо, що відпрацьовало цикл в реакторі АЕС, яке містить в собі як в процесі роботи реактора уран-235, що повністю не вигорів і його ізопопи, а також інші трансуранові елементи.

Методи поводження з ВЯП можуть бути різні в стратегічних підходах і за набором використовуваних технологій, проте всі вони об'єднуються загальними принципами, пов'язаними питаннями безпеки. Дані принципи розробляються і поширюються міжнародними організаціями, зокрема МАГАТЕ, через відповідні правила і керівництва, а також встановлюються міжнародними договорами, зокрема «Об'єднаною конвенцією про безпеку поводження з відпрацьованим паливом та безпеку поводження з радіоактивними відходами».

Національна концепція держав, пов'язана з ВЯП, базується на двох стратегічних підходах.

Перший розглядає відпрацьовані тепловиділяючі збірки (ВТВЗ) в якості цінної сировини для отримання компонентів нового палива і ряду радіоактивних ізопопів, які використовуються в промисловості, медицині і сільському господарстві. При цьому переробка може виконуватися в міру напрацювання ВЯП або після тимчасового / довготривалого зберігання.

Другий підхід визначає ВТВЗ як РАВ, які підлягають захороненню. Більшість країн підтримує перший підхід як більш раціональний. Крім того, вимоги до розміщення ВЯП на вічне поховання технічно складно виконувати і реалізовувати на практиці в повному обсязі. Це є однією з причин того, що жодного могильника ВЯП в світі не було введено в експлуатацію до теперішнього часу.

Поводження з ВЯП, крім проблем загально технічної і фізичної безпеки, пов'язаної з переміщенням великовантажних, великогабаритних пристроїв, що мають підвищену небезпеку і високу цінність, має низку специфічних особливостей.

Перша - ядерна небезпека (критичність). Ядерний матеріал, що міститься у ВТВЗ, здатний створювати критичні конфігурації, як в нормальних умовах експлуатації, так і в разі аварій. Ступінь цієї небезпеки тим вище, чим більше вміст компонентів, що діляться (^{235}U , ^{233}U або ^{239}Pu) в ньому. Тому, при поводженні з ВЯП вимоги ядерної безпеки зазвичай передбачають аналіз всіх можливих штатних і аварійних ситуацій.

Друга - радіаційна небезпека. Активність одного кілограма палива з реактора, обумовлена наявністю в ньому продуктів поділу та активації, зазвичай становить сотні тисяч Бк. Протягом року, завдяки розпаду короткоживучих радіонуклідів, активність знижується до тисяч Бк. У наступні десять років зменшується ще на порядок. У будь-якому випадку, ВЯП протягом тривалого часу, буде відноситись до розряду високоактивних відходів енергетичного виробництва. Тому будь-які технологічні операції з ВЯП повинні передбачати дотримання умов радіаційного захисту і виконуватися в умовах максимальної автоматизації виробництва.

З метою тимчасової витримки відпрацьованого палива (до його відправки на переробку або поховання) ВТВЗ розміщують в пристанційному басейні витримки (БВ), який заповнений борною водою. Вода в БВ служить як захистом від радіаційного випромінювання, так і для знімання тепловиділень, що виділяються. Зберігання ВТВЗ в басейні витримки є обов'язковим елементом технологічного ланцюжка, що визначається високою активністю свіже опромінене паливо і необхідність відводу від нього великої кількості залишкового тепла. Всі маніпуляції з переміщення ВЯП в БВ і з нього виконуються за допомогою великовантажних пристроїв (мостових кранів, перевантажувальних контейнерів та ін.) автоматично.

Тривалість зберігання ВЯП в БВ становить від одного до 5 років. При цьому на багатьох АЕС паливо зберігається і набагато більш тривалий час (до 10 років і більше), що викликано відсутністю остаточного рішення з питання його подальшого використання. У разі безаварійної роботи басейни-витримки ВЯП не чинять практично ніякого забруднення навколишнього середовища. Основною гарантією можливості тривалого зберігання ВЯП в воді БВ є збереження цілісності бар'єрів безпеки, які за-

побігають поширенню радіоактивності в навколишнє середовище протягом всього терміну експлуатації. Проте безпечне зберігання ВТВЗ пов'язане з підвищеною небезпекою для людей і природи в разі аварій при їх тривалому зберіганні. Відомо, що практично всі АЕС розташовані в густонаселених частинах країни. Тому не можна забувати про безпеку і здоров'я людей і цілісності природи, так як помилки в процесі поводження з ВЯП можуть привести до катастрофічних екологічних наслідків.

До недавнього часу все відпрацьоване паливо з трьох українських АЕС – Хмельницької, Рівненської і Південно-Української (на Запорізькій АЕС з 2001 року діє власне пристанційне сховище) - за чималі суми, близько 200 млн. доларів на рік - вивозилося для тимчасового зберігання і переробки в Росію. Запорізька АЕС першою з атомних електростанцій України з реакторами типу ВВЕР збудувала на своєму майданчику сухе сховище відпрацьованого ядерного палива (СВЯП) у зв'язку з неможливістю вивозити ВЯП до Росії, через що на енергоблоках ЗАЕС розпочалося різке скорочення вільних місць для зберігання ВЯП в штатному мокрому СВЯП і виникла загроза зупинки АЕС в найближчій перспективі. Проміжне (пристанційне) тимчасове сухе сховище розраховане на 380 контейнерів, у яких можна помістити до 9000 збірок з ВЯП.

Після необхідної витримки ВЯП перевантажується в транспортні пакувальні комплекти (ТПК) і вивозиться з будівлі реактора спецавтотранспортом в пристанційний перевантажувальний вузол для перевантаження в залізничний спецешелон для вивозу в центральне сховище ВЯП (ЦСВЯП).

Основним завданням забезпечення безпеки в процесі транспортування ВЯП на ЦСВЯП - зведення до мінімуму впливу радіації на персонал, населення і навколишнє середовище за допомогою введення в дію планів заходів щодо захисту персоналу та населення, дотримання інструкцій, керівництв и процедур з управління локалізацією і ліквідацією наслідків радіаційної аварії [1].

У зв'язку з вищерозглянутими проблемами було прийнято наступні рішення:

– 09.02.2012 р. Законом України №4383-VI «Про поводження з відпрацьованим ядерним паливом відносно розміщення, проектування та будівництва централізованого сховища відпрацьованого

ядерного палива реакторів типу ВВЕР вітчизняних атомних електростанцій» Верховною Радою України прийнято рішення щодо розміщення ЦСВЯП на території Чорнобильської зони відчуження, а також щодо його проектування та будівництва;

– 30.03.2012 р. Держатомрегулювання погоджений «План ліцензування створення ЦСВЯП», розроблений ДП «НАЕК Енергоатом»;

– 30.04.2013 р. Держатомрегулювання погоджений документ «НАЕК Енергоатом» - «Технічне завдання на модифікацію технології відвантаження ВЯП з енергоблоку ВВЕР-1000 (РУ В-320) для забезпечення його вивезення в ЦСВЯП»;

– 23.04.2014 р. розпорядженням Кабінету Міністрів України №399-р ДП «НАЕК Енергоатом» надано дозвіл на розроблення проекту землеустрою щодо відведення земельних ділянок загальною площею 45,2 га, що розташовані між колишніми селами Стара Красниця, Буряківка, Чистогалівка та Стечанка Київської області на території зони відчуження, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, та з подальшим наданням їх зазначеному підприємству у постійне користування із зміною цільового призначення для будівництва ЦСВЯП та під'їзної залізничної колії.

ЦСВЯП - це ядерна установка, призначена для безпечного зберігання ВЯП протягом 100 років, яка запобігає поширенню радіоактивних речовин у навколишнє середовище, забезпечує екологічну безпеку і має відносно невелику вартість.

Проектна місткість ЦСВЯП імовірно становитиме 16,53 тисяч відпрацьованих тепловиділяючих елементів (12,01 тис. - з блоків ВВЕР-1000 і 4,52 тис. - ВВЕР-440) - цього вистачить на весь термін роботи українських АЕС. Варто зазначити, що відповідальність за ЦСВЯП буде нести «НАЕК Енергоатом». Слід відзначити, що особливу небезпеку представляють можливі аварії в процесі вивезення ВЯП з території АЕС залізничним транспортом на територію Чорнобильської зони відчуження.

Ілюстративним прикладом транспортної аварій в процесі поводження з ВЯП можуть бути події, що призводять до:

– порушення технологічного процесу поводження з ВЯП без виходу радіоактивності та ін.;

– важкої аварії з виходом радіоактивності в межах території транспортування ВЯП;

– важкої аварії з виходом радіоактивності за межі території транспортування ВЯП.

Безпека перевезень ВЯП залізничним транспортом повинна забезпечуватись як технічними заходами (обмеження і виключення зустрічного руху, використання буферних транспортних засобів, супровід, озброєна охорона, автоматизована система безпеки транспортування), так і організаційними заходами спеціального режиму (допуск, навчання, контроль маршрутів, контроль під час руху тощо).

Аналіз аварій та інцидентів, які сталися в процесі транспортування ВЯП. За даними МАГАТЭ [2], у світі в рік перевозиться приблизно 1,0–3,7 млн. упаковок з ВЯП (в середньому біля 2,0 млн. за рік).

Аварійною ситуацією на транспорті вважаються умови, які відмінні від умов нормального перевезення вантажів, пов'язані із загорянням, витіканням, розсипанням небезпечного вантажу, пошкодженням тари або рухомого складу з небезпечним вантажем і які можуть призвести чи призвели до вибуху, пожежі, опромінення, захворювань, опіків, загибелі, небезпечних для природного середовища наслідків.

Відомо [3], що під час перевезень ВЯП відбулось:

– 89 інцидентів в Великобританії протягом 1999 – 2008 рр. Тільки в трьох випадках були невеликі транспортні аварії, інші – неправильне маркування, документація, несправності, забруднення та ін.;

– 913 інцидентів у Франції протягом 1997–2007 рр. Інциденти відбувались під час перевезення, завантаження - розвантаження упаковок, зберігання під час транзиту, перезавантаження з одного виду транспорту на інший);

– 119 інцидентів із вантажами ВЯП у США протягом 1998–2010 рр.

У таблиці наведені дані про деякі інциденти у США і Франції за період 1997-2010 рр. на підставі даних МАГАТЭ [4].

Таблиця

Деякі серйозні інциденти в США і у Франції

Спосіб транспортування	Вид ТПК	Матеріал, що транспортується	Кількість ТПК	Тип аварії
США				
Авто	30А	Низькоактивні відходи	2	Вантажівка втратила керування
Авто	30В	UF ₆	5	Вантажівка перекинулася
Залізниця	30В	UF ₆	8	Аварія поїзда
Авто	48У	ВЯП	1	Відокремився причіп від вантажівки
Залізниця	48У	ВЯП	1	Зіткнення поїзда з автомобілем
Залізниця	48У	ВЯП	1	Поїзд зійшов з рейок
Франція				
Морем	30В	UF ₆	30	Зіткнення двох кораблів
Авто	48У	ВЯП	2	Вантажівка перекинулася

В Росії за період 1991 – 2000 рр. також мали місце аварійні ситуації в процесі перевезення ВЯП (було зафіксовано 35 подій при завантаженні - розвантаженні упаковок з ВЯП) [5]:

– 09.11.91р. під час розтину контейнера (акт-розслідування 4КУР-ПО6-07-09-91) при роботі на потужності блоку № 4 Курської АЕС при проведенні операції завантаження ВТВЗ в вагон-контейнер для вивезення в СВЯП сталося падіння ВТВЗ (причина - порушення НД при перезавантаженні);

– 03.12.91р. (акт-розслідування 1ЛЕН-ПО6-12-12-91) під час вивантаження пеналу з вагона в склад зберігання свіжого палива блоку № 1 Ленінградської АЕС сталося пошкодження 10 СТВЗ (свіжих) при розчепленні траверси з контейнером. Причина - зіткнення з іншим контейнером через халатність оперативного персоналу, задіяного на перевантаженні;

– 01.07.92р. ЛАЕС (акт-розслідування ЗСМО-ПО2-01-01-92) під час перевантаження палива відбулося забруднення тракту ТК 41-42 сторонніми предметами, що призвело до заклинювання ВТВЗ при перевантаженні;

– 21.11.95р. на блоці № 4 Курської АЕС в ході проведення робіт з вивантаження негерметичної ТВЗ двоє людей отримали дози понад річну дозову межу. Інцидент стався в результаті неякісного контролю з боку служби дозиметрії за діями працівників. Рівень за шкалою INES - 2;

– Білібінська АЕС, 14.03.98р. – під час проведення планових ремонтних робіт з перевантаження ядерного палива на блоці № 4, що знаходиться в КПП, відбулося несанкціоноване зовнішнє опромінення трьох працівників, що перевищує дозову межу. Працівники цеху централізованого ремонту (ЦЦР) виконували роботи з опускання пеналів з ВТВЗ під верхнім перекриттям БВ-3 без попереднього контролю за ходом робіт з боку служби дозиметрії. В результаті цих порушень зафіксовані різні перевищення індивідуальної дози опромінення: 9 бер (90 мЗв), 1,7 бер (17 мЗв) і 1 бер (10 мЗв). Рівень події за шкалою INES – 3;

– блок № 1, Курської АЕС 20.02.98р. при роботі блоку на номінальному рівні потужності працівниками АЕС проводилися роботи по вилученню ВТВЗ з БВ-1 для подальшого транспортування їх в шахту вивантаження в транспортний чохол вагона-контейнера. Під час підйому ВТВЗ з БВ-1 стався обрив каната приводу захоплення «малої» РЗМ. Це призвело до падіння ВТВЗ разом з захопленням в БВ-1 і до часткового руйнування ВТВЗ (без пошкодження оболонки ТВЕЛ). Рівень події за шкалою INES -1;

– на блоці № 1 Ленінградської АЕС 01.08.99р. під час вивантаження ВТВЗ з ТК 12-42 та встановлення її в 1БВК-2, після відчеплення захоплення, відбулося руйнування однієї з опор, що призвело до падіння і деформації верхнього і нижнього пучків ТВЕЛ;

– на блоці № 2 Курської АЕС, 26.08.2000р. під час знаходження блоку в середньому ремонті розвантажувально-завантажувальною машиною (РЗМ) була пошкоджена підвіска ТВЗ внаслідок неправильних дій персоналу в ході перевантаженні палива (ТК 32-42).

Дуже важка аварія сталася 19 серпня 1986 року в безпосередній близькості від четвертого аварійного енергоблоку Чорнобильської АЕС - сходження з рейок спеціального

залізничного вагона з відпрацьованим ядерним паливом [6]. Цивільні фахівці не змогли впоратися з аварією, і для її ліквідації було залучено військовослужбовців залізничних військ Міністерства оборони СРСР. Через два дні зруйнований залізничний шлях відновили. Потім протягом декількох годин самовідданої праці солдатів і офіцерів 180-тонний вагон з ядерним паливом було поставлено на залізничні рейки і вивезено з території аварійної атомної станції. Рівні радіації на місці проведення робіт становили 1-1,5 Р/год.

Однак, жоден з цих інцидентів (аварій) не привів до істотного забруднення, опромінення або загибелі персоналу і населення.

Таким чином, були визначені наступні основні причини інцидентів і аварійних ситуацій в процесі поводження з ВЯП:

- грубе порушення технології і технологічних регламентів, недостатня професійна підготовка і технологічна дисципліна окремих фахівців і операторів;

- недостатність технологічних і неефективність організаційних заходів щодо забезпечення безпечного ведення технологічних процесів;

- незадовільний технічний стан обладнання БВ;

- невиконання графіків заміни обладнання БВ;

- незадовільне забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту;

- слабкий контроль за дотриманням технологічних норм і вимог з боку фахівців і керівництва технологічних служб комбінатів, заводів і контролюючих служб;

- наявність помилок в проектно-конструкторській документації;

- зміни, що вносяться до технології та апаратурні схеми в односторонньому порядку, на більшості підприємств не узгоджувалися з розробниками технологій та апаратурних схем;

- відсутність систематичної роботи (програми робіт) щодо підвищення технічного рівня безпеки ядерно, пожеже- та вибухонебезпечних виробництв;

- відсутність поопераційного аналізу небезпечних виробництв.

Інциденти, які трапляються на АЕС, та супроводжуються, як правило, викидом радіоактивних речовин в навколишнє середовище, відбуваються через грубі порушення технології і технологічних регламентів, недостатню професійну підготовку і низьку технологічну дисципліну окремих фахівців і операторів, недостатність технологічних і неефективність організаційних заходів щодо забезпечення безпечного ведення технологічних процесів, незадовільний технічний стан обладнання і систем.

Висновки. Дослідження причин виникнення аварій на АЕС в процесі поводження з ВЯП, послідовності подій від вихідного до кінцевого стану дає можливість вироблення заходів, спрямованих на запобігання і не повторення широкого класу аналогічних аварійних ситуацій за рахунок своєчасно прийнятих технічних і організаційних заходів. Задіяти всі зворотні зв'язки аналізу досвіду експлуатації таких складних комплексів, якими є АЕС, вкрай важливо і необхідно.

Про деякі загальні тенденції говорять проведені дослідження причин аварій з ВЯП, які дозволили зробити наступні висновки:

- основна частина аварій сталася через недоліки конструкції і з вини операторів;

- в більшості випадків аварії сталися під час технічного обслуговування (включаючи перевантаження палива), випробувань і під час зупинки реактора;

- майже всі аварії могли бути попереджені операторами при своєчасному розпізнаванні сигналів контрольно-вимірювальних приладів.

Накопичення експлуатаційного досвіду - це в першу чергу накопичення досвіду з пошкоджень та відмов, що сталися.

Ефективне використання досвіду вимагає організації роботи за двома напрямками:

- вивчення наслідків і з'ясування причин пошкоджень і відмов;
- узагальнення подій що відбулися, систематизація та організація заходів із запобігання їх виникнення в майбутньому.

Тому цінність представляють відомості не тільки про конкретну поведінку окремого елемента устаткування, який може не мати аналогів, а про принципові типові явища і слабкі місця поширених систем. Для узагальнення подібного роду інформації дуже корисно широке співробітництво розробників і експлуатаційників для забезпечення безпеки під час поводження з ВЯП.

Якщо досвід аварій і інцидентів з ВЯП буде ретельно вивчатися і в усій повноті враховуватися то прийняті технічні рішення і експлуатаційні процедури можуть претендувати на системність, вичерпну повноту і гарантувати захищеність від аварій з тяжкими наслідками. До сих пір повномасштабні тренажери АЕС і програми тренувань на них не включають важки аварії, а програмне забезпечення розрахунку таких аварій в реальному масштабі часу якщо і розробляється, то в одиничних екземплярах і без серйозної верифікації на експериментальних даних. Не застосовується технологія 3-D «віртуальної реальності», хоча в інших галузях ці методи вже давно розроблені. Вимагати від експлуатуючого персоналу знань в області важких аварій неможливо, так як вся програма їх навчання і тренінгу та технічні засоби навчання розраховані тільки на проєктні аварії. Настав такий час, коли необхідна команда фахівців одна на всі енергоблоки країни, яка наприклад, періодично проходить тренінги на тренажері з важких аварій та могла б на протязі 1-2 годин дістатись на аварійний енергоблок і взяти управління важкою аварією на себе. У процесі підготовки на тренінгах ця команда повинна відпрацьовувати різні непроєктні рішення щодо пом'якшення наслідків важких аварій і, по суті, працювати в режимі чергування і цілодобової готовності вилетіти на аварійний майданчик АЕС.

Список використаної літератури

1. Григораш О.В. Питання ядерної та радіаційної безпеки централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива АЕС України. / Григораш О.В., Дибач О.М., Кондратьєв С.М., та ін. // Ядерна та радіаційна безпека. - 2017. - Вип. 3 (75), с. 3-10.
2. Disposal of Radioactive Waste: Safety Standards. — Vienna: IAEA, 2011. — 83 p. — (IAEA, Specific Safety Requirements, NSSR-5).
3. IAEA-TECDOC-867 Significant incidents in nuclear fuel cycle facilities. IAEA, VIENNA, 1996 – 89 p.
4. Accidents and incidents. Article published on November 10, 2010 by Andrey Ozharovsky, source is available: <http://bellona.org/>
5. Кузнецов В.М. Основные проблемы и современное состояние безопасности предприятий ядерного топливного цикла России // Сборник материалов конференции «Оценка влияния радиационного загрязнения на здоровье человека», г. Новосибирск, 2001 г., изд-во «Артин-фодата», с.19-45.

6. Азаров С.І. Проблемні питання запобігання незаконному поводженню з радіоактивними матеріалами в Україні. / С.І. Азаров, В.Л. Сидоренко, Ю.В. Литвинов. //Ядерна та радіаційна безпека (2012), Вип. 2(54), с.23-29.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE REMOVAL OF URANIUM COMPOUNDS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

N. V. Zhdanyuk, A. V. Ocherednyk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, ave. Peremogy, 37, 03056, Ukraine.
E-mail: zhdanyukn.kpi@gmail.com

A new class of nanoscale zero-valent iron particles supported on natural palygorskite (PG) and organo-palygorskite (OPG) were synthesized and the feasibility for the removal of U(VI) was examined through laboratory batch test.

The usage of composite as a supporting material is justified by the fact that clay minerals are abundant, environmental-friendly and much cheaper than activated carbon and technologies such as pump-and-treat. Moreover, palygorskite is a kind of clay mineral with a layered structure, high surface area and strong adsorption characteristic.

Zero-valent iron particles (nZVI) were prepared by a liquid phase reduction method with borohydrate. This method is considered as the most common one due to its productivity and simplicity.

The mechanisms of U(VI) reduction by Fe^0 are a cyclic and involve multiple reactions of electrochemical corrosion. Removal of U(VI) takes place on the following mechanism. Initially, the reaction Fe^0 acts as a reducing agent, which further facilitates the removal of uranium. Interaction Fe^0 and products of oxidation of Fe(II) and Fe(III) leads to the formation of adsorption centers.

It should be noted that the transition U(VI) to U(IV) is a solution of particles near Fe^0 resulting electrochemical reaction. As a result, the transition of uranium compounds in the solid state and deposition on the surface of iron. Also, the sorption complexes of U(VI) can form a solid mixture of U(IV) / U(VI).

The results of studies demonstrate the effectiveness of nanomaterials for remediating uranium-contaminated groundwater. Nanocomposites showed an outstanding ability to remove metal ions because of high surface activity and low particle size. After the contact with U(VI), the reduction of those was highest with OPG/nZVI, followed by PG/nZVI and unsupported nanoparticles nZVI, what may thus offer an economically and environmentally friendly usage of organoclay nanocomposite as an exceptional solution to one of the most aggravating ecological problems.

Bibliography

1. Sheng G., Shao X., Li Y., Li J, Dong H, Cheng W, Gao X, Huang Y Enhanced removal of uranium(VI) by nanoscale zerovalent iron supported on Na-bentonite and an investigation of mechanism // *J. Phys. Chem. A*. 2014. 118: 2952.
2. Filip J., Karlický F., Marusak Z., Lazar P., Cerník M., Otyepka M., Zboril R. Anaerobic reaction of nanoscale zerovalent iron with water:mechanism and kinetics. *J. Phys. Chem. C*. 2014. 118: 13817.

ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ КОНЦЕПТІВ БАЗИ МОДЕЛЬНИХ ЗНАЇВ В СИСТЕМАХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ

Ірина Жирякова

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
Україна; e-mail: irena_zh@ukr.net

Коло наукових досліджень: системи штучного інтелекту, інтелектуальний аналіз даних, інформаційні технології багаторівневого моніторингу, технології підтримки прийняття рішень, багаторівневе моделювання складних систем.

Анотація: Процес прийняття рішень у багатьох предметних областях – задача досить нетривіальна. Отже, автоматизація даного процесу є актуальним завданням сьогодення та одна з основних проблем при створенні будь-якої інтелектуальної системи, адже передбачає комплексний аналіз існуючих підходів до роботи зі знаннями та вибір моделі їх подання. Саме модель подання знань визначає архітектуру, можливості і властивості системи, а також методи придбання знань інтелектуальною системою і роботи з ними. Тому, в рамках даного напрямку досліджень актуальною практичною задачею, рішення якої пропонується в даній роботі, є дослідження засобів онтологічного моделювання для формалізації та систематизації елементів глобальних функціональних залежностей, які є розв'язками задач перетворення

інформації в окремих предметних областях для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень, шляхом розв'язання локальних задач, за рахунок формування синергетичних зв'язків між елементами множини результатів неперервних спостережень, яка базується на інформаційній технології багаторівневого інтелектуального моніторингу.

Ключові слова: *концептуалізація знань, база знань, моделі подання знань, індуктивне та багаторівневе моделювання складних систем інтелектуального моніторингу.*

Вступ

Серед безлічі підходів до моделювання знань, найпоширенішими з яких є: продукційні моделі, семантичні мережі, фреймові моделі та формальні логічні моделі; з 1991 року приділяється пильна увага засобам онтологічного моделювання. Н. Гуаріно в [1] називає цей підхід «логічної теорією, яка обмежується передбачуваною моделлю логічного мови», що може забезпечити створення об'єктивної, універсальної і інтегративної системи понять (концептів), для зменшення неоднозначності при формуванні структури баз знань.

Постановка проблеми

Отже, метою даної роботи є аналіз онтологічного моделювання, як засобу формалізації знань для формування загальної структури бази моделей, які можна використовувати в знаннях орієнтованих системах управління, що потребують консолідації інформації отриманої із різномірних інформаційних джерел різних предметних областей.

Результати

Моделювання навколишнього світу продовжує відігравати дуже важливу роль у вивченні не лише природних феноменів і процесів, а й сформованих на їх основі процедур аналізу об'єктивної дійсності в рамках трудової діяльності людини, як на мікро, так і на макрорівні. Тому будь-яка модель являє собою формальну реконструкцію об'єктивної дійсності для вивчення і спрощеного представлення більш складної форми, яка може покращити розуміння і спростити прогнозування. Лише в процесі моделювання ми можемо сформувати ґрунтовні знання про те, що ж ми досліджуємо. На рис. 1 представлені можливі підходи до моделювання.

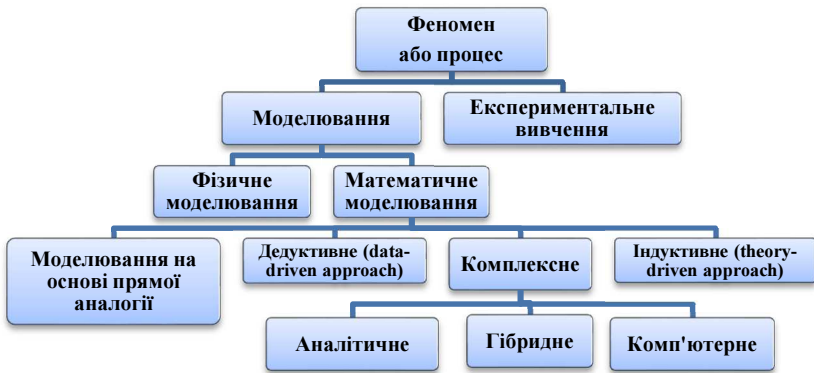


Рис. 1. Підходи до моделювання

Адаптивне управління завжди безпосередньо пов'язане з використанням знань про досліджуваний об'єкт, процес або явище. Формування знань про нього полягає у встановленні об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей і явищ навколишнього світу, які вносять певні зміни в його стан, в рамках однієї або набору взаємопов'язаних моделей. Частина властивостей може бути відома. Інша ж частина властивостей, а також закономірності і явища хоча й існують, але невідомі і можуть бути встановлені в процесі вивчення моделей (рис. 2).



Рис. 2. Адаптивне управління, як знання орієнтовний процес

Будь-яка формалізація передбачає безпосередній опис існуючих властивостей, явищ і закономірностей для визначеного об'єкту дослідження на основі сформованої об'єктивної, універсальної і інтегративної системи понять, для зменшення неоднозначності його тлумачення.

Будь-яке поняття – це цілісна сукупність суджень, в яких щось стверджується про відмітні ознаки досліджуваного об'єкта, ядром якого є судження про найбільш загальні і в той же час істотні ознаки того, що досліджується. У той же час кожне поняття характеризується двома ознаками: обсягом (екстенсіоналом) і змістом (інтенсіоналом). Екстенсіонал поняття – це клас узагальнених в понятті об'єктів. Інтенсіонал поняття – це сукупність істотних ознак, за якими виконано узагальнення в даному понятті, того, що досліджується.

До базових концептів достатніх і необхідних для опису будь-якої предметної області будемо відносити: абстрактний об'єкт і абстрактну подію. Абстрактний об'єкт, як предмет поняття, характеризується набором компонентів, наприклад: категорія і форма елементів, їх взаємне розташування, засоби зв'язку і їх взаємодія, співвідношення розмірів, матеріал та його співвідношення в рамках об'єкта (вагове, процентне, тощо), інші компоненти; і станом, вираженим в якісній або кількісній формі. Абстрактна подія, як предмет поняття, характеризується технологічними засобами: процесом і його призначенням (обробка, спостереження, контроль, тощо), змістом яких є процедури (операції) або їх послідовність, поєднання або режими (температурні, часові, тощо), набором фізичних об'єктів, що приймають в ній участь, місцем і відрізком часу трапляння.

Перш ніж структурувати знання, які відповідають базовим концептам, зробимо наступні припущення:

1) кожному одиницю знань можна представити у вигляді упорядкованого певним чином набору концептів;

2) кожна одиниця знань представляється на основі концептів та має бути індексованою або унікальною.

Подібне структурування найкраще відображається у вигляді онтології, адже будь-яка база модельних знань (БМЗ) прямо або побічно використовує концептуалізацію [2].

Поняття «онтологія» використовується фахівцями в галузі штучного інтелекту з 1991 року, коли Т. Грубер дав йому визначення як «експліцитна специфікація концептуалізації» [3, 4], хоча можна стверджувати, що неявно воно вже використовувалося видатними вченими минулого, такими як Г. Фреге, Р. Декарт, Ч. Ломброзо, К. Дж. Хант, Ч. Чен, які створили базовий інструментарій для структурування предметних областей.

Будь-яка онтологія покликана підвищити об'єктивність, універсальність та інтегративність моделі, відображеної в структурі БМЗ, яка лежить в основі будь-якої інтелектуальної системи і може бути метарівнем для їх інтеграції.

Д. Фінсел [5] ділить онтології на п'ять категорій:

- предметні онтології, що містять знання для конкретної предметної області;

- метаонтології;

- загальні або смислові онтології, що містять загальні знання про світ, такі як час, простір, держава, події, тощо, які можуть бути використані в різних предметних областях;

- представницькі онтології, які забезпечують лише загальне розуміння без вказівки того, що повинно бути представлено (наприклад, фреймова онтологія, яка забезпечує такі поняття як фрейм, слоти і обмеження слота);

- онтології задач і методів їх розв'язання.

Отже, функція інтеграції різнорідних знань з різних предметних областей, коли використовується досвід вирішення одних завдань для інших, є найбільш важливою функцією загальної онтології, якою ми скористаємось для створення метарівня [6]. В цьому і полягає основна відмінність онтологічної моделі. Адже, онтологічна модель є основою для вироблення єдиної, узгодженої, нормативної, однозначної, повної і несуперечливої термінології, яка може використовуватись всіма, хто має відношення до предметних областей в рамках яких проводяться дослідження, не залежно від завдань, які будуть вирішуватися з використанням даної моделі [7].

На рис. 3 представлено один з можливих способів відтворення загальної специфікації концептуалізації для будь-якої предметної області [8].

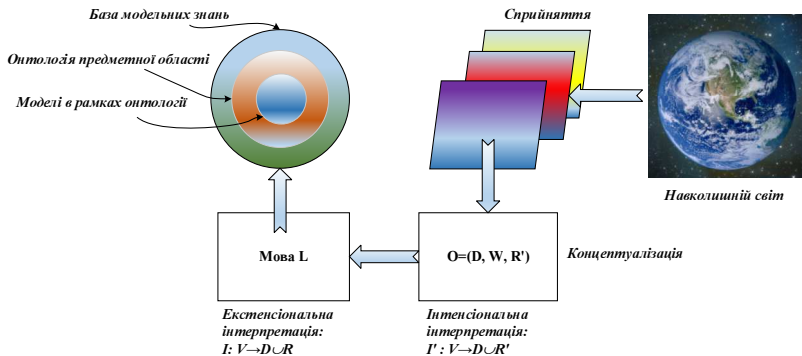


Рис. 3. Структура загальної онтологічної моделі

Нехай предметна область складається з множини об'єктів O які взаємодіють між собою. Тоді кортеж (D, R) – це екстенціональна реляційна структура, де D – множина, яка називається домен (універсум), який містить певну підмножину об'єктів O , а R – множина відношень різної арності на D .

Під системою S , що і являтиме собою загальну концептуалізацію будемо розуміти частину навколишнього світу (предметну область), яку ми намагаємось дослідити і яка при певному рівні деталізації сприймається агентом, зовнішнім по відношенню до системи, у вигляді сукупності змінних, отриманих в результаті спостереження.

Навколишній світ – це лінійно упорядкована множина станів W , яка відображає еволюцію системи у часі. По відношенню до S стан W в якому знаходиться навколишній світ – це унікальні значення змінних, які спостерігаються, і характеризують систему.

Тоді інтенціональним відношенням p^n арності n на (D, W) є функцією $p^n : W \rightarrow 2^{D^n}$ із множини W на множину усіх n -арних екстенціональних відношень на D .

Отже, інтенціональна реляційна структура – це трійка (D, W, R') , де R' – множина інтенціональних відношень між O . Якщо вважати, що унарні відношення незмінні, а бінарні змінюються, то можна специфікувати інтенціональні відношення, як функції. Тому інтенціональна специфікація – це фактично вибір мови і обмеження її інтерпретації шляхом введення набору правил (аксіом). А онтологія – це множина аксіом, призначена для представлення лише тих моделей, які відповідають визначеній концептуалізації.

Тоді, якщо L – мова першого порядку зі словарем V і $S = (D, R)$ – екстенціональна реляційна структура, то екстенціональна структура першого порядку (модель L) – це кортеж $M = (S, I)$, де I – функція екстенціональної інтерпретації $I: V \rightarrow D \cup R$, яка відображає символи словаря V в D або R .

Якщо L – мова першого порядку зі словарем V і $C = (D, W, R')$ – концептуалізація, тоді, інтенціональна структура першого порядку (онтологічне співставлення) – це кортеж $K = (C, I)$, де I' – функція інтенціональної інтерпретації $I': V \rightarrow D \cup R'$, яка відображає символи словаря V в D або R' .

Отже, даний підхід успішно можна використовувати для побудови загальної структури концептів в системах підтримки прийняття управлінських рішень, які базуються на модельно-орієнтованому підході. Суть підходу полягає в побудові абстрактної метамоделі взаємопов'язаних концептів (описує структуру і принципи дії інших моделей в БМЗ) та обміну метаданими між нею та багатопараметричними обчислювальними моделями, які консолідують знання, шляхом поєднання глобальних функціональних залежностей, сформованих в рамках різнорідних предметних областей. Також, цей підхід дасть можливість уніфікувати процес структурної ідентифікації глобальних функціональних залежностей, шляхом перевірки їх відповідності заданій структурі концептів для зменшення немаркованої частоти помилок, завдяки аналізу ймовірності порушень онтології.

Висновки

В роботі розглянуто принципи моделювання загальної онтології концептів БМЗ для модельно-орієнтованих систем підтримки прийняття управлінських рішень, які базуються на керованому знаннями підході (knowledge driven approach).

ЛІТЕРАТУРА

1. Guarino N. Understanding, building, and using ontologies / N. Guarino // International Journal of Human and Computer Studies. – 1997. – № 46(2-3). – P. 907-928.
2. Genesereth M. R., Nilsson N. J. Logical Foundations of Artificial Intelligence / M. R. Genesereth, N. J. Nilsson. – Los Altos: Morgan Kaufmann, CA, 1987.

3. Gruber T. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases / T. Gruber // Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference. – Cambridge, MA, Morgan Kaufmann, 1991. – P. 601–602.

4. Gruber T. A Translational Approach to Portable Ontologies / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. – Vol. 5, No.2. – P. 199–220.

5. Fensel D. Ontology: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce / D. Fensel. – Berlin: Springer-Verlag, 2004.

6. Berners-Lee T. The Semantic Web / T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila // Scientific American, May 17, 2001.

7. Guarino N. Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification / N. Guarino, P. Giaretta. – In N. Mars, editor, Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing. – Amsterdam: IOS Press, 1995. – P. 25–32.

8. Андон Ф.И. Логические модели интеллектуальных информационных систем / Ф.И. Андон, А.Е. Яшунин, В.А. Резниченко. К.: Наукова думка, 1999. – 398 с.

Iryna Zhyriakova – Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkasy, Ukraine; e-mail: irena_zh@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: Artificial Intelligence System, Data Mining, Information Technology Of Multi-Level Monitoring, Decision Support Technology, Multilevel Modeling Of Complex System.

ONTOLOGY MODELING OF THE KNOWLEDGE MODEL BASE GENERAL CONCEPTUAL STRUCTURE FOR MONITORING INTELLECTUAL SYSTEM

Iryna Zhyriakova

Abstract: *Decision-making in many areas is not a trivial task that requires analyzing and data processing a large quantities of information coming from the outside to argumentation this process. Therefore the automation of decision-making is the important task for development any intellectual system, because it means a complex analysis of existing approaches to work with the knowledge and models of their representation. The model of knowledge representation defines the architecture, features, properties of the system, acquisition of knowledge methods and work with them. Therefore, the actual practical task whose solution is proposed in this paper is study the ontology modeling for the formalization and systematization of global functional dependences elements, which are used in decision-making processes for solving local problems, which is based On the information technology of multilevel intelligent monitoring.*

Keywords: *decision-making, knowledge conceptualization, knowledge base, knowledge representation models, inductive and multilevel modeling of multilevel intelligent monitoring complex system.*

ПРИМЕР ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАДИАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ

Николай Истомин, Максим Пантин, Максим Савельев

Аннотация: представлено решение по импортозамещению приборов радиационного контроля Mirion GIM-204.

Ключевые слова: Радиационный контроль, МЭД, гамма излучение, приборы дозиметрического контроля.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках международной технической помощи в Украину и в частности на Чернобыльскую АЭС и Объект «Укрытие» (ОУ) поставлялись импортные приборы и системы радиационного контроля, преимущественно производства компании Mirion. В частности приборы данной компании составляют основу Системы Радиационного Контроля (СРК) Нового Безопасного Конфайнмента (НБК).

При всех своих технических характеристиках, данные приборы имеют один существенный недостаток – высокую стоимость. А в условиях неопределенности с международным финансированием работ по демонтажу ОУ и эксплуатации НБК, данный факт ляжет неподъемным бременем на бюджет Украины.

Таким образом, актуальной задачей становится разработка решений по импортозамещению приборов радиационного контроля. В данном докладе представлено решение по прибору-аналогу измерительного устройства гамма излучения Mirion GIM-204, составляющего основу контроля мощности экспозиционной дозы НБК.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРИБОРУ-АНАЛОГУ

Исходя из факта, что срок службы СРК НБК превышает сроки службы отдельных компонентов (в частности датчиков МЭД) прибор-аналог должен обеспечить полную функционально-эксплуатационную совместимость с существующими приборами типа Mirion GIM204. А именно:

- диапазон измерений;
- совместимый программно-технический интерфейс с СРК НБК;
- локальная аварийная и предупредительная сигнализация;
- стойкость к внешним воздействующим факторам.

Опционально:

- габаритные характеристики расчетно-коммутационного блока с совместимыми местами крепления;
- возможность разделения измерительного и расчетно-коммутационного блока и их раздельной установки;
- местная индикация (доза, отказы и прочее);
- удаленная аварийная и предупредительная сигнализация по месту установки датчика;
- наличие резервного питания от внутренней батареи;
- совместимая система местного управления;
- практически совместимый программно-технический интерфейс (1 RS232, 2 RS484, 1 Ethernet);
- полностью совместимые аналоговые и дискретные входы/выходы;
- совместимость с программным обеспечением Mirion Mass2.

ОСНОВНЫЕ РЕШЕНИЯ

В основу архитектуры прибора-аналога положен модульно-блочный принцип, обеспечивающий гибкость и масштабируемость решения, а также совместимость с существующими и перспективными детекторами и автоматизированными СРК.

Структурно прибор-аналог состоит из следующих компонентов:

- Блок детектирования
- Блок управления
- Блок питания

Блок детектирования

Исходя из предпочтительности к унификации с существующими на ЧАЭС системами контроля, а также на основании положительного опыта эксплуатации в составе СРК ОУ ИАСК, в качестве блока детектирования предлагается использовать прибор БДБГ-09. Данный прибор обеспечивает диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения от 0,05 мкЗв/ч до 10 Зв/ч с относительной основной погрешностью $\pm(15+2/N^*(10))\%$ (где $N^*(10)$ – числовое значение измеренной МАЭД, эквивалентное мкЗв/ч). Эти показатели являются аналогичными Mirion GIM-204. Кроме того, промышленностью Украины выпускаются датчики БДБГ-09 в водостойком исполнении, что существенно расширяет спектр применения будущих приборов.

Тем не менее, разработанный прибор-аналог не ограничен в применении в качестве детектора только БДБГ-09. В настоящее время этап НИОКР проходит ряд перспективных детекторов, разрабатываемых компанией «Интер Атом Инструмент» на основе сцинтилляционных монокристаллов отечественного производства. Решение, на основе детекторов данного типа позволит не только обеспечить измерение МЭД, но и рассчитывать энергетический спектр гамма излучения.

Блок управления

Блок сбора данных

Блок сбора данных выполнен на основе промышленного микроконтроллера и обеспечивает интерфейс детектора и блока обработки данных.

Блок обработки данных

Блок обработки данных выполнен на основе промышленного микрокомпьютера. Блок обеспечивает сбор и накопление данных от детектора; математическую обработку данных (цифровая фильтрация и т.п.); поддержку и обработку архива данных. Данный блок обеспечивает интерфейс к данным со стороны внешних пользователей, а также передачу данных на блок локального отображения (аналитическая панель).

Блок коммутации

Выполнен на базе микроконтроллера, имеет стандартизированный интерфейс с блоком обработки данных и обеспечивает интерфейс с СРК. Таким образом совместимость прибора-аналога с СРК различного типа и производства обеспечивается путем замены единственного блока.

Блок локального отображения данных (аналитическая панель).

Представляет собой промышленный дисплей, на котором отображается текущая МЭД, а также приводятся исторические, аналитические и расчётные данные измерений в наглядной графической форме. Применение аналитической панели – опционально. Ее наличие или отсутствие не влияет на работоспособность системы в целом.

Блок локальной сигнализации

Данный блок представляет собой микроконтроллер, управляющий световой и звуковой сигнализацией, установленной на

блоке управления, а также (при необходимости) внешней сигнализации по месту установки датчика.

Блок реле и аналоговых сигналов

Обеспечивает совместимость с устройством Mirion GIM-204 по дискретным и аналоговым сигналам. Опциональный и не влияет на систему в целом.

Блок питания

Обеспечивает питание блоков детектирования и управления. Выполнен на модульном принципе и, в зависимости от выбранного типа блока, может обеспечить питание устройства от АС 220В, АС 42В, DC 24В. Опционально может комплектоваться батареей, для обеспечения автономного питания.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ВЫВОДЫ

В настоящее время на площадке ГСП ЧАЭС эксплуатируется несколько разнородных систем радиационного контроля, укомплектованных датчиками гамма излучения различных типов. Для ССРК ИАСК ОУ это отечественные датчики типа БДБГ-09, в то время как все “новые объекты” (ЗПЖРО, ПКТРО, ХОЯТ-2, НБК), а также модернизируемая СРК ХОЯТ-1, укомплектована иностранными датчиками типа Mirion GIM-204.

Типовой проектный срок службы систем СРК ЧАЭС составляет 30 лет при замене компонентов. Проектное время до гарантийного ремонта - 10 лет. Таким образом, большинство детекторов Mirion GIM204, поставленных на ЧАЭС для ЗПЖРО и ПКТРО уже выработали ресурс до гарантийного ремонта. Кроме этого, на этапе ПК-2 НБК потребуется значительное расширение СРК ИСУ НБК, в первую очередь в районах производства работ.

В ближайшее время ЧАЭС столкнется с проблемой ремонта, замены и закупки новых детекторов для НБК. Наличие аналога детектора типа Mirion GIM204 с аналогичными функциональными характеристиками, но по меньшей стоимости позволит существенно сократить данную статью затрат для бюджета Украины.

ОБ АВТОРАХ

Николай Истомин – руководитель компании «Интер Атом Инструмент».

Электронная почта: istomin@iai.com.ua

Основные направления исследований: системы радиационного контроля, измерение активности, спектрометрия.

Максим Пантин – главный инженер компании «ДДПро».

Электронная почта: maxim.pantin@digitaldata.pro

Основные направления исследований: разработка программного обеспечения, системы обработки информации, OCR.

Максим Савельев – к.т.н., научный сотрудник Института проблем математических машин и систем НАН Украины.

Электронная почта: mcsim@sitex.com.ua

Основные направления научных исследований: модели жизненных циклов автоматизированных систем, эволюция требований, системный анализ, системы систем, системы поддержки работ по выводу из эксплуатации АЭС.

ANNEX FOR PAPERS WRITTEN IN UKRAINIAN AND RUSSIAN AN EXAMPLE OF IMPORT SUBSTITUTION IN AUTOMATED RADIATION CONTROL SYSTEMS

Nikolay Istomin¹, Maxim Pantin², Maxim Saveliyev³

¹ Inter Atom Instrument, Ukraine

² Digital Data Pro, Ukraine

³ Institute of Mathematical Machines and Systems Problems NAS of Ukraine

Abstract: A solution for the import replacement of radiation monitoring devices for needs of New Safe Confinement is described.

Keywords: Radiation monitoring, DER, gamma radiation, dosimetry monitoring devices.

МОНІТОРИНГ ЗАБРУДНЕННЯ ¹³⁷Cs ГРИБІВ ПОЛІССЯ І ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

Ілленко В.В.

Національний університет біоресурсів

і природокористування України, Київ.

e-mail: illienkovv@gmail.com

Косачевський А. О., Косачевська Н. Ф.

школа І-ІІІ ступенів №111 ім. С.А. Ковпака, Київ.

Штурка Н. Ф., Паренюк О. Ю., Рубан Ю. В., Нестерова Н. Г.,

Шаванова К. Є., Гудков І. М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

За більше, ніж 32 роки після аварії на Чорнобильській АЕС ситуація на територіях, що піддалися забрудненню радіоактивними ізотопами покращилася в значній мірі. Але і дотепер залишаються окремі місця (крім зони Відчуження), де отримана

населенням продукція може перевищувати допустимі рівні забруднення радіонуклідами (ДР-2006). Зокрема до таких територій можна віднести північні частини Київської, Житомирської та Рівненської областей. Серед критичних продуктів можна виділити наступні – молоко, м'ясо, свіжі листові салати та продукція лісового господарства (гриби, ягоди, м'ясо диких тварин).

Нашим припущенням було те, що за час, який пройшов після Чорнобильської катастрофи, на тлі загального покращення ситуації залишаються території де рівень забруднення радіонуклідами грибів перевищує допустимі значення. Для підтвердження цього ми відібрали гриби з різних місць Київської, Житомирської, Полтавської та Черкаської областей та визначили в них вміст радіоактивного ^{137}Cs . Були використані радіометричні та загальнобіологічні методи дослідження.

Оскільки використання у їжу зібраних місцевим населенням грибів може обумовлювати надходження значної кількості радіонуклідів до організму людини, нами було вирішено провести моніторинг вмісту ^{137}Cs в грибах поблизу с. Володимирівка, Київської області, в місці, що є досить популярним серед місцевих жителів (Т1). Гриби з цієї точки були відібрані наступні: польські, піддубники, мухомори. Також відібрали проби ґрунту з двох точок, а саме: на відстані 100 м від дороги та з середини лісового масиву (Т1а і Т1б). Крім того, для перевірки на вміст ^{137}Cs було проаналізовано гриби з с. Соснівки, Київської області – польські, рижики (Т2), с. Антоніна, Черкаської області – опеньки (Т3), с. Макалевичі, Житомирської області – польські (Т4), с. Ярьські, Полтавська області – маслоки (Т5), с. Красківське, Чернігівської області – маслоки (Т7) та в рамках робіт кафедри радіобіології та радіоекології в зоні Відчуження Чорнобильської АЕС була надана можливість проведення вимірювань кількох проб грибів з високим вмістом радіонуклідів, відібраних в зоні Відчуження ЧАЕС (Т6а, Т6б, Т6в).

У відібраних пробах плодових тіл грибів була визначена питома активність ^{137}Cs . Також були взяті проби ґрунту для подальшого дослідження. Проведений експеримент з очищення забруднених радіонуклідами грибів від ^{137}Cs шляхом багаторазового виварювання.

Аналізуючи результати вимірювання питомої активності ^{137}Cs в свіжих грибах можна відзначити, що найнижчою вона була у опеньках відібраних в ТЗ – 52 ± 6 Бк/кг, а найвищою у маслюків з Т6а – 39806 ± 2435 Бк/кг, найвища питома активність радіонукліда в грибах відібраних на території, що не належить до відселених після аварії на Чорнобильській АЕС та на яких дозволено збирання – піддубники з Т1а 2720 ± 165 Бк/кг. Перевищення ДР-2006 (500 Бк/кг) зафіксовано для 7 проб з 12 відібраних для вимірювання. Чотири проби в яких зафіксовано перевищення були відібрані з територій де населення може вільно збирати гриби для подальшого вживання в їжу.

Відомо, що відварювання грибів дозволяє значно знизити рівень забруднення радіонуклідами. Для відслідковування інтенсивності даного процесу відварювали проби протягом 10 хв, дворазово змінюючи воду. Відвар з грибів забирали в окремі ємності для подальшого вимірювання. За результатами вимірювань було відмічено, що після дворазового кип'ятіння рівень забруднення грибів ^{137}Cs знижується від двох до чотирьох з половиною разів. Відповідно до результатів експерименту спостерігали закономірність – питома активність відвару та грибів у процесі кип'ятіння вирівнюється, хоча це й не було відмічено для кожної проби. Також варто відмітити, що в грибах, з дуже високим вмістом ^{137}Cs і перевищенням допустимого рівня майже у 80 разів, після багаторазового проварювання (5 разів) питома активність ^{137}Cs перевищувала допустимий рівень трохи більше, ніж в 2 рази. А найбільш істотне зниження вмісту ^{137}Cs відмічено після триразового відварювання, що підтверджується літературними даними. Подальше повторення процедури є неефективним.

У результаті наших досліджень гіпотеза, щодо перевищення допустимих рівнів ^{137}Cs у деяких грибах підтвердилась. Оскільки карта радіоактивного забруднення лісів має досить мозаїчний характер, варто звертати увагу на місце збирання грибів. Особливо варто враховувати цей факт жителям м. Києва та Київської області, що виїжджають на «тихе полювання» до лісів Вишгородського району. Для попередньої оцінки рівня забруднення ґрунту на території де планується збір грибів ми рекомендуємо використовувати карту забруднення території України ^{137}Cs , яка є у вільному доступі в мережі Internet.

Ключові слова: ^{137}Cs , забруднення радіонуклідами грибів, питома активність, Чорнобильська АЕС.

MONITORING OF MUSHROOMS POLLUTION BY ^{137}Cs IN POLISSEYA AND FOREST-STEPPE REGION OF UKRAINE

*Illienko V., Kosachevsky A., Shpyrka N., Kosachevskaya N.,
Pareniuk O., Ruban Y., Nesterova N., Shavanova K., Gudkov I.*

The purpose of the present work is to determine the level of radionuclide pollution and the suitability for eating of various species mushrooms collected in the forests of northwest and central Ukraine. As a result of our research, the hypothesis regarding the permissible levels of ^{137}Cs in some mushrooms has been confirmed. The excess of PL-2006 was fixed for 7 samples from 12 selected for measurement. Four samples in which the excess was recorded were selected from areas where the population can free collect mushrooms for further eating. Since the map of radioactive contamination of forests has a rather mosaic character, it is worth paying attention to the place of collecting mushrooms. Particular consideration should be given to the residents of Kyiv and the Kyiv region, who go to the "quiet hunting" to the forests of the Vyshgorod district. For preliminary assessment of the level of soil pollution in the territory where the collection of mushrooms is planned, we recommend using the map of contamination of the territory of Ukraine by ^{137}Cs , which is available on the Internet.

Keywords: ^{137}Cs , radionuclide contaminated mushrooms, specific activity, Chernobyl NPP.

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Казимиров А.С., Беккер Б.И., Евсеев В. Р.,
Иевлев С.М., Качалин И.Г., Чорный Е.В.*

Аннотация. *Рассматриваются возможности организации и проведения характеристики радиоактивных материалов для сортировки на радиоактивные отходы (РАО) и потенциально радиоактивные материалы (ПРМ). Эти материалы в дальнейшем могут быть освобождены от регулирующего контроля. Это требуется как для действующих АЭС, так и при снятии с эксплуатации объектов атомной энергии. Представлены предложения по созданию установки для освобождения ПРМ от регулирующего контроля. Эти предложения основаны на уже апробированных НПП "АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР" технических решениях и методических разработках.*

Авторы предлагают для обсуждения логистическую схему характеристики материалов. Она ориентирована, прежде всего, на низкоактивные РАО. Набор технических средств, предусмотренный такой схемой, обеспечивает возможность определения радиационных характеристик на уровнях, достаточных для оценки соответствия критериям освобождения.

Радиоактивные отходы (РАО) возникают на всех этапах использования радиоактивных веществ и ядерных технологий: при добыче и переработке урановых и ториевых руд, изготовлении,

использовании и переработке ядерного топлива, применении радиоактивных веществ, радиоизотопных приборов и источников ионизирующего излучения в медицине, промышленности, научных исследованиях и т.п. Они представляют собой источник повышенной опасности для населения и окружающей среды. Главной целью обращения с РАО [1] является минимизация их потенциальной опасности.

При этом следует отметить, что основная доля радиоактивных материалов относится к категории низкоактивных РАО. Часть ПРМ может быть освобождена от регулирующего контроля, что снизит нагрузку на хранилища.

В настоящее время установлен порядок освобождения от регулирующего контроля для материалов в твердом виде [2] и уровни освобождения по критерию удельной активности [3].

Внедрение этих требований в практику требует разработки документов в соответствии с [2], а именно установление основного порядка подготовки материалов к освобождению, выполнению измерений, подтверждающих соответствие материалов критериям [3], оформлению необходимых документов.

На протяжении многих лет АКП принимал участие в аппаратном и методическом обеспечении в направлении характеристики РАО. Так нами разработан и внедрен СТП НАЭК «Энергоатом» [4], которым был определен порядок проведения измерений характеристик упакованных низко- и средне активных РАО [5] с помощью нашей установки СЕГ-001м «АКП-С»-ТРО (рис. 1).

Еще одним шагом в развитии методического обеспечения явилась разработка и внедрение методики косвенного определения удельной активности радиоизотопов ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах объектов окружающей среды зоны отчуждения ЧАЭС [6] на основании результатов измерения удельной активности реперных радионуклидов ^{90}Sr и ^{154}Eu и установленных для реперных радионуклидов весовых коэффициентов. Удельные активности реперных радионуклидов определяются с помощью серийных сцинтилляционных спектрометров энергий бета-гамма-излучений типа СЕБ-01 и СЕГ-001 с программным обеспечением AkWin производства АКП (рис.2).



Рис. 1. Установка СЕГ-001М «АКП-С»-ТРО



Рис. 2. Сцинтилляционные спектрометры энергий бета-гамма-излучений типа СЕБ-01 и СЕГ-001

Помимо этого, АКП имеет и другие разработки - утвержденную методику выполнения измерений [7], спектрометр энергий гамма-излучения СЕГ- 001 «АКП- С» «КЕРН» (рис. 3), который может использоваться для радиационного контроля металла в виде труб и длинномеров.

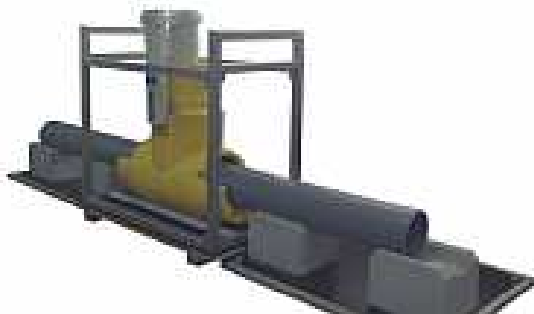


Рис. 3. Спектрометр энергий гамма-излучения СЕГ-001 «АКП-С» «КЕРН»

В рамках европейского проекта U4.01/10BE в 2014-2016 годах АКП принимал участие в разработке проекта методологии освобождения материалов от регулирующего контроля, которая рекомендована как базовый проект по созданию системы освобождения ПРМ.

В настоящее время основным источником РАО Украины являются действующие АЭС. НАЭК «Энергоатом» разработал документ [8], в котором уделено много внимания вопросам определения характеристик РАО действующих АЭС.

В последнее время АКП принимает участие в обсуждении проекта концепции НАЭК «Энергоатом» по созданию участка сортировки ПРМ для подготовки к освобождению от регулирующего контроля. Внедрение такого процесса потребует определенных организационных и технических усилий.

Нами предлагается следующая последовательность операций. Соответствующий более детальный проект находится на обсуждении в НАЭК «Энергоатом».

Первым этапом является подготовка материалов к измерениям в зоне строгого режима. Сейчас это производится с помощью стандартных дозиметров по критерию не превышения контрольных уровней и МЭД. Однако это недостаточно показательный метод по сравнению со спектрометрией гамма-излучения.

Мы предлагаем проводить поиск радиационных аномалий путем ручного сканирования порции материала на поверхности стола с помощью прибора ПРС-01 (рис. 4) [9]. Этот прибор по сути является портативным спектрометром, который имеет дополнительные функции выявления радиационных аномалий.



Рис. 4. ПРС-01

Следующим этапом предлагается проведение углубленной сортировки по радиационным характеристикам.

Это стол, на который выгружаются материалы, выделенные на первом этапе сортировки как такие, которые потенциально могут быть освобождены от регулирующего контроля.

Под поверхностью стола размещены 4 одинаковых детектора (рис.5). Площадь стола – 1 м². Стол графически разделен на 4 части, каждая из которых отмечена соответствующим номером от 1 до 4. Каждый детектор просматривает свой участок стола. В стол могут быть встроены весы для определения массы сортируемого материала. Управление установкой осуществляется компьютером.

Установка является индикаторной. Она выявляет радиационные аномалии. Результаты контроля показываются на графическом дисплее в цветовом виде для каждого сегмента отдельно. Кроме этого выводится оценка ориентировочной удельной активности материала по одному или нескольким реперным радионуклидам в каждом секторе и оценка ее соответствия установленным рабочим уровням. На этот же дисплей выводится служебная информация, необходимая для управления установкой.

Такая подготовка должна обеспечить выполнение требований по однородности материала в соответствии с п. 4.3 [3] и снизить загрузку установки по освобождению.

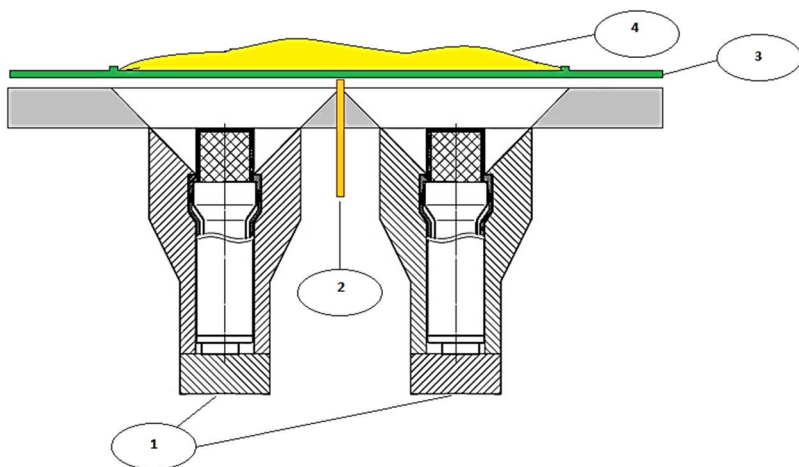


Рис. 5. Поперечное сечение установки сортировки:

*1 – сцинтилляционные детекторы гамма – излучения NaI (Tl) Ø 63×63 мм;
2 – датчик весов; 3 – рабочий стол для сортировки; 4 – сортируемый материал*

Последним этапом является контроль на установке по освобождению. Она должна находиться на контролируемой территории АЭС вне зоны строго режима. Туда поступают два потока материалов в стандартных упаковках – предварительно отсортированные по радиационным и физико-химическим свойствам материалы из зоны строгого режима и отсортированные по физико-химическим свойствам материалы из других источников на территории АЭС, например, строительный мусор от ремонта помещений.

Перед измерениями контейнеры с материалом взвешиваются для определения нетто веса. На рисунках 6 и 7 показано возможное техническое решение по установке по освобождению.

Установка будет оснащена 2 основными NaI (Tl) Ø 63×63 мм детекторами, и опционный HPGe детектор с относительной эффективностью около 30%.

Установка определяет удельную активность материалов с применением метода весовых коэффициентов. При этом основным назначением HPGe детектора является подтверждение нуклидного вектора материала.

Ожидаемое время измерений одного контейнера – не более 15 мин.

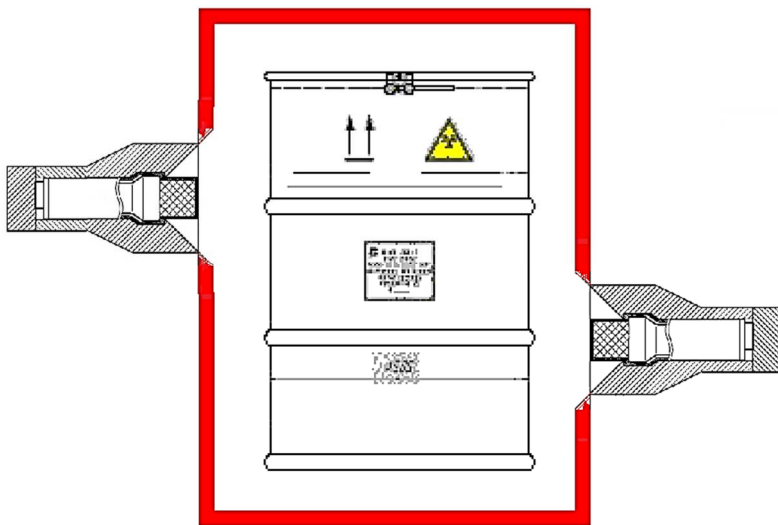


Рис. 6. Установка по освобождению. Вид спереди

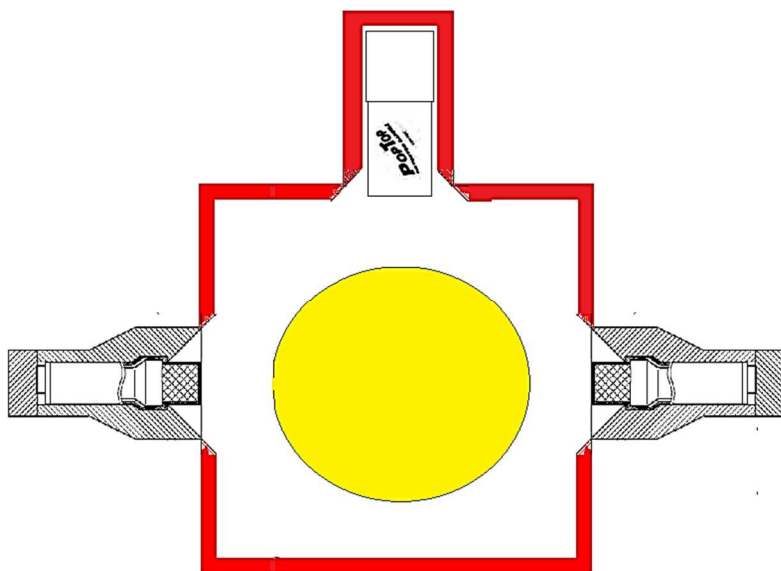


Рис. 7. Установка по освобождению. Вид сверху

Программное обеспечение установки позволяет формировать паспорта на партии материала в форме, требуемой регулирующим органом.

Таким образом, в Украине уже есть собственные наработки и значительный опыт характеристики РАО и освобождения материалов от регулирующего контроля. Это является хорошей базой для дальнейшего развития направления с обращения с РАО и освобождения радиоактивных материалов от регулирующего контроля. Данное направление может быть развито и для направлений деятельности на предприятиях РАДОН и урановых объектах, которые достаточно актуальны.

Список литературы

1. Закон України «Про поводження з радіоактивними відходами» від 30.06.1995.

2. НП 306.4.159-2010 «Порядок звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю у рамках практичної діяльності».

3. Гігієнічні нормативи «Рівні звільнення радіоактивних матеріалів від регулюючого контролю» затверджені постановою головного санітарного лікаря України від 30.06.2010 № 22.

4. СТП 0.03.051-2004. Стандарт предприятия. Твердые радиоактивные отходы. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА. Общие положения.

5. Тверді радіоактивні відходи. Активність та ізотопний склад. Типова методика виконання вимірювань з використанням сцинтиляційних спектрометрів НВП "АКП" та програмного забезпечення AkWin/АК1-П. МВИ №7-27-05.

6. Удельная активность радионуклидов плутония в пробах объектов окружающей среды Зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Методика косвенных измерений с использованием сцинтилляционных спектрометров гамма-, бета-излучений с программным обеспечением AkWin. МВИ 06-03/11.

7. «Определение активности естественных радионуклидов в объектах окружающей среды». Методическое пособие. Научно-производственное предприятие «АКП». Киев, 1992.

8. «Комплексна програма поводження з радіоактивними відходами у ДП «НАЕК «Енергоатом» ПМ-Д.0.18.174-16.

9. А.С. Казимиров, Г.Ф. Казимилова, Л.Б. Мартынюк, С.М. Иевлев, Е.В. Черный. Приборы для контроля радиационной безопасности на предприятиях ядерно-энергетического комплекса. Материалы

научно-технической конференции «Проблеми поводження з радіоактивними відходами в Україні», 11-й міжнародний виставочний форум «Технология защиты-2012», ГК «Украинское государственное объединение «Радон», Киев, 2012 – 111 С, с.68-78.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Казимиров А.С., Беккер Б.И., Иевлев С.М., Качалин И.Г., Чорный Е.В. – ООО НПП «АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР», г. Киев.

02660 г. Киев, ул. Магнитогорская, 1. e-mail akr@akr.kiev.ua

Евсеев В. Р. - Национальный Научный Центр «Институт метрологии», г. Харьков,

61002, г. Харьков, ул. Мироносицкая, 42.

vladimir.evseev@metrology.kharkov.ua

Annex for papers written in Ukrainian and Russian

Анотація.

Розглядаються можливості організації та проведення характеризації радіоактивних матеріалів для сортування на радіоактивні відходи (РАВ) і потенційно радіоактивні матеріали (ПРМ). Ці матеріали в подальшому можуть бути звільнені від регулюючого контролю. Це потрібно як для діючих АЕС, так і при знятті з експлуатації об'єктів атомної енергії. Представлені пропозиції по створенню установки для звільнення ПРМ від регулюючого контролю. Ці пропозиції засновані на вже апробованих НВП "АТОМКОМПЛЕКСПРИЛАД" технічних рішеннях та методичних розробках. Автори пропонують для обговорення логістичну схему характеризації матеріалів. Вона орієнтована, перш за все, на низькоактивні РАВ. Набір технічних засобів, передбачений такою схемою, забезпечує можливість визначення радіаційних характеристик на рівнях, достатніх для оцінки відповідності критеріям звільнення.

Annotation

The authors examine the potential of conducting and organizing the radioactive materials' characterization for later sorting to radioactive wastes (RW) and potentially radioactive materials (PRM). These materials may be subsequently released from regulatory control. This is required both for operating NPPs and for nuclear objects under decommissioning. We present the proposals to establish a facility for the PRM free release. The proposal is based on the RPE "АТОМКОМПЛЕКСПРИБОР" tested technical solutions and methodical developments.

Authors propose for discussion the materials' characterization logistics scheme. The system is primarily designed for low level RW. The set of technical means proposed in this system provides for the possibility to measure the radiation parameters on the levels, which are enough for assessing the compliance with free release criteria.

ASSESSMENT OF RADIATION SITUATION IN GROUND-LEVEL AIR NEAR THE OBJECT "UKRYTTYA" IN PERIOD OF CONSTRUCTION OF NEW SAFE CONFINEMENT "ARKA"

A.K. Kalynovskyi, V. A. Krasnov, O.V. Filippov, E.O. Makovskyi
Institute for Safety Problems of NPP of NASU, Chernobyl, Ukraine

Abstract: Important component in assessing radiation safety of personnel during work being carried out near the Shelter Object (SO) (its local area) and pollution of environment are the data of long-term monitoring of radioactive aerosols (RA) (1998–2018), which are presented in the article. The composition of RA in surface air layer of local area included long-lived nuclides (LLN) of Chernobyl genesis: $\Sigma\alpha$ -LLN ($^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$, ^{241}Am) and $\Sigma\beta$ -LLN (^{137}Cs , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{241}Pu).

Main worsening of aerosol situation in the air of SO local area was due to radioactive dust resuspension. First, during earthwork from surface of ground at building foundation strips of New Safe Confinement's "Arch" (NSC) in 2010. During this period, average annual volumetric activity of Σ -LLN increased to 80 mBq/m³, with weekly maximum activity of $\Sigma\alpha$ -LLN was 6 mBq/m³ and $\Sigma\beta$ -LLN – 520 mBq/m³. Second, when dismantling concrete and metal structures of Shelter in 2016, average annual volumetric activity of Σ -LLN was 62 mBq/m³, and weekly maximum activity $\Sigma\alpha$ -LLN reached 18 mBq/m³ and $\Sigma\beta$ -LLN – 1400 mBq/m³.

In addition, it was shown that average activity Σ LLN in air near the SO in 90s end was approximately 17 mBq/m³, after shutdown of Chernobyl NPP power Unit 3 and implementation of stabilization measures resulted two-fold decrease in RA volumetric activity in local area and NSC "Arch" commissioning in 2018 resulted in a ten-fold decrease of Σ LLN volumetric activity (1,8 mBq/m³).

Keywords: monitoring of radioactive aerosols, long-lived nuclides, volumetric activity, New Safe Confinement.

ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ В ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ ПОВІТРЯ ПОБЛИЗУ ОБ'ЄКТУ "УКРИТТЯ" В ПЕРІОД БУДІВНИЦТВА НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТУ "АРКА"

О. К. Калиновский, В. О. Краснов,
О. В. Филиппов, Е. О. Маковский

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины,
Чернобыль, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, Украина 07270,

Важливою складовою оцінки радіаційної безпеки персоналу при виконанні робіт поблизу об'єкта "Укриття" (ОУ) та забруднення навколишнього середовища є результати довгострокового моніторингу радіоактивних аерозолів (РА) (1998–2018 рр.) які представлені у статті. До складу РА приземного шару повітря локальної зони включали довгоживучі нукліди (ДЖН) чорнобильського генезу: $\Sigma\alpha$ -ДЖН ($^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$, ^{241}Am) і $\Sigma\beta$ -ДЖН (^{137}Cs , $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{241}Pu).

Основне погіршення аерозольної ситуації в повітрі локальної зони ОУ відбувалось за рахунок вторинного підйому радіоактивного пилу. По-перше, з поверхні землі під час земляних робіт при будівництві фундаментних смуг Нового безпечного конфайнменту «Арки» (НБК) у 2010 році. В цей період середньорічна об'ємна активність Σ ДЖН збільшилася до 80 мБк/м³, щотижнева максимальна активність $\Sigma\alpha$ -ДЖН досягала 6 мБк/м³, а $\Sigma\beta$ -ДЖН - 520 мБк/м³. По-друге, при демонтажі бетонних і металевих конструкцій Укриття в 2016 році, коли середньорічна об'ємна активність Σ ДЖН становила 62 мБк/м³, а щотижнева максимальна активність досягала $\Sigma\alpha$ -ДЖН - 18 мБк/м³ і $\Sigma\beta$ -ДЖН - 1400 мБк/м³.

Крім того, було показано, що в кінці 90-х років середня активність ДЖН в повітрі поблизу ОУ складала приблизно 17 мБк/м³, потім зупинка 3-го енергоблоку Чорнобильської АЕС і впровадження стабілізаційних заходів призвели до дворазового зменшення об'ємної активності РА в локальній зоні, а введення в експлуатацію «Арка» НБК у 2018 році зумовило десятикратне зменшення об'ємної активності ДЖН (1,8 мБк/м³).

Ключові слова: моніторинг радіоактивних аерозолів, довгоживучі нукліди, об'ємна активність, новий безпечний конфайнмент.

Introduction

The accident occurred at Chernobyl NPP in 1986 was the most severe in nuclear power engineering and a turning point in the area of improvement of ecological safety of nuclear cycle objects and reduction of environmental radioactive contamination level. The «Shelter» Object (SO) built in 1986 over ruined power Unit 4 ChNPP did not provide reliable and secure place for huge amount of fuel-containing materials located inside it. That is why under impact of natural factors the FCM degradation occurs with producing radioactive dust, which is capable to resuspension. The contribution of radioactive releases from SO in 90-s into contamination of ground-level air was evaluated within the limits of 70 – 95 %.

To provide radiation safety for personnel at different stages of «Shelter» object conversion and adequate estimates of SO radioactive releases' impact onto environmental contamination, radioactive aerosols (RA) monitoring was realized in ground-level air of «Shelter» object, which included information on aerosol content, activity and dispersity.

Aerosol sampling facilities within SO local area

RA of ground-level air were sampled by three aspiration units placed along local area periphery (see Fig. 1). The local area is an enclosed territory around the SO, and when staying in this place the staff should use individual protection gears for respiratory bodies.

The aerosols were precipitated on FPP-15-1,5 filters with around 0,8 m² square. Filtration rate made 8 000 - 12 000 m³/day. Sampling period was within the range of 13 – 17 days, and under realization of radiation-hazardous work, it reduced to 4 - 7 days.

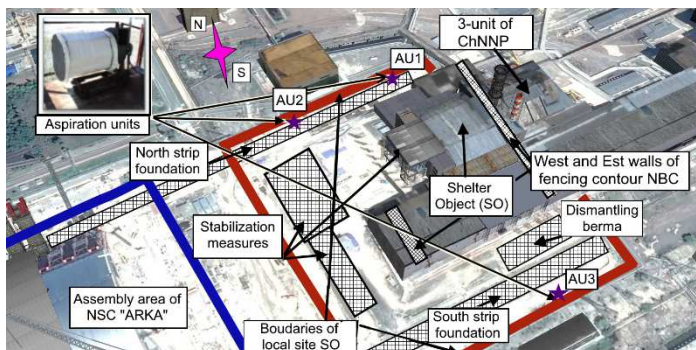


Figure 1. Scheme of layout in SO local area of RA sampling points and work realization places during NSC "Arch" construction

Gamma-spectrometry determination of content and volumetric activity of radionuclides in aerosols

The content of controllable long-lived nuclide (LLN) (whose contribution in aerosol activity makes more than 1 %) in local area RA from 2000 year after SLN (short-lived nuclide) decay, up to present moment is, practically, constant: $\Sigma\alpha$ -LLN includes: $^{238+239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am , and $\Sigma\beta$ -LLN – ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{241}Pu . Determination of radionuclide content of aerosols was carried out with using γ -spectrometry complex consisting of high-definition semiconductor detector with beryllium window. Dynamics of input in RA summary γ -activity of nuclides detected in aerosols is shown in Fig. 2. Input of ^{137}Cs activity in summary γ -activity in 1990 year made around 47%, in 2005 it reached the maximum (97%) and later begun dropping. The share of ^{241}Am is growing each 5 years at approximately 0,6%: in 1990 it made around 0,2 %, in 2015 it grew up to 3,2 %, and in 2050 it would make around 8 %. The ratio of ^{137}Cs , ^{241}Am and ^{154}Eu in samples indicates transformation degree of fuel matrix and possible use of correlation approach in estimating concentration of plutonium isotopes and ^{90}Sr .

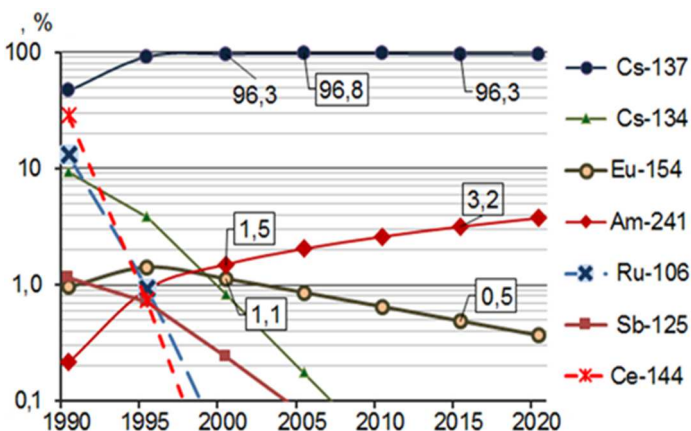


Figure 2. Contribution (%) of γ -emitting nuclides in RA activities

According to many-year results it was stated that radionuclides ratio in aerosols are close to theoretical values of nuclide activities averaged on all reactor core of power Unit 4 at accident moment (base fuel content of power Unit 4). Therefore, to operatively estimate ^{90}Sr and plutonium ($^{238,239,240,241}\text{Pu}$) isotope activities in aerosols and particles, since the mid-1990s the correlation ratio with ^{137}Cs and ^{241}Am activities was, accordingly, used, as based on their ratio in base content of irradiated fuel. The validity of such approach was confirmed by the results of special experimental works realized in 1999 year [1,2].

Analysis of radionuclides ratio in aerosols carried out in 2013-2014 years had demonstrated that fuel particle transformation was in progress. Thus, to reduce the error in ^{90}Sr activity evaluation under correlation method, their ratio with ^{241}Am activity should be only used [3].

Results of RA monitoring in ground-level air at stage of NSC «Arch» construction

An important constituent in assessing internal exposure doses of personnel is annual average volumetric activity of LLN calculated of RA monitoring data. The dynamics of annual average concentration of Σ -LLN in air over 1998 - 2018 period is presented in Fig. 3. To forecast Σ -LLN concentrations on monitoring data, a trend line was built, $C_{ce}(t) = (0,014 \pm 0,003) \cdot \exp(-t/(3,3 \pm 0,6)) + (0,005 \pm 0,0009)$, where t – amount of years from survey start. To provide data homogeneity, regression analysis includes only those years, when inten-

sive technology works (1998 - 2004, 2006, 2007, 2011 years) were not realized. Besides, average approximation error is equal to 15 %. The greatest deviations from forecast values (ten-fold excess) were registered in periods of earthwork (2009, 2010 y.) realization and SO structures dismantling (2016).

Time analysis of dynamics allows separating four periods of SO conversion into an ecologically safe system (see Fig. 3).

First period – 1998 – 2000 years, when ChNPP's last power Unit 3 had been operated and dust suppression system was working over Central Hall only. At the same time, average Σ -LLN concentration made 17 mBq/m³.

Second period – 2001 – 2007, stage of realization of stabilization measures (see Fig. 1) to provide stability of unstable building structures of ruined building of power Unit 4. On top of that, creation and commission of modernized dust suppression system to reduce unorganized RA releases through SO cracks and holes. Annual average concentration of Σ -LLN made 7,4 mBq/m³.

Third period - 2008 – 2017, construction of foundation strips, mounting NSC structure and NSC commission (see Fig. 1). Growth in RA concentration of local area air in 2008 year was linked to realization of work for dismantling «berm» within the area of southern «pilot» wall (see Fig. 1), and Σ -LLN concentration grew at an order. In 2009 - 2010 period, as result of dust rise during radioactive ground treatment under arrangement of NSC foundation strips, RA concentrations in local area air rose even more (see Fig. 1). Maximum Σ -LLN concentration in 2010, equal to 0,51 mBq/m³ was fixed to local area south from May 31 to June 16. After earthwork was completed in 2010, annual average concentration in 2011 dropped to 5,3 mBq/m³. The next growth in RA concentration to 62 mBq/m³ was observed in 2016 during the work to dismantle SO concrete and metal structures and erection of eastern and western walls of NSC enclosure contour. Average Σ -LLN concentration over all third period made 25 mBq/m³ [4, 5].

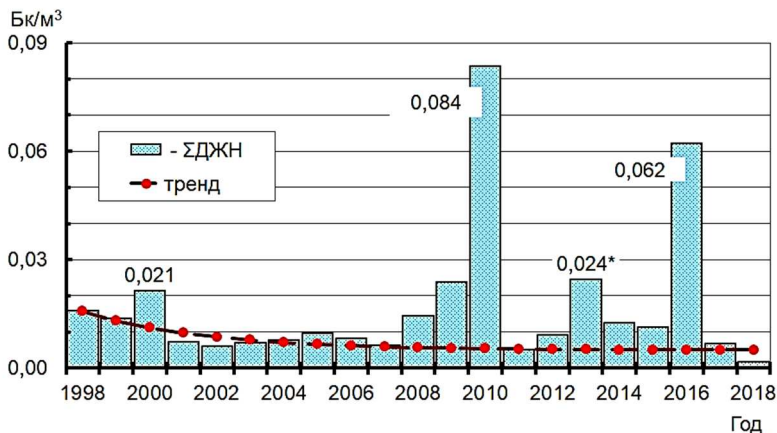


Figure 4. Dynamics of mid-annual concentration of $\Sigma\beta$ -LLN in ground level air of SO local area

The fourth period came in 2018 after the NSC commission. Thus, annual average volumetric activity of Σ -LLN in ground-level air dropped to 1,8 mBq/m³, that is about three times less than forecast value of 5 mBq/m³, and an order below the concentrations observables before NSC construction was started. Such a difference is associated with the fact that the trend line was considering the input in aerosol situation of SO radioactive release, which after NSC commission are, practically, absent.

On results of researched disperse content of RA near the SO it was stated that aerosol-containing radionuclides of Chernobyl genesis correspond to coarsely dispersed fraction, and their aerodynamic diameter (AMAD) is within the limits of 3 – 10 mkm. With extended intensity of works to remove the ground and to dismantle building structures, AMAD value grows. The exception is hot works (welding and cutting of metal), under which an increase in tenfold submicron component of ¹³⁷Cs is registered, that is explained by ¹³⁷Cs sublimation under high temperatures and next precipitation on submicron aerosol.

Conclusion

The analysis made of results of long-term monitoring of radioactive aerosols (1998 – 2018 years) allowed making important findings in assessing radiation safety work near the SO.

1. Major exacerbation in aerosol situation of SO's local area air, when RA volumetric activity grew by ten times as compared to early years of the twenty first century, is linked to radioactive dust resuspension from ground surface when realizing earthwork to build foundation strips of NSC «Arch». In this period in 2010, maximum annual average concentration of Σ -LLN equal to 0,08 Bq/m³ was registered.

2. Shutdown of power Unit 3 and realization of stabilization measures contributed in around two-fold reduction in PA volumetric activity in local area.

3. In 2018 year, NSC «Arch» commission entailed ten-fold reduction of RA activity in aerosols near the SO, as compared to the last days of 90-s. Annual average volumetric activity of Σ -LLN made 1,8 mBq/m³. On top of that, it will continue to drop in accordance with ordering of adjacent territory, accumulation of radioactive particles by environmental objects, radioactive decay and, the main, absence of radioactive releases from the SO.

Reference

1. A.A. Borovoi, A.A. Dovbenko, M.V. Smolyakina, A.A. Stroganov Definition of fuel nuclear-physical properties of ChNPP Unit 4. IBRAE USSR AS., - Inv. No52/11-20.- Moscow, 1991.

2. C.H. Begichev, A.A. Borovoi, E.B. Burlakov, S.L. Gavrilov, etc. Fuel of ChNPP Unit 4 (brief reference-book).– Moscow 1990.-page 21. (Preproject./ IAE, named after I.V. Kurchatov ; No 5268/3).

3. A. K. Kalynovsky, O. O. Odintsov, L. B. Chikur Fractionation of radionuclides in aerosols local area object "Ukrytyya" by results radiochemical separation // Problems of nuclear power plants and of Chornobyl. - 2016. - V. 26. - P. 90 – 96.

4. A.K. Kalynovsky, V. A. Krasnov, B. I. Ogorodnikov Radioactive aerosols in the local area of "Ukrytyya" object during 2009 – 2010 // Problems of nuclear power plants and of Chornobyl. - 2011. - V. 17. - P. 106 – 112.

5. V. K. Shynkarenko, V. O. Kashpur, G. G. Skorjak, A.K. Kalynovsky Assessment of aerosol radiation situation on industrial platform ChNPP during work on building a new safe confinement // Problems of nuclear power plants and of Chornobyl. - 2016. - V. 27. - P. 58 – 66.

ІНТЕГРУВАННЯ ДОВКІЛЬНИХ ПРІОРИТЕТІВ ТА ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІНИ КЛІМАТУ В ПЛАНУВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД І ТЕРИТОРІЙ

Карамушка В.І.

Національний університет «Києво-Могилянська Академія», Київ
vkarama2011@gmail.com

Бойченко С.Г.

Інститут геофізики імені С.І. Субботіна НАН України, Київ
uaclimate@gmail.com

INTEGRATION OF ENVIRONMENTAL AND CLIMATE CHANGE PRIORITIES INTO PLANNING SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF COMMUNITIES AND TERRITORIES. The paper is focused on the features of the methodology of environmental priorities integration into planning and implementing activities at the level of local communities and territories. Reaction on the climate change tendencies in the processes of the strategic planning is discussed as an important component of planned activities.

Ми розуміємо сталий розвиток громад і суспільства як розвиток, що спрямований на задоволення зростаючих, переважно соціальних, потреб людей за рахунок їх економічної діяльності в рамках екологічної ємності природного середовища. Сталий розвиток – це перш за все прагнення гармонізації тих сфер, які за природою не можуть бути гармонізовані: задоволення потреб людини потребує ресурсів і засобів існування і розвитку, які генерує економіка, а для зростання економіки потрібні природні ресурси, які обмежені й в значній масі не відновні.

В таких умовах планування розвитку громад є необхідним механізмом, ігнорування якого приводить лише до гальмування суспільного розвитку. Практично кожне місто чи область України мають свої короткотермінові плани соціально-економічного розвитку або ж стратегії чи плани розвитку на тривалий період. Прикладом останніх може слугувати Стратегічний план соціально-економічного розвитку м. Славутич до 2020 р., ухвалений ще в 2001 р. [1]. Останнім часом процесом стратегічного планування розвитку охоплені новостворені об'єднані територіальні громади. Разом з тим, навіть побіжний аналіз таких документів приводить до висновку, що домінуючими в стратегіях і планах є економічні пріоритети. При цьому всі погоджуються, що довкільні аспекти не можуть ігноруватися, що не завжди знаходить практичне відо-

браження. В згаданому Плані розвитку м. Славутич довкільний компонент пов'язаний головним чином з реабілітацією ураженої радіацією Чорнобильської зони та поводженням з об'єктом «Укриття», чого об'єктивно не можна було уникнути.

Аналіз стратегічних документів багатьох адміністративних територіальних одиниць дозволив вокремити низку підходів ефективного інтегрування довкільних пріоритетів у стратегічне планування і проекту діяльність [2]. Такими є:

- дотримання вимог національного законодавства та регуляторної бази. Застосування оцінки впливу на довкілля (ОВД) та стратегічної екологічної оцінки (СЕО);
- визначення спеціальних довкільних цілей та формулювання спеціальних цільових показників;
- застосування кращих довкільно дружніх практик (BAP) і технологій (BAT);
- формування попиту на довкільно дружні продукти і послуги;
- проведення екологічного аудиту та запровадження системи екологічного менеджменту на рівні виробничих підприємств і організацій.

Окрім цього, довкільні пріоритети можуть бути забезпечені шляхом виваженої тарифно-цінової політики, інтегрованого підходу у плануванні довкільно-дружніх ініціатив та посиленні міжсекторальної взаємодії (зокрема, інтеграції секторів охорони здоров'я і довкілля).

Особливої уваги заслуговують об'єктивні процеси в навколишньому природному середовищі, на які ми маємо вкрай обмежений вплив, але реагування на яких є необхідним. До таких процесів в першу чергу належать кліматичні зміни. Повільні, але неухильні зміни клімату зрештою спричиняють суттєві впливи на стан біологічного різноманіття [3] та здоров'я людей [4].

Обговорюються методологія і кращі практики врахування довкільних аспектів та реагування на зміну клімату в документах стратегічного планування розвитку громад і територій.

Література

1. Стратегічний план соціально-економічного розвитку м. Славутич до 2020 р.: <http://e-slavutich.gov.ua/Entrepreneurs/SitePages/DevelopmentStrategy.aspx#temptest>

2. Karamushka V.I. Strategic Planning and Project Managements as the Instruments of Sustainable Development Practice: Integrating Sustainability / Pipere A., Fjodorova I., G. Ilisko Dz. International Conference «Bridging Education and Science for Sustainable Development», December 2-3, 2015. Program and Abstracts. Daugavpils: Daugavpils University Academic Press «Saule», 2015. – P. 59.

3. Бойченко С.Г., Карамушка В.І., Тищенко О.В., Мохнач Р.Ю. Екологічні загрози для біорізноманіття в м. Києві від змін клімату // Доповіді НАНУ. - 2017. - № 12. - С. 104-111. DOI: 10.15407/dopovidi2017.12.104

4. Карамушка В.І., Бойченко С.Г., Капітанюк К.С. Особливості захворюваності населення гірського та приморсько-степового регіонів України / 5-й Міжн. конгрес “Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”: збірник матеріалів. – Львів : В-во Львівської політехніки, 2018. – С. 60.

REMEDICATION TECHNOLOGY FOR GROUNDWATER PURIFICATION FROM RADIOACTIVE CONTAMINATION

*Kovalchuk I.A.^{1, 2}, Kornilovych B.Yu.^{1, 2}, Tobilko V.Yu.²,
Bashchak O.E.¹, Spasonova L.M.²*

¹ Institute for Sorption and Problems of Endoecology National Academy of Science of Ukraine, ² National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, kovalchukiryna@gmail.com

The most important environmental and geochemical problem is the migration of radionuclides from waste disposal sites. Migration from the tailings solid waste takes place under the influence of wind, water and plant life. Geochemical processes (erosion and al.) are resulting to the destruction of existing protective coatings and further migration of toxic and radioactive elements in the environment. This contamination poses a serious threat both to the environment and to human health.

The following methods for treatment of soil and mules contaminated with toxic substances exist. This technology is securing / stabilizing pollution in dispersed systems by linking toxic substances during chemical reactions with reagents that make the soil in soluble compounds. Another method for purification contaminated groundwater is to use so-called permeable reactive barriers containing reactive active materials and biologically active microflora and simply

installed in the ground on the way groundwater flows. Such reagents as an effective boot were used: iron in the metallic state and its compounds (for restoration of mobile forms of uranium (VI) to soluble (IV) through redox reactions), zeolites, glauconite (sorption predominantly cationic forms of uranium), natural phosphates (deposition of uranium phosphate) and others. The high hydraulic permeability of this materials allow to increase the validity of such barriers through enhanced hydraulic permeability. Rehabilitation of natural and technological objects using reactive barriers, combined with biologically initiated reactions occurring in an active inorganic carrier is promising. A large number of heavy toxic and radioactive metals such as copper, zinc, manganese, cadmium, lead, uranium and other can be removed by, for example, sulfate-reducing bacteria [1].

Actinide ions are effectively removed from contaminated surface and ground water with the use of sorbents on the base of clay minerals (montmorillonite, saponite, palygorskite etc.). It was shown that modification of the surface of clays with such reagents as hydrated Fe(III) oxides, nanosized zero-valent iron, aminosilanes, intercalating compounds such as Al, Ti, Fe, Zr salts significantly increase sorption capacity and selectivity of these composites in relation to actinide ions [2].

The technology of the contaminants fixing in soil by binding appropriate reactants or sorbents and the use of semi-reactionary barriers contaminated groundwater would reduce the environmental impact.

BIBLIOGRAPHY

1. Kornilovych B., Wireman M., Ubaldini S., Guglietta D., Koshik Yu., Caruso B., Kovalchuk I. Uranium Removal from Groundwater by Permeable Reactive Barrier with Zero-Valent Iron and Organic Carbon Mixtures: Laboratory and Field Studies // *Metals*. – 2018. - 8, 408. – P. 1-15; doi:10.3390/met8060408.

2. Kornilovych B.Yu., Sorokin O.H., Pavlenko V.M., Koshyk Yu.I. Environmental protection technologies in uranium mining and processing industries. 2011. Kyiv (in Ukrainian).

CFD-АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ АЕРОЗОЛІВ ВСЕРЕДИНИ І ЗА МЕЖІ НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТУ ПРИ ПЕРЕТВОРЕННІ ОБ'ЄКТА УКРИТТЯ В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ

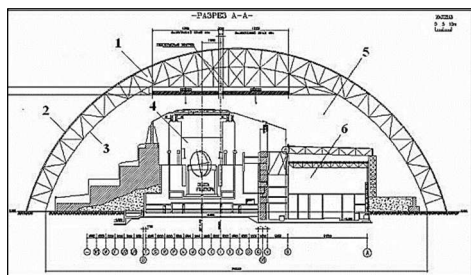
*Круковський Павло, Склярєнко Дмитро, Метель Михайло,
Олійник Владіслав, Дядушко Євген*

Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, вул. Желябова, 2а,
Ел.адреса: kruk_2@ukr.net

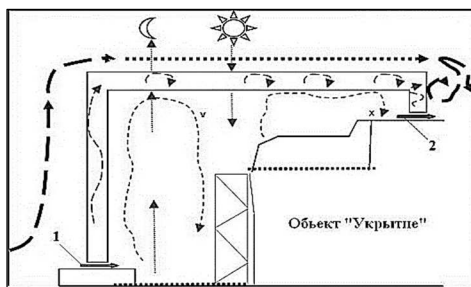
Annotation: *The purpose of this work and the report is to use the developed three-dimensional computer CFD (Computational Fluid Dynamic) modeling of thermogasdynamical processes in the Shelter Object (SO) and the New Safe Confinement (NSC) to conduct a preliminary analysis and prediction of the radioactive aerosols (RA) distributions in the Main Volume of the NSC during typical operations in the OS and the influence of climatic conditions on the of RA outlet beyond the NSC to the environment. The model was developed and then verified using measurement data with equipment such as accumulation pads and aspiration units. Some unknown or uncertain model parameters were identified by the measurement data using inverse problem solution technique thus ensuring the model adequacy. The results for the commissioning period show reasonable fit with measurements. Modelling is also able to reflect the RA concentration rise during turbine hall roof partial dismantling which took place in Dec 2017. The results for the period of the NSC operation were obtained as well. The scenario of the radioactive waste removing was also simulated and RA concentration evolution in time is shown in comparison with another approach presented in literature.*

Новий Безпечний Конфайнмент (НБК) є захисною спорудою (рис.1), що включає в себе обладнання для вилучення із зруйнованого 4-го енергоблоку ЧАЕС матеріалів, які містять ядерне паливо, забезпечення безпеки персоналу, населення і навколишнього середовища, а також перетворення зруйнованого енергоблоку в екологічно безпечну систему. Термін виконання цих завдань може розтягнутися на багато десятиліть аж до 100 річного терміну експлуатації НБК. Для забезпечення безпеки персоналу, населення та навколишнього середовища НБК має зовнішню і внутрішню оболонки (рис. 1) з певним ступенем герметичності. Не повністю герметичними є також зазори між стінами НБК та будівельними конструкціями під ними (рис. 1, б), які закриті спеціальними герметизуючими мембранами. Оскільки в кільцевому просторі (КП) НБК підтримується надлишковий тиск (близько 20 Па), в основному об'ємі (ОО) слабкий негативний тиск (близь-

ко -5 Па), то через зовнішню і внутрішню оболонки, а також стіни і зазори, мають місце протікання повітря назовні і всередину НБК (позиції 1 і 2 на рис. 1, б).



a



б

Рис.1. Схеми Об'єкту «Укряття» та Нового Безпечногo Конфайнменту:

a – в поперковому перетині 1 – сталеві конструкції і кільцевий простір Арки НБК, 2- зовнішня оболонка, 3- внутрішня оболонка, 4- Об'єкт «Укряття» і зруйнований реактор, 5- основний об'єм НБК, 6- турбінний зал;

б – в поздовжньому перетині: 1 і 2 - протічки повітря в Основний Об'єм в місцях ущільнення стін НБК

Величини цих протічок (в умовних m^2) на сьогодні оцінені такими: для зовнішньої оболонки $1,7 m^2$, внутрішньої оболонки - $5 m^2$, для зазору Західної стіни - $3,1$ і Східної стіни - $3,9 m^2$. Як видно, величини протічок істотні і це означає, що повітрообмін між основним об'ємом НБК з кільцевим простором і особливо з навколишнім середовищем також істотні. Слід відзначити той факт, що величина такого повітрообміну з навколишнім середовищем в свою чергу суттєво залежить від напрямку та величини швидкості вітру, що обтікає НБК, особливо з огляду на його розміри і форму.

Так, наприклад, перепад висот протікання повітря в місцях ущільнення Західної і Східної стін (рис.1,б) становить від 50 до 80 м, в яких перепади тисків внаслідок обтікання повітрям можуть становити сотні Паскалів, що неминуче буде призводити до появи неорганізованого (минаючи фільтри системи вентиляції) виходу повітря з ОО в навколишнє середовище разом з радіоактивними аерозолями (РА), які неминуче будуть в ОО НБК при роботах з ОУ для його перетворення в екологічно безпечний об'єкт протягом всього 100-річного терміну експлуатації.

Для аналізу і прогнозування термогазодинамічного і радіаційного стану НБК і ОУ була розроблена і верифікована комп'ютерна 3-х вимірна CFD модель, що відображає їх основну геометричну структуру, фізичні властивості і процеси, такі як теплоперенос, вимушений і природний рух повітряних потоків і поширення РА в середині і за межами НБК [1].

Мета даної роботи і доповіді є проведення попереднього аналізу і прогнозування поширення радіоактивних аерозолів в Основному Об'ємі НБК при типових роботах в ОУ і впливу кліматичних умов на вихід РА за межі НБК за допомогою розробленої тривимірної комп'ютерної CFD (Computational Fluid Dynamic) моделі термогазодинамічних процесів в ОУ, НБК та навколишньому середовищу.

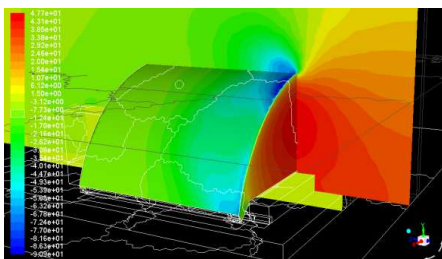
У роботі показані результати поширення викидів РА при частковому розбиранні даху турбінного залу під НБК, що мале місце в листопаді-грудні 2017р. Результати розрахунків дозволили оцінити величину додаткового джерела викиду (близько 4 Бк/с) і суттєве підвищення концентрації РА в ОО, пов'язаного з замкнутістю об'єму НБК і відсутністю роботи системи вентиляції.

Для попередньої оцінки радіаційного стану основного об'єму НБК під час експлуатації були проведені розрахунки при наявності і відсутності даху ОУ для визначення впливу знятого даху ОУ на викиди і концентрації РА. Показано, що після зняття покрівлі ОУ швидкість повітря в завалах зросте не суттєво (на 10%). Зняття даху ОУ призведе до вирівнювання концентрації РА в об'ємі центрального залу (ЦЗ) ОУ і ОО, а також полегшить витяжку РА із зони завалів ОУ системою вентиляції, що в цілому повинно привести до зниження кількості РА під НБК.

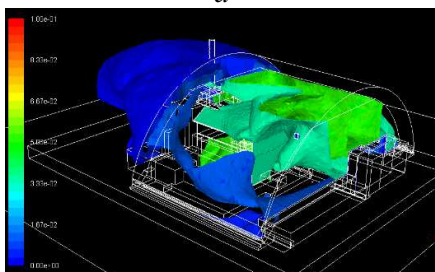
Для оцінки радіаційного стану внутрішнього простору НБК при істотних викидах РА був також проведений нестационарний розрахунок на моделі ОУ і НБК при проведенні робіт із вилученням та завантаженням РАО в ЦЗ ОУ. Проведені розрахунки ґрунтуються на вихідних даних і результатах, отриманих в [2], в якій проводиться аналогічна оцінка на підставі аналітичного рішення диференціального рівняння балансу кількості РА в ОО НБК.

Залежності середньо об'ємної концентрації РА, отримані в результаті CFD моделювання близькі до результатів [2], однак CFD модель дозволила показати, що локальні концентрації РА поблизу місць роботи персоналу в певні моменти часу істотно відрізняються від середньо об'ємних і можуть досягати ~ 2.6 кБк/м³, що значно перевищує порогове значення даної величини (200 Бк/м³).

Проведено аналіз і прогнозування поширення радіоактивних аерозолів в основному об'ємі НБК при типових роботах в ОУ і впливу кліматичних умов, зокрема обтікання НБК вітром, що призводить до складного розподілу тисків на поверхні НБК (рис. 2, а) і виходу РА за межі НБК (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Розподіл тисків на поверхні НБК при обтіканні Західним вітром (а) і типові ізоповерхні концентрації РА всередині і за межами НБК (б)

ЛІТЕРАТУРА

1. Круковский П.Г., Метель М.М., Полубинский А.С., Краснов В.А., Склярченко Д.И., Дейнеко А.И. Модель теплогазодинамического, влажностного и радиационного состояния нового безопасного конфинмента и Объекта «Укрытие» // II МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ СНЯТИЯ С ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ» INUDESCO, 25–27 апреля, 2017 г., г. Славутич, Украина. – с.347-350.

2. Батій В. Г. Динаміка зміни концентрації радіоактивних аерозолів під час вилучення паливовміщуючих матеріалів з об'єкта "Укриття" / В. Г. Батій, А. О. Сізов, Д. В. Федорченко, А. О. Холодюк // Ядерна та радіаційна безпека. - 2015. - Вип. 4. - С. 41-44. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ydpb_2015_4_10.

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ОПИСУ ПЕРЕСІЧЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ МІСТ

Кряжич Ольга,¹ Коваленко Олександр,² Грицишин Володимир³

¹ Інститут технології і бізнесу в Чеське Будйовице,
м. Чеське Будйовице, Чеська Республіка,

² Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна,

³ Северодонецький міський голова 1994-2010 рр.,
м. Северодонецьк, Україна
economconsult@gmail.com

Соціально-економічний розвиток промислових міст [1] неодмінно пов'язаний з виникненням ряду екологічних питань [2]. Актуалізуються наразі питання контролю за поточним станом складних систем [3], які є поєднанням небезпечних та потенційно-небезпечних промислових об'єктів та природного середовища, прогнозування можливих наслідків та розробки заходів з запобігання виникненню та розвитку аварійних подій [4]. Надзвичайної гостроти означена тема набула для України останнім часом, коли в результаті бойових дій на Донбасі великий промисловий регіон став зоною виникнення нової екологічної проблеми [5]. Ситуація ускладнюється тим, що зону конфлікту дослідити неможливо і для розробки превентивних заходів застосовуються лише прогнозні моделі з врахуванням умов невизначеності.

Для опису пересічених територій, які зазнали впливу небезпечних (токсичних та радіоактивних) речовин, були розроблені спосіб опису забрудненої території [6] та виконана програмна

реалізація «Випадкова точка» [7]. Програма дозволяє за мінімальну кількість кроків, побудованих за алгоритмом з використанням методу можливих напрямків Дж. Зойтендейка [8], побудувати процедуру відбору проб таким чином, щоб максимально точно описати площу забруднення і побудувати комп'ютерну модель забрудненої території [9]. Під час тестування програми та способу опису території на прикладі забруднених оксидом тритію земельних ділянок, – було виявлено, що деякі наближення в процесі апроксимації функцій у підсумку можуть викликати помилки, особливо у випадку опису місцевості нелінійними функціями. Ці помилки викликаються великою кількістю ітерацій і безпосередньо на точність створення моделі забруднення не впливають, але проявляються при створенні прогнозу розповсюдження небезпечних речовин. З метою мінімізації помилок наближення при апроксимації функцій і зменшення кількості ітерацій було застосовано підхід з використання розвинення функцій за нев'язками [10], а сам метод Дж. Зойтендейка частково був реалізований у породжуючому алгоритмі.

Новий підхід був апробований на території міста Северодонецька – центра хімічної промисловості на Луганщині. Дослідження проводилися на земельних ділянках міського парку відпочинку та паркового озера. Для порівняння проби відбиралися за традиційною методикою «конверта» [11] та за пропонуванім вдосконаленим способом опису забрудненої.

За результатами досліджень були отримані однакові дані техногенного забруднення території, але за вдосконаленим способом опису забрудненої території точний опис та побудова моделі забруднення досягається значно швидше, при меншій кількості кроків (точок дослідження).

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості створення інструменту прогнозування техногенного забруднення навколишнього середовища на складних пересічених і сильно забудованих територіях.

Список використаної літератури

1. Грицишин В.О. Організаційно економічне забезпечення управління підприємствами соціально економічної інфраструктури міста. Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. екон. наук: 08.06.01. – 2004. – 24 с.

2. Коржнев М.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Курило М. М., Трофимчук О.М. та ін. Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природно-ресурсного потенціалу. – К.: Логос. – 2009. – 195 с.

3. Геомоделі в завданнях еколого-економічних оцінок земель: Монографія / С.О. Довгий, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук, О.М. Трофимчук та ін. // за ред. С.О. Довгого. – К. ТОВ "Видавництво "Юстон". – 2018. – 256 с.

4. Довгий О.С., Коржнев М.М., Трофимчук О.М. та ін. Екологічні ризики, збитки та раціональні межі використання надр в Україні. – К.: Ніка-Центр. – 2013. – 314 с.

5. Кодрик А.І., Яковлев Є.О., Чумаченко С.М., Парталян А.С. Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля») // Мат. моделювання в економіці. – 2018. – № 4. – С. 5–21.

6. Патент України на корисну модель 113110. Спосіб дослідження екологічного стану території при техногенному забрудненні / О.О. Кряжич, О.В. Коваленко // Зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.01.2017.

7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 67750 «Комп'ютерна програма з реалізації способу опису забрудненої території «Випадкова точка» («Випадкова точка (Random point)»). Автори: Кряжич О. О., Коваленко О. В. Дата заявки: 12.07.2016. Дата реєстрації: 12.09.2016.

8. Zoutendijk G. Methods of feasible directions; a study in linear and non-linear programming. Amsterdam, New York, Elsevier Pub. Co. – 1960. – 178 p.

9. Кряжич О.О., Коваленко О.В., Іванченко В.В. Спосіб опису забрудненої території: програмна реалізація // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – №2. – С. 22–35.

10. Теслер Г.С. Адаптивные аппроксимации и итеративные процессы. – Математичні машини і системи. – 2004. – №2. – с. 22-41.

11. ДСТУ ISO 10381-2:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб».

ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ОПИСУ ПЕРЕСІЧЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ МІСТ

О. Кряжич, О. Коваленко, В. Грицишин

***Анотація.** В матеріалі наведено попередні результати з удосконалення способу опису пересічених територій при побудові моделей техногенного забруднення промислових міст. За результатами досліджень було проведено ряд вимірів за базовою методикою збору проб за принципом «конверту» та за*

запропонованим способом опису. Було підтверджено, що за запропонованим способом опису забрудненої території точний опис та побудова моделі забруднення можлива при значно меншій кількості кроків (точок дослідження).

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості створення інструменту прогнозування техногенного забруднення навколишнього середовища на складних пересічених і сильно забудованих територіях.

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF DESCRIPTION OF THE CROSSED TERRITORIES IN THE CONSTRUCTION OF MODELS OF INDUSTRIAL POLLUTION OF INDUSTRIAL CITIES

O. Kryazhych, O. Kovalenko, V. Grytsyshyn

Resume. *This paper contains preliminary results on the improvement of the method of the description of the crossed territories when building models of technogenic pollution of industrial cities. According to the results of the research, a number of measurements were carried out on the basic method of collecting samples on the principle of "cover" and on the proposed method of description. It was confirmed that by the proposed method of description of the contaminated area, an accurate description and construction of a pollution model is possible with a much smaller number of steps (analysis points).*

The practical value of given work is the possibility of creating a tool for forecasting of the technogenic environmental pollution on rugged terrain and very built-up areas.

УДК 621.039:681.586.6

НОВІ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ НА ЕТАПІ ПРИПИНЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОБЛОКІВ АЕС І МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В.В. Левченко

ЗАЕС (Україна), levmaster77@gmail.com

О.Ю. Погосов

ОНПУ (Україна), pogosov@ukr.net

Ю.М. Биковський

bym.evrika@gmail.com

Розглянуто деякі питання оцінки застосовності інтелектуальних цифрових датчиків температури до однолінійної організації передачі вимірювальної інформації для контролю температурних полів на етапі припинення експлуатації енергоблоків АЕС. Проведено порівняльний аналіз вимірювальних перетворювачів температури з точки зору інформаційно-енергетичної теорії вимірювань.

Some issues of assessing the applicability of intelligent digital temperature sensors with a one-wire organization of the transfer of measurement information for monitoring temperature fields at the stage of termination of operation of nuclear power units are considered. A comparative analysis of temperature measuring transducers from the point of view of the information-energy measurement theory is carried out.

Розглянуто деякі питання оцінки застосовності інтелектуальних цифрових датчиків температури до однолінійної організації передачі вимірювальної інформації для контролю температурних полів на етапі припинення експлуатації енергоблоків АЕС. Проведено порівняльний аналіз вимірювальних перетворювачів температури з точки зору інформаційно-енергетичної теорії вимірювань.

Відомо, що при знятті з експлуатації енергоблоків АЕС при завершенні їх терміну служби, зокрема на етапі припинення експлуатації, виникають завдання обстеження обладнання для оптимізації плану проведення консервації обладнання для відкладеного демонтажу або вивчення можливостей виконання демонтажних робіт відразу після зупинки енергоблоку - аж до перетворення проммайданчика АЕС в "зелену галявину". У комплексі заходів по частині інженерного обстеження устаткування енергоблоку і моніторингу стану навколишнього середовища в зоні його розташування важливе місце займає докладний неодноразове дослідження температурних полів. Значну тільні обсяги вимірювальної інформації, яка повинна надходити від температурних датчиків, вимагають оптимізації процедур її збору та аналізу. В цьому випадку цікавою можливістю є використання цифрових інтелектуальних датчиків температури.

Успіхи в розвитку економіки будь-якої країни багато в чому визначаються рівнем її енергетичного потенціалу і, перш за все, - можливостями вироблення електричної енергії. Дане положення змушує багато держав орієнтуватися на розвиток ядерної енергетики. Виходячи з цього, необхідно враховувати, що атомні електростанції (АЕС), як об'єкти підвищеної енергонапруженість і, відповідно, стратегічної важливості, вимагають особливої уваги в частині питань забезпечення їх ядерної та радіаційної безпеки шляхом мінімізації впливу можливих факторів ризику [1].

Підтримці безпеки енергоблоків атомних станцій на належному рівні сприяє постійне вдосконалення контрольно-вимірювальної апаратури автоматизованих систем управління технологічними

процесами (АСУ ТП), апаратна модернізація і використання нових алгоритмів в управлінні системами, інформаційно пов'язаними з ядерними енергетичними установками. Як видається, цьому має сприяти подальше впровадження цифрових технологій.

Можливість застосування різних сучасних цифрових технологій в області систем автоматики нерідко обмежена дорожнечою проведення необхідних досліджень нових технічних засобів. Тому спостерігається певний дефіцит в таких дослідженнях. Перешкодою на шляху до широкого впровадження цифрових систем і технологій на АЕС також є і той факт, що пригнічує більшість новітніх розробок елементів електронної техніки доводиться на імпортному виробництві, а супроводжує їх довідкове (паспортне) опис не є повним і достатнім для всебічної оцінки застосовності запропонованих до впровадження пристроїв в конкретних технічних умовах експлуатації об'єктів, пов'язаних з ризиком. Однак даний факт не виключає принципової придатності нових прогресивних розробок і виробів провідних світових виробників, але вимагає проведення додаткового аналізу їх функціональної надійності при використанні в різних пристроях автоматики на АЕС.

Функції, які стосуються сучасним АСУ ТП АЕС, пов'язані з вимірами, збором, передачею, обробкою технологічної інформації, діагностичним аналізом процесів і апаратів, виробленням керуючих сигналів і формування керуючих впливів. Роль первинних вимірювальних перетворювачів, кооперованих з АСУ ТП АЕС, важко переоцінити - від їх функціональної надійності багато в чому залежить надійність і безпеку атомних енергоблоків [2].

З численних джерел з опублікованою інформацією, зокрема [3-5], можна зробити висновок, що в перспективі системи автоматизації будуть будуватися здебільшого на інтелектуальних датчиках. Це неминуче веде до переходу на цифрові канали і способи передачі сигнальної інформації. З однієї сторони, перевагою аналогових засобів формування і передачі сигналу є простота реалізації технічних засобів обробки інформації і високу швидкодію. З іншого боку, до істотних недоліків аналогової техніки відноситься висока сприйнятливості до перешкод, що введе до спотворення сигналу і, в кінцевому рахунку, сприяє різним порушень технологічного процесу, що в умовах АЕС неприпустимо і може привести до нештатних і аварійних ситуацій. Цифровий сигнал, навпаки, є більш перешкодозахищеність і дозволяє досягти більшої точно-

сті передачі інформації, однак вимагає застосування складних аналого-цифрових перетворювач що ускладнює технічний інтерфейс. Застосування ж інтелектуальних датчиків є перспективною альтернативою, так як весь процес перетворення аналогового сигналу в цифровий відбувається в одному пристрої - первинному вимірювальному перетворювачі, на виході якого формується цифровий код. Як правило, при передачі цифрового сигналу останніми бітами є циклічний надлишковий код (CRC), який використовується для перевірки достовірності отриманого цифрового сигналу від датчика. Тому перехід на цифровий сигнал повинен привести до підвищення надійності роботи систем контролю і автоматики, а як наслідок - до коректності протікання технологічного процесу. Метою дослідження є аналіз аргументів на питанні вивчення можливості переведення апаратури АСУ ТП АЕС, в порядку її модернізації, на інтелектуальні датчики, і в першу чергу, на датчики температури з урахуванням того, що температурні вимірювання на АЕС є найбільш затребуваними.

Для проведення аналізу відмов інформаційно-вимірювальних каналів (ІВК), що застосовуються в даний час на АЕС України, розглянемо один з каналів вимірювання температури бабіту опорного підшипника турбоагрегату. Всі вимірювальні канали ідентичні, тому досить розглянути один з них. Для прикладу візьмемо температурний датчик, розташований на технологічній позиції SB11T01. В даному ІИК в якості первинного вимірювального перетворювача використовується термопір типу ТСП 0690.

Згідно з методикою [6], нами був виконаний розрахунок похибки даного каналу і отриманий довірчий інтервал з гранично допустимими нижньої $\delta_{\text{ИИКн}}$ і верхньої $\delta_{\text{ИИКв}}$ кордонами, в якому із заданою ймовірністю $P = 0,95$ знаходиться похибка вимірювального каналу температури $\delta_{\text{ИИКн(в)}}$, дорівнює $\pm 1,6 \%$. Значення даного параметра для ІИК вимірювання температури не повинно перевищувати значення $\pm 1,5 \%$.

Отримані дані свідчать про те, що значна кількість елементів, що входять до складу ІИК, знижує інформаційну надійність каналу і системи в цілому, і вимагаючи застосування складних аналого-цифрових перетворень, дещо ускладнює технічний інтерфейс. Однак, усвідомлюючи, що надійність і складність системи знаходяться в протиріччі, ми, тим не менш, вважаємо, що певний ускладнення необхідно заради очевидних переваг.

Застосування в цих умовах інтелектуальних датчиків може вирішити дану проблему. Однак впровадження нових елементів вимагає різнобічної оцінки можливості їх використання в умовах АЕС і ретельного вибору датчиків з широкого спектру, пропонованого світовою промисловістю в даний час. Проведений огляд матеріалу по характеристикам інтелектуальних датчиків температури показав обмеженість наявних відомостей з цього питання, що не дозволяє в повній мірі вирішити завдання затребуваною модернізації. Таким чином, є нагальна потреба в проведенні експериментів по оцінці поведінки інтелектуальних датчиків при різних модуляційних ефекти, виходячи з умов експлуатації АЕС. Для проведення задуманого дослідження було потрібно вибрати типи цифрових датчиків з близькими до умов експлуатації обладнання АЕС характеристиками, а саме:

- вихідний сигнал - цифровий;
- діапазон виміру температури від -25 °С до 125 °С;
- напруга живлення від 3 В до 5,5 В;
- дозвіл інформаційного сигналу від 9 біт до 12 біт.

В якості обраного для порівняння аналогового первинного вимірювального перетворювача був розглянутий датчик ТСП 0690, широко застосовуваний в вимірювальних пристроях на АЕС України. В таблицю № 1 зведені дані, що відносяться до термодатчика, обраним для проведення порівняльного аналізу.

Таблиця 1

Основні характеристики обраних датчиків температури

Тип датчика	Діапазон виміру, °С	Max час перетворення, с	Похибка, °С		Інтерфейс	Роздільна здатність, біт	Напруга живлення, В	Max споживаний струм, мА
			в обмеженому діапазоні	в робочому діапазоні				
ADT-75	-55÷125	0,06	2	3	I ² C	12	3÷5,5	525
DS18B20	-55÷125	0,75	0,5	2	1-Wire	9÷12	2.7÷5,5	15
LM92	-55÷150	0,5	0,5	1,5	I ² C	12	2.7÷5,5	625
TMP100	-55÷125	0,6	2	3	I ² C	9÷12	2.7÷5,5	75
ТСП 0690	-50÷150	0,4	3		4-провод	-	÷5	100 мА

Для проведення порівняльного аналізу ми скористалися положеннями та апаратом теорії інформації, адаптованими стосовно до вимірювальної техніки.

Так, ми прийняли, що енергетичний поріг чутливості C , будучи сукупної характеристикою точності, чутливості, енергоспоживання і швидкодії вимірювальних пристроїв, може бути виражений залежністю виду:

$$C = \gamma^2 Pt, \quad (1)$$

де γ – похибка вимірювання;

P – потужність, що витрачається приладом під час вимірювання, Вт;

t – час вимірювання, с.

Енергетичний поріг чутливості C вимірювальних пристроїв, на наш погляд, є досить інформативним узагальненим показником їх якості, однозначно визначальним, такі інформаційні характеристики цих пристроїв, як енергетичний ККД $\eta_{\text{э}}$, втрати точності χ і втрати інформації Δq .

$$\eta_{\text{э}} = \frac{W_{\text{ш}}}{C} = \frac{\pi k \Theta}{C}; \quad (2)$$

$$\chi = \sqrt{\frac{C}{W_{\text{ш}}}}; \quad (3)$$

$$\Delta q = 0,5lg \frac{C}{W_{\text{ш}}}, \quad (4)$$

де $W_{\text{ш}}$, Дж – величина енергії шуму;

k – постійна Больцмана, Дж/К;

Θ – абсолютна температура, К.

При цьому враховується, що передача інформації від об'єкта вимірювань до вимірювального пристрою може відбуватися тільки шляхом енергетичної взаємодії. При відсутності обміну енергією між об'єктом і вимірювальним пристроєм передача інформації - а, отже, і вимірювання - неможливі. У зв'язку з цим слід зазначити, що при збільшенні енергетичного обміну зростає і можливість отримання більшої інформації, що відображає вираз [7]:

$$q_{\text{ш}} = 9,3 + 0,5lg(Pt), \quad (5)$$

де $q_{\text{ш}}$ – одержуване під час вимірювання граничну кількість інформації, виражений-ве в одиницях енергії (Дж). Дане співвідношення показує часом не цілком очевидний зв'язок між інформацією та енергією.

Для відносної оцінки інформаційного досконалості (ефективності) процесу вимірювання представляється доцільним використовувати поняття інформаційного ККД процесу вимірювання [7], який можна виразити наступною формулою.

$$\eta_{\text{и}} = \frac{9,3+0,51gW_{\text{ш}}+0,51g\eta_{\text{э}}}{9,3+0,51gW_{\text{ш}}}, \quad (6)$$

Перевагою даного показника є те, що він придатний для порівняння найрізноманітніших вимірів (електричних, хімічних, оптичних і т.д.) незалежно від принципу дії первинних вимірювальних перетворювачів і використовуваної апаратури в цілому. Такий оцінний підхід добре узгоджується не тільки з принципами, прийнятими в інформатиці, а й з положеннями, використовуваними в атомній енергетиці [8-10].

Для характеристики відносного досконалості приладів зручно використовувати відносну оцінку - логарифмічний показник енергетичної добротності засоби вимірювання (конкретного вимірювального пристрою):

$$pC = \frac{\lg C}{\lg W_{\text{ш}}}. \quad (7)$$

При використанні «ідеального» приладу, для якого $C = W_{\text{ш}}$, $\eta_{\text{э}} = 100\%$ та $\eta_{\text{и}} = 100\%$, цей показник буде $pC = 100\%$. Однак на практиці у всіх пристроїв вимірювання даний показник знаходиться всередині кордонів інтервалу від 0% до 100%.

При аналізі також враховується, що під час спостереження від приладу може бути і не отримано жодної інформації про вимірюваний процесі - в період так званого «мертвого часу» вимірювального приладу, що розуміється як сукупний узагальнений показник точності і швидкодії вимірювальної апаратури:

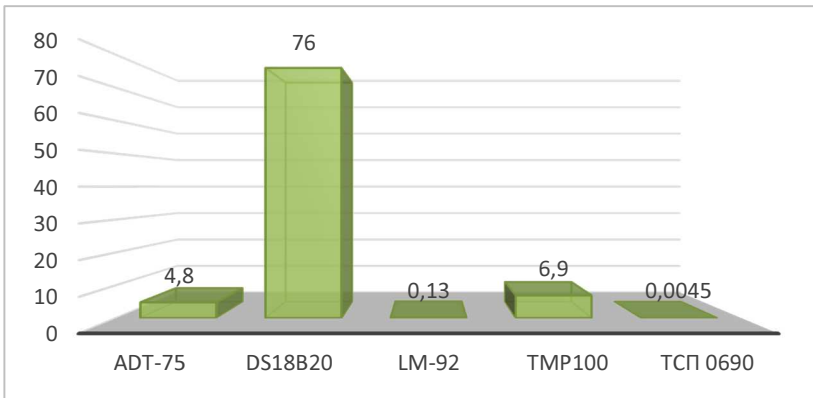
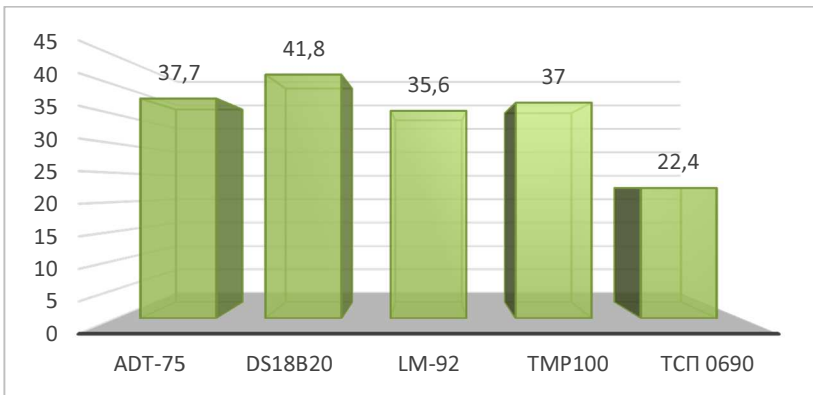
$$\tau = \gamma^2 t. \quad (8)$$

Всі розрахунки, пов'язані з проведеним аналізом, були виконані в середовищі Mathcad. Результати виконаних розрахунків зведені в таблицю 2 і графічно представлені на рисунках 1-4.

Таблиця 2

Розрахункові показники в порівнянні

Тип датчика	Енергетичний поріг чутливості, Дж	Показник енергетичної добротності, %	інформаційний ККД, %	Мертвий час вимірювального пристрою, с
ADT-75	$4,8 \times 10^{-8}$	37,7	46,8	$1,7 \times 10^{-5}$
DS18B20	$7,6 \times 10^{-9}$	41,8	53,8	$9,3 \times 10^{-5}$
LM-92	$1,3 \times 10^{-7}$	35,6	37	$3,7 \times 10^{-5}$
TMP100	$6,9 \times 10^{-8}$	37	38,6	$1,7 \times 10^{-4}$
ТСП 0690	$4,5 \times 10^{-5}$	22,4	23	3,6

*Рис. 1. Діаграми порівняння показника «енергетичний поріг чутливості»**Рис. 2. Діаграми порівняння показника «енергетичної добротності»*

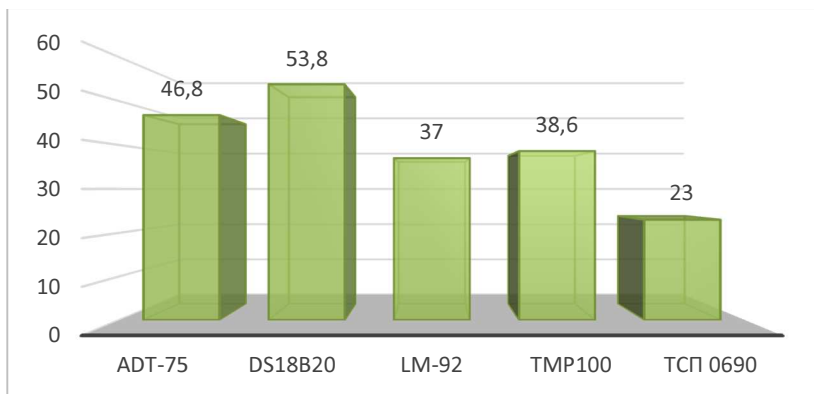


Рис. 3. Діаграми порівняння показника «інформаційного ККД датчиків»

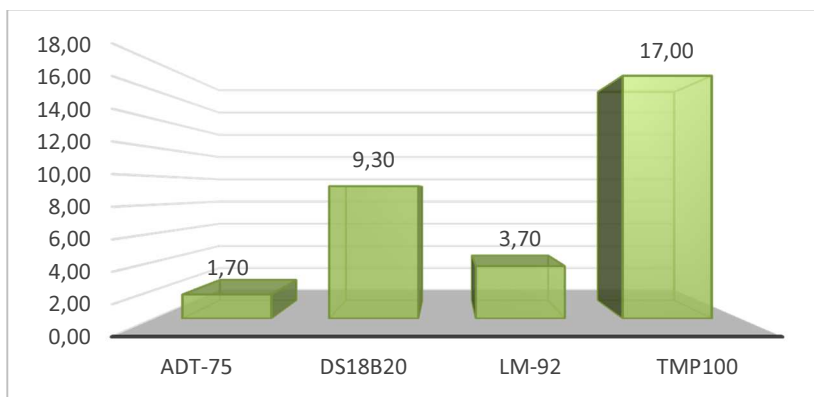


Рис. 4. Діаграми порівняння показника «мертвого часу» вимірювальних пристроїв»

Порівняльний аналіз показав, що всі цифрові сенсори мають кращі характеристики, ніж нині застосовується на АЕС штатний вимірювальний перетворювач (ТСП 0690), і варто зазначити, що з п'яти розглянутих типів термодатчиків перетворювач температури DS18B20 має найкращі характеристики. Важливо також відзначити і те, що перед переходом на ті чи інші цифрові датчики, в порядку вдосконалення інформаційно-вимірювальної апаратури систем контролю і управління на АЕС, необхідно переглянути алгоритми роботи сенсорів, для виключення похибок вимірювань в умовах виробництва.

Таким чином, в результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

- цифрові температурні датчики мають кращі метрологічні та інформаційні характеристики, а також перспективні для застосування на АЕС для контролю температури на етапі припинення експлуатації енергоблоків в порівнянні зі штатними вимірювальними перетворювачами аналогового типу;

- застосування інтелектуальних цифрових датчиків повинно привести до зменшення похибки як під час процедури вимірювання, так і в процесі передачі сигнальної інформації для її подальшого використання;

- використання цифрових сигналів в каналах оперативної передачі даних має привести до уніфікації апаратури і спростити процес інтеграції нових засобів зміни і контролю від різних виробників, що, в свою чергу, призведе до підвищення конкуренції постачальників і буде сприяти постійному поліпшенню що випускається і поставляється на АЕС апаратури;

- перехід від аналогових систем передачі та обробки сигналів до цифрових систем сприятиме підвищенню інформаційної надійності систем контролю, забезпечить підвищену ризикінформатизованість при управлінні технологічними процесами і безпеку обладнання АЕС;

- результати виконаного дослідження можуть бути рекомендовані для використання при проектуванні сучасних інформаційно-вимірювальних систем температурного контролю для енергоблоків АЕС після апробації розглянутих засобів вимірювання в реальних умовах енергетичного підприємства;

- застосування інтелектуальних цифрових датчиків температури, в значній мірі спрощує організацію нових вимірювальних каналів, дозволяє створити складну топологію мережі, витративши при цьому мінімальну кількість часу і ресурсів, при цьому пропонує більш широкі функціональні можливості, що в умовах припинення експлуатації дає незаперечну перевагу.

Список використаних джерел

1. Погосов А.Ю., Дерев'янку О.В. Фактори ризика і возможности обеспечения безопасности АЭС. – Одесса: Наука и техника, 2018. – 252 с.
2. Погосов О.Ю., Дерев'янку О.В. Фізичний захист АЕС та інформаційна безпека як необхідні умови зниження ризиків ядерних і радіаційних аварій //Ядерна та радіаційна безпека 3(75) 2017, – С.50-55.

3. Интеллектуальные средства измерений. <http://plasma.karelia.ru/~ekostq/PUBLIC/IntSrIzm/index.html> (12.05.2009).
4. Нечаев Ю.И. Интеллектуализация измерительной информации. http://skif.pereslavl.ru/~csa/kurs_5/5intinf.htm (22.06.2009).
5. Гэри А. Минтчелл. Пришла пора интеллектуальных датчиков. <http://www.asutp.ru/?p=600389> (25.06.2009).
6. Методика определения обобщённых метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерения. МТ 34-70-038-87. М.: Союзтехэнерго, 1987.
7. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. – Л.: Энергия, 1968.
8. Погосов А.Ю., Положаенко С.А., Григоренко Ю.С. Моделирование физических процессов и технологическая информатизация в нефтяной промышленности и энергетике. Монография: Одесса, Наука и техника, 2013, - 656 с.
9. Дубковский В.А., Наффаа Х.М. Обоснование выбора схемного решения и геометрических параметров СПОТ ГО ВВЭР-1000// Ядерная радиационная безопасность. Вып.3(63), 2014,с.19-24
10. Комаров Ю. А. Развитие риск-ориентированных подходов для внедрения концепции ремонта по техническому состоянию оборудования атомных электростанций // Ядерная и радиационная безопасность (входит в базу цитирования SCOPUS). – 2013. – № 3 (59). – С. 21-26.

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ЦЕНТРУ КІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Литвинов Віталій Васильович

Чернігівський національний технологічний університет,
v.v.lytvynov.dept@gmail.com

Скітер Ігор Семенович,

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України,
skiteris@ukr.net

Дорош Марія Сергіївна

Чернігівський національний технологічний університет,
mariyaya5536@gmail.com

***Annotation.** The Center for Cybernetic Security of Critical Infrastructure objects will provide increased cybersecurity of enterprises and continuity of service facilities. Objects of cybersecurity are objects of critical infrastructure. Objects of cyber defense are objects of critical information infrastructure: a communication or technological system of the object of critical infrastructure, the cyberattack which will directly affect the sustainable functioning of such an object of critical infrastructure.*

The main tasks of the center are: ensuring the implementation of the components of the organizational and technical model of cyber defense; establishment of mandatory information security requirements for critical information infrastructure objects taking into account international standards and specifics of the industry, which includes relevant objects of critical information infrastructure; providing monitoring of information security and cybersecurity on critical infrastructure objects, countering cyber threats by enhancing general situational awareness of incidents and vulnerabilities among industry institutions and their critical infrastructure; preventing the invasion by exchanging information and organizing initiatives; reduction of vulnerabilities, threat prevention and their effective localization; monitoring of the counteraction to threats on the objects of critical infrastructure, information security and cyber security; stimulating and conducting cybernetics among critical infrastructure managers, relevant tests, research and development.

Creation of the center will allow coordinating and monitoring the implementation of measures to deploy a cybersecurity system for critical information infrastructure objects. It also prevents interference with information systems through the exchange of information and the functioning of centralized and decentralized technological systems and organizational initiatives. This will reduce existing vulnerabilities, prevent the emergence of new ones and effectively identify them when threats occur. The Center will protect against a full range of threats by working with specialized services in a virtual environment, stimulating and providing cyber training among critical infrastructure leaders; will monitor and implement cybersecurity standards by critical infrastructure actors; will develop and implement new security measures to reduce the risk of cyber threats, which are constantly and rapidly changing and evolving.

Основні задачі, функції та цілі центру кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури. Управління кібербезпекою об'єктів критичної інфраструктури визначається як управління системою, що складається з множини територіально розподілених елементів, кожен з яких функціонує за власними законами та здійснює вплив на інші елементи системи.

Необхідність моніторингу та інтеграції великої кількості різноманітної динамічної інформації, що характеризує стан кожного елемента і системи у цілому, виявлення зв'язків і закономірностей їх взаємного впливу з урахуванням комплексу зовнішніх та внутрішніх загроз, прийняття обґрунтованих оперативних стратегічних рішень по забезпеченню безпеки в режимі реального часу, передбачає створення єдиної комплексної автоматизованої системи управління кібербезпекою об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ). Основними об'єктами кіберзагроз для інформаційних систем ОКІ є :

- зловмисники,
- оператори ботнету,

- злочинні групи,
- іноземні спецслужби,
- інсайдери,
- фішери,
- сніфери,
- спамери,
- автори шпигунського і шкідливого програмного забезпечення,
- терористи,
- промислові шпигуни тощо.

Модель взаємодії елементів інформаційної системи об'єкту критичної інфраструктури приведена на рис. 1.



Рис. 1. Модель взаємодії елементів інформаційної системи об'єкту критичної інфраструктури

Для протидії кібератакам зовнішнього порушника система захисту інформаційної системи ОКІ повинна мати наступні функції:

- захист периметра мережі;
- забезпечення безпеки міжмережевих взаємодій;
- моніторинг і аудит безпеки;
- виявлення і запобігання діям атак;
- резервне копіювання і відновлення даних;
- аналіз захищеності і керування політикою безпеки;

- контроль цілісності даних;
- захист від шкідливого програмного забезпечення;
- фільтрація контенту і запобігання витоку конфіденційної інформації;
- установка оновлень програмного забезпечення;
- адміністрування безпеки.

Система управління кібербезпекою ОКІ повинна забезпечити стійке, живуче і безпечне функціонування об'єктів критичної інфраструктури; безпеку навколишнього середовища; захист інтересів особистості, суспільства і держави, а також споживачів послуг.

Під системою управління кібербезпекою ОКІ розуміється комплексна організаційно-технічна система, що виконує функції аналізу стану, контролю, моніторингу та забезпечення безпеки як окремих функціональних елементів і процесів, так і системи в цілому.

Метою системи є забезпечення такого рівня кібербезпеки, при якому загрози й ризики знижені до мінімально прийняттого рівня.

Управління передбачає цілеспрямований вплив на об'єкт для підтримки його характеристик на заданому рівні. Управління вимагає постійного відстеження параметрів, що характеризують керований об'єкт, тобто функціонування встановленої системи контролю, моніторингу та оперативного реагування на зміну цих параметрів.

Основними напрямками забезпечення кібербезпеки є:

- нормативно-правове регулювання в сфері забезпечення кібербезпеки;
- класифікація об'єктів критичної інфраструктури;
- оцінка уразливості і ризиків, категорювання об'єктів;
- розробка та реалізація вимог щодо забезпечення кібербезпеки;
- розробка і реалізація заходів щодо забезпечення кібербезпеки;
- здійснення контролю, моніторингу та нагляду в галузі забезпечення кібербезпеки;
- інформаційне, матеріально-технічне та науково-технічне забезпечення кібербезпеки;
- підготовка фахівців в області забезпечення кібербезпеки.

Основні цілі створення центру кібербезпеки (ЦКБ) ОКІ:

- підвищення ефективності прийняття управлінських рішень за рахунок впровадження нових інструментів управління кібербезпекою, що базуються на сучасних інформаційних технологіях і відповідних кращому міжнародному досвіду в сфері управління складними системами міжнародного масштабу;
- забезпечення всіх учасників енергетичного комплексу достовірною та оперативною інформацією за рахунок формування єдиного інформаційного простору;
- масштабування, інтеграція існуючих і новостворюваних систем кіберзахисту; розвиток інструментів збору та аналітичної обробки інформації.

Основні функції і задачі ЦКБ ПЕК приведені на рис. 2.



Рис. 2. Основні функції і задачі ЦКБ ОКІ

Розробка ЦКБ ОКІ повинна здійснюватися на основі таких базових принципів:

- інтеграція і консолідація даних - розрізнені дані повинні бути інтегровані в консолідованому сховищі даних, яке представляє собою набір даних: предметно-орієнтований, інтегрований, незмінний, підтримуючий хронологію, який постійно поповнюється новою достовірною інформацією;

- централізоване ведення метаданих і нормативно-довідкової інформації - всі підсистеми автоматизованої системи правління повинні використовувати єдині метадані та нормативно-довідкову інформацію, забезпечувати можливість формування локальних довідників, підтримувати версійність метаданих та нормативно-довідкової інформації для забезпечення проведення аналізу з використанням даних за попередні часові періоди;

- уніфікація взаємодії - необхідно уніфікувати процеси взаємодії зі структурами і організаціями, що входять в контур управління безпекою в частині єдиної інформаційно-комунікаційної системи і форматів даних;

- відкритість і еволюційність - архітектура ЦКБ ОКІ повинна забезпечувати можливість поетапної розробки і впровадження. Наслідком цього є можливість практично необмеженого розширення функціонального доповнення центру без принципової заміни системно-технічної платформи;

- масштабованість - необхідно забезпечити можливість роботи ЦКБ ОКІ в умовах зростання потоків даних, кількості робочих місць і кількості завдань без істотної зміни прикладного програмного забезпечення;

- модульність – побудова центру як сукупності модулів реалізації окремих функцій і завдань, що забезпечує гнучкість формування функціональності окремих автоматизованих робочих місць, підсистем і системи в цілому під необхідну структуру і механізми управління безпекою;

- живучість - система повинна мати властивість живучості, забезпечувати безперебійну роботу, отримання достовірних результатів і захист від несанкціонованих дій.

Для забезпечення створення і функціонування ЦКБ ОКІ необхідно:

- базуючись на основних положеннях існуючого міжнародного правового поля в області кібербезпеки, розробити систему нормативних документів, які передбачають для об'єктів критичної інфраструктури, що входять в енергетичний комплекс, правила з кібербезпеки, засновані на загальних нормах кібербезпеки і експлуатаційної сумісності;
- підготувати проекти нормативно-правових документів, необхідних для забезпечення ефективної діяльності в галузі забезпечення кібербезпеки;
- розробити нормативно-правові документи на основі технологій зв'язку, спостережень і інформування;
- розробити процедури розслідування випадків порушення кібербезпеки і регулярного подання звітів про стан кібербезпеки;
- координувати діяльність окремих об'єктів критичної інфраструктури, що входять в енергетичний комплекс, в інтересах забезпечення кібербезпеки;
- проводити узгоджену політику інформованості та керуваності в області забезпечення кібербезпеки енергетичного комплексу.

Організаційно-технічна модель системи управління кібербезпекою ОКІ. **Модель взаємодії складається із двох зон та відповідної взаємодії між ними:**

1) Кібер-центр (CyberCenter) – це централізована зона, де відбувається узгоджена концентрація (агрегація) визначеної інформації та сервісів. Така концентрація відбувається завдяки засобам моніторингу та детекції кіберпростору з метою подальшого використання для оперативного, систематичного та планового попередження учасників системи про кіберзагрози, тобто дистрибуції інформації (доведення) до інших суб'єктів відповідної інфраструктури. Відповідно до функцій CyberCenter управляється одним центральним (або декількома) суб'єктом системи. CyberCenter забезпечує функціонування централізованих кіберсервісів, таких як: захист від атак типу «відмова в обслуговуванні»; захист від дій шкідливих програм; захист web-додатків та web-сервісів; захист email-додатків та сервісів, а також моніторинг та оцінку поточного стану кіберпростору, виявлення невідомих загроз «0-дня», аналіз інцидентів.

2) **Кібер-мережа (CyberNet)** – це децентралізована зона, представлена галузевими установами-суб'єктами системи, тобто користувачами інформаційних систем, телекомунікаційних мереж, комп'ютерної техніки тощо, - загалом будь-яких засобів, де використовуються інформаційно-телекомунікаційні технології для зберігання, модифікації та обміну даними. Суб'єкт CyberNet є постачальником визначеної інформації про події у власному кіберпросторі до CyberCenter через пристрої безпеки. Пристроями безпеки на стороні суб'єкту CyberNet є телекомунікаційне обладнання (комутатори, маршрутизатори тощо), засоби мережевої безпеки (міжмережеві екрани, системи захисту від атак, антивіруси), кінцеві пристрої користувачів, віртуальні та апаратні засоби аналізу трафіка, спеціалізовані прилади/пристрої/датчики тощо критичної інформаційної інфраструктури, включаючи телеметрію тощо. Через власні пристрої безпеки суб'єкт CyberNet виконує функції кіберзахисту власної інфраструктури, інформаційних систем тощо, а саме: збір інформації про поточний стан функціонування пристроїв користувачів, виявлення аномалій на рівні мережевих взаємодій, моніторинг мереж та інцидентів безпеки, протидія та блокування.

Організаційна, технологічна та інформаційна взаємодія обох зазначених зон (CyberCenter, CyberNet) є ключовою умовою функціонування Галузевої системи управління кібербезпекою на транспортній інфраструктурі (**CyberInfrastructure**, скорочено – **iCyber**) у цілому та запорукою реалізації заходів попередження, управління та усунення кіберзагроз. Обмін інформацією про події у кіберпросторі є ключовим чинником попередження усіх суб'єктів про кіберзагрози, а технологічна взаємодія створює умови захисту кожного суб'єкту та забезпечує функціонування системи у цілому.

Структурна схема галузевого Центру кібербезпеки паливно-енергетичного комплексу показана на рис. 3. Об'єктами кібербезпеки є об'єкти критичної інфраструктури. Об'єктами кіберзахисту є об'єкти критичної інформаційної інфраструктури: комунікаційна або технологічна система об'єкта критичної інфраструктури, кібератака на яку безпосередньо вплине на стабільне функціонування такого об'єкта критичної інфраструктури.

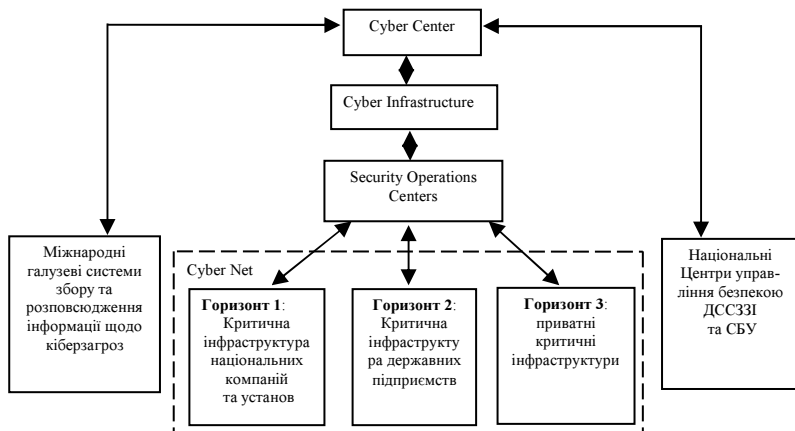


Рис. 4. Структурна схема галузевого центру кібербезпеки ОКІ

Масштабування Галузевої системи управління кібербезпекою. Масштабування іCyber здійснюється за рахунок поступового та спланованого збільшення кількості суб'єктів зони CyberNet, їх підключення до CyberCenter, та налагодження взаємодії. Для управління цим процесом CyberNet розподіляється на логічні горизонти, що виходять, насамперед, із організаційної структури галузі та специфіки управління. **Першим горизонтом** взаємодії є державні органи влади, що підпорядковані галузевим об'єктам критичної інфраструктури. **Другим горизонтом** є критична інфраструктура державних підприємств. **Третім горизонтом** є приватні критичні інфраструктури, котрі взаємодіють із другим та першим горизонтом через відповідні електронні комунікації тощо. Кожен горизонт CyberNet, а в деяких випадках його окремий суб'єкт, має власну специфіку підключення та порядок взаємодії із CyberCenter.

CyberCenter як центральний агрегатор інформації та центральна ланка Галузевої Системи Кібербезпеки здійснює в межах визначених процедур взаємодію із міжнародними галузевими системами збору та розповсюдження аналітичної та статистичної інформації щодо кіберзагроз (системи кібераналітики). Такі міжнародні системи існують як в іноземних урядах та спеціальних службах, так і у потужних ІТ-компаній. Співпраця із глобальними системами кібербезпеки надає значних переваг, насамперед, у випадках

здійснення кібератак з-за кордону, коли їх швидке розпізнавання може бути ускладнене, а протидія лише локальними «силами» може виявитися не завжди ефективною. Окрім цього, міжнародна співпраця підсилює Галузеву Систему Кібербезпеки новими знаннями, експертизою та безпосередньо інформацією про нові випадки цільових атак, кібершпionaжу тощо.

Ключовою ланкою взаємодії є інформаційно-технічна взаємодія Галузевої Системи Кібербезпеки зі створеними національними Центрами управління безпекою ДССЗЗІ та СБУ (специфіка обміну та даних встановлюється відповідними протоколами взаємодії).

Управління горизонтами CyberNet здійснюється через Галузеві центри управління кібербезпекою (Security Operations Centers), котрі створюються відповідно до специфіки галузі (наприклад для паливно-енергетичного комплексу України це ДП "Національна енергетична компанія «Укренерго», ДП "Національна атомна енергогенеруюча компанія "Енергоатом", Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України", вугільна промисловість).

2. Головні функції Галузевої системи управління кібербезпекою в ПЕК

Система управління інформаційною безпекою (СУІБ) – частина загальної системи управління, заснована на використанні методів оцінки бізнес-ризиків для розробки, впровадження, функціонування, моніторингу, аналізу, підтримки та поліпшення інформаційної безпеки.

Система управління повинна включати в себе організаційну структуру, політику, діяльність із планування, розподіл відповідальності, практичну діяльність, процедури, процеси і ресурси.

На даний момент стандартом, який визначає вимоги до побудови СУІБ є ISO / IEC 27001-2013. Стандарт ISO 27001 спрямований на впровадження процесів, що дозволяють забезпечити належний рівень інформаційної безпеки системи. СУІБ базується на процедурі оцінки та аналізу ризиків, інтегральних показників захищеності ключових інформаційних активів і виборі заходів щодо мінімізації ризиків до прийняттого залишкового рівня.

Проведення комплексу заходів із побудови системи управління інформаційною безпекою відповідно до вимог стандарту ISO 27001 дозволить вирішити такі завдання:

- Підвищення рівня безпеки. Стандарт розроблений з урахуванням кращих світових практик забезпечення інформаційної безпеки;
 - Управління. Стандарт передбачає побудову циклічного і керованого процесу забезпечення інформаційної безпеки;
 - Оптимізація витрат. СУІБ дозволяє оптимізувати і обґрунтувати витрати на інформаційну безпеку;
 - Ризики. Зниження рівня фінансових ризиків, пов'язаних з інформаційною безпекою, шляхом їх ідентифікації, оцінки та прийняття адекватних захисних заходів;
 - Привабливість. Підвищення ступеня привабливості системи на внутрішньому і зовнішньому ринках (конкурентні переваги);
 - Довіра. Підвищення довіри з боку акціонерів, клієнтів, партнерів і контрагентів;
 - Репутація. Підвищення рівня ділової репутації шляхом сертифікації СУІБ, яка демонструє високий рівень зрілості компанії.

Комплекс робіт з побудови СУІБ включає наступні роботи:

1. Визначення області дії СУІБ.
2. Попередній аудит на відповідність вимогам ISO 27001:
 - збір вихідних даних про бізнес-процеси, структурні підрозділи, інформаційно-телекомунікаційну інфраструктуру, методи і засоби забезпечення інформаційної безпеки;
 - аналіз діючої організаційно-розпорядчої документації, що регламентує питання забезпечення інформаційної безпеки;
 - оцінка поточного рівня відповідності вимогам стандарту ISO 27001.
3. Проведення оцінки ризиків:
 - Розробка методики оцінки ризиків;
 - Інвентаризація та класифікація активів;
 - Формування карти загроз;
 - Аналіз і оцінка ризиків;
 - Розробка плану обробки ризиків.
4. Розробка процедур і документації СУІБ:
 - Розробка процесів управління інформаційною безпекою;
 - Розробка процесів забезпечення інформаційної безпеки;
 - Розробка комплексу організаційно-розпорядчої документації, що регламентує питання забезпечення інформаційної безпеки;

- Розробка програм підвищення обізнаності з питань управління та забезпечення інформаційної безпеки;
- 5. Впровадження процедур і документації СУІБ:
- Впровадження процесів управління інформаційною безпекою;
- Впровадження процесів забезпечення інформаційної безпеки;
- Навчання та підвищення обізнаності співробітників в області забезпечення інформаційної безпеки.
- 6. Дослідна експлуатація СУІБ.
- 7. Сертифікаційний аудит і видача міжнародного сертифікату:
 - Взаємодія з органом сертифікації;
 - Консультаційна підтримка при проходженні сертифікаційного аудиту.

Галузева система управління кібербезпекою завдяки функціонуванню та організаційно-технічній співпраці двох зон (CyberCenter, CyberNet) забезпечує виконання головних функцій безпеки та захисту кіберпростору галузі, а саме: ідентифікація, захист, виявлення, реагування, відновлення:

1) **ідентифікація** – це заходи, що здійснюються системою для визначення користувачів та ресурсів, оцінки ризиків, оцінки вразливостей;

2) **захист** – це заходи, що здійснюються системою для контролю доступу, захисту даних (конфіденційність, цілісність, доступність), опис процесів та процедур, захисту від атак, технічної підтримки, тренування персоналу;

3) **виявлення** – це заходи, що здійснюються системою для збору подій та виявлення аномалій, моніторингу та виявлення інцидентів безпеки, побудови процесу детектування та обміну інформацією;

4) **реагування** – це заходи, що здійснюються системою для аналізу інцидентів безпеки, протидії та блокуванню засобами захисту, покращення системи захисту;

5) **відновлення** – це заходи, що здійснюються системою для відновлення після кібератаки та забезпечення відповідного розслідування.

CyberCenter виконує наступні функції:

1) централізований моніторинг та детектування мережеских аномалій;

2) централізоване попередження атак нового покоління;

- 3) централізоване детектування та аналіз шкідливого коду;
- 4) управління центральним шлюзом захисту електронної пошти;
- 5) інші додаткові централізовані функції.

Система централізованого моніторингу та детектування мережевих **аномалій** забезпечує телеметрію з приладів, що розташовані в державних підприємствах та об'єктах критичної інфраструктури. У якості сенсорів (датчики) передбачається використання існуючого мережевого обладнання, що встановлене на Інтернет-периметрі відповідних підприємств та об'єктів критичної інфраструктури. У якості протоколу збору телеметрії використовується NetFlow або аналоги. За допомоги протоколу NetFlow збирається інформація про кожну мережеву сесію (джерело, одержувач, кількість, тип та структура пакетів...). Дана інформація агрегується на колекторі NetFlow та використовується для аналізу нормальної та аномальної поведінки мережевих пристроїв.

Система централізованого попередження атак нового покоління детектує та блокує мережеві атаки та шкідливий код. В залежності від режиму може використовуватися як пасивний сенсор тільки для детектування кібератак (Intrusion Detection System), або в активному режимі для блокування та попередження атак (Intrusion Prevention System).

Система централізованого детектування та аналізу шкідливого коду Система перехоплює екземпляри шкідливих програм, аналізують вірусний код, стримують та блокують розповсюдження шкідливих програм. Зазначені системи фокусуються також на виявленні атак «нульового» дня. Для виявлення нових екземплярів шкідливих програм дана система може використовувати хмарні технології та технології Big Data.

Система управління центральним шлюзом захисту електронної пошти. Шлюз захисту електронної пошти забезпечує захист електронної пошти, фільтрує шкідливий код, спам та фішінгові атаки в поштових повідомленнях. Система актуальна для суб'єктів усіх горизонтів CyberNet, тобто державних та приватних підприємств галузі.

До інших додаткових централізованих функцій відносяться системи забезпечення спостережності подій та інцидентів безпеки, а також активного попередження складних цільових атак.

Зазначені системи надають наступні можливості:

- 1) збір мережевої телеметрії з детальною інформацією про мережеві потоки та сесії;
- 2) виявлення мережевої розвідки і зондування;
- 3) виявлення та блокування відомих загроз та атак у відповідності до правил та сигнатур;
- 4) виявлення та блокування нових типів атак за допомогою аналізу мережевої поведінки та аномалій;
- 5) виявлення та блокування центрів керування ботнетами (C & C);
- 6) відстеження та попередження спроб поширення шкідливого ПЗ (malware);
- 7) захист від DoS/DDoS атак;
- 8) захист веб-доступу та веб-трафіку;
- 9) збір та кореляцію подій безпеки, даних про мережеву телеметрію;
- 10) раннє виявлення індикаторів компрометації та слідів цільових атак;
- 11) розширений аналіз нових типів шкідливого ПЗ.

CyberNet виконує наступні функції:

- 1) технічна взаємодія із CyberCenter;
- 2) захист підключення до мережі Інтернет за допомогою наявних засобів міжмережевого екранування, у відповідності до стандартів “Довіреного Інтернет-підключення”;
- 3) автономне детектування та протидія атакам існуючими засобами (standalone IDS/IPS);
- 4) захист публічних інформаційних ресурсів, що розташовані на рівні CyberNet;
- 5) захист внутрішньої корпоративної мережі, контроль доступу до неї;
- 6) антивірусний захист;
- 7) моніторинг та контроль існуючих засобів захисту.

Суб’єкт CyberNet – державна установа, підприємство, організація - самостійно визначає рівень захисту власної ІТ-інфраструктури, покладаючись на власну відповідальність та користуючись існуючими нормативними документами, рекомендаціями експертів, виробників, фахівців національних та галузевих SOC-ів, CERT-ів (за наявності).

Література

1. Закон України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах».
2. Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України».
3. Указ Президента України від 13.02.2017 р. №32/2017 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року «Про загрози кібербезпеці держави та невідкладні заходи з їх нейтралізації».
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 29.03.2006 № 373 «Про затвердження Правил забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах».
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 10.03.2017 р. № 155-р «Про затвердження плану заходів на 2017 рік з реалізації Стратегії кібербезпеки України».
6. ДСТУ ISO/IEC TR 13335-1:2003. Інформаційні технології. Настанови з керування безпекою інформаційних технологій (ІТ). Частина 1. Концепції й моделі безпеки ІТ.
7. ДСТУ ISO/IEC 13673:2009. Інформаційні технології. Оброблення документів і пов'язане з ним пересилання даних. Тестування на відповідність систем стандартної мови узагальненої розмітки (SGML).
8. ДСТУ ISO/IEC 27001:2010. Інформаційні технології. Методи захисту. Системи управління інформаційною безпекою. Вимоги.
9. ДСТУ ISO/IEC 27001:2014. Інформаційні технології. Методи безпеки. Системи менеджменту інформаційною безпекою. Вимоги.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РЕЦИКЛІНГУ МЕТАЛУ З НАВЕДЕНОЮ РАДІОАКТИВНІСТЮ

Машиністов Віктор, Балакін Валерій, Коверя Андрій, Лукін Євген
Національна металургійна академія України, м. Дніпро, mashvic@i.ua

Анотація: Показана принципова можливість рециклінгу металу з наведеною радіоактивністю. Основою запропонованого підходу є плавлення металу, що зазнав впливу потужного нейтронного потоку в печі індукційного типу без прийняття заходів для виведення радіонуклідів з металу. Процес плавлення також сприяє відновленню фізичних і механічних властивостей металу, які змінилися під впливом нейтронів.

Ефект зменшення рівня гамма-випромінювання з поверхні виплавленого металу обумовлений переведенням наведених радіонуклідів з приповерхневого шару металу при його плавленні у весь об'єм. У результаті створюються умови для отримання радіаційно безпечного металу, придатного для застосування без будь-яких обмежень.

Успішне вирішення проблеми наведеної радіоактивності дозволить істотно поліпшити показники роботи АЕС, як з позиції радіаційної безпеки, так і з точки зору економічної складової.

Ключові слова: *наведена радіоактивність, радіаційно забруднений метал, іонізуюче випромінювання, дезактивація, рециклінг.*

Вступ. Одним з джерел потенційної небезпеки для населення і навколишнього середовища є наведена радіоактивність в конструкційних матеріалах, в тому числі в металі, під дією інтенсивних потоків нейтронного випромінювання, яке генерується в ядерних реакторах.

Нейтрони проникають всередину металу і можуть викликати залишкову зміну його фізичних і механічних властивостей, а також створювати в об'ємі металу радіонукліди з різними хімічними і радіаційними характеристиками.

Після виведення з експлуатації блоків АЕС наведена активність їх конструкційних матеріалів визначається великою кількістю хімічних елементів, основними з яких є літій, залізо, кобальт, нікель, кальцій, Європій, цезій, торій, уран [1]. Оскільки метал – це тверда речовина, то його радіаційна небезпека, як джерела зовнішнього опромінення, буде визначатися тільки гамма-випромінюванням з його поверхні. Бета- і альфа-випромінювання радіонуклідів буде повністю поглинатися в його об'ємі.

Так як наведена активність не може бути знижена за рахунок дезактивації, то матеріали, рівень забруднення яких перевищує встановлені норми, є радіоактивними відходами. На даний час єдиним вирішенням проблеми цих відходів є повний природний розпад радіоактивних продуктів, що містяться в них [2]. Для забезпечення абсолютної безпеки здоров'я людини організовується зберігання відходів до тих пір, поки всі радіонукліди не розпадуться. Так як у відходах присутні «довгоживучі» радіонукліди, то їх доводиться зберігати протягом багатьох років. У результаті, поводження, зберігання та захоронення значних обсягів радіоактивних відходів потребує великих економічних витрат.

Таким чином, проблема наведеної активності конструкційних матеріалів АЕС вимагає негайного вирішення з урахуванням як технічних, так і соціально-економічних аспектів.

Основний матеріал. Додаткова доза зовнішнього опромінення формується гамма-випромінюванням з поверхні об'єкта, забрудненого радіонуклідами. Потужність цього випромінюван-

ня пов'язана прямо пропорційною залежністю з концентрацією радіонуклідів, що забруднюють об'єкт. У [3] представлений підхід, який дозволяє знизити рівень гамма-випромінювання з поверхні забрудненої металу до рівня, що дасть можливість використовувати його в подальшому без будь-яких обмежень.

Плавлення радіоактивно забрудненого металу (РЗМ), що не піддавався попередній дезактивації, є основним елементом даного підходу. При плавленні радіонукліди, які перебували на поверхні металу, переходять в розплав і розподіляються в його об'ємі рівномірно. Таким же залишається розподіл радіонуклідів і в виплавленому злитку. У результаті процес плавлення призводить до перетворення відкритого джерела іонізуючого випромінювання, яким був РЗМ, в закрите джерело, з якого радіонукліди не можуть вийти в навколишнє середовище і потрапити в організм людини. Що стосується зовнішнього опромінення, то за межі злитка може виходити гамма-випромінювання тільки тих радіонуклідів, які знаходяться в приповерхневому шарі металу товщиною лише в декілька сантиметрів. Гамма-випромінювання всіх інших радіонуклідів поглинається в металі повністю, а альфа- і бета-випромінювання взагалі не здатне вийти за межі металевого злитка. Таким чином, виплавлений метал є джерелом виключно гамма-випромінювання, що надходить з його поверхні.

Необхідний рівень радіаційної безпеки отриманих злитків металу забезпечується шляхом регулювання кількості активності, що завантажується в плавильну піч разом з шихтою. Подальша обробка виробів із виплавленого металу не підвищуватиме рівень їх радіаційної небезпеки для біологічних об'єктів. Причому безпечні рівні гамма-випромінювання з поверхні готової продукції досягаються при настільки низьких концентраціях радіонуклідів в металі, що вони не здатні впливати на його фізичні та хімічні властивості. Розглянемо можливість використання, викладеного підходу для вирішення проблеми рециклінгу металу з наведеною радіоактивністю.

Забруднення різних об'єктів радіоактивними речовинами може бути поверхневим або об'ємним. Товщина шару наведеної радіоактивності в металі, який обумовлює гамма-випромінювання в навколишній простір, становить 1-2 см. Тому для оцінки радіаційної обстановки, створюваної цим шаром,

прийемо, що елементарні випромінювачі перебувають на поверхні металу. Для виявлення особливостей формування потужності гамма-випромінювання з поверхні об'єктів з різним видом забруднення скористаємося рис. 1. Поле випромінювання джерел визначається в точці Р, яка знаходиться в безпосередній близькості від поверхні, що випромінює.

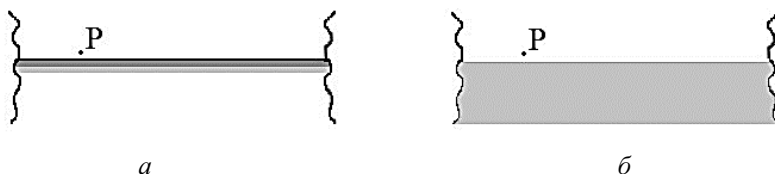


Рис. 1. Джерела випромінювання

a – джерело у вигляді нескінченної площини з рівномірним розподілом радіонуклідів по поверхні; *б* – джерело у вигляді напівнескінченного випромінюючого простору з рівномірним розподілом радіонуклідів за об'ємом

Рисунок 1,*а* відповідає ситуації, коли радіонуклідами рівномірно забруднено поверхню нескінченної площини. В цьому випадку всі радіонукліди, що представляють собою елементарні ізотропні джерела, знаходяться в однакових умовах і вносять рівний внесок у формування поля електромагнітного гамма-випромінювання, яке випускається цією поверхнею. Потужність цього випромінювання $E^{пов}$ визначатиме ступінь небезпеки для людини, що знаходиться в зоні його дії. Відповідно до [4], значення цієї потужності в точці Р може бути знайдено із співвідношення:

$$E^{пов} = 2\pi q_{пов} \cdot K_{\gamma}, \quad (1)$$

де $q_{пов}$ – поверхнева активність, Бк/м²;

K_{γ} – дозовий коефіцієнт, що характеризує кількісну залежність потужності дози випромінювання від активності, (Зв/год)/(Бк/м²).

На рисунку 1,*б* показане джерело у вигляді напівнескінченного випромінюючого простору з рівномірним розподілом активності за його об'ємом. Такий розподіл радіонуклідів істотно впливає на умови формування сумарного радіаційного випромінювання з поверхні цього джерела, так як має місце явище поглинання іонізуючого випромінювання (ІВ), створюваного радіонуклідами, що знаходяться в речовині об'єкта. Ступінь

ослаблення випромінювання кожного елементарного джерела залежить від його віддаленості від поверхні, що випромінює. Чим далі від цієї поверхні знаходяться елементарні випромінювачі, тим більший шлях до неї необхідно долати випромінюванню в речовині об'єкта іонізуючого випромінювання, і тим більша частка його енергії буде поглинатися цією речовиною. Таким чином, не всі елементарні джерела ІВ, які знаходяться в об'ємі об'єкта (рис. 1,б), вносять внесок у випромінювання з його поверхні. За межі об'єкта може вийти гамма-випромінювання лише тих радіонуклідів, які знаходяться в його поверхневому шарі, товщина якого залежить від щільності речовини об'єкта, а також від виду і енергії ІВ, що випромінюється радіонуклідами. Випромінювання інших радіонуклідів поглинається в речовині об'єкта повністю. Потужність гамма-випромінювання в точці Р може бути визначена за допомогою співвідношення [4]:

$$\dot{E}^{об} = \frac{2\pi q_{об} \cdot K_{об} \cdot d_{0,5}}{0,693}, \quad (2)$$

де $q_{об}$ – об'ємна активність, Бк/м³;

$d_{0,5}$ – товщина шару половинного ослаблення речовини об'єктного джерела, м.

Вплив виду розподілу забруднюючих об'єкт радіонуклідів на потужність дози випромінювання з його поверхні ілюструється за допомогою рисунка 2. На ньому показаний об'єкт у вигляді паралелепіпеда, виготовлений із ізотропного матеріалу, з площею однієї з площин S і довжиною d .

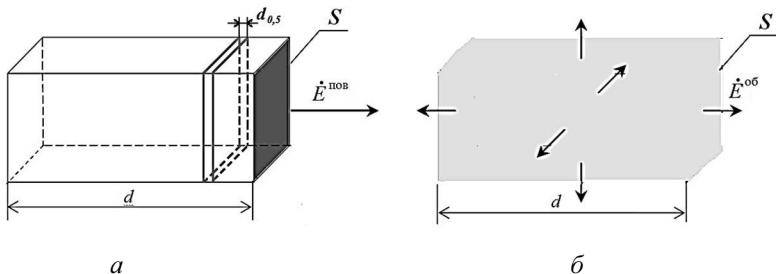


Рисунок 2. Ілюстрація залежності потужності гамма-випромінювання з поверхні об'єкта від виду розподілу забруднюючих його радіонуклідів:

а – поверхневе забруднення; *б* – об'ємне забруднення

На рис. 2,а показаний об'єкт, у якого площа S рівномірно забруднена активністю Q . Оскільки в цьому випадку поверхнева активність $q_{нов} = Q/S$, Бк/м², то потужність дози випромінювання з цієї площини буде

$$\dot{E}^{нов} = \frac{2\pi \cdot K_{\gamma} \cdot Q}{S}, \text{Зв/год.} \quad (3)$$

Якщо повна активність Q розподілена рівномірно в об'ємі $V = S \cdot d$, м³, то вираз для потужності дози випромінювання з будь-якої поверхні даного об'єкта, в тому числі і з товщини S , має вигляд

$$\dot{E}^{об} = \frac{2\pi \cdot K_{\gamma} \cdot Q \cdot d_{0,5}}{0,693 \cdot S \cdot d}, \text{Зв/год.} \quad (4)$$

Цей вираз є справедливим, якщо виконується умова

$$d > 4d_{0,5}. \quad (5)$$

З метою співставлення між собою значень потужності дози гамма-випромінювання з площини S одного джерела, що створена активністю Q при її поверхневому і об'ємному розподілі в об'єкті довжиною d (див. рис. 2), розглянемо отримане після нескладних перетворень співвідношення:

$$\frac{\dot{E}^{нов}}{\dot{E}^{об}} = 0,693 \frac{d}{d_{0,5}}. \quad (6)$$

Умова (5) практично завжди виконується і, як видно з (6), переведення забруднюючих поверхню будь-якого об'єкту радіонуклідів в його об'єм призводить до зменшення потужності дози гамма-випромінювання з цієї поверхні в $0,693d/d_{0,5}$ раз.

Як показано вище, забезпечити радіаційну безпеку джерела ІВ, яке знаходиться за межами організму людини, яка їм опромінюється, можна як шляхом зменшення кількості радіонуклідів на його опромінюючій поверхні, так і впливом на шляху поширення до нього ІВ, що створене цими радіонуклідами. Оскільки кінцевим результатом цих дій є зменшення потужності дози гамма-випромінювання, що діє на організм однієї людини, то на практиці обидва ці види впливів об'єднують одним терміном «дезактивація». Окремим випадком цього поняття є термін «са-

модезактивація», під яким розуміється ефект поглинання ІВ радіонуклідів, які знаходяться в об'ємі джерела випромінювання, речовиною цього ж джерела. За своїми наслідками така дія еквівалентна зменшенню кількості радіонуклідів на поверхні об'єкту і, в свою чергу, це призводить до зменшення рівня створюваного нею випромінювання. Застосування в широкому сенсі єдиного поняття «дезактивація», дозволяє використовувати його в цілях кількісної оцінки внеску різних чинників на потужність дози зовнішнього опромінення людини окремим джерелом.

При плавленні металу утворюються супутні продукти – шлак і газоаерозольні складові, в які переходить частина радіонуклідів, що утворилися під впливом потужного нейтронного потоку, що, у свою чергу, сприяє підвищенню радіаційної чистоти злитків. У процесі плавлення також можуть бути відновлені ті фізичні і механічні властивості металу, зміна яких була обумовлена нейтронами, що проникли в нього.

Отримані теоретичні результати вимагають експериментального підтвердження. Натурні дослідження можуть бути проведені з використанням плавильної печі невеликої ємності індукційного типу.

Висновки. Показана принципова можливість рециклінгу металу з наведеною радіоактивністю. Основою запропонованого підходу є плавлення металу, що зазнав впливу потужного нейтронного потоку в печі індукційного типу без прийняття заходів для виведення радіонуклідів з металу. Процес плавлення також сприяє відновленню фізичних і механічних властивостей металу, які змінилися під впливом нейтронів.

Ефект зменшення рівня гамма-випромінювання з поверхні виплавленого металу обумовлений переведенням наведених радіонуклідів з приповерхневого шару металу при його плавленні у весь об'єм. У результаті створюються умови для отримання радіаційно безпечного металу, придатного для застосування без будь-яких обмежень.

Успішне вирішення проблеми наведеної радіоактивності дозволить істотно поліпшити показники роботи АЕС, як з позиції радіаційної безпеки, так і з точки зору економічної складової.

Список літератури

1. Былкин Б.К., Кожевников А.Н., Енговатов И.А., Синюшкин Д.К. Наведенная активность радиационной защиты в проблеме вывода из эксплуатации ядерных установок // Ядерная и радиационная безопасность. – 2017. – № 3 (85). – С. 43-48.

2. Балакин В.Ф., Машинистов В.Е., Коверя А.С. Исследование технологической возможности промышленного рециклинга радиоактивно загрязненного металла на основе его плавления // Проблемы зняття з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення навколишнього середовища (INUDECО 18): збірник матеріалів III Міжнародної конференції (25-27 квітня 2018 року, м. Славутич). – Чернівці: ЧНТУ, 2018. – С. 14-23.

3. Ильин Л. А. Радиационная гигиена / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М., 2010. – 384 с.

4. Кимель Л.Р. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. Изд. 2 / Л.Р. Кимель, В.П. Машкович. – М.: Атомиздат, 1972. – 312 с.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Віктор Машиністов – к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України, кафедра технологічного проектування ім. В.М. Друяна; e-mail: mashvic@i.ua.

Валерій Балакін – д.т.н., професор, Національна металургійна академія України, завідувач кафедри технологічного проектування ім. В.М. Друяна; e-mail: balakinvf@gmail.com.

Андрій Коверя – к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України, кафедра металургійного палива та вогнетривів; e-mail: nakover13@gmail.com.

Євген Лукін – к.т.н., доцент, Національна металургійна академія України кафедра технологічного проектування ім. В.М. Друяна.

STUDY OF THE RECYCLING METALS POSSIBILITY WITH INDUCED RADIOACTIVITY

Victor Mashynistov, Valerii Balakin, Andrii Koveria, Yevhen Lukin

Abstract: *The principal possibility of recycling the metal with the indicated radioactivity has been presented. The basis of the proposed approach is the metal melting that subjected to powerful neutron flux in an induction furnace without measures for the removal of radionuclides from the metal. The melting process also contributes to the reduction of the physical and mechanical properties of the metal, which have changed under the neutrons impact.*

The effect of reducing the level of gamma radiation from the smelted metal surface is due to the transfer of the induced radionuclides during its melting from the boundary layer of the metal to the entire volume. As a result, conditions for obtaining radiation-safe metal, suitable for use without any restrictions are created.

The successful solution of the problem of reduced radioactivity allows significantly improve the performance of the NPP, both from the standpoint of radiation safety and in term of the economic component.

Keywords: induced radioactivity, radioactive contaminated metal, ionizing radiation, decontamination, recycling.

CHERNOBYL TOURISM: SCOPE, PURPOSES AND POTENTIAL TO REVIVE THE AFFECTED AREAS AND COMMUNITIES

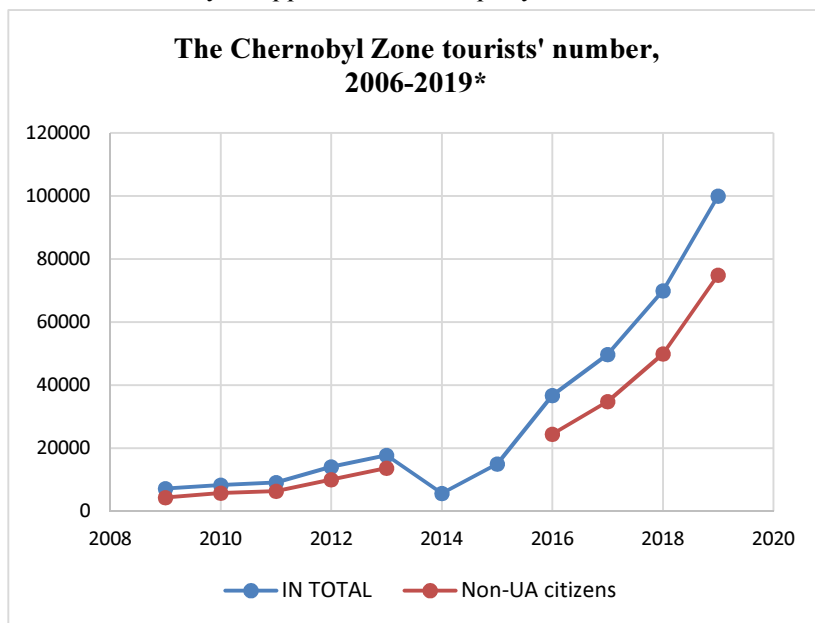
Sergii Mirnyi

“CHERNOBYL TOUR”, Chernobyl Tourism Association

Kyiv, Ukraine

s.mirnyi@gmail.com

The Chernobyl tourism is likely to be a driving force for the next stage of the Chernobyl aftermath mitigation. The number of visitors of the Chernobyl zone in 2018 reached almost 70,000 per year, and in 2019 it is likely to approach 100,000 per year.



*2008-2018 - the Zone Administration data (2018 – approx.)

*2019 – the author’s forecast

The phenomenon of this kind of tourism is principally new for the civilization: its concept was theoretically derived only two decades ago [1], and the term coined just a decade ago [2]. The notion, enhanced by extensive practice [3], has turned out to be quite productive: it has evolved into the two new, more general, concepts of post-radiation accident tourism (after the Fukushima NPP accident) [4] and, later, into the notion of existential tourism – the one to likely change the individual’s life values and priorities [5].

Both academic studies [4,6,7] and grassroots practice of the Chernobyl and Fukushima radiation accidents have proved that tourism to the affected areas (that is, into the closed zone and adjacent inhabited areas) is a mandatory means of their sustainable recovery and development. The post-radiation accident tourism has five main functions in the comprehensive system of mitigation of and recovery after the accidents [4]:

- 1) it revives economy and society of the regions affected;
- 2) it cures psychological trauma of the populations affected;
- 3) it informs and educates the general public and professionals;
- 4) it serves as a psychologically-curing symbol of overcoming the mishap [1, 6];
- 5) it stimulates the Zone recovery from the extraordinary, militarized, closed (and thus, in the long run, inefficient) state – to an ordinary, opened civil sustainable state.

As principally new phenomenon for the civilization, the Chernobyl tourism has proved to be quite unexpected both for the general public and authorities. In addition, it is extremely technologically challenging in execution (in particular, to grant radiation and general safety of the tourists). Thus, it is but natural that in its development it is to overcome quite substantial cultural-psychological and ‘administrative’ inertia and even resistance.

The Chernobyl tourism’s bottlenecks include, in particular:

- selection of scientifically valid information to convey, and its adaptation to the needs of very diverse types of the visitors;
- proper training of the guides;
- development of the adequate infrastructure for the tourism, which includes:
 - material infrastructure (radiation-safe routes; efficient check-points; roads; accommodation, dining and sanitary facilities);

- managerial system of receiving the visitors;
- legal infrastructure (adoption of the explicit formal regulations).

Next logical steps of the Chernobyl tourism development appear to be, in particular:

- diversification of the routes and types of tours (e.g., with air and river tours [e.g., 8,9]; with integration of the in-Zone and beyond-Zone routes into one coherent system; the above will require opening of new checkpoints for the tourists);
- creation of joint Ukrainian-Belorussian system of Chernobyl tourism [7] (in which Slavutych-town can play a central role);
- granting the status of the UNESCO World Heritage Site to the set of the Chernobyl-Disaster-related objects and locations [4] (perhaps, including Slavutych-town).

References

1. Mirnyi Sergii. Chernobyl National-Memorial Park: The bases of the project //Mirnyi S. 2001. Chernobyl Liquidators' Health as a Psycho-Social Trauma. Budapest. Bogar Kiado. Appendix 2. http://mirnyi.arwis.com/book_2/appendix2.html
2. Серрей МИРНЫЙ [Sergii MIRNYI]. Чернобыльский туризм [Chernobyl tourism]. //Жизнеобеспечение населения, проживающего на территории пострадавшей от катастрофы на Чернобыльской АЭС, социальная защита и гуманитарная поддержка ликвидаторов и жертв Чернобыльской катастрофы. Материалы конференции (Киев, 28-29 апреля 2010 г.) – Киев: 2010. – С. 142-145.
3. (a) CHERNOBYL TOUR. <http://chernobyl-tour.com/>; (b) Myrna O. ‘Dark tourism’ attractiveness: Chernobyl case study. Master thesis. Warsaw: Academy of Finance and Business “VISTULA”, Dept. of Economics. 2013.
4. Мирный С.В. Чернобыльский туризм как элемент системы возрождения и устойчивого развития пострадавших территорий: от Зоны – к месту Всемирного наследия ЮНЕСКО. [*Chernobyl tourism as means of sustainable recovery and development of the Disaster-affected areas: From the Zone to a UNESCO World Heritage Site*] //Радиоэкологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы. Материалы Международной научно-практической конференции (Хойники 11-12.10.2017). /Департамент по ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС МЧС Респ. Беларусь, Гос. природоохр. науч.-иссл. учреждение «Полесский гос. радиац.-экологический заповедник». Под общей ред. д.м.н., проф. И. Н. Семенени – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 86-95.

5. Tim Hutchings and Katya Linden. Tourists at Chernobyl: Existential meaning and digital media. In: Mattias Frihammar and Helaine Silverman (Eds.). *Heritage of Death: Landscapes of Emotion, Memory and Practice*. – Routledge, 2018. – Pp. 209-221.

6. Сергей Мирный. Чернобыль как инфо-травма. [*Chernobyl as info-trauma*] //Травма: пункты. /под ред. Ушакин С., Трубина Е. – Москва: Новое лит. обозрение, 2009. – С. 209-246.

7. Мирный С.В. Туризм чернобыльский трансграничный UA-BY: потенциал, проблемы, перспективы. [*Transboundary UA-BY Chernobyl tourism: potential, problems, perspectives*] //Проблемы и перспективы развития территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, на современном этапе. Материалы Международной научно-практической конференции (г. Хойники, 26-27.07.2018). Под общей ред. М.В. Кудина. ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник». Минск: ИВЦ Минфина, 2018. С. 225-231.

8. Chernobyl AIR TOUR. http://chernobyl-tour.com/chornobyl_air_tour_en.html

9. Chernobyl RIVER TOUR. http://chernobyl-tour.com/pryriat_chornobyl_river_tour.html

ВИКОРИСТАННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН ЯК БІОМАРКЕРІВ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Мишкевич Є.О., Шевцова Л.В.

Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ

Шевцова Н.Л.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Myshkevych Ye.O., Shevtsova L.V., Shevtsova N.L. HIGHER WATER PLANTS AS AN INDICATORS OF RADIOACTIVE CONTAMINATIONS. The paper describes the monitoring data on the the current state of the water environment of the affected area. Higher aquatic plants were used as a biomarkers of radionuclide contamination of aquatic ecosystems and relevance, features and efficiency of such approach is discussed.

Розширення масштабів використання ядерних технологій в різних сферах людської діяльності неминує пов'язане з ризиком потрапляння в біосферу радіоактивних речовин та опромінення живих організмів іонізуючою радіацією. Безсумнівно, ступінь цього ризику з удосконаленням ядерної техніки зменшується, проте ми вже маємо чимало прикладів аварій та витоку радіонуклідів на атомних електростанціях, випадіння радіоактивних речовин, які супроводжують випробування атомної зброї.

Дія іонізуючого випромінювання на органічні речовини, з яких утворені живі, істоти полягає в тому, що енергія фотонів гамма- чи рентгенівського випромінення або бета-, альфа-часток високої енергії настільки перевищує значення енергії зв'язку атомів в молекулах, що в ході їх взаємодії з електромагнітними полями молекул чи електронами в атомі можуть порушувати хімічні зв'язки. Внаслідок дії іонізуючої радіації на молекули органічних речовин, що входять до складу живих клітин, формуються специфічні наслідки опромінення – хромосомні аберації та інші пошкодження хромосомного апарату клітини, порушення регуляторних процесів, загибель клітин та відмирання тканин. Реакції організму на опромінення носять фундаментальний характер, визначаючи долю окремо клітини, організму в цілому і навіть майбутнє виду в ценозі.

У роботі було проаналізовано сучасний стан даних радіоекологічного моніторингу водного середовища за допомогою вищих водних рослин та перевірена ефективність використання вищих водних рослин (ВВР) в якості біомаркерів радіонуклідного забруднення водних екосистем.

Сучасний рівень і склад радіонуклідного забруднення водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС (ЧЗВ) зумовлені насамперед кількістю радіоактивних речовин, що потрапили в навколишнє середовище в перші тижні після аварії у квітні 1986 р., інтенсивністю їх подальшого надходження з територій водозбору і гідродинамічними процесами транспортування радіонуклідів за межі водойм [1].

Протягом останніх десяти років в ґрунтах і донних відкладах водойм ЧЗВ відзначається тенденцію до збільшення виходу рухливих форм радіонуклідів, які з поверхневим стоком надходять у гідрологічну мережу або локалізуються в безстічних замкнених водних системах, де швидко включаються в біотичний колообіг [1, 2]. Додатковим фактором є те, що в міру того, як збільшуються та ущільнюються зарості макрофітів, погіршується кисневий режим, нагромаджується значна кількість органічних речовин і біогенних елементів та знижується рН водного середовища. При зменшенні рН підсилюється десорбція радіонуклідів, насамперед Sr-90, та перехід їх у розчинний стан [1].

Співробітниками відділу водної радіоекології Інституту гідробіології НАН України з перших днів аварії на ЧАЕС і дотепер проводиться моніторинг вмісту радіонуклідів у ВВР [5].

Дані, представлені на рис. 1, вказують на те, що динаміка вмісту основних радіонуклідів у тканинах ВВР річкових екосистем ЧЗВ за період 1990-2007 рр. характеризувалася зниженням питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs (рис. 1а), в той час, як у замкнених водоймах Красненської заплави лівобережжя р. Прип'яті за період 1993-2007 рр.

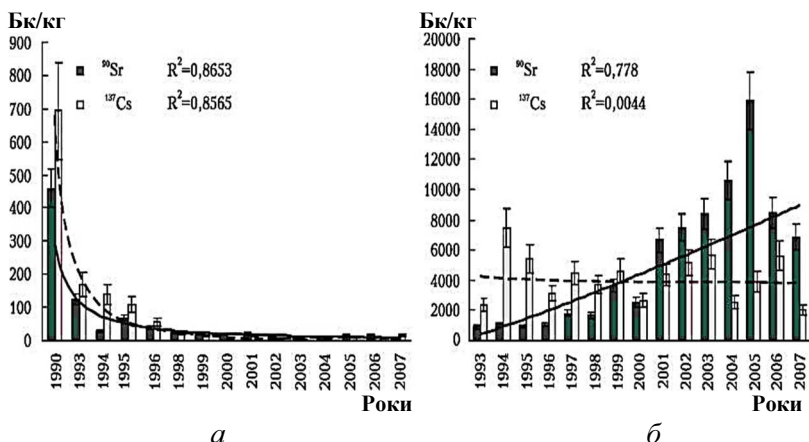


Рис. 1. Динаміка вмісту радіонуклідів у вищих водних рослин зони відчуження:

а - рогіз бузьколистий (р. Прип'ять);

б - водяний різак алоеподібний (оз. Глибоке) [2]

Було зроблено припущення що до того, що ступінь ураження очерету звичайного галоутворюючими членистоногими, зокрема кліщами *Steneotarsonemus phragmitidis*, залежить від ступеня забруднення водойми радіонуклідами [3]. Найвищий відсоток уражених рослин спостерігається в оз. Далекому-1 - до 100 %, що розташоване на території лівобережної заплави р. Прип'ять [3]. Для цієї території ЧЗВ характерна дуже висока щільність радіонуклідного забруднення.

Питома активність радіонуклідів у тканинах очерету (при природній вологості) у досліджуваній період сягала майже 10000 Бк/кг для ^{137}Cs і 2000 Бк/кг для ^{90}Sr [1, 2]. Максимальна

потужність поглиненої дози, зумовленої зовнішнім гамма-випромінюванням і радіонуклідами, які інкорпоровані в тканинах рослин дорівнювала 3,4 Гр/рік [5, 6].

Згідно з результатами цитогенетичних досліджень, частота хромосомних аберацій у клітинах меристематичних тканин очерету звичайного *Phragmites australis* у оз.Глибоке-1 сягала у 2006 р. 17 % і є максимальним значенням у рослин серед досліджених водойм ЧЗВ [6].

У водоймах зони відчуження слід відзначити також високий ступінь ураження очерету звичайного грибами-паразитами *Claviceps purpurea* (ріжками). Особливо високий відсоток склероціїв ріжків у волотях очерету спостерігали в озерах Красненської заплави р. Прип'яті з найбільшими рівнями радіонуклідного забруднення — Глибокому і Далекому-1. Таке істотне ураження волотей очерету грибами-паразитами в цих озерах спостерігається на тлі найнижчих загальних показників насінневої продуктивності рослин у водоймах ЧЗВ [3, 4].

Проведений дослідниками статистичний та кореляційний аналіз довів достовірність залежності виявлених порушень від радіаційного фактору [5].

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

для очерету звичайного у водоймах ближньої зони відчуження (з високою вмістом радіонуклідів у абіотичних та біотичних складових водних екосистем) характерний високий рівень ураження грибами-паразитами *Claviceps purpurea*;

для очерету звичайного у водоймах ближньої зони відчуження (з високою вмістом радіонуклідів у абіотичних та біотичних складових водних екосистем) характерний високий рівень ураження галоутворюючими членистоногими;

цитогенетичні дослідження макрофітів у водоймах ближньої зони відчуження свідчать про високий рівень аберацій хромосом в кореневих меристемах вищих водних рослин (очерет звичайний);

встановлено, що саме потужність поглиненої дози іонізуючого опромінення рослин стала причиною усіх, приведених вище, змін.

Отже, метод використання вищих водних рослин як біомаркерів радіаційного забруднення є ефективним і перспективним. Він може бути використаний як на територіях, що піддалися одноразовому значному забрудненню радіонуклідами, так і на територіях,

екосистеми яких піддаються постійній дії невисоких доз іонізуючого випромінення. Цей метод може бути вдосконалений шляхом збільшення кількості видів модельних організмів та шляхом збільшення кількості показників тих видів, що вже використовуються.

Література

1. Гудков Д.И. и др. Макрофиты зоны отчуждения Чернобыльской АЭС: формирование растительных сообществ и особенности радионуклидного загрязнения в условиях левобережной поймы р. Припять // Гидробиол. журн. – 2001. - Т.37. - № 6. – С. 64 – 80.
2. Гудков Д.І. та інш. Радіоекологічні проблеми водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС // Вісн. НАН України. – 2008. - № 4 – С. 44-55.
3. Gudkov D.I. et al. Lesion in common reed by gall-producing arthropods in water bodies of the Chernobyl NPP exclusion zone // Hydrobiological J. – 2006. - V.42. - №.2. - P.82-88
4. Gudkov D.I. et al. Radioecological problems of aquatic ecosystems of the Chernobyl exclusion zone // Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya. – 2009. - Vol. 49. - No. 2. - P. 192–202.
5. Gudkov D., Shevtsova N., Pomortseva N. Aquatic Plants and Animals in the Chernobyl Exclusion Zone: Effects of Long-Term Radiation Exposure on Different Levels of Biological Organization. In: Genetics, Evolution and Radiation, Springer, 2016. P. 287-302.
6. Shevtsova N., Gudkov D. Cytogenetic damages in the common reed *Phragmites australis* in the water bodies of the Chornobyl exclusion zone - Hydrobiological J. - 2013. - V.49. - № 2. - P. 85-98.

ЗНЯТТЯ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЧАЕС. ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ДЕМОНТАЖУ/ПІДСИЛЕННЯ ВИСТУПАЮЧИХ ЧАСТИН МЗ І ДЕ

Морозов Ю.В., Егоров В.В., Павловський Л.І., Холодюк А.О.

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль

yuvmorozov27@gmail.com

vigor@ukr.net

l_pavlovsk@ukr.net

kholodyuk.andriy@gmail.com

Перетворення об'єкта Укриття (ОУ) на екологічно безпечну систему (ЕБС) є одним з етапів зняття Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) з експлуатації.

Проектні рішення з будівництва комплексу Нового Безпечного Конфайнмента ОУ (НБК-ОУ) не передбачає поведження з прилеглими будівельними конструкціями ОУ машинного залу та деаераторної етажерки 4-го блоку (МЗ і ДЕ), які розташовані за межами НБК-ОУ в осях 34-39 і 65 -68.

В рамках робіт з перетворення ОУ в ЕБС, були побудовані дві нові торцеві стіни огорожуючого контуру (головне призначення котрих – забезпечення герметичності НБК-ОУ та нерозповсюдження радіоактивного пилу й аерозолів за межі НБК-ОУ при його безпечній експлуатації), що є однією зі складових частин комплексу НБК-ОУ.

У процесі виконання робіт з проекту "Реконструкція виступаючих частин ДЕ та МЗ ОУ за межі огорожуючого контуру НБК" виконані обстеження надійності будівельних конструкцій виступаючих частин ОУ за межі НБК-ОУ, а також надано оцінку радіаційних умови в ймовірних зонах виконання робіт.

На даний час розглядаються два варіанти поведження з виступаючими частинами ОУ:

1. Зміцнення/частковий демонтаж будівельних конструкцій МЗ і ДЕ;
2. Зміцнення будівельних конструкцій ДЕ та демонтаж будівельних конструкцій МЗ до позначки верху південної і західної “піонерної” стіни.

Головними критеріями для розгляду оптимального варіанту поведження з виступаючими частинами ОУ є:

- величина фінансових витрат.
- витрати на забезпечення радіаційної безпеки, включаючи дозовитрати персоналу, що виконує дані роботи;
- мінімізація утворення РАВ;
- практична можливість реалізації прийнятих проектних рішень.

Зараз розглядаються наступні рішення щодо поведження з виступаючими частинами ОУ:

1. ДЕ: Зміцнення/реконструкція аварійних будівельних конструкцій МЗ та ДЕ;
2. МЗ: Частковий демонтаж будівельних конструкцій МЗ з можливим розглядом доцільності використання приміщень МЗ нижче позначки +12,000, як тимчасове сховище для ТРО, які

утворилися в результаті реалізації проектів ОК та "Реконструкція частин ДЕ і МЗ ОУ, які виступають за межі огорожуючого контуру НБК-ОУ".

Результати вимірювань потужності дози (ПД) гамма-випромінювання в ймовірних зонах виконання робіт щодо поводження з даними конструкціями показують на їх високі величини. Так, найбільш високі значення ПД зафіксовані в МЗ в осях 66-68 й знаходяться в діапазоні 250-500 мкЗв/год.

Для виконання запланованої діяльності будуть потрібні значні фінансові та матеріальні витрати, а також для забезпечення відповідного рівня радіаційної безпеки буде потрібно розробка унікальних заходів з радіаційного захисту персоналу та мінімізації впливу на навколишнє середовище.

CHERNOBYL NPP DECOMMISSIONING. PROBLEM ASPECTS OF DISMANTLING/STRENGTHENING OF PROTRUDING PARTS OF THE TURBINE HALL AND DEAERATOR STACK.

***Abstract.** The transformation of the object "Shelter" into an environmentally safe system is one of the stages of the Chernobyl NPP decommissioning.*

Design solutions for the construction of the NSC-OS complex do not provide for converting of the adjacent building structures of the object "Shelter", a part of the turbine hall and the deaerator stack located outside the NSC-OS in axes 39-34 and 65-68.

A survey of the reliability of the building structures of the protruding parts of the Shelter under the project "Reconstruction of the protruding parts of the deaerator stack and the turbine hall of the object "Shelter" outside the enclosing perimeter of NSC" was carried out. The radiation conditions in the work areas are estimated and are in the range of 250-500 μ Sv/h.

Two variants for converting the protruding parts of the object "Shelter" are considered:

- 1. Strengthening or partial dismantling of building structures.*
- 2. Strengthening the building structures of the deaerator stack and dismantling the building structures of the turbine hall to the top mark of the southern and western "pioneer" walls.*

The main criteria for choosing the optimal convert option for the protruding parts of the object "Shelter" are:

- financial expenses;*
- radiation safety;*
- minimizing the volume of radioactive waste;*
- practical feasibility.*

Implementation will require significant financial and material costs, as well as the development of unique solutions for the radiation protection of personnel and minimizing the impact on the environment to ensure an appropriate level of radiation safety.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЩОДО РОЗМІЩЕННЯ ОСКЛОВАНИХ ВИСОКОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ НА КОМПЛЕКСІ «ВЕКТОР»

Ольховик Ю.О.

ДУ Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, м.Київ
yolkhovyk@ukr.net

PROBLEM QUESTIONS ON THE DISTRIBUTION OF HIGH-ACTIVE GLASS WASTE ON THE SITE "VECTOR"

Olkhovyk Yu. O.

Institute of Geochemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
yolkhovyk@ukr.net

At present, the characteristics of glass HAW coming back to Ukraine are limited to a minimum list of parameters necessary to ensure the operational safety of their storage. From the point of view of the future substantiation of long-term storage safety and disposal, there are problematic issues that need to be addressed when planning the disposal of these wastes. Problematic issues include the adequacy of dose coefficients and coefficients of transition of radionuclides from spent fuel to glass waste, activity and the radionuclide composition of long living isotopes, structural homogeneity of aluminophosphate glass.

Починаючи з 1993 року, відпрацьоване ядерне паливо ВВЕР-440 ВП РАЕС відправляється на зберігання та переробку на ФДУП «ВО «Маяк». Кількість осклованих ВАВ, що повертаються в Україну, розраховується за документом СОУ-Н ЯЕК 1.027:2010 «Методика розрахунку кількості високоактивних відходів, що повертаються в Україну після технологічного зберігання та переробки партії ВТВЗ ВВЕР-440» (надалі Методика).

Будівництво сховища на майданчику комплексу «Вектор» ДСП «ЦППРВ» ДК УкрДО «Радон» для проміжного довготермінового (100 років) зберігання осклованих ВАВ від переробки ВЯП ВВЕР-440 передбачено Загальнодержавною цільовою екологічною програмою поводження з радіоактивними відходами. В подальшому ці ВАВ будуть розміщені у геологічному сховищі для захоронення.

Обґрунтування безпеки захоронення зазначених осклованих ВАВ має базуватись на достовірній інформації щодо їх фізико-хімічних характеристик, що включають не тільки

радіонуклідний склад, але і прогнозовану еволюцію властивостей Na-Al-P скла в умовах довгострокового можливого впливу несприятливих факторів (температура, підземні води, радіаційний фактор тощо).

Наразі характеристика осклованих ВАВ, наведена у Методиці, обмежується мінімальним переліком параметрів, необхідних для забезпечення експлуатаційної безпеки їх зберігання.

З точки зору майбутнього обґрунтування безпеки довгострокового зберігання і захоронення при аналізі Методики вже зараз виникає ряд проблемних питань, відповіді на які потрібні при плануванні технічних рішень щодо захоронення зазначених відходів.

Перша група питань пов'язана із розрахунками кількості високоактивних відходів, що повертаються в Україну після переробки ВЯП ВВЕР-440:

1. В Методиці для розрахунку кількості високоактивних відходів, що повертаються в Україну, використані так звані «дозові коефіцієнти радіонуклідів для перорального надходження», чисельні значення яких наведені за публікацією МАГАТЕ [1]/ Однак наказом Федеральної служби РФ по екологічному, технологічному і атомному нагляду від 30.12 2013 р. № 655 встановлено, що при транспортуванні продуктів переробки ВЯП до держави-постачальника значення дозових коефіцієнтів слід приймати за документом «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».

Вищезазначені документи помітно відрізняються між собою за наведеними у них значеннями дозових коефіцієнтів. Відповідно розрізнятимуться кількість і активність відходів, що в результаті повернення мають надійти у сховища комплексу «Вектор».

2. За Методикою технологічна схема заводу з переробки ВЯП забезпечує надходження ізоотопів Pu і ⁹⁹Tc в оскловані ВАВ в кількості, що складає 0,14% і менше 1% відповідно від вихідного вмісту в опромінену ядерному паливі ВВЕР-440. Одночасно у публікаціях, присвячених експлуатації керамічного плавника на ВО «Маяк», наведені інші оцінки надходження трансураних радіонуклідів і технецію-99 у скляну матрицю [2]. Якщо надходження мінорних актинідів Am і Cm у оскловані ВАВ оцінюється практично у 100%, то для Pu воно складає 0,5%. Для ⁹⁹Tc, який має період напіврозпаду 2,1Е5 років і в далекому майбутньому

буде визначати дозові навантаження при виході із сховища, надходження залежить від умов роботи плавника і досягає до 50% від вихідного вмісту у ВЯП [3]. Таким чином, коефіцієнти надходження радіонуклідів, які є важливими з точки зору довгострокової безпеки захоронення осклованих ВАВ, мають бути підтверджені реальними вимірами на ВО «Маяк».

Інша група питань стосується радіонуклідного складу, питомої активності окремих радіонуклідів та фізико-хімічних особливостей, притаманних високоактивним відходам у вигляді алюмофосфатного скла:

1. Розрахунки вказують, що у перші триста років після утворення осклованих ВАВ найбільше енерговиділення пов'язане із осколковими радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr . Але застосування у Методиці умови рівності на момент повернення ВАВ еквівалентів активності продуктів поділу може привести до недооцінки дійсного вмісту зазначених радіонуклідів і, таким чином, до неадекватної оцінки енерговиділення у сховищі. Потрібно мати реальні дані щодо активності ^{137}Cs і ^{90}Sr в упаковках осклованих ВАВ.

2. Ізотопний склад осклованих ВАВ формується шляхом змішування рідких відходів від переробки ВЯП різного походження – від реакторів ВВЕР-440, судово-транспортних реакторів з великим збагаченням урану і від реакторів на швидких нейтронах, які відрізняються співвідношенням і питомою активністю ізотопів урану і трансуранових елементів. Доля українського ВЯП у формуванні осклованих ВАВ не перевищує 12% [4]. Так звана еквівалентність активності актиноїдів, що використовується у Методиці, не дає змоги отримати наближені до реального стану дані щодо ізотопного складу плутонію, америцію, кюрію у осклованих ВАВ від переробки ВЯП ВВЕР-440 Рівненської АЕС. Внаслідок відсутності цих даних неможливо розрахувати енерговиділення упаковок, що викликає додаткову невизначеність щодо поведінки інженерних бар'єрів при захороненні осклованих ВАВ.

3. При розливі розплаву скла у бідони формується градієнт між центром скляного блоку і його поверхнею, що може призвести до утворення тріщин і, до збільшення площі вірогідного контакту з підводними водами, що відповідним чином підвищує масштаби вилуговування радіонуклідів із скляної матриці. Крім

того, склоподібні матеріали термодинамічно нестійкі і під впливом температури мають здатність до утворення кристалічних фаз, які цілком вірогідно можуть утворитися в діапазоні 450-550°C при повільному охолодженні алюмофосфатного скла, що розливається у бідони при температурі 1000°C. Фосфатне скло при температурах більш як 450°C схильне до кристалізації, що супроводжується збільшенням швидкості вилугування компонентів на 1-2 порядки. Це зауваження ще більш слушне у разі використання для розміщення осклованих ВАВ замість сталевих бідонів ємностей із нержавіючої сталі, яка має низьку теплопровідність і таким чином забезпечить продовжений термін наявності високотемпературної зони у центрі бідона з можливістю формування кристалічних фаз. Наразі не існує доказів однорідності структури скляних блоків, утворених при розміщенні скляного розплаву у сталевих бідонах, хоча вимога контролю структурної стабільності висувається навіть до прийняття кондиціонованих РАВ у приповерхнєве сховище.

Відповіді на вищезазначені проблемні питання щодо властивостей осклованих ВАВ від переробки ВЯП ВВЕР-440 Рівненської АЕС, важливих для оцінки безпеки захоронення, можна отримати двома шляхами – або від виробника цих матеріалів з огляду на проектування в РФ підземної дослідної лабораторії для вивчення особливостей захоронення осклованих ВАВ від переробки ВЯП, або створення в Україні потужного дослідного центру з метою вичерпної характеристики ВАВ, які будуть надходити на «Вектор» після переробки на ВО «Маяк» та ФДУП «ГХК», що потребує значних фінансових витрат.

Література:

[1] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiations and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series No. 115. 2003.

[2] Копырин А. А., Карелин А. И., Карелин В. А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива: учеб. пособие для вузов. М. : ЗАО «Издательство Атомэнергоиздат», 2006. 576 с.

[3] Демин А. В., Матюнин Ю. И., Поляков А. С. Локализация элементов платиновой группы и технеция при отверждении жидких ВАО с получением фосфатных и боросиликатных материалов: реферат // Материалы 4-й ежегодной научно-технической конференции Ядерного общества. Нижний Новгород, ВНИИНМ, 1993.

[4] Ольховик ЮА. Балансовая оценка формирования остеклованных высокоактивных отходов при переработке отработанного ядерного топлива ВВЭР-440 Ровенской АЭС. Ядерная энергетика та довкілля. – 1(3). – 2014. – с. 24–27.

ОЦІНКА СТАНУ ПИЛОПРИГНІЧУЮЧОГО ПОКРИТТЯ В ПІДПОКРІВЕЛЬНОМУ ПРОСТОРИ ОБ'ЄКТУ «УКРИТТЯ»

М. І. Павлюченко, Д. О. Муляр, А. О. Дорошенко

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України,

вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

The measures of dust suppression are considered, inside particular, in the under-roof space of «Shelter» object. The methods of assessing the state of protective polymeric coverage on the SO are described. The results of the conducted researches are presented as well as the dynamics of radioactive aerosols emissions. Based on the conducted research, it was formulated the commendations on the need of dust suppression measures in the short term.

Keywords: *dust suppression measures, localizing of the polymeric coverage, standard of enterprise, estimation of the coverage state, radioactive aerosol.*

Ліквідація наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС), зокрема, перетворення об'єкта «Укриття» (ОУ) на екологічно безпечну систему, супроводжуються пилоутворюючими процесами, як наслідок відбувається поширення радіоактивних аерозолів. Для зменшення даного негативного фактору необхідне застосування комплексу заходів, а саме, здійснення постійного моніторингу процесів що відбуваються, для проведення своєчасних заходів з пилопригнічення.

Використання рідких сумішей, для запобігання поширенню радіоактивних аерозолів у зоні відчуження почалося з перших днів аварії на ЧАЕС. А з 1989 року за допомогою автоматизованих систем здійснювалося нанесення пилопригнічувальних сумішей на поверхню «розвалу», що був 4-м блоком Чорнобильської АЕС.

Кількість акумулюючих і локалізуючих розчинів, поданих в «розвал» реактора і приміщення ОУ в 2001-2005 роках склала 1020 тон. У період з 2006 по 2012 рік було розпорошено 83 тони пилопригнічуючої суміші (по сухому залишку).

У 2013 р. проведено три сеанси пилопригнічення, в підпокрівельному просторі ОУ була подана пилопригнічуюча полімерна суміш (ППС) марки АК- 510 (23 % по масі) у кількості

45 тон [1, 2]. В жовтні 2017 року у зв'язку з проведенням робіт по герметизації Нового безпечного конфайнмету були проведені превентивні роботи по пилопригніченню (ППС марки АК- 510, 23 % по масі у кількості 15 тон ЛППС).

У 2014-2015 роках сеанси пилопригнічення не проводилися, водночас відбувалися дослідження радіаційного стану на ОУ, за результатами яких й було рекомендовано утриматися від пилопригнічення, у зв'язку з відсутністю значного впливу на радіоаерозольну обстановку, збільшенням товщини плівки, та подачею великої кількості рідини до ОУ, що в свою чергу могло б погіршити радіаційний стан об'єкту. Постійний моніторинг та дослідження отриманих результатів є необхідним елементом для ефективного та виправданого застосування пилопригнічення.

Оцінка стану захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі (ПП) ОУ виконується двома методами (способами): непрямыми – пошук та встановлення в часі зв'язку між активністю аерозолів в результаті моніторингу: «організованих» викидів, викидів через технологічні люки легкої покрівлі ОУ, об'ємної активності, поверхневого забруднення та випадінь в ПП ОУ; прямі методи ґрунтуються на відборі та лабораторних випробуваннях зразків-свідків відповідно до Стандарту підприємства [3].

Зміну захисних властивостей характеризують по площі зруйнованого покриття. Визначення утворення пухирів і корозії металу не здійснювалося, оскільки плівка наносилася на забруднені поверхні і кородований метал. Для оцінки стану полімерного покриття в ПП, в якості зразків-свідків відбирались фрагменти бетону, дерева, пластику, металу, гуми та ін., які покриті захисним полімерним покриттям за допомогою МСПП. У 2018 році було відібрано 8 зразків біля опори балки «Мамонт» і 10 зразків в міжконтрфорсному просторі у встановлених точках контролю [4].

Візуальні спостереження полімерного покриття на вибраних зразках свідчать про мінімальні пошкодження без помітних слідів деструкції і відшарування. Покриття, на представлених зразках з району опори балки «Мамонт» та міжконтрфорсного простору ОУ, знаходиться у хорошому стані, а виявлені дрібні дефекти не знижують його захисних властивостей, на досліджених зразках полімерна плівка покриває 100% площі.

Дослідження «організованих» викидів, об'ємної активності, поверхневого забруднення, випадінь в ПП ОУ та їх прогнози показники свідчать про тенденцію до зниження викидів радіоактивних аерозолів, зокрема за час промислової експлуатації (з 2006 р.) модернізованої системи пилопригнічення середня швидкість річних викидів через технологічні люки легкої покрівлі ОУ знизилась майже в 5 разів [5].

При поточній експлуатації ОУ і без змін його стану заходи з пилопригнічення у 2019 році проводити не рекомендовано, так як стан захисного полімерного покриття в ПП ОУ задовільний і воно виконує свої функції, існуючі процеси руйнувань покриття повільні. Локалізуюче покриття міцно зафіксувало радіоактивний пил на покритих поверхнях. Надалі необхідно продовжувати моніторинг параметрів радіоактивних аерозолів ОУ, та проводити оцінку стану захисного покриття в ПП та міжконтрфорсному просторах Нового безпечного конфайменту ОУ.

Важливе значення має технічне вдосконалення та переоснащення діючих систем. Період до перетворення ОУ на екологічно безпечну систему буде супроводжуватися пилоутворюючими процесами, саме тому раціональні заходи з проведення пилопригнічення дозволять мінімізувати вплив радіоактивних аерозолів на навколишнє середовище.

Література:

1. Определение характеристик образцов защитного пленочного покрытия подкровельного пространства объекта «Укрытие». Отчет // Контракт № SIP09-2-001-HOSR-005. Документ SIP 09-2-001 NI03 RPT 00502. – Чернобыль, 2010. – 136 с.

2. Проведение исследований локализирующего полимерного покрытия в подкровельном пространстве объекта «Укрытие» для оценки его физико-механических и защитных свойств: (Отчет) / ИИБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2012. - 173 с. ГР № 0112U005383.

3. СТП 3.031-2015 «Оцінка стану захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкту «Укриття» (зі змінами). – 11 с.

4. Огородников Б. И. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг. : монография /Б. И. Огородников, Э. М. Пазухин, А. А. Ключников ; НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев. обл.) : Ин-т проблем безопасности АЭС, 2008. – 456 с.

5. Оцінка захисного полімерного покриття в підпокрівельному просторі об'єкту «Укриття» станом на 2018 р. (договір № 381/18): (Звіт) / ІПБ АЕС НАН України. - Чорнобиль, 2018. - 77 с., УДК 621.039.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Микола Павлюченко – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; зав. сектору.

Основні напрями наукових досліджень: заходи по стабілізації радіаційного стану ОУ, методи та технології радіаційного захисту ОУ.

e-mail: rmirb@i.ua

Дар'я Муляр – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; інженер I кат.

Основні напрями наукових досліджень: заходи по стабілізації радіаційного стану ОУ, методи та технології радіаційного захисту ОУ, розрахунок активності ТСМ.

e-mail: 3055113@gmail.com

Анатолій Дорошенко – Інститут проблем безпеки АЕС НАН України; м.н.с.

Основні напрями наукових досліджень: моніторинг та контроль нейтронної активності, модернізація системи моніторингу всередині ОУ, підвищення ефективності контролю нейтронної активності.

e-mail: ipb.doroshenko@gmail.com

УДК 521.039.586

ВПЛИВ «АРКИ» НА РАДІОЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ В ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ПРОММАЙДАНЧИКА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

М. І. Панасюк, О. І. Стоянов, П. А. Люшня,

*Л. Б. Чикур, І. П. Онищенко**

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а,
Чорнобиль, 07270, Україна, npanasyuk53@gmail.com

*Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, вул. О. Гончара, 556, Київ, 01054, Україна

У доповіді представлено зміни радіоекологічних умов в підземних водах під комплексом НБК-ОУ після встановлення «Арки» у проектне положення. Припинення інфільтрації атмосферних опадів привело до зниження в 1,5-4 рази концентрацій основних іонів і величини мінералізації у верхній частині водоносного горизонту. В блокових водах ОУ концентрація основних іонів та мінералізація підвищилися в 1,7 – 8 разів. Деякі водні скучення ОУ висохли, що привело до значного підвищення ПЕД гамма-випромінення в цих приміщеннях.

Концентрації тритію у підземних водах знизилися з 900 - 1100 до 30 - 50 Бк/л. Об'ємні активності ^{90}Sr та ТУЕ залишилися незмінними За межами «Арки», по окремим спостережним свердловинам, спостерігається зростання мінералізації та концентрації іонів в 1,4 – 5 разів, можливо, під впливом контакту бетону пального фундаменту НБК з підземними водами.

Ключові слова: «Арка», проммайданчик ЧАЕС, підземні води, паливовий фундамент, радіонукліди, основні іони, рН, міграція.

Вплив насування «Арки» і в зв'язку з цим припинення інфільтрації атмосферних опадів привів до зниження в 1,5 - 4 рази концентрацій основних іонів і величини мінералізації у верхній частині водоносного горизонту. І навпаки, в одному з джерел радіоактивного забруднення доквілля - блокових водах ОУ, за рахунок припинення потрапляння атмосферних опадів, концентрація основних іонів та мінералізація підвищилась в 1,7 – 8 разів. Деякі водні скупчення, які формувались усередині об'єкта «Укриття», зовсім висохли, що привело до значного підвищення ПЕД в цих приміщеннях .

Для оцінки умов надходження радіоактивно забруднених вод із приміщень зруйнованого блока в ґрунтові води в якості «природного» індикатора раніше застосовувався тритій. Тритій в істотних кількостях детектується тільки в блокових водах. Наявність високих концентрацій тритію нижче за течією ґрунтових вод від об'єкта «Укриття» (північна ділянка) однозначно вказувала на місця радіоактивного забруднення підземних вод за рахунок надходжень блокових вод і на негерметичність об'єкта «Укриття». Після насування Арки, концентрації тритію на північній ділянці знизилися з 900 - 1100 до 30 - 50 Бк/л. Причина цього - припинення потрапляння блокових вод у доквілля. Разом з тим у блокових водах всередині ОУ по окремих точках спостереження (т. с. 32 і т. с. 35) концентрації тритію підвищились у 3 - 5 разів. Зростання концентрацій тритію, можливо, пов'язане з підвищенням щільності потоків нейтронів у підреакторних приміщеннях.

Один із механізмів підвищення міграційної здатності радіонуклідів у підземних водах пов'язаний із формуванням сильнолужного середовища з рН більше 9.5. Високі значення рН формуються безпосередньо при контакті ґрунтових вод із бетоном фундаментів споруд чи надходженням у водоносний горизонт водних мас, що контактували з бетоном. Разом з тим незважаючи на припинення інтенсивного надходження у водоносний го-

ризонт інфільтраційних та блокових вод, значного зменшення величини рН та об'ємних активностей радіонуклідів у підземних водах під Аркою поки що не відбувається.

Корозія бетону фундаменту Нового безпечного конфайнмента, який складається з 424 палей, що перекривають водоносний горизонт на половину його потужності, може призвести до зміни хімічного складу підземних вод. Явних фактів, що підтверджують цей процес, поки що не зафіксовано. Але спостерігається зростання мінералізації та окремих іонів в пробах із свердловини 31-1А в 1,4 – 5 разів. Цей факт потребує подальших спостережень та уточнень.

Одним із заходів, який може привести до зменшення радіоактивного забруднення підземних вод, є регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів. На окремих ділянках поверхні промайданчика ЧАЕС склалися сприятливі умови для зосередженої інфільтрації атмосферних опадів через радіоактивно забруднені ґрунти зони аерації в підземні води. Об'ємні активності ^{90}Sr у пробах підземних вод із свердловин, що розташовані в зоні впливу таких ділянок, досягають 1200 – 3800 Бк/л. Одна із таких ділянок розташована біля південної стіни СРТВ (свердлов. С-4А, 3-Г, 30-1А). Дощові води з даху Сховища РТВ скидаються на рельєф та інфільтруються через радіоактивно забруднені ґрунти в підземні води. Ліквідація зосереджених скидів атмосферних опадів на поверхню промайданчика ЧАЕС дасть змогу значно зменшити радіоактивне забруднення довкілля.

INFLUENCE OF «ARCH» ON THE RADIOLOGICAL CONDITIONS IN THE UNDERGROUND WATER CHERNOBYL NPP INDUSTRIAL SITE

*M. I. Panasiuk, O. I. Stoianov, P. A. Lyushnyya,
L. B. Chykur, I. P. Onyshchenko*

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine,
Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine, nipanasjuk53@gmail.com

*Radio-Environmental Center NAS of Ukraine, O. Gonchara str., 55b,
Kyiv, 01054, Ukraine

The report presents changes in the radioecological conditions in underground waters under the NSC-SO complex after the «Arch» has been installed in the design position. The cessation of atmospheric precipitation infiltration led to a 1.5 – 4 times decrease in the concentrations of the main ions and the mineralization in the upper part of the aquifer. In the block waters of the SO the concentration of the

main ions and mineralization increased by 1.7 - 8 times. Some waterclusters of the SO was had evaporated, which has led to a significant increase dose power gamma-radiation in these rooms. Concentrations of tritium in groundwater decreased from 900 - 1100 to 30 - 50 Bq/liter. Volume activity of ^{90}Sr and TUE remained unchanged outside the Arch. An increase in mineralization and concentration of ions 1.4 – 5 times is observed in individual observation wells, possibly under the influence of the contact of the concrete pile foundation of the NSC with groundwater.

Key words: «Arch», ChNPP industrial site, underground waters, pile foundation, radionuclide's, basic ions, pH, migration.

УДК 521.039.586

РОЗВИТОК МЕТОДУ СПЕКТРОМЕТРИЧНОГО ГАММА-КАРОТАЖУ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦІЇ ЗАХОРОНЕНЬ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

М. І. Панасюк, О. І. Стоянов

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорно-
биль, 07270, Україна, nipanasyuk53@gmail.com

Наведено досвід використання гамма-каротажу та спектрометричного гамма-каротажу свердловин для визначення характеристик радіоактивного забрудненого ґрунту. Цей комплекс робіт був застосований для характеристики радіоактивних відходів, які планувались до вилучення при улаштуванні котлованів для фундаментів НБК в локальній зоні об'єкта «Укриття». Удосконалення методу набуло розвитку при дослідженні РАВ ПЗРВ "Підлісний". На основі результатів спектрометричного гамма-каротажу була уточнена структура радіоактивного забруднення ґрунтів навколо свердловин, що посприяло отриманню прогностичних оцінок характеристик РАВ. Це обумовлено можливістю завдяки спектрометричному гамма-каротажу проводити кількісну оцінку привнесеного поверхневого забруднення стовбура свердловини. Ця оцінка основана на відмінності відношення інтенсивності в максимумі фотопіку ^{137}Cs і в максимумі комптонівської частині спектру, що характеризують поверхневе і об'ємне забруднення. В доповіді розглянуті напрямки щодо подальшого вдосконалення методу спектрометричного гамма-каротажу для уточнення характеристик РАВ. Досвід виконаних робіт дозволяє застосувати дані підходи при ліквідації наслідків техногенних аварій.

Ключові слова: спектрометричний гамма- каротаж, радіоактивно забруднені ґрунти, характеристики РАВ, фундаменти НБК, ПЗРВ «Підлісний»

Склад робіт з характеристики неорганізованих захоронень радіоактивних відходів включає: 1) буріння свердловин; 2) відбір проб з отриманного матеріалу; 3) проведення гамма- каротажу та спектрометричного гама - каротажу по стовбуру свердловин для визначення активності ^{137}Cs в захороненнях, типу забруднення та просторового розподілу активних інтервалів.

Цей комплекс робіт був застосований для характеристики радіоактивних відходів, які планувались до вилучення при улаштуванні котлованів для фундаментів НБК в локальній зоні об'єкта «Укриття». При цьому для каротажу використовувались спостережні свердловини радіогідроекологічного моніторингу та свердловини, які бурились для паль шпунтового огороження стінок котлованів по периметру котлованів, що планувались до розробки. Відстань між цими пальовими свердловинами дорівнювала 1,5 м. Всього були опробуванні більш 700 свердловин.

При комплексному аналізі результатів гамма-каротажу свердловин в ряді випадків відзначалось підвищене значення потужності експозиційної дози в інтервалі глибин, на яких знаходяться доаварійні техногенні і природні алювіальні ґрунти. Оскільки наявність високої радіоактивності в цих ґрунтах важко пояснити, було зроблено припущення, що це явище може бути пов'язане з перенесенням забруднення з верхніх активних шарів (захоплення радіоактивних відходів) в процесі буріння.

Перенесене забруднення (поверхневе забруднення) передбачає, що, або рівномірно, або в вузькому інтервалі, з'явилося радіоактивне забруднення на стінках стовбура свердловини в вигляді активних частинок ґрунту, не пов'язане із забрудненням оточуючих свердловин ґрунтів. На відміну від поверхневого забруднення, об'ємний тип має «натуральний» розподіл радіонуклідів в об'ємі ґрунту. Цей тип забруднення характерний для активного шару: за нинішніми уявленнями активний шар є техногенним ґрунтом, в якому паливні частинки мають більш-менш однорідний розподіл.

Невизначеність типу забруднення (об'ємне / поверхневе) може призвести до завищених прогнозних величин активності ґрунту (радіоактивних відходів) з негативними для прогнозів наслідками. Для ідентифікації поверхневого забруднення був застосований спектрометричний гамма-каротаж.

Ідентифікації типу забруднення (поверхневий або об'ємний) відбувається за допомогою критеріїв, що були визначені в наших попередніх дослідженнях. Вона основана на відмінності відношення інтенсивності в максимумі фотопіку ^{137}Cs і в максимумі комптонівської частині спектру, що характеризують пове-

рхневе і об'ємне забруднення. Підставою для припущення, що форма спектрального розподілу γ -випромінювання (співвідношення первинного $E_\gamma=0,66$ МеВ і комптонівського розсіяного $E_\gamma<0,66$ МеВ випромінювання) є наступне.

Процес послаблення γ - випромінювання з енергією $E_\gamma= 0,66$ МеВ відбувається за рахунок комптонівського розсіявання. Масовий коефіцієнт комптонівського послаблення практично не залежить від хімічного складу речовини: $\mu/\rho = \sigma_k N Z/A$, де σ_k - переріз комптонівського розсіявання, N - число Авогадро, Z і A - атомні номери і маса елемента ($Z/A \approx 0,5$ для $Z \leq 40$, $Z/A \approx 0,4$ для U). Масовий коефіцієнт фотопоглинання залежить від Z : $\mu/\rho \approx Z^5$. У складі високоактивних відходів (ВАО) об'єкта "Укриття" слід очікувати як хімічні елементи з $Z \leq 40$ (грунт, бетон та конструкційні матеріали), так і елементи палива $Z \approx 92$. Для елементів з $Z \leq 40$ ослаблення γ -випромінювання практично повністю визначається комптонівським розсіяванням, а для важких елементів, з $Z \geq 92$, істотний внесок має давати фотопоглинання. Перерозподіл механізмів взаємодії фотонів з речовиною в залежності від концентрації важких елементів (урану) повинно вплинути на форму енергетичного спектру, що виходить зі зразка γ -випромінювача. Ослаблення первинного γ -випромінювання ($E_\gamma=0,66$ МеВ) залежить тільки від щільності речовини й дуже слабо від концентрації урану, отже, вимірювання абсолютної активності ^{137}Cs можна проводити по піку повного поглинання $E_\gamma=0,66$ МеВ.

Для виконання вимірювальних робіт в свердловинах локальної зони об'єкта "Укриття" методом спектрометричного гамма - каротажу був використаний свердловинний спектрометричний вимірювальний комплекс зі змінними блоками детектування, який дозволяє досліджувати гамма-поле в окремих точках стовбура свердловин в широкому діапазоні значень ПЕД. Спектрометричні вимірювання за допомогою цього комплексу також були виконані при дослідженні РАВ, що локалізовані в ПЗРВ «Підлісний».

Досвід застосування спектрометричного гамма - каротажу показує, що аналіз відношення інтенсивності комптонівської частини спектру та фотопіку необхідно аналізувати не тільки в інтервалах свердловини де виявлені аномалії гамма-поля, а також по

всьому стовбуру свердловин. Тому в подальших дослідженнях в ПЗРВ «Підлісний» вимірювання проводилися з шагом 0.1 – 0.2 м вдовж ствола свердловини. При цьому спостереження за зміною співвідношення інтенсивності комптон/фотопик можуть дати остаточну відповідь про тип активності. Саме результати порівняльного аналізу додають впевненості у визначенні типу забруднення. Досвіт виконаних робіт дозволяє застосувати дані підходи при ліквідації наслідків інших радіаційних техногенних аварій, наприклад, аварії на АЕС Фукусима.

DEVELOPMENT OF SPECTROMETRIC GAMMA- LOGGING WELLS METHOD FOR CHARACTERIZATION DISPOSED RADIOACTIVE WASTE

M. I. Panasiuk, O. I. Stoianov

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine,
Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine, nipanasjuk53@gmail.com

The experience of using gamma-logging and spectrometric gamma-logging wells is given to determine the characteristics of radioactive contaminated soil. This complex of works was used for the characterization of radioactive waste that was planned to be withdrawn when arranging pits for the NSC foundations in the local area of the Shelter Object. Improvement of the method has developed in the research of radioactive waste of SDRW "Pidlisny". On the basis of the results of spectrometric gamma-logging the structure of radioactive contamination of soils around wells was clarified, according to which predicted estimations of radwaste characteristics were performed. The implementation of spectrometric gamma-logging was due to the need for a quantitative assessment of the introduced surface contamination of the wellbore. This estimate is based on the difference of the intensity ratio for maximum of the ^{137}Cs photopic and maximum of the Compton spectrum, which makes it possible to determine the type of pollution: surface or volumetric. The report considers directions for further improvement of the spectrometric gamma-logging method for clarification of RW characteristics. The work experience will have allows us to apply these approaches to the elimination of the consequences of technogenic accidents.

Key words: spectrometric gamma-logging, radioactive contaminated soils, RW characteristics, foundation pits for the NSC, SDRW "Pidlisny".

ОБ ОДНОМ РЕШЕНИИ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДОКУМЕНТОВ

Максим Пантин, Антон Турок, Данил Клюев

Abstract: IT-systems are provided.

Keywords: IT-systems in Nuclear decommissioning, OCR, document processing.

Описание проблемы. Несмотря на развитие информационных и цифровых технологий, значительную долю в современном управлении играет оборот документов, выполненных печатным способом. Это документы информация которых непосредственно находится на бумажном носителе. В части непосредственно электронных документов, преобладающим большинством является файл, содержимое которого концентрируется вокруг его представления на экране компьютера, а не информации в самом документе. Другими словами, большинство электронных документов являются «псевдо-бумажными», имитирующими их бумажные аналоги.

Вышеизложенное делает актуальным решение проблемы обработки таких документов машинным способом, с целью извлечения оттуда полезной информации и представлению ее в виде структурированного массива информации. Об одном из таких подходов к решению данной проблемы пойдет речь ниже.

Архитектура системы цифровой обработки документов.

Типовой процесс обработки документа можно описать следующей диаграммой:

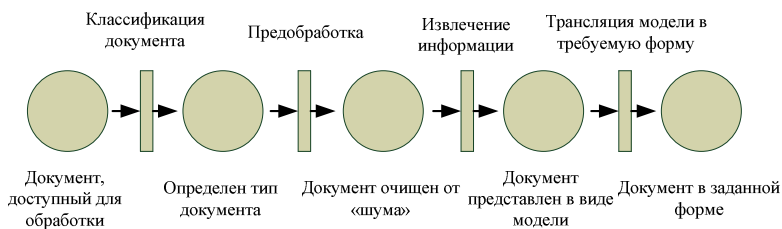


Рис. 1. Типовой процесс обработки документа

Таким образом, для решения данной задачи потребуются следующие основные и служебные компоненты:

Классификатор входящих документов – выполняет анализ входного документа на предмет отнесения его к известному классу документов для его последующей обработки. Для доку-

ментов, представленных в виде изображения, такой классификатор может быть выполнен на базе нейронной сети. В то время как для документов, описанных в виде текста, существуют эффективные алгоритмы на базе статистических методов.

Модуль предобработки – выполняет очистку документа от шума (незначущей информации). Например, для изображений это операции масштабирования, поворота, фильтрации и цветокоррекции, и т. п. Для машинно-читаемых текстовых документов очистка от служебной информации, например, размеры и виды шрифта, цвет и прочее, что связано с представлением документа, а не его информационной наполненностью.

Блок обработки – выполняет извлечение информации из документа и представление его в виде промежуточного системного языка описания извлеченной информации.

Модуль пост-обработки – выполняет трансляцию информации из промежуточного системного языка в форму, требуемую для конечного исполнения.

К служебным компонентам следует отнести модули масштабирования и балансировки нагрузки, самодиагностики, журналирования (логгирования) и управления кибер-безопасностью.

Структурная схема системы представлена на рис.2.



Рис. 2. Структурная схема системы

Предложения и выводы. Предложенное практическое решение задачи обработки документов разных типов позволяет эффективно решать задачи создания интерактивных архивов документации; обеспечить перенос информации в поисковые системы; автоматизировать задачи наполнения баз данных.

Внедрение подобного решения на АЭС, снимаемых с эксплуатации, может эффективно решить задачу сохранения накопленных знаний для будущих поколений, путем цифровизации существующих бумажных архивов [1, 2].

Ссылки

[1] A. Schlemmer, M. Saveliev. Investigation of ChNPP Information System Suitability for Decommissioning (Reactor Units 1 and 2). OSAT/RPT/OSA/00042. Tacis services DG IA, OSAT, Project Reference: NUCUK9403A/97-0305, European Commission, 1999.

[2] M. Saveliev. IT-systems required on the stage of nuclear decommissioning. Proceedings of 3d INUDECO Conference, Ukraine, 2018 pp.310.

ОБ АВТОРАХ

Максим Пантин – главный инженер компании «ДДПРО».

Антон Турок – Ведущий инженер-программист, специалист в области постобработки документов компании «ДДПРО».

Данил Ключев – инженер-программист, специалист в области обработки изображений компании «ДДПРО».

Электронная почта: max.pantin@digitaldata.pro, anton.turok@digitaldata.pro, danylo.kliuiev@digitaldata.pro

Основные направления исследований: разработка программного обеспечения, системы обработки информации, OCR.

ОЦІНКА СТАНУ ВОДОЙМИЩА-ОХОЛОДЖУВАЧА ЧАЕС, ЯК ОБ'ЄКТУ З ПОТЕНЦІЙНО РАДІАЦІЙНО- НЕБЕПЕЧНИМИ ВПЛИВАМИ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Паскевич С.А., Кафтанатіна О.А.,

Городецький Д.В., Меньшєнін Є.А.

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль

serpua@gmail.com

o.kaftanatina@gmail.com

d.gorodetsky@isnpp.kiev.ua

За впливом на довкілля радіаційно-небезпечні об'єкти (РНО) на території Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) умовно поділяються на дві категорії:

- об'єкти, радіаційні впливи яких на довкілля контролюються (технічні об'єкти, що експлуатуються);

- об'єкти з неконтрольованими радіаційними впливами.

До об'єктів з неконтрольованими радіаційними впливами належить низка об'єктів, що законсервовані або закинуті з часів активної фази ліквідації аварії на ЧАЕС (залишені місця дезактивації техніки, місця відстою радіоактивно забрудненої техніки, залишені звалища часів ліквідації аварії тощо). Більшість цих

об'єктів має радіоактивне забруднення, яке значно перевищує рівень забруднення суміжних ділянок, що є потенційною загрозою радіаційних впливів на довкілля у випадку виникнення надзвичайних ситуацій (пожеж, підтоплень тощо). Саме неконтрольований характер радіаційних впливів цих об'єктів становить найбільшу загрозу для навколишнього середовища, персоналу та населення що мешкає за межами ЧЗВ і потребує розробки та застосування певних запобіжних протирадіаційних заходів.

На даний момент часу, найбільш потенційно небезпечним РНО з неконтрольованими радіаційними впливами на навколишнє середовище є водоймище-охолоджувач ЧАЕС (далі по тексту водоймище). Насамперед це пов'язано з великою кількістю радіоактивних аварійних випадків, що депоновані на його території, а також значними розмірами цього РНО. Станом на 2019 рік більше половини території колишнього водоймища осушена і на цих ділянках дна відбуваються процеси відновлення рослинного покриву, які акумулювали значну кількість радіоактивних речовин в надземній біомасі. З урахуванням того, що за останні роки сталось декілька великих пожеж на суміжних з водоймищем ділянках, що призводило до значного забруднення повітря радіоактивними аерозолями, є ймовірним виникнення такої катастрофічної події безпосередньо на ділянках колишнього водоймища. Саме тому в дослідженнях проведено оцінку накопичення фітомаси на цих ділянках, як потенційного джерела депонованої горючої органічної речовини та визначено рівні її забруднення радіонуклідами.

Інші потенційні ризики для довкілля, що з'явилися після виведення водоймища з експлуатації криються в тому, що на денну поверхню вийшли масиви радіоактивно забруднених ґрунтів днища водоймища, які є суттєвим потенційним джерелом вітрового перенесення радіоактивного пилу на суміжні з ним території.

Дослідження розподілу радіонуклідів (^{137}Cs , ^{90}Sr і TUE) у профілі ґрунтів осушеного днища найбільш забруднених західної та північно-східної частин водоймища показали, що на даний момент часу, основний запас радіоактивних речовин (від 95 до 97 %) зосереджено на глибині від 0 до 10 см від поверхні ґрунту. При цьому у верхньому 5-см шарі ґрунту знаходиться, в середньому, від 53 до 66 % загального запасу радіонуклідів.

Особливістю осушених масивів днища водоймища є те, що шар ґрунту від 5 до 10 см є більш ущільненим, ніж шари від 0 до

5 см і від 10 до 20 см (в середньому, на 23 і 17 % відповідно). При цьому величина щільності шару ґрунту від 5 до 10 см коливається в межах від 1,34 до 2,11 г/см³ (середньозважене значення – 1,89 г/см³), що ймовірно є наслідком природних процесів лесіважу більш дрібних (мулистих) часток у нижні шари ґрунту під час тривалого періоду його затоплення.

З урахуванням зазначених вище обставин можна стверджувати, що верхній шар радіоактивно-забрудненого ґрунту (від 0 до 5 см) на осушених ділянках днища водоймища є найбільш схильним до впливу факторів, що призводять до водної та вітрової ерозії, яка є потенційним джерелом вторинної міграції радіоактивного забруднення на суміжні території.

Дія факторів ерозії особливо небезпечна у теплий період року під час висихання поверхневого шару ґрунту на ділянках з низьким проективним покриттям поверхні природною рослинністю. Запобігти ризикам розвитку таких явищ може лише розробка і впровадження спеціальних протиерозійних заходів з укріплення верхнього шару ґрунтового покриву осушених ділянок днища водоймища.

Найбільш дієвим заходом запобігання ерозії верхнього шару ґрунтів осушених ділянок водоймища є утворення штучного рослинного покриву, на потенційну успішність якого вказує розвиток природної рослинності на цих ділянках. Так, на осушених прибережних ділянках, які знаходяться біля самого урізу води, формуються найбільш сприятливі умови для швидкого утворення рослинного покриву з високими показниками проективного покриття поверхні. На них формуються рослинні асоціації, де висота рослин досягає від 1,5 до 1,8 м, а продуктивність рослинних угруповань становить від 1,5 до 1,6 кг/м² повітряно-сухої маси. Таким чином буде створюватись природний бар'єр на шляху вторинної міграції аварійних радіоактивних випадінь за межі ділянки водоймища.

***Abstract.** As a result of the drainage of the ChNPP reservoir, large arrays of radioactively contaminated soils were appeared. They can serve as sources of significant radiation impacts on the environment due to their erosion by wind and water. Our studies have shown that the main amount of radionuclides (from 95 to 97 %) in these soils is concentrated in the upper 0 - 10 cm layer. Also, these soils have a unique feature - a friable top 0-5 cm layer, which is submerged by a denser layer (up to 2.11 g/cm³) at a depth of 5 to 10 cm, and it increases the negative effects of erosion factors. Reducing the negative impact of erosion factors on these soils can be done by creation of artificial plantations of perennial plants with a high projective surface coating.*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕМОНТАЖУ ЕЛЕМЕНТІВ ПОКРІВЛІ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» А ОЦІНКА ДОЗ ОПРОМІНЕННЯ ПЕРСОНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Пашинов М.В., Паскевич С.А.

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль

maxpachinov@gmail.com

serpua@gmail.com

Об'єкт «Укриття» (ОУ) є радіаційно-небезпечним об'єктом, на якому здійснюється великий об'єм робіт з перетворення його на екологічно-безпечну систему. Спорудження Нового безпечного конфайнменту – проміжний етап для забезпечення допустимих рівнів радіаційного забруднення довкілля від негативного впливу ОУ. Розрахунковий час експлуатації НБК складає 100 років. За цей час необхідно виконати демонтаж конструкцій ОУ, що можуть завалитись, а також вилучити найнебезпечніші скупчення паливовмісних матеріалів.

Демонтаж нестабільних конструкцій ОУ передбачає виконання робіт в умовах з високими рівнями іонізуючого випромінювання та в умовах, де рух персоналу ускладнений зовнішніми чинниками. Роботи на покрівлі ОУ є одним з прикладів виконання таких робіт оскільки вони здійснюватимуться на похилій поверхні, що ускладнює не тільки пересування персоналу, а також й доступ до місць виконання будь-яких операцій. Все це несе великі ризики травмування працівників та вимагає посиленої уваги до забезпечення заходів безпеки.

В Інституті проблем безпеки АЕС створено віртуальну модель об'єкта «Укриття» та проведено тривимірне моделювання процесу демонтажу металеві ферми підсилення на південній частині покрівлі. Мета досліджень полягала в оцінці дозових навантажень на персонал впродовж виконання кожної технологічної операції з демонтажних робіт. Для проведення розрахунків застосували дані характеру радіаційної ситуації на покрівлях, які були використані для розробки проекту демонтажу металеві ферми, що був затверджений в 2015 році.

Для проведення розрахунків використали програмний комплекс HVRC VRdose Planner, який призначений для планування здійснення робіт в складних радіаційних умовах. Він дає мож-

лівість на основі тривимірних моделей інтерпретувати радіологічну інформацію радіаційно-небезпечних об'єктів, де планується здійснюватися діяльність людини. HVRC VRdose Planner дозволяє створювати віртуальні моделі поведінки персоналу на всіх етапах проведення робіт та відтворити детальний технологічний процес демонтажу конструкцій за участю людини.

В результаті проведеної науково-дослідної роботи:

1. Виконано адаптацію тривимірних моделей конструкцій ОУ розроблених в ІПБ АЕС для програмного комплексу HVRC VRdose Planner.

2. Проведено візуалізацію даних ПЕД, що були отримані впродовж обстежень на покрівлі ОУ та на поверхнях металевої ферми підсилення.

3. Розроблено сценарії виконання всього комплексу робіт з демонтажу металевої ферми підсилення та виконані обчислення накопиченої дози для кожного з віртуальних учасників роботи.

4. Виконано порівняння даних щодо опромінення персоналу, які були отримані впродовж проекту «Реконструкція об'єкту «Укриття» ДСП ЧАЕС в частині демонтажу металевої ферми підсилення південної покрівлі» з даними отриманими за допомогою HVRC VRdose Planner.

5. Створено наочну демонстрацію віртуальних сценаріїв робіт та руху персоналу на покрівлі ОУ для цілей ознайомлення та навчання майбутніх учасників та виконавців проекту.

Таким чином, в проведених дослідженнях опрацьовано практичні кроки з розробки, впровадження та застосування засобів тривимірного моделювання для об'єкта «Укриття». Зокрема, моделювання може широко використовуватися для таких завдань, як вибір оптимальних сценаріїв перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему, удосконалення методів вимірювання радіаційної обстановки в умовах об'єкта «Укриття», моделювання радіаційної обстановки та динаміки її змінення в об'єкті «Укриття» і поблизу нього, забезпечення радіаційної безпеки у процесі експлуатації та перетворення об'єкта «Укриття», зокрема вилучення паливовмісних матеріалів тощо.

Застосування розробленої тривимірної моделі ОУ може бути корисним в майбутньому при плануванні та виконанні операцій з обслуговування, ремонту та заміни обладнання в радіаційно-

небезпечних умовах. Дасть змогу приймати обґрунтовані рішення про доцільність тієї чи іншої діяльності, вибрати оптимальні технічні рішення та оптимізувати радіаційний захист.

***Abstract.** Modeling of radiation conditions formed on the roof of the Shelter was carried out. Radiation field maps have been created that enable the calculation of the dose loads for personnel that will be involved in the work on the dismantling of the roof of the Shelter.*

Practical steps have been worked out on the development, implementation and application of such computer models in the context of the Shelter. In particular, simulation can be widely used to solve various tasks such as selecting the best scenarios for transforming the Shelter into an environmentally safe system, improving the methods for measuring the radiation situation in the Shelter.

The application of the developed 3D model of the Shelter can be useful in the future when planning and performing operations on maintenance, repair and replacement of equipment in radiation-hazardous conditions and will allow to make reasonable decisions about practicability of one or another type of activity, reasonably choose optimal technical solutions.

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІНОСУ РАДІОНУКЛІДІВ З ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ВОДНИМ ШЛЯХМ У ВИПАДКАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

*Пилипенко О¹., Железняк М², Ківва С. ¹, Сорокін М. ¹,
garashi Y²., Коноплєв О.², Wakiyama Y.², Nanba K.², Onda Y.³,
Кіреєв С.⁴., Обрізан С.А., Лантєв Г. ⁵, Войцехович О.⁵*

¹Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

²Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

³Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics,
University of Tsukuba

⁴ДСП «Екоцентр» ДАЗВ

⁵Український гідрометеорологічний інститут ДСНС і НАН України
oi.pylypenko@gmail.com

За багаторічними даними моніторингу транспортування радіонуклідів зі стоком річки Прип'ять в Київське водосховище є основним шляхом виносу радіоактивності за межі Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ). Інтенсивність цього виносу суттєво зростає в періоди високих весняних повеней. Останній значний зріст концентрації ⁹⁰Sr в річці Дніпро поблизу міста м. Києва спостерігався під час високого весняного водопілля 1999

року. Будівництво дамб на лівобережній та правобережній заплавах р. Прип'ять вище за течією Чорнобильської АЕС дозволило запобігти змиву ^{90}Sr з цих суттєво забруднених територій під час високих повеней. В той же час, сценарії руйнування цих дамб під час повеней з відповідним затопленням задамбових територій і послідуочим надходженням забруднених вод з них до річки Прип'яті залишається хоч і гіпотетичним сценарієм, але таким, що може привести до значного збільшення виносу радіоактивності з ЧЗВ. Тому актуальною є розробка вдосконалених комп'ютерних систем прогнозування наслідків таких ситуацій в різних гідрологічних умовах з урахуванням сучасної інтенсивності обміну радіонуклідів між ґрунтом і водним потоком на водозборах і заплавах. В рамках проекту ЄС з впровадження системи підтримки прийняття рішень RODOS в ЧЗВ (2017-2018) ця система була встановлена в ДСП Екоцентр і ДСП ЧАЕС.. В рамках якій фінансується японською державною програмою SATREPS проводяться дослідження сучасного стану забруднення водозборів і річок ЧЗВ і параметрів фізико-хімічних процесів, які визначають інтенсивність змиву радіонуклідів з водозборів і заплави зони. Використання таких параметрів дозволить підвищити точність моделювання виносу радіонуклідів з ЧЗВ. В доповіді представлені поточні результати цих міжнародних проєктів

Ланцюг гідрологічних моделей HDM- JRODOS, що був розроблений в ППМС НАНУ, включає моделі, згs описують динаміку радіонуклідів у річках і водоймах суходолу. HDM- JRODOS складається з моделей: змиву радіонуклідів з водозбору (RETRACE_R), переносу радіонуклідів в річках та в каскадах водосховищ (одновимірна модель RIVTOX_SV), на річкових заплавах та в водосховищах s прибережній зоні моря (двовимірна модель COASTOX-UN/ , В рамках проєкту РОДОС-Чорнобиль моделі RETRACE_R, RIVTOX_SV налаштовані для річкових систем, які транспортують радіонуклідів з ЧЗВ нижче за течією у Дніпровський каскад водосховищ. Двовимірна модель COASTOX-UN налаштована для моделювання екстремальних ситуацій на заплаві річки Прип'ять.

Весняні водопілля в регіоні Зони відчуження супроводжуються виносом радіонуклідів річкою Прип'ять у Київське водосховище і подальший перенос при змішуванням з водами Верхнього Дніпра через Київське водосховище до Київської ГЕС і далі до регіону м. Київ при змішуванні з водами р. Десна. Відповідно регіон моделювання включає територію водозбору р. Прип'ять в межах Зони відчуження, р. Прип'ять, Київське водосховище та верхню частину Канівського водосховища в регіоні м. Києва нижче устя р. Десна (Рис.1). Для прогнозних розрахунків надходження радіонуклідів в річку Прип'ять з водозбору використовується розподілена модель RETRACE системи JRODOS. Для впровадження в ЧЗВ модель була модифікована для використання емпіричних оцінок об'ємів стоку за рахунок сніготанення в періоди весняного водопілля.

Розподілена модель змиву радіонуклідів RETRACE_R використовує карти щільності випадінь на водозборах Чорнобильської зони (Рис.1) і розраховує потік радіонуклідів з кожного елемента розрахункової сітки до найближчого відрізка річкової мережі. Інтенсивність цього потоку розраховується через змінний в часі емпіричний коефіцієнт змиву, інтенсивність опадів (чи водовіддачі від сніготанення) і щільність забруднення елемента сітки.

За період після аварії результати вимірювань демонстрували значне збільшення концентрації ^{90}Sr в р. Прип'ять біля Чорнобиля під час значних весняних повеней. Прикладом є найбільш значна повінь з 1986 року яка сталася в 1999 році, коли концентрація ^{90}Sr збільшилась з 200 до 2400 Бк/м³ при зростанні витрат води у Прип'яті з 500 до 2800 м³/с

При тестуванні підсистеми прогнозу змиву радіонуклідів з ЧЗВ під час весняних повеней користувачами було вказано на необхідність надати можливість вибирати прогнозний гідрограф водопілля з включеної в систему бази даних гідрографів років-аналогів різної забезпеченості з можливістю подальшого коригування. Така база даних була сформована на основі інформації наданої Відділом гідрологічних прогнозів УГМЦ

Результати розрахунків проведених для сценарію повені 25 % забезпеченості також представлені на Рис. 1. Результати моделювання тестувалися за даними спостережень під час попередніх значних повеней.

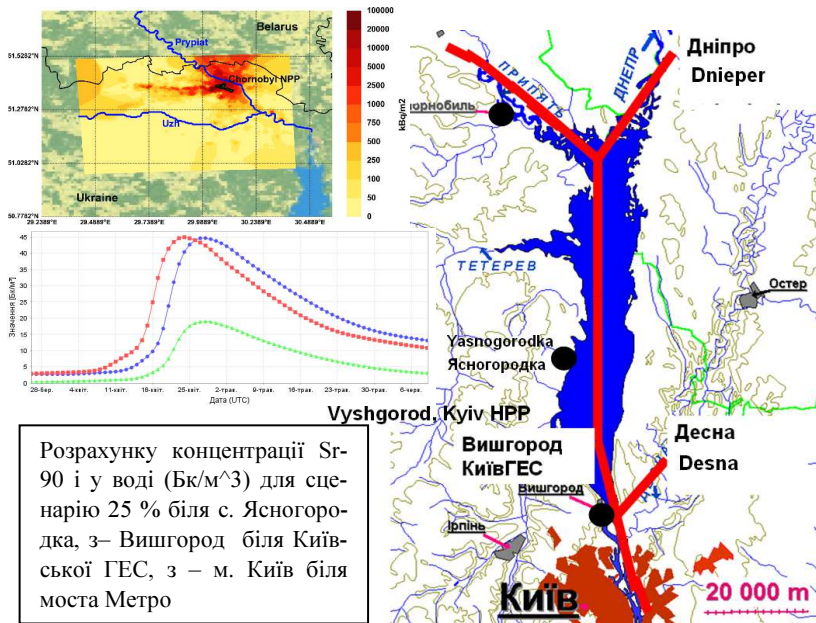


Рис. 1. Карта регіону моделювання змиву радіонуклідів в р. Прип'ять моделями RETRACE- RIVTOX і схема одновимірної розрахункової мережі моделі RIVТОКС, налаштованої для прогнозування виносу радіонуклідів із Зони відчуження

В результаті прогностичного моделювання користувач системи може отримувати прогноз динаміки концентрацій стронцію-90 в р. Прип'ять, біля м. Чорнобиль і при впадінні р. Прип'ять в Київське водосховище, в Київському водосховищі. При цьому також і з прогнозується часу надходження піку забруднення до верхнього б'єфу Київської ГЕС і до Києва – пункту гідрологічних спостережень біля моста Метро.

Серед сценаріїв ризиків найнебезпечнішим сценарієм підвищення концентрації радіонуклідів у р. Прип'ять в межах ЧЗВ вважається сценарій прориву дамби, що захищає ліву сторону заплави на р. Прип'ять вище за течією Чорнобильській АЕС (Рис.2). Згідно сценаріїв проривів у різних частинах дамби забруднені території будуть затоплені, а потім забруднена вода буде скинута до р. Прип'ять через місце прориву. Щоб надати інструмент для моделювання цих сценаріїв, новітня версія 2D-

моделі COASTOX-UN була інтегрована в JRODOS з урахуванням існуючих даних для заплави р Прип'ять. Розроблено графічний інтерфейс підсистеми для різних сценаріїв прориву дамби.

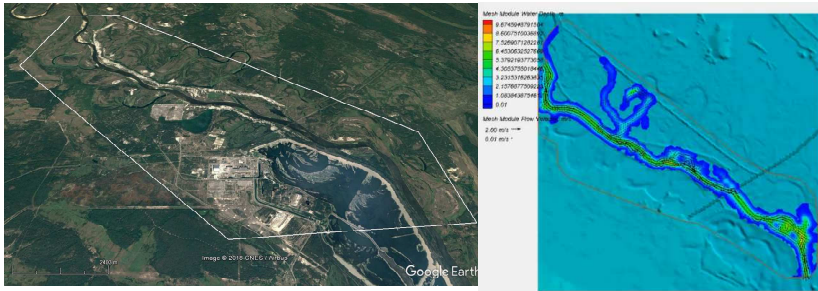


Рис. 13. Регіон моделювання запливи біля ЧАЕС та приклад розрахунку прориву дамби

Для підвищення точності прогнозування концентрації радіонуклідів у Прип'яті і Дніпрі моделями вже встановленими в ДСП Екоцентр, а також іншими гідрологічними моделями, необхідно уточнення коефіцієнтів, за допомогою яких параметризуються процеси обміну в системах «вода- дно», приймаючи до уваги, що ці параметри могли змінитися в останнє десятиріччя в порівнянні з характеристиками, які визначалися в період інтенсивних польових досліджень кінця 80-х та початку 90-х років. Відповідні польові та лабораторні дослідження проводяться в рамках проекту SATREPS з 2017 року зусиллями об'єднаного колективу японських й українських дослідників.

Ці дослідження проводяться для трьох масштабах гідрологічних і фізико-хімічних явищ:

- точковий відбір та аналіз вмісту та форм надходження радіонуклідів в поверхневих зразках ґрунту та колонках верхнього метрового шару ґрунту заплави та водозборів;
- обладнання невеликих дослідницьких ділянок для вивчення ерозії ґрунту та змиву радіонуклідів з поверхневим стоком;
- збір та аналіз історичних даних та організація автоматичного вимірювання стоку води, наносів та радіонуклідів в малих річках ЧЗВ.

Отримані нові результати вимірів забруднення ґрунту дозволили проаналізувати заглиблення зони значних концентрацій ^{137}Cs і ^{90}Sr в товщу ґрунту. При цьому, якщо для ^{137}Cs ця

зона не дуже змінилася в розмірі за післяаварійні роки – основні забруднення знаходяться в верхньому 15- 20 см шарі , то фронт заглиблення значних концентрацій ^{90}Sr заглибився більш ніж на 0.5 м. Така динаміка ^{90}Sr пов'язана з виявленим значним збільшенням долі водорозчинних форм ^{90}Sr на водозборах - від 10%-15% в перші роки після аварії до 70%-75% в 2018 році. Таке явище, що пов'язане з руйнуванням «гарячих» (паливних) частинок, суттєво впливає на зменшення значень коефіцієнту розподілу в системі вода- ґрунт відносно ідентифікованих після аварії значень. Також в результаті зросту долі водорозчинних форм підвищується значення коефіцієнту змиву ^{90}Sr з водозбору. З іншого боку, при підготовці вхідних даних для моделювання повинно прийматися до уваги що значна частина ^{90}Sr вже виведена з верхнього контактного з водою шару ґрунту за рахунок вертикальної дифузії водорозчинних форм ^{90}Sr . Визначені значення відповідних понижуючи коефіцієнтів для розрахунку щільності забруднення для території заплави за водоохоронними дамбами поблизу м Прип'ять, яка

Міжнародним стандартом досліджень водної ерозії ґрунтів з водозборів в природних умовах є експериментальні майданчики формату USLE довжиною вздовж схилу 22.1 м і шириною від 2 до 7 метрів. Після аварії на АЕС Фукусіма вимірювання на таких майданчиках з використанням автоматизованого обладнання дозволили виявити специфічні особливості змиву радіонуклідів у розчині та з еродованим ґрунтом для схилів різної крутизни і різних категорій землекористування. Цей досвід було використано для обладнання трьох експериментальних майданчиків розмірів 5*22.1 м , розташованих біля с.Корогод, с Копачі та в районі Рудого лісу на ділянці, що постраждала після лісового пожегу. Проводиться накопичення даних водного стоку, твердого стоку і змиву радіонуклідів з цих майданчиків. Найбільша динаміка вносу зареєстрована під час весняної повені 2018 року та йде накопичення даних під час весняного сніготанення 2018 року.

Розпочалося комплексне дослідження з встановленням систем автоматизованого моніторингу в басейні малої річки Сахань, що впадає в р. Прип'ять поблизу ЧАЕС і має найбільш забруднений водозбір з річок зони. При цьому проведено збір, систематизацію і обробку метеорологічної, гідрологічної інфор-

мації і даних про концентрацію радіонуклідів в р Сахань накопичених в ДСП Екоцентр на інших установах України за період спостережень з 1986 року. Дані історичних і поточних вимірів аналізуються з використанням нової боксової моделі транспорту радіонуклідів в малих річках.

Вже проведенні дослідження і ті, що будуть продовжуватися в рамках проекту SATREPS дозволяють підвищувати точність прогнозування наслідків екстремальних гідрологічних ситуацій в ЧЗВ за рахунок ідентифікації сучасних значення параметрів моделей прогнозування виносу радіонуклідів з річковим стоком з ЧЗО, що відповідають поточним фізико-хімічним особливостям змиву радіонуклідів з водозборів і річкових заплавл Зони відчуження.

ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Пількевич Юлія, Розорінов Георгій

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Київ, Повітрофлотський просп.,
Національний технічний університет України "Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, просп. Перемоги, 37

І Вступ

Відеоспостереження, свідками бурхливого розвитку якого ми є останні роки, може послужити не тільки відповіддю людства на виклик міжнародного тероризму, воно може стати надійним інструментом захисту людей і матеріальних цінностей від непередбачених обставин. Все це можливо лише в одному випадку – при правильному розумінні можливостей і ефективному використанні системи відеоспостереження – починаючи з коректної постановки задач і проектування систем, і закінчуючи навчанням персоналу і грамотної експлуатації обладнання.

З кожним роком, ще більший інтерес людства викликає захист свого здоров'я, вони працюючи на атомних електростанціях мають на меті скоротити час перебування та мінімізувати дозу отриманої радіації.

Саме тому, головною метою даної роботи є надання рекомендацій із застосування сучасних камер відеоспостереження, покращення їх захисту від іонізаційного випромінювання, аналіз технічної реалізації з виявленням головних переваг і недоліків.

Відомо, що питання радіаційної стійкості відеокамер та інших охоронних систем є досить новим напрямком для галузі. І не кожна компанія має можливість для випробувань на радіаційну стійкість. Адже ці дані потребують роз'яснень: на стійкість до якого виду випромінювань проводяться випробування, яка зміна параметрів при подібних впливах приймалася за допустиму, як проводиться моделювання, з якою енергією виконується випробування.

Робота можливо допоможе узагальнити причини, які зумовлюють погіршення якості зображення та видокремити необхідні аспекти, що зможуть покращити захист від іонізаційного випромінювання.

II Основна частина

Іонізуюче випромінювання – це сукупність різних видів мікрочастинок і фізичних полів, що здатні іонізувати речовину, тобто утворювати в неї електрично заряджені частинки – іони. Розрізняють декілька видів іонізуючих випромінювань: альфа-, бета-, гамма-випромінювання, а також нейтронне випромінювання [1].

II.1 Вплив іонізуючого випромінювання на речовину

Дію іонізуючих випромінювань на матеріали та вироби можливо розділити на імпульсну (протікає дуже короткий час) і безперервну (протікає тривалий час).

Між впливом імпульсної радіації, що виникає в результаті ядерного вибуху, і безперервної радіації, що діє на об'єктах з ядерними енергетичними установками і космічні об'єкти, існує велика різниця.

Вплив безперервної проникаючої радіації призводить до поступової необоротної зміни електричних параметрів виробів електронної техніки, що викликається в основному зсувами атомів, тобто порушеннями в структурі матеріалу, а також незначною зміною хімічного складу (активацією).

Імпульсна радіація, яка діє короткий час ($10^{-7} - 10^{-3}$ с) разом з незворотною зміною електричних параметрів виробів електронної техніки аналогічна впливу безперервної проникаючої радіації, та створює дуже велику щільність іонізації як в самих опромінювальних виробках, так і навколо виробів (іонізація повітря) [2].

II.2 Дія радіації на конструкційні матеріали виробів електронної техніки

В даний час встановлено, що фундаментальні параметри реальних кристалів (електро- і теплопровідність, механічні, оптичні і магнітні властивості, коефіцієнти дифузії та ін.) пов'язані з точковими дефектами. Отже, ці дефекти (і їх вторинні ефекти) будуть визначати комплекс електричних параметрів тих елементів електронної техніки, основою яких є кристалічна структура.

В результаті впливу ядерних випромінювань у всіх твердих тілах незалежно від типу структури можуть відбуватися зміщення атомів з утворенням вакантних вузлів і впроваджених атомів. У міру накопичення цих дефектів, коли їх кількість стає порівняною з вихідною кількістю, властивою цьому матеріалу або виробу, електрофізичні властивості починають істотно змінюватися [3].

II.3 Дія радіації на напівпровідникові прилади і інтегральні мікросхеми

В даний час є значна кількість робіт, присвячених дослідженню механізмів деградації біполярних транзисторів при впливі проникаючого випромінювання. Частина з них широко узагальнена, наприклад в роботах [4-6].

Експериментально доведено, що при опроміненні більшість параметрів біполярних транзисторів змінюється. Однак серед них можна виділити основний – статичний коефіцієнт передачі струму, зменшення якого при опроміненні обмежує радіаційну стійкість багатьох класів схем на транзисторах.

У загальному випадку зміна цього параметра обумовлено зміною як об'ємних, так і поверхневих властивостей напівпровідників. Випромінювання, що втрачають основну частину своєї енергії в процесі пружного розсіювання, створюють, головним чином, радіаційні дефекти в обсязі напівпровідника, що призводить до зміни часу життя, концентрації і рухливості носіїв заряду. Випромінювання, які при проходженні через речовину втрачають свою енергію за рахунок непружного розсіювання, іонізують газ в корпусі приладу, генерують і збуджують вільні носії заряду, що може призвести до зміни поверхневих властивостей напівпровідників.

II.4 Дія радіації на п'єзокварцові матеріали та вироби

П'єзокварцові вироби є найбільш відповідальними функціональними елементами радіоелектронної апаратури. Завдяки вдалому поєднанню механічних, електричних і оптичних властивостей кристалічний кварц зайняв виняткове становище в науці і техніці (кварцові високостабільні генератори, електричні фільтри, ультразвукові пристрої). Кварц є з'єднанням атомів кремнію з атомами кисню. Хоча окис кремнія – широко поширене на землі з'єднання, проте прозорі кристали кварцу, придатні для використання в електронній промисловості, зустрічаються досить рідко.

Вивчення впливу випромінювань на кварц становить інтерес як з точки зору визначення можливих змін параметрів кварцових виробів (резонаторів, фільтрів, ліній затримки та інших), які працюють в умовах інтенсивного опромінення, так і з точки зору можливості спрямованого зміни фізичних властивостей кристалів кварцу і параметрів готових виробів шляхом введення дозованих кількостей радіаційних дефектів.

II.5 Дія радіації на радіодеталі і радіокомпоненти

Конденсатор за своєю конструкцією є системою, що складається з електродів (обкладинок), розділених діелектриком. Залежно від виду діелектрика конденсатори поділяються на такі класи: паперові, плівкові, слюдяні, керамічні, стеклокерамічні, електролітичні й окисно-напівпровідникові.

Для забезпечення необхідної стабільності характеристик і підвищення експлуатаційної надійності конденсаторні секції поміщають в металеві або ізоляційні корпуси ущільненої або герметичної конструкції, а в необхідних випадках просочують секції органічними матеріалами (парафіном, церезином, конденсаторним маслом та ін.).

В якості електродів в конденсаторах використовуються металева фольга (мідь, алюміній) або тонкий шар металу (цинк, алюміній), нанесений безпосередньо на діелектрик.

При дії іонізуючих випромінювань в електролітичних конденсаторах відбувається радіоліз електроліту, що супроводжується виділенням газоподібних продуктів. В результаті цього спостерігається порушення ущільнень і катастрофічне погіршення електричних параметрів (в першу чергу, ємності). У рідинних електролітичних конденсаторах з об'ємним пористим

анодом з оксидів танталу і ніобію найменш радіаційно-стійким елементом є герметизуюча прокладка з фтороорганічної гуми, яка втрачає необхідні пластичні властивості. В результаті розчин сірчаної кислоти може вилитися за межі герметизованого обсягу і викликати додаткові зміни характеристик конденсаторів і навіть призвести до порушення його працездатності.

Причиною погіршення електричних параметрів окисно-напівпровідникових конденсаторів в умовах впливу радіації при великих інтегральних потоках є зниження опору двоокису марганцю.

II.5 Дія радіації на системи відеоспостереження

Відмінність систем відеоспостереження від телевізійного мовлення полягає у тому, що сигнал не передається у відкритому режимі. Системи відеоспостереження часто використовуються для спостереження у місцях, які потребують постійного нагляду.

На промислових об'єктах камери спостереження можуть використовуватись для централізованого стеження за виробничим процесом, або, у разі наявності середовища, небезпечного для людини. Системи відеоспостереження можуть знімати безперервно, або вмикатись лише за заданою подією. Досконаліші системи стеження, з використанням цифрових відеорекордерів, дозволяють створювати записи, які зберігатимуться роками, з різною якістю та з додатковими можливостями.

Стандартна система відеоспостереження складається з відеокамери, відеореєстратора, монітора.

Водночас, системи відеоспостереження діляться на дротові (аналогові) та бездротові (IP).

Відеоспостереження може використовуватися на атомних електростанціях для перевірки обладнання, спостереження за критичним обладнанням, а також для ознайомлення з робочими місцями в навчальних цілях.

Як правило, немає регуляторних вимог стосовно захищеності камер відеоспостереження, що використовуються на атомній електростанції, однак камери, встановлені у захисному середовищі, як правило, мають бути сейсмо-захищеними (щоб запобігти потенційному пошкодженню, котре може призвести до падіння камери під час землетрусу). Зазвичай вибирають

комбінацію камер, придатних для різних задач. Деякі з високим, середнім або низьким захистом від випромінювання. Рішення залежить від таких факторів, як максимальна (загальна тривалість) загальна доза, максимальна (динамічна) потужність дози, інтервал обслуговування та вартість послуги (запасні частини та робоча сила).

Існує два основних типи радіаційно захищених технологій відеоспостереження: камери цифрового електронного променя у старому варіанті (катодно променева трубка) або цифрові технології, такі як CCD (зарядний пристрій) та CMOS (комплементарні металеві оксидні напівпровідники), які виробляються за допомогою напівпровідника замість вакуумної трубки. Загалом, камерні трубки мають більшу радіаційну стійкість і потребують менше технічного обслуговування, ніж технології CCD. Проте трубчасті камери можуть мати більші витрати на технічне обслуговування, а зображення може бути пошкоджене, вигорівше або мати відставання кадру та потребує перезавантаження.

До трубних камер відносяться камера R981, що постачається компанією Mirion Technologies та камера Diakont D70 (рис. 1, 2). Обидві ці камери розміщені в корпусі з нержавіючої сталі, мають захист до випромінювання 1 MGy або 108 Rad та здатні працювати при температурі навколишнього середовища до 55° С.



Рис. 1. Відеокамера R981 Рис. 2. Відеокамера Diakont D70

Відеокамера D70 має роздільну здатність 600 ліній НТВ і також доступна з активним охолодженням (вентилятори, що розсіюють тепло від блоку) для роботи при температурах до 100° С. Чорно-біла камера D70 використовує трубку 2/3" E-Chalnicon і може працювати до 3x105 Рад/год і при мінімальному освітленні

16 Лк . Камера обладнана 20-ти кратним оптичним зумом і має поле зору від 2,25° до 45°. Вона захищена від повного та безперервного занурення в воду до глибини 40 м.

Камера R981 може працювати з меншою максимальною потужністю дози до 1КГу/год (105 Рад/год) з трубкою Chalnicon або до 30КГу/год (3x106 Рад/год) за допомогою трубки Vidicon. Вона має 6-ти кратне оптичне збільшення, з панорамою та нахилом $\pm 180^\circ$ і максимальною швидкістю руху 6° за секунду. Версія захисту IP66, маса 13 кг. R981 є герметичною і захищена від потужних струменів води. Горизонтальна роздільна здатність камери становить 550 ліній НТВ.

Основна система керування камерою може бути в декількох кілометрах від камер. Як правило, камери повинні бути підключені до основних стійок обладнання локально через відповідні кабелі, які проходять через захисну стінку, використовуючи спеціальні електричні проникнення. Протоколи управління камерою, як правило, сумісні з галузевими стандартами.

Rolls-Royce постачає дві радіаційно стійкі чорно-білі відео-камери на атомні електростанції. Обидві камери мають захист до випромінювання 1x106 Рад/год, а загальна інтегрована доза 1x107 Рад. Вони також засновані на технології катодно-променевої трубки. Обидва сенсори для зображень працюють при максимальній температурі навколишнього середовища 120° С та мають термін експлуатації близько двох років.

Шведська компанія Ahlberg Electronics також постачає різні камери для використання на атомних станціях. Їх CCD-камера N82Z з високою роздільною здатністю (720 ТВ ліній у режимі S-Video) продається приблизно п'ять років. Камера N82Z має як аналоговий оптичний зум x10 так і цифровий зум x10 (всього x100), а кут огляду – від 5° до 50°. N82Z має загальний захист до випромінювання 106 Рад. Вона працює максимум зі швидкістю 105 Рад/год, при максимальній температурі 60° С і мінімальним освітленням 10 Лк . Корпус камери виготовлений з нержавіючої сталі, та поєднується з додатковим пристроєм H250DC з повним нахилом та нахилом 360°, і важить близько 20 кг (рис. 3).

Час роботи камери N82Z або N129Z, яка має активне охолодження, залежить від конструкції реактора та потужності дози. Зазвичай камери потрібно замінювати кожні три-п'ять років.

Нарешті, корейська фірма Nucron Co Ltd також випускає кольорову камеру з захистом від іонізуючого випромінювання KR17090ZWC (105 Рад/год, 107 Рад, 6х оптичний зум) спільно з Korea Hydro & Nuclear Power (рис. 4).



Рис. 3. Відеокамера N82Z



Рис. 4. Відеокамера
KR17090ZWC

III Висновки

1. Розглянуто дію іонізуючих випромінювань на матеріали, виробу та системи відеоспостереження.

2. Показано, що сьогодні ще досить складно аналізувати вплив температур на параметри роботи відеокамер. Для захисту камер запропоновані різні кожухи.

3. Необхідно детально аналізувати вид деградації параметрів виробів, що створюються іонізуючим випромінюванням, а також рівень іонізуючих випромінювань, які обумовлюють погіршення параметрів апаратури.

Література

1. Радиационная стойкость в оптоэлектронике / Ф.А. Заитов, Н.Н. Литвинова, В.Г. Савицкий, В.Г. Средин; Под ред. В. Г. Средина. М.: Воениздат, 1987. – 166 с.

2. Кулаков В.М. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / В. М. Кулаков, Е. А. Ладыгин, В. И. Шаховцов и др. Под ред. Е. А. Ладыгина. – М.: Сов. радио, 1980. – 224 с.

3. Устюжанинов В.Н. Радиационные эффекты в биполярных интегральных микросхемах / Устюжанинов В.Н., Чепиженко А.З.; отв. ред. С.С. Булгаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 144 с.

4. Manissadjian A., Tribolet P., Chorier P., Filton P. Short-wave infrared detector trade-offs and applications // SPIE, 2003, 4820. – P. 446 – 448.

5. Борисов Ю. А. Проблемы обеспечения радиационной стойкости аппаратуры космических аппаратов с длительными сроками активного существования. // ВАНТ, сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. – 2001, вып. 3-4. – С. 98 – 104.

6. Ларин В.Ю. Концепции профессионального проектирования приборов и систем: учебник: в 2-х книгах. Книга 1. / В.Ю. Ларин, Е.Ю. Ларина, Я.А. Савицкая, Г.Н. Розоринов, Е.Е. Федоров, Н.И. Чичикало. – К.: Кафедра, 2016. – 468 с.

AUTHORS' INFORMATION

Julia Pilkevich – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine;

e-mail: lulya-kiev@yandex.ru

Major Fields of Scientific Research: Automated System Life Circle Models, System Analysis, Electroacoustics;

Heorhiy Rozorinov – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine;

e-mail: hnroz@ukr.net

Major Fields of Scientific Research: Digital signal processing, System Analysis, Electroacoustics;

IMPACT OF IONIZING RADIATION ON THE VIDEOSUPERVISION SYSTEMS

Julia Pilkevich, Heorhiy Rozorinov

Abstract: *Impact of ionizing radiations is considered on materials, wares and systems of videosupervision. It is rotined that today yet it is difficult enough to analyse influence of temperatures on the work parameters of video cameras. For defence of cameras different sheepskin coats are offered. Application recommendations of modern cameras of videosupervision, improvement of their protecting are given from an ionization radiation, analysis of technical realization with the exposure of main advantages and failings.*

Keywords: *camera, ionizing radiation, recommendations, videosupervision.*

ВПЛИВ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Пількевич Юлія, Розорінов Георгій

Розглянуто дію іонізуючих випромінювань на матеріали, вироби та системи відеоспостереження. Показано, що сьогодні це досить складно аналізувати вплив температур на параметри роботи відеокамер. Для захисту камер запропоновані різні кожухи. Надано рекомендації із застосування сучасних камер відеоспостереження, покращення їх захисту від іонізаційного випромінювання, аналіз технічної реалізації з виявленням головних переваг і недоліків.

**ДОСВІД ВП «АТОМРЕМОНТСЕРВІС»
ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» ВПРОВАДЖЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ГОЛОВНОГО РОЗ'ЄМУ
РЕАКТОРА ВВЕР-1000 З ВИКОРИСТАННЯМ
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ US-3000R**

Автор: Полешко І.В.

начальник цеху з ремонту тепломеханічного обладнання
ВП «Атомремонтсервіс» ДП «НАЕК «Енергоатом»

Доповідач: Сергієнко Д.Я.

інженер першої категорії цеху з ремонту тепломеханічного обладнання
ВП «Атомремонтсервіс» ДП «НАЕК «Енергоатом»
Проспект Ентузіастів 7, м. Славутич, Київська обл., 07101, Україна
e-mail: polivan72@ukr.net

У 1996 році було засновано Державне підприємство «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» до складу якої входить чотири діючі атомні електростанції з п'ятнадцятьма енергоблоками, тринадцять з яких типа ВВЕР-1000 і два – ВВЕР-440.

Протягом останніх років одне із основних завдань компанії – подовження терміну експлуатації діючих енергоблоків. Для вирішення цього завдання виконується комплекс заходів з реконструкції та модернізації обладнання, в тому числі й приведення до заводського (проектного) стану «старіючого» обладнання, до якого належить «серце» енергоблоку – реактор, а саме вузол ущільнення. Якісне ущільнення обладнання першого контуру є необхідною умовою дотримання ядерної безпеки та експлуатаційної надійності.

Стан ущільнюючих поверхонь головного роз'єму реактора регулярно під час планово-попереджувальних ремонтів контролюється неруйнівними методами контролю металу (візуально-вимірювальними та капілярними). Проведений на АЕС аналіз результатів контролю виявив погіршення якості ущільнюючих поверхонь – появу незначних дефектів у вигляді пор, а також перевищення проектних допустимих геометричних розмірів. Виникнення дефектів викликано різними причинами: як механічними – в наслідок зусилля затяжки нікелевої прокладки виникають остаточні деформації на бокових стінках канавок під прокладку на корпусі реактору та контактні сліди на ущільнюючих поверхнях верхнього блоку, так і корозійними процесами.

Усунення дефектів, що викликані корозійними процесами, проводилися з використання спеціально розроблених технологій, які передбачали вибірку дефекту з наступним зварюванням (локальний ремонт). Невеликі за розміром дефекти усувались механічним способом – шліфування з забезпеченням плавного переходу виправленої ділянки до ущільнюючої поверхні. Вищевказані методи не давали гарантії, що відновлення ущільнюючої поверхні зроблено в проектних розмірах з огляду на великі розміри горизонтального роз'єму реактору (в межах від Ø3680мм до Ø4060мм). При цьому на АЕС України було відсутнє спеціалізоване обладнання, яке б дозволяло вирішити проблему ремонту ущільнюючих поверхонь горизонтального роз'єму реактору (далі по тексту – ГРП) у комплексі з високою якістю. Як результат, на деяких ГРП для компенсації окремих відхилень від проектного профілю ущільнюючих поверхонь (контролюється прокаткою кулі Ø5мм) був збільшений діаметр нікелевої проволочи для виготовлення прокладок до Ø5,3мм. Геометричні розміри ущільнюючих поверхонь ГРП на декотрих реакторах наближалась до критичного рубежу, при досягненні якого безпечна експлуатація реактору не може бути подовжена без повного відновлення та приведення геометричного стану ущільнюючих поверхонь до проектних значень.

Ураховуючи вищевикладене, для вирішення цієї проблеми, спеціалісти ДП «НАЕК «Енергоатом» вивчивши досвід зарубіжних АЕС, прийняли рішення придбати багатофункціональний пристрій для ремонту та відновлення ущільнюючої поверхні ГРП енергоблоків АЕС України.

Для реалізації контракту №12371-GOODS-1 в листопаді 2008 року до ВП «Атомремонтсервіс» ДП «НАЕК «Енергоатом» був поставлений багатофункціональний пристрій US-3000R (Рис. 1) виробництва компанії «PROTEM» (Франція) зі зварювальним модулем PZ UZK-TIG фірми «VUJE» (Словенія), яке дозволяє забезпечити виконання операцій механічної обробки поверхонь точінням, фрезеруванням, шліфуванням та свердленням, а також наплавку антикорозійного покриття ущільнюючої поверхні методами автоматичного аргонодугового зварювання неплавким електродом.

ОСОБЛИВОСТІ ЦЕМЕНТУВАННЯ БОРВМІЩУЮЧОГО ІМІТАТУ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ ШЛАКОЛУЖНИМ З'В'ЯЗУЮЧИМ З ЦЕОЛІТОМ

Розко А.М.¹, Федоренко Ю.Г.²

1 - Інститут геохімії мінералогії та рудоутворення
НАН України ім. Семененка М. П.

2 - ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Застосування портланд цементу для кондиціонування рідких радіоактивних відходів досить поширене завдяки виконанню простих і недорогих операцій. Отриманий компаунд на час його створення задовольняє значенням показників, що нормуються відповідними документами: межі міцності на стиск, швидкості вилуговування, радіаційної стійкості, морозостійкості і т. ін.

Що до змінни цих показників у часі, то існує деяка невпевненість відносно їх стабільності протягом декількох періодів напіврозпаду ^{137}Cs та ^{90}Sr . Спостереження, що проводяться на підприємствах системи «Радон» виявляють просочування активних вод крізь стінки залізобетонних конструкцій. Тому пошук нових матеріалів та методів іммобілізації РРВ стає на часі.

За останні десятиліття до будівничої практики залучаються шлакопортланд та шлаколужні цементи. Встановлено, що у лужних умовах мелений доменний шлак набуває в'язучих властивостей. Бетони з застосуванням шлаків мають високу міцність та низьку швидкість вилуговування.

Сорбційні властивості шлаколужних цементів можуть бути підвищені шляхом додавання до них певної кількості сорбентів у високодисперсному стані. Одночасно ці сорбенти (глини та цеоліт) у лужному середовищі також набувають в'язучих властивостей, які залежать від конкретного сорбенту. Експериментально встановлено, що найбільшу межу міцності на стиск (22 МПа) проявляють ті шлаколужні геобетони у складі яких є цеоліт у фракції < 140 мкм.

При іммобілізації РРВ поєднуються зі шлаком та цеолітом, внаслідок чого утворюється компаунд. У дослідях імітат складу РРВ, мав концентрацію солей близько 800г/дм³. Присутність такої

кількості солей різко зменшує міцність компаундів у першу чергу завдяки присутності у зразках значної кількості кристалів тетраборату натрію (нітрату натрію), розмір яких перевершує 3,5 мм.

Зменшити розміри кристалів стало можливим при внесенні в імітат дисперсного цеоліту за температурою (55÷60)°С. При охолодженні суміші цеоліту з імітатом формуються кристали значно менших розмірів ніж без цеоліту. За температурою близько 40°С до вищенаведеної суміші додається шлак і перемішується.

Виконане за наведеною схемою кондиціонування імітату РРВ показало придатність шлаколузного цементу з цеолітом для іммобілізації РРВ, дозволило отримати компаунд з початком тужавлення 110 хв, та межею міцності на стиск (8÷10)МПа. Цеоліт та шлак набували в'язучих властивостей завдяки лужному середовищу, яке створювали NaOH та КОН, що входять до складу імітату РРВ.

ІНТЕГРОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯМ ЯК ОСНОВА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

Сакаль Оксана¹, Коваленко Андрій¹, Баняс Світлана²

¹ Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», місто Київ

² Свалявське районне комунальне підприємство водопостачання та водовідведення, місто Свалява

o_sakal@ukr.net, A.Kovalenko@nas.gov.ua, svitlanabanyas@gmail.com

Land, water and forest resources of the exclusion zone serve as a natural barrier to the spread of radioactive contamination beyond its borders. Today, however, the search for and development of new methods for improving the radiological situation in the Chernobyl territories has been suspended, the radioactive monitoring network has been reduced or suspended, there is no state program for the elimination of the consequences of the accident in agricultural production and forestry. Problems of rehabilitation of natural resources of contaminated territories should be considered as part of the general problem of rehabilitation of the territories affected by the Chernobyl accident and minimizing its consequences. After all, the negative externalities that show the difference between the social costs (benefits) and the individual costs (benefits) of production / consumption of goods and services may have different spatial and temporal scales and the way of manifestation and cover considerably more contractors than solely industry. We propose a model of integrated governance of nature resources usage, in particular forest use, and providing environmental, economic and social efficiency use of natural resources based on the combination of a multidimensional landscape approach and the 7C model, as well as the development of integrated corporate structures.

Радіоактивне забруднення різної інтенсивності сформувалося у лісах 17 областей України на площі 3,5 млн га. На 1,23 млн га з яких забруднення характеризується як мозаїчне, осередкове, високоградієнтне, а різниця між мінімальною та максимальною величинами щільності забруднення ґрунту в одному таксаційному кварталі або виділі й на сьогодні ускладнює організацію радіаційного контролю і використання продукції лісового господарства [1; 8].

Земельні, водні та лісові ресурси зони відчуження виконують функцію природного бар'єра на шляху розповсюдження радіоактивного забруднення за її межі. Однак існує ризик виникнення лісових пожеж, неконтрольованого підтоплення та осушення ґрунтів, епіфітотії та епізоотії, інших негативних явищ і процесів у навколишньому природному середовищі в зоні відчуження, що становить суттєву екологічну небезпеку для всієї території держави й сусідніх країн [3].

Як відзначається у дослідженні [7], проблеми реабілітації лісів на забруднених радіонуклідами територіях необхідно розглядати як складову загальної проблеми реабілітації площ, постраждалих внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС та мінімізації її наслідків. На сьогодні практично призупинено пошук і розробку нових методів покращення радіологічної ситуації на чорнобильських територіях, скорочено або припинено мережу радіологічного моніторингу, відсутня державна програма ліквідації наслідків аварії у сільськогосподарському виробництві [6, с. 18]. Існує необхідність вироблення сучасних підходів до дезактивації сільськогосподарських угідь та лісових земель. Важливо, що негативні зовнішні ефекти, які показують різницю між суспільними витратами (вигодами) й індивідуальними витратами (вигодами) виробництва/споживання товарів і послуг, можуть мати різні як просторові й часові масштаби, так і спосіб прояву та охоплювати значно більше контрагентів, ніж виключно галузеві [9].

Світовий банк, вказуючи на поширення кліматичних змін, а також збільшення частоти, масштабу й географії екстремальних метеорологічних явищ і природних катастроф на глобальному рівні, пропонує комплексний підхід, який поєднує питання управління природними ресурсами та права власності на них у

процесі розробки політики землекористування для конкретних територій (наприклад, модель планування водозборів або екосистем), тобто багатовимірний ландшафтний підхід до територіального розвитку. Такий підхід поєднує принципи управління земельними, водними і біологічними ресурсами та враховує взаємодію людини з такими ресурсами (їх оцінку) способами, які сприяють сталому й справедливому розвитку. Одночасне врахування географічних і соціально-економічних аспектів до управління земельними, водними і лісовими ресурсами, які є основними складовими процесу управління природними ресурсами з метою інклюзивного сталого розвитку [10].

На нашу думку, інтегроване управління природокористуванням, зокрема лісокористуванням, і забезпечення екологічно, економічно та соціально ефективного використання природних ресурсів означає поєднання багатовимірного ландшафтного підходу й моделі 7С, а також розвиток інтегрованих корпоративних структур. Враховуючи зазначене, пропонуємо концептуальну модель інтегрованого управління природокористуванням (рис.).

Ступінь комерціалізації цілей та місії діяльності інтегративних структур			
MIN			MAX
Види інтегративних структур			
Договірні		Статутні	
зокрема, асоціації, корпорації, альянси		консорціуми, концерни, трести	
Природні ресурси й природні умови			

Рис. Концептуальна модель інтегрованого управління природокористуванням

Стратегічне планування реабілітаційних заходів і раціонального природокористування на чорнобильських територіях повинно враховувати широкий комплекс факторів, зокрема – соціально-економічну доцільність проведення відновлювальних робіт, їх спрямованість на подальший сталий розвиток територій. Таке врахування можливе лише в рамках комплексних загальнодержавних стратегічно-планових документів. Потрібна сучасна Концепція подолання наслідків Чорнобильської катастрофи у віддалений період та розробка на її відповідних планів і програм, зокрема – Державної програми із безпечного ведення сільськогосподарського виробництва на радіоактивно забруднених територіях. При цьому вироблення сучасної концепції інтегрованого управління природо-

користуванням, ведення сільськогосподарського виробництва на забрудненій території та реабілітації забруднених угідь повинно враховувати існуючі наукові розробки, які свого часу не отримали належного впровадження [див., напр., 2; 4; 5]. Запропонована концептуальна модель інтегрованого управління природокористуванням може бути покладена в основу таких комплексних загальнодержавних стратегічно-планових документів.

Літературні джерела

1. Ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення / Держлісагентство [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=101209
2. Концепція ведення агропромислового виробництва на забруднених територіях та їх комплексної реабілітації на період 1998–2010 рр. [Електронний ресурс] / науковий керівник акад. УААН, проф. Б. С. Прістер. – К., 2000. – 25 с. – Режим доступу: <http://uiar.org.ua/Sborniki/12.pdf>.
3. Концепція реалізації державної політики у сфері розвитку діяльності в окремих зонах радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 липня 2012 р. № 535-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/535-2012-%D1%80>.
4. Краснов В. П. Методика обстеження радіаційно забруднених лісів з метою їх реабілітації (на період 2010–2015 рр.) / В. П. Краснов, О. О. Орлов, Т. В. Курбет, В. П. Ландін. – Житомир. 2010. – 16 с.
5. Краснов В. П. Методичні рекомендації з реабілітації лісів на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС / В. П. Краснов, О. О. Орлов, М. М. Ведмідь, В. П. Ландін. – К., 2006. – 20 с.
6. Лазарев М. М. Проблеми забруднених радіонуклідами сільськогосподарських територій на сучасному етапі / Лазарев М. М. // Міжнар. конф. «Сільськогосподарська та лісова радіологія – 30 років після Чорнобиля», (Київ, 03.06.2016 р.). – К. : УНДІСР НУБІП, 2016. 30 с.
7. Ландін В. Проблеми реабілітації радіоактивно забруднених лісів України [Електронний ресурс] / Ландін В., Краснов В. // Лісовий і мисливський журнал. – 2004. – № 2. – Режим доступу: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/document/35899?/02-2004-01.doc>.
8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році / Міністерство екології та природних ресурсів України. Київ : ФОП Грінь Д.С. 2017. 308 с.
9. Сакаль О. В. Екстерналії землекористування у лісовому секторі / Сакаль О. В. // Економіка природокористування і охорони довкілля : зб. наук. пр. – Київ : ДУ ІЕПСР НАН України, 2013. – С. 139–146.

10. Чайлдрус М. Д. Установление взаимосвязей между земельной политикой и изменением климата: многомерный ландшафтный подход к территориальному развитию с фокусом на регион Европы и Центральной Азии (ЕЦА) [Электронный ресурс] / Чайлдрус М. Д., Зигель П., Торхонен М. ; Всемирный банк, 2014. – Режим доступа: http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/eca/central-asia/Climate-Change-Landscapes-and-Policy-in-ECA_RUS.pdf.

**БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ЗМІНИ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДНОГО КОМПЛЕКСУ
«НОВИЙ БЕЗПЕЧНИЙ КОНФАЙНМЕНТ – ОБ'ЄКТ
"УКРИТТЯ"»**

Сидоренко Володимир

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту, Київ,
generals2007@i.ua

Азаров Сергій

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, azarovsi@i.ua

The factors describing the design and technological properties of the complex "New Safe Confinement – Shelter Object" are indicated. The necessity of creating multi-parametric models of the state of this complex is emphasized. The general method of solving the problem of changing the technical state of the complex and the stages of the methodology of its mathematical modeling is given. It is noted that the mathematical description of random variables is carried out by different laws of probability distribution: exponential, normal, logarithmically normal, Weibull, and others like that. The Pearson criterion, the Runge-Kutta method, the Markov processes, and the Monte Carlo method are used. The scheme of forecasting changes in the technical condition of the complex and estimation of its residual resource according to the trend and the distribution density of the current state is given. The proposed methodology of mathematical modeling of the technical state of a complex complex allows us to assess the basic parameters of its reliability with a reasonable degree of accuracy.

Після спорудження нового безпечного конфайнменту (НБК) над об'єктом «Укриття» (ОУ) [1] його безпечний стан характеризується великою кількістю взаємопов'язаних факторів, що описують їх конструктивні і технологічні властивості, радіацію, температуру, діючі напруги і деформації, динаміку зовнішніх впливів, властивості матеріалів, що можуть змінюватися в часі під дією зовнішніх сил і умов експлуатації. В процесі експлуатації НБК–ОУ здійснюється складна взаємодія механізмів навантаження і пошкодження деталей машин і елементів конструкцій за такими критеріями: радіаційна стійкість, міцність, зносостійкість,

корозійної стійкості та ін. [2]. В цьому разі в залежності від навколишнього середовища і умов навантаження реалізуються різні механізми накопичення пошкоджень і руйнувань. Створення багатопараметричних моделей стану НБК–ОУ необхідно в процесі оцінюванні значимості різних факторів, що впливають на деградаційні процеси, під час прогнозування залишкового ресурсу на підставі даних про їх поточний стан у разі вирішення проблеми безпеки і ризику його експлуатації.

Математично опис багатопараметричного стану НБК–ОУ може бути представлений залежністю:

$$X_T = \{X_1, X_2, \dots, X_j\},$$

де $X_1 \dots X_j$ – параметри, що описують технічний стан НБК–ОУ в рамках прийнятої моделі і змінюються в процесі експлуатації. Ці параметри можуть бути відображено скалярними (радіація, температура, тиск), векторними (геометрія, навантаження, реакція, швидкість, прискорення) величинами, тензорами (напруги, деформації), функціями (коливання, вібрація, тощо). Вони можуть бути зосередженими або розподіленими по об'єкту.

Вектор стану НБК–ОУ може бути поставлений у відповідність вектору q зовнішнього впливу на об'єкт за допомогою оператора H , що реалізує метод розрахунку і враховує властивості об'єкта:

$$X(t) = H \cdot q(t),$$

представлено узагальненим вектором вектора X в багатовимірному (фазовому) просторі Φ вектор-функцією:

$$X(t_i) = X(t_0) + \int_{t_0}^{t_i} \lambda(X, q) dt,$$

де λ – узагальнена швидкість зміни технічного стану, що залежить від поточного стану X і вектора зовнішньої дії на об'єкт q . Простір Φ розділено поверхнею відмов, яка відділяє частину працездатних станів Ω від непрацездатних. Так як процес $X(t)$ випадковий, то ймовірність безвідмовної роботи об'єкта на відріжку часу $[t_0, t]$ дорівнює ймовірності знаходження вектора X в області Ω :

$$P(t) = P\{X(t) - \Omega, t - [t_0, t]\}.$$

Загальний прийом рішення задачі зміни технічного стану НБК–ОУ полягає в дискретизації його в часі і просторі і розгляді ряду послідовних станів через задання досить малого відрізка часу Δt (крок напрацювання). Швидкість зміни стану на цьому відрізку часу залежить від стану НБК–ОУ, властивостей об'єкта і режимних параметрів на початку даного відрізка часу і є незмінною на ньому. Відповідно рівняння узагальненої швидкості апроксимується у вигляді різницевої схеми:

$$\frac{X(t_{i+1}) - X(t_i)}{\delta t} = \Lambda X(t_i),$$

що перетворюється в рекурентний вираз, рішення якого проводиться ітераційним способом за початкової умови $X(t_i=0)=X_0$. Стійкість різницевої схеми і збіжність рішення розглядається в спеціальній літературі з чисельних методів рішення.

Оператор Λ переходів від i -го до $i+1$ -му стану не містить похідні за часом. Лінеаризація оператора на відрізку Δt дозволяє розглядати його як суперпозицію операторів елементарних процесів на цьому відрізку:

Тут

$$\delta X_i = \{ \delta X_{1,i}, \delta X_{2,i}, \delta X_{3,i} \},$$

$$\delta X_{1,i} = \lambda_{1,i} (X_1(t_i), X_2(t_i), X_3(t_i), \dots, q(t_i)) \delta t;$$

$$\delta X_{2,i} = \lambda_{2,i} (X_1(t_i), X_2(t_i), X_3(t_i), \dots, q(t_i)) \delta t;$$

$$\delta X_{3,i} = \lambda_{3,i} (X_1(t_i), X_2(t_i), X_3(t_i), \dots, q(t_i)) \delta t,$$

де δX_i – швидкості елементарних процесів, що відповідають початку відрізка часу і залежать від технічного стану НБК–ОУ на початку цього відрізка. В кінці кожного відрізка часу знаходиться новий технічний стан об'єкта, за яким визначаються швидкості і вектори переходу для наступного відрізка часу і т.д.

З огляду на те, що у разі лінеаризації оператора переходу від одного стану об'єкта до іншого накопичується помилка, під час його розробки використовують відомий в чисельних методах метод Рунге-Кутта. Ресурс НБК–ОУ буде визначатися досягненням вектора стану граничної величини із заданою вірогідністю.

Таким чином, методологія математичного моделювання складного комплексу НБК–ОУ включає в себе наступні етапи: 1) аналіз структури НБК–ОУ (декомпозиція об'єкта на елементи і елементарні процеси, що протікають в нею, встановлення зв'язків між ними); 2) математичний опис елементарних процесів; 3) розробка операторів переходу від одного стану об'єкта до наступного для елементарних процесів; 4) розробка математичної моделі, алгоритму поведінки НБК–ОУ в цілому (розробка оператора, що перетворює вхідні параметри у вихідні і переходу об'єкта від одного стану до наступного); 5) імітаційне моделювання функціонування об'єкта (математичний експеримент над абстрактною моделлю).

Зміна технічного стану НБК–ОУ – ймовірнісний процес. Його моделювання проводиться за допомогою ймовірнісних моделей функціонування і зміни технічного стану об'єкта з урахуванням випадкового характеру величин, що описують параметри стану і зовнішнього впливу. Математичний опис випадкових величин здійснюють різними законами розподілу ймовірностей: експоненціальним, нормальним, логарифмічно-нормальним, Вейбулла тощо. Під час вибору теоретичної кривої розподілу випадкових величин, що отримуються в результаті спостереження або експериментів, керуються критерієм згоди Пірсона. Багаторічний досвід обробки експериментальних даних показує, що нормальний закон доцільно застосовувати для визначення часу напрацювання до відмови, викликаного старінням, рівномірної корозією, механічним спрацюванням, описом розподілу відхилень параметрів технічного стану НБК–ОУ від норми.

Логарифмічно-нормальний закон застосовують для опису напрацювання об'єкта до відмови, викликаного втомним руйнуванням. Закон Вейбулла описує відмови об'єкта в початковий період експлуатації і відмови в результаті тендітних і втомних руйнувань. Експонентний закон застосовують під час аналізу напрацювання невідновлюваного об'єкта до його випадкової відмови, а для відновлюваних об'єктів – для аналізу проміжку часу між послідовними відмовами. Спрощено ймовірнісна картина еволюції технічного стану НБК–ОУ може бути представлена у вигляді марковських ланцюгів, де щільність імовірності стану X_{i+1} повністю залежить від імовірності стану X_i та умовної щільності

ймовірності переходу об'єкта з i -го в $i+1$ -ий стан $p(X_{i+1}, t_{i+1}|X_i, t_i)$. Марковський процес $X(t)$ повністю визначається початковим розподілом $p(X_0, t_0)$ і перехідною щільністю ймовірності:

$$p(X_0, X_1, \dots, X_i) = p(X_1|X_0), \dots, p(X_i|X_{i-1})p(X_0, t_0).$$

При $\Delta t = X_{i+1} - X_i$, отримуємо диференціальне рівняння перехідної щільності ймовірності безперервного марківського процесу:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(\xi p) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\xi p).$$

Функція $p(x, t)$ характеризує середню квадратичне відхилення процесу та називається коефіцієнтом дифузії. Рівняння справедливе і для опису щільності ймовірності самого технічного стану НБК–ОУ – $p(x, t)$. Наближена щільність ймовірності функції стану об'єкта в кінці кожного кроку може бути знайдена за відомою щільністю ймовірності на початку кроку, що задається нормальним законом щільності ймовірності переходу на цьому кроці методом Монте-Карло. За відсутності даних про зміну ймовірності показників технічного стану НБК–ОУ в часі для статистичного опису процесу в ряді випадків треба застосовувати спрощену математичну модель. Вектор стану НБК–ОУ – $x(t)$ представляється у вигляді регулярної $y(t)$ або випадкової $z(t)$ складових. Регулярна складова представлено у вигляді гладкої функції часу. Ця складова інакше називається трендом, тенденцією процесу (детермінованою основою процесу). Випадкова складова приймається як некорегуємий випадковий процес з математичним очікуванням рівним нулю. За нормальним законом розподілу ймовірність випадкової події зручно регламентувати заданою величиною, наприклад, 0,9; 0,95, 0,99 ... і визначати значення відхилення – квантилью – коефіцієнтом, на який множитья величина середньоквадратичного відхилення.

На рисунку наведено прогнозування зміни технічного стану НБК–ОУ та оцінку його залишкового ресурсу за трендом і щільністю розподілу поточного стану [3].

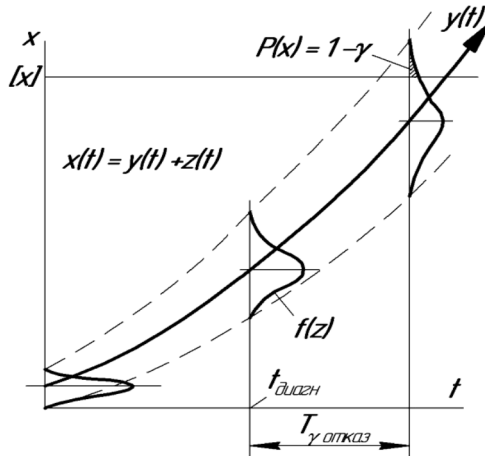


Схема зміни технічного стану складного комплексу НБК–ОУ

Вибір показників надійності НБК–ОУ буде залежить від його відновлюваності або невідновлюваності, режимів експлуатації і наслідків відмови. Якщо наслідки відмови елементів НБК–ОУ пов'язані з людськими жертвами або великими економічними витратами визначальним показником є гамма-відсотковий ресурс, де γ призначається 0,95 і більше [4].

Під поступовою відмовою НБК–ОУ розуміють у вигляді поступового в часі виходу (кажуть деградації) функціонального параметра об'єкта (позначення чим його як $y(t)$) за межі норм від a до b протягом заданого напрацювання t за обраних режимів і умов роботи.

Поступові відмови визначають таке поняття як параметрична надійність НБК–ОУ, під якою будемо розуміти властивість об'єкта, що полягає у відсутності поступової відмови за даним параметром $y(t)$ протягом напрацювання t . Математичним критерієм поступової відмови в даному випадку буде порушення нерівності $a \leq y(t) \leq b$, а кількісною мірою параметричної надійності – ймовірність виконання цієї умови протягом часу t .

Висновки.

Запропонована методологія математичного моделювання технічного стану складного комплексу НБК–ОУ дозволяє з обґрунтованим ступенем точності оцінити основні показники його надійності, а саме: ймовірність безвідмовної роботи; середній час

безвідмовної роботи; гамма-відсотковий ресурс або напрацювання, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану із заданою ймовірністю, відображеною у відсотках; інтенсивність відмов.

Пропонований підхід до моделювання технічного стану НБК–ОУ дозволяє врахувати під час оцінки ресурсу більшість відомих експлуатаційних факторів, включаючи дані про навантагу, дії зовнішніх фізичних і хімічних полів (радіація, температура, корозійні середовища і т.п.), що підвищує точність його оцінки. Однак слід мати на увазі, що точність оцінки ресурсу НБК-ОУ в будь-якому випадку буде залежить від достовірності вихідної інформації про зовнішні дії і вибору моделі накопичення пошкоджень.

Література:

1. Техногенно-екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи: монографія / С.І. Азаров, С.А. Єременко, В.Л. Сидоренко, М.В. Білошицький, Є.А. Власенко, А.В. Пруський, В.О. Тищенко; за заг. ред. П.Б. Волянського. Київ, 2018. 455 с. іл.

2. Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС». 1Р-ОУ. ГСП ЧАЭС, 2013.

3. Проектные критерии и требования к инфраструктуре НБК для монтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» (SIP 031 003 07 DCR 001 05).

4. Проектные критерии ограничения потенциального облучения для НБК, утвержденные Министерством здравоохранения Украины и ГКЯР, 2005.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІММОБІЛІЗАЦІЇ ЗОЛЬНИХ ЗАЛИШКІВ АТОМНОЇ ТА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ В ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОМУ ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

*Сімейко К.В. (к.т.н.)¹, Купріяничук С.В.²,
Степаненко Ю.М. (к.ф.-м.н.)³, Івачкін Я.О.¹,
Саснко С.Ю. (д.т.н.)⁴, Улибкіна К.А.⁴*

¹Інститут газу НАН України, м. Київ
вул. Дегтярівська, 39, 03113, Київ, Україна, e-mail: k_simeyko@ukr.net

²Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, м. Чорнобиль
вул. Кірова, 36а, 07270, м. Чорнобиль, Київська обл., Україна,
e-mail: kupriianchuk.s@gmail.com

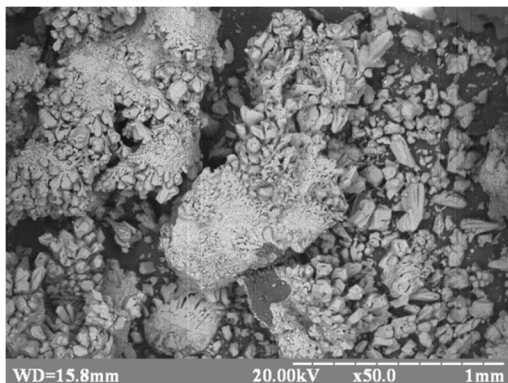
³Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ
пр-т Науки, 47, 03028, м. Київ, Україна, e-mail: steprofy@gmail.com

⁴Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»
вул. Академічна, 1, 61108, м. Харків, Україна,
e-mail: sayenko@kipt.kharkov.ua

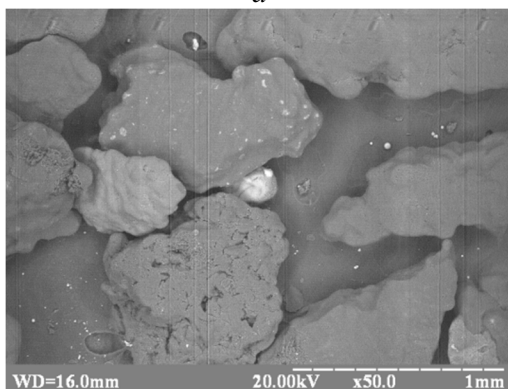
В даний час Інститутом газу НАН України спільно з Інститутом проблем безпеки АЕС НАН України, ННЦ «ХФТІ» та Інститутом ядерних досліджень НАН України проводяться роботи по розробці технології іммобілізації радіоактивних матеріалів, що утворилися та будуть утворюються при експлуатації і аваріях на об'єктах енергетики. Одним з найбільш ефективних методів для переробки та кондиціонування горючих твердих радіоактивних відходів (ТРО), є їх спалювання. Установки по спалюванню ТРО працюють в Україні, Росії, Франції, Канаді, Японії, Німеччині, Швейцарії та інших країнах. Процес спалювання ТРО дозволяє зменшити їх об'єм у 20 – 100, а масу в 10 – 20 разів. У більшості випадків температура спалювання досягає 900 ...1000 °С. У результаті спалювання ТРО утворюється зола, яка містить до 90% всіх радіоактивних елементів. Основна проблема полягає в летючості золи, що робить проблематичним її тривале зберігання. Для вирішення цієї проблеми золу цементують, оскловують або вводять в скло-керамічну матрицю [1]. Проте, альтернативою наведеним вище методикам іммобілізації радіоактивної золи може бути використання процесу газозфазного ущільнення її піровуглецем [2-3].

В якості моделі радіоактивної золи автори використовували зольні залишки вугільної теплоенергетики, які потенційно можуть представляти джерела іонізуючого випромінювання [4-6]. У результаті серії дослідів на в спеціально створеній лабораторній установці з електротермічним псевдозрідженим шаром вдалося нанести піровуглецеве покриття на даний тип золи (рис. 1).

Як показано на рис. 1 піровуглець практично повністю покриває поверхню частинок золи. Після покриття частинок золи піровуглецем іонізуюче β - випромінювання знизилося на 30-35 %.



a



б

Рис.1. Зольний залишок вугільної ТЕЦ:

a- вихідний матеріал, б-покритий піровуглецем (вміст піровуглецю 13%мас.).

Подальший розвиток даних досліджень може підвищити екологічну безпеку атомної і теплоенергетики.

Література

1. Ключников А.А. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / А.А. Ключников, Э.М. Пазухин, Ю.М. Шигера, В.Ю. Шигера // Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины. 2005. – 487 с.
2. Гурин И.В. О возможности использования пироуглеродной матрицы для обратимой иммобилизации радиоактивных отходов / И.В. Гурин, В.А. Гурин, С.Ю. Саенко, В.В. Гуйда, Е.В. Гурина // Вопросы атомной науки и техники. 2013. №5 (87). – С. 74-78.

3. Заявка на патент України № у 2018 12787. Спосіб іммобілізації радіоактивних відходів / К.В. Сімейко, С.В. Купріяничук, Ю.М. Степаненко, О.П. Кожан, В.М. Дмитрієв, І.О. Писаренко, М.А. Сидоренко, Я.О. Івачкін, О.В. Марасін, Р.Є. Чумак; заявл. 22.12.2018.

4. Мауричева Т.С. Количественная оценка поступления радионуклидов в окружающую среду при работе угольных ТЭЦ (на примере ТЭЦ-1 г. Северодвинска) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. 2007. – 20 с.

5. Amin Y.M. Radionuclide emissions from a coal-fired power plant / Y.M. Amin, Ud. Kh. Mayeen, A.K. Shyen, R.H. Mahat, R.M. Nor, D.A. Bradley // Journal of Radiation and isotopes. 2013. № 80. – P.109-116.

6. Даваасурэн Д. Воздействие на окружающую среду зольного хранилища тепловой электростанции на примере Монголии / Д. Даваасурэн, С. Чонохуу, О. Бямба, Б. Доржсурэн, Б. Ганхурэл, Х. Ганхуяг, Т. Гэрэлмаа // Молодой ученый. 2015. №22. – С. 63-70.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF IMMOBILIZATION OF ASH REMNANTS OF NUCLEAR AND THERMAL POWER ENGINEERING IN ELECTROTHERMAL FLUIDIZED BED

Simeiko K.V. Candidate of Technical Science¹, Kupriyanchuk S.V.², Stepanenko Yu.M. Ph.D. (Nuclear physics)³, Ivachkin Ya.O.¹, Sayenko S.Yu., Dr.Sc⁴, Ulybkina E.A.

¹The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv 39, Degtyarivska Str., 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail: k_simeyko@ukr.net

²Institute for Safety Problems of NPP of the National Academy of Sciences of Ukraine, Chernobyl 36a, Kirova Str., 07270, Chernobyl, Kyiv reg., Ukraine

³Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv 47, prospekt Nauky, 03680, Kyiv, Ukraine

⁴National Science Center «Kharkov Institute of Physics and Technology» 1, Akademicheskaya Str., 61108, Kharkov, Ukraine

The Gas Institute of the NAS of Ukraine, in collaboration with the Institute for Safety Problems of the NPP of the NAS of Ukraine, the NSC "KHPTI" and the Institute Nuclear Research of the NAS of Ukraine began to develop the immobilization technologies of radioactive materials generated during operation and accidents on power facilities. The ash remnants from coal-fired power plants potentially containing ionizing radiation were used as a model of radioactive ash. In a series of experiments on the specially created installation with an electrothermal fluidized bed the pyrocarbon coating was applied to this type of ash. After coating the particles of ash with pyrocarbon, ionizing β -radiation decreased by 30-35 %.

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ

*Соболевська Леся Георгіївна,
Некрашевич Олексій Олександрович*
Київський національний університет
будівництва та архітектури, м. Київ
sobolevska@atr.in.ua, nekron.atr@gmail.com

Кількість жителів міст постійно збільшується по всьому світі, і в Україні, зокрема. Станом на 1 січня 2017 року за даними Державної служби статистики України кількість міських жителів складала 29,5 млн., що є переважною більшістю відносно загальної кількості населення.

Виходячи з того, що процеси урбанізації збільшують кількість міст та мегаполісів, перетворення міст в «розумні» міста є актуальним питанням, оскільки повинно привести до підвищення комфорту міських жителів, покращення умов існування в містах, збереження ресурсів, що є особливо актуальним для України в умовах довготривалих економічних та енергетичних кризових ситуацій.

Кожне місто, яке намагається стати «розумним» - це індивідуальна окрема ситуація, тому немає загального оптимального плану перетворення міста в «розумне», але певні загальні особливості цього процесу та напрямки перетворень, а також головних учасників процесу, можна узагальнити та описати.

Розвиток «розумних» міст - це складний процес, в який включені як міська влада, так і постачальники технологій, що пропонують технічні рішення. Насамперед створення «розумних» міст вимагає створення правильного середовища для «розумних» рішень, які будуть ефективно прийняті і використані.

Досвід закордонних проектів по створенню «Розумних» міст доводить, що єдиної тенденції розвитку в даному питанні не існує, модель розвитку залежить від рівня економічного розвитку регіону, але можна виділити такі основні параметри:

1. Економічна стійкість.

Міста повинні надати своїм жителям можливість розвивати свої бізнес-проекти, та залучати сторонні капітали. В умовах всесвітньої економічної кризи параметр економічної стійкості вийшов на передній план, старі фінансові моделі повинні бути замінені новими підходами та поглибленням інтегрованості послуг та інфраструктури.

2. Соціальна стійкість.

Мірою привабливості міста для всіх категорій учасників є якість життя (Quality of life, QOL), безпека, можливості для бізнесу, тощо.

3. Екологічна стійкість

Екологічну стійкість місто повинно мати з двох боків: по-перше мати стійкість до екологічних шоків, по-друге – зменшити дію міста на екологію та навколишнє середовище.

Розвиток міста в напрямку «Розумного» при вірному підході завжди створює додану вартість, що забезпечується створенням сприятливого економічного клімату за рахунок інтеграції технологій. В свою чергу інтеграція технологій повинна базуватись на стандартах функціональної взаємодії та бути не тільки вертикальною, а і горизонтальною.

Іншим фактором перетворення міст є використання нових підходів до керування містом, оскільки старі управлінські рішення в нових умовах працювати не будуть. Це стає зрозуміло на першому ж етапі: неможливо створити «Розумне» місто за наказом керівних органів. Все міське суспільство повинно прийняти на себе забезпечення концепції стійкого розвитку та покроково виконувати план розвитку.

В даному випадку стейкхолдерами створення «Розумного» міста є: політичні лідери та керівники місцевого самоврядування, служби міста, кінцеві користувачі та споживачі, інвестори, постачальники рішень.

У випадку готовності міста та всіх стейкхочдерів до переходу в «Розумне» місто, повинен бути розроблений генеральний план та дорожня карта трансформації. Технічні проекти та рішення повинні бути опрацьовані з точки зору їх наступного впливу на всі параметри міста, проаналізовані позитивні та негативні наслідки їх впровадження, візуалізовані результати.

«Розумне» місто є системою систем, тому для забезпечення його діяльності всі галузеві діячі повинні вести ефективне співробітництво та обмінюватись інформацією для кращої інтеграції та створення системного ефекту. Проблему тут складає неготовність галузевих діячів до такого обміну інформацією та повної інтеграції своєї підсистеми в систему «Розумного» міста.

Великою перешкодою також є відсутність загальних стандартів обладнання та обміну даними. На ринку присутня велика кількість різноманітного обладнання та технологій, але без їх функціональної сумісності та відповідності стандартам створення єдиної системи ускладнюється.

Враховуючи все наведене вище, перехід до «Розумного» міста – складна багатокрокова задача, до вирішення якої повинно бути залучено багато категорій стейкхолдерів, готових до всебічних внутрішніх та зовнішніх змін, а також проаналізовано всі вихідні параметри, ризику та наслідки впровадження «Розумного» міста.

СЕЙСМІЧНІСТЬ ТЕРИТОРІЇ РОЗТАШУВАННЯ ЧАЕС ПОТРЕБУЄ НЕВІДКЛАДНИХ ЗАХОДІВ

*Старостенко¹ В.І., Шестопалов² В.М., Кендзера¹ О.В.,
Шибецький² Ю.О., Згоннік³ В.О., Омельченко¹ В.Д.*

1 – Інститут геофізики НАН України, м.Київ

2 – Науково-інженерний центр радіогідроекологічних полігонних досліджень НАН України, м.Київ,
vsh@hydrosafe.kiev.ua, shybetsky@hydrosafe.kiev.ua

3 – Natural Hydrogen Energy Ltd., USA

Представлено нові дані стосовно взаємозв'язку загроз, пов'язаних з сейсмічністю і водневою дегазацією, які встановлено для майданчика Чорнобильської АЕС і прилеглих територій, де розташовано ряд ядерних об'єктів. Показано нагальну необхідність і наукову значимість створення систем сейсмічного і дегазаційного моніторингу, що сприятиме зниженню ризиків непрогнозованих подій.

33 роки минуло з моменту аварії на ЧАЕС, але деякі її уроки залишаються поза увагою уряду, відповідних міністерств і відомств.

У період будівництва ЧАЕС помилково вважалось, що на більшій частині України, розташованій на древній геологічній структурі – Східноєвропейській платформі - значні сейсмічні події не можливі. Тому дослідження впливу місцевої сейсмічності для обґрунтування вибору будівельного майданчика нормативними документами не передбачалось. У результаті сейсмічну небезпеку району розміщення ЧАЕС довелось досліджувати після аварії 1986 р. Було встановлено, що у 1986 році трьома сейсмічними станціями, які працювали на передодні і під час аварії на ЧАЕС, була зафіксована місцева сейсмічна активність з аномальним підвищенням її інтенсивності за 16 секунд до початку руйнації 4 блоку ЧАЕС. Можлива розрахункова інтенсивність землетрусу могла

досягати 6,65 бала (Страхов, Старостенко та інш. 1997). У 1996 році короткотривалою спільною експедицією ІГФ НАН України та італійського Інституту ISMES у Зоні відчуження ЧАЕС було зареєстровано 4 чіткі землетруси з магнітудами 1,2 – 1,6. Значний вплив на об'єкти, розташовані в ЧЗВ, спричиняють сильні підкорові землетруси із зони Вранча (Румунія), які стрясають практично усю територію України і навіть Москву і Санкт-Петербург.

Сучасна активізація локальних тектонічних структур в Зоні пов'язана із розломами в консолідованому фундаменті і осадовому чохлі. Максимально вона проявляється на перетині активних в неоген-четвертинний (тобто і в сучасний) період крупних мантийних лінементів північно-східної (Тетерівська розломна зона) і північно-західної орієнтації (Південна прибортова зона розломів, що відділяє Український щит від Дніпрово-донецької западини). Ця остання зона розломів безпосередньо перетинає територію розташування ЧАЕС. Поблизу також знаходиться потужна Київська зона розломів північно – західного простягання.

Будівництво ЧАЕС безпосередньо в межах потужної розломної зони було доведено спеціальними дослідженнями на початку двохтисячних років при виконанні геолого-геофізичного обґрунтування можливості ізоляції високорадіоактивних чорнобильських відходів у надрах Зони відчуження.

Таким чином, завдяки попереднім дослідженням сейсмічних подій у 1986 і у 1996 рр. та уточненню тектонічної будови сейсмічна активність Чорнобильського регіону вже доведена. Заперечення деяких фахівців (Горбачов та інш.), що сейсмічні сигнали начебто фіксували вибухи на станції, а не землетрус, були спростовані результатами спеціального співставлення та аналізу сейсмічних записів поверхневих вибухів і землетрусу, виконаних фахівцями ІФЗ РАН (Аптікаєв та інш., 2000).

Припущення, що при землетрусі були задіяні такі небезпечні супутні процеси, як активізація плазмоїдів (кульові блискавки) (Васильєв та інш., 2006) і дегазація глибинного геологічного водню (Ларін, Шестопапов та інш.) знаходять підтвердження результати різних спостережень під час аварії, зафіксованих у матеріалах комісії по розгляду причин аварії, а також за деякими наслідками аварії. Крім того, у 2017 р. були отримані перші результати аномальної дегазації водню біля ЧАЕС з мікрогеодинамічних зон навіть у період відсутності землетрусу. Результати

вивчення розповсюдження у світі землетрусів спільно з активізацією дегазації глибинного водню (концентрація дегазації досягає збільшення на 5-6 порядків і вище) і з виходом багатьох плазмоїдів, які нерідко супроводжуються вибухом, підтвердили широку наявність цих процесів при землетрусах. Отже сукупні результати аналізу геофізичних процесів при аварії на ЧАЕС свідчать про високу імовірність цієї гіпотези.

У свій час уряди Радянського Союзу, а потім держави Україна на протязі багатьох років, не зважаючи на взяті зобов'язання, не виконували і не виконують рекомендації МАГАТЕ щодо обов'язкового проведення сейсмічного моніторингу навколо атомних станцій і інших ядерних об'єктів. По відношенню до ЧАЕС у цьому сенсі ігнорується і практика ЄС, асоційованим членом якого стала Україна.

Закінчився 2018 рік, минає 2019-й, а Указ Президента України № 196/2018 від 05.07.2018 р. “Про додаткові заходи із відродження територій, що зазнали радіоактивного забруднення в наслідок Чорнобильської катастрофи...”, в якому, зокрема, йдеться про створення фінансових механізмів активізації робіт і досліджень в Зоні відчуження, залишається лише на папері по відношенню до необхідних заходів щодо створення системи захисту від сейсмічної і інших природних небезпек для нового безпечного конфайменту, атомної станції, яка знімається з експлуатації, інших екологічно небезпечних об'єктів. Отже важливий урок Чорнобиля про обов'язкову необхідність впровадження принципів «культури безпеки» по відношенню до природних небезпек так і не засвоєно (Пристер та інш., 2013).

Безумовно, кожна гіпотеза, щоби стати твердженням, потребує доведення. Але таке доведення, можливо, стане реальністю лише коли буде виконано вимогу МАГАТЕ про необхідність створення і задіяння системи сейсмічного моніторингу навколо станції, яку Україна зобов'язана виконати у будь-якому разі, коли будуть започатковані і виконані дослідження дегазаційних структур і активності їх дегазації у Зоні відчуження.

Незалежно від сприйняття згаданої гіпотези, згідно з рекомендаціями МАГАТЕ, локальна сейсмологічна мережа повинна здійснювати дистанційний контроль за активізацією тектонічних структур на території Зони відчуження і, зокрема, під відповідальними об'єктами ЧАЕС, в т.ч. новим безпечним конфайнментом та схо-

вищем відпрацьованого ядерного палива (поряд з майданчиком комплексу «Вектор»). Разом із станціями Національної сейсмологічної мережі НАН України та сейсмічними станціями Білорусі локальна мережа забезпечить отримання об'єктивної інформації:

- про наявність і ступінь сучасної тектонічної активності та зміни геодинамічної ситуації в районі розташування відповідальних об'єктів за допомогою реєстрації землетрусів, що виникають на активізованих тектонічних структурах;

- про резонансні властивості ґрунтів на майданчиках розташування відповідальних об'єктів, які дозволять ефективно і відносно дешево захищатися від майбутніх максимальних землетрусів шляхом внесення змін до власних періодів коливань об'єктів та їх відповідальних конструкцій, для уникнення резонансних ефектів;

- про дані, необхідні для визначення кількісних параметрів розрахункових землетрусів із місцевих і віддалених сейсмоактивних зон для побудови (уточнення) розрахункових акселерограм і спектрів реакції;

- про параметри сейсмічних впливів на відповідальні об'єкти та їх конструкції при реалізації місцевих і сильних віддалених землетрусів, необхідні для прийняття рішень про необхідність (або відсутність необхідності) додаткової перевірки надійності споруд і устаткування, що зазнали впливу землетрусу;

- про дані, які можуть використовуватися для оптимального налаштування параметрів систем вібраційного захисту.

Цю систему сейсмічного моніторингу слід доповнити дослідженнями дегазації водню з мікрогеодинамічних структур, з виявленням каналів глибинної дегазації та їх моніторингом, тощо. Про небезпеку сейсмо-дегазаційної активізації ми вже писали (Шестоपालов, 2016, Шестоपालов, Шибецький, 2016).

Ми знову звертаємось до відповідальних органів влади з нагадуванням про те, що ігнорування вимог МАГАТЕ і наших пропозицій є небезпечним для функціонування Чорнобильського промислового комплексу. Терміново треба переходити від розмов до дій!

SEISMICITY OF THE CHORNOBYL NPP SITE REQUIRES URGENT MEASURES

*V.Starostenko¹, V.Shestopalov², O.Kendzera¹, I.Shybetskyi²,
V.Zgonnik³, V.Omelchenko¹*

1 – Institute of geophysics of NAS of Ukraine, Kyiv,

2 – Radioenvironmental Centre of NAS of Ukraine, Kyiv,

vsh@hydrosafe.kiev.ua, shybetsky@hydrosafe.kiev.ua

3 – Natural Hydrogen Energy Ltd., USA

New data on the relationship between seismic and hydrogen degassing threats identified for the Chernobyl NPP site and adjacent territories, where a number of nuclear facilities are located, are presented. The urgent necessity and scientific significance of creation of seismic and hydrogen degassing monitoring systems, which will reduce the risk of unpredictable events, is shown.

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ВИПАДКАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

*Талерко М.¹, Ковалець І.², Сінкевич Р.², Пилипенко О.², Hirao S.³,
Железняк М.³, Кірєєв С.⁴, Нікіміна Т.⁴*

¹Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України

²Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

³Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

⁴ДСП Екоцентр

ntalerko@gmail.com

Методи прогнозування атмосферного перенесення з Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) у випадках аварійних ситуацій на об'єктах виводу з експлуатації ДСП Чорнобильська АЕС, лісових пожеж чи проходження смерчів на території ЧЗВ в останні роки активно розвиваються в рамках науково-дослідних тем НАН України, відомчих проектів ДАЗВ та міжнародних проектів з використанням даних моніторингу ДСП Екоцентр. Доповідь представляє огляд результатів, отриманих при розвитку методів моделювання, які використовують дані автоматичного, мобільного та стаціонарного моніторингу в рамках декількох проектів: створення Автоматизованої системи моніторингу ЧЗВ, проекту ЄС з впровадження системи підтримки прийняття рішень RODOS в ЧЗВ та в проекту, якій фінансується японською державною програмою SATREPS.

Розроблено в ІПБ АЕС НАН України та впроваджено в ДСП Екоцентр інформаційно-аналітичну систему, призначену для прогнозування радіаційної ситуації в межах ЧЗВ в режимі реального часу з метою забезпечення оперативної підтримки прийняття рішень про введення контрзаходів щодо захисту персоналу на території ЧЗВ і населення поблизу її границі (на відстанях до 40 км від ЧАЕС) при виникненні ситуацій підвищеної радіологічної небезпеки. Особливістю системи є можливість розраховувати розповсюдження викидів в атмосфері одночасно від декількох джерел різних типів, включаючи викиди з радіаційно-небезпечних промислових об'єктів, емісію радіонуклідів в атмосферу при лісових пожежах, природній та техногенний підйом пилу з радіоактивно забруднених територій в ЧЗВ. Система використовує комплекс моделей, що включає лагранжово-ейлерову модель атмосферного перенесення радіонуклідів LEDI, модель формування конвективного струменя над територією пожеж та моделі вторинного підйому аерозолів з радіоактивно забруднених майданчиків.

Європейська система підтримки прийняття рішень з позаоб'єктового реагування на радіаційні аварії RODOS в 2017 - 2018 роках була встановлена в ДСП Екоцентр і ДСП ЧАЕС. Цей проект був останнім етапом впровадження системи RODOS в Україні. В рамках попередніх етапів в 2014-2016 роках система була запроваджена в ДСП НАЕК Енергоатом з підключенням до автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (АСКРО), розгорнутої в ближній зоні кожної АЕС України. Крім ДП НАЕК Енергоатом, система РОДОС також була встановлена в Центрі прогнозування наслідків радіаційних аварій (ЦПНРА) Українського гідрометеоцентру ДСНС і в Інформаційно-кризовому центрі Держатомрегулювання. Розроблена в ІПММС НАН України регіональна система чисельного прогнозування погоди WRF- Україна була встановлена на сервері ЦПНРА з наданням можливостей прогностичного розрахунку метеорологічних полів в регіонах розташування АЕС на сітці з кроком 5 км на період до трьох діб. В рамках проекту "РОДОС-Чорнобиль" система WRF-Україна була адаптована для розрахунків метеорологічних полів в регіоні ЧЗВ і підключена до автоматизованої системи моніторингу ДСП Екоцентр. Модуль атмосферної дисперсії радіонуклідів системи РОДОС, який

включає модель розрахунку викидів з точкових джерел було доповнено моделями площинних викидів для розрахунків наслідків проходження смерчів та лісових пожеж. Встановлена в ДСП Екоцентр і ДСП ЧАЕС система дозволяє на основі оперативної та прогностичної метеорологічної інформації для ЧЗВ розраховувати сценарії викидів з Нового Безпечного Конфайнменту, СВЯП (ХОЯТ)- 1 та СВЯП- 2, а також наслідки лісових пожеж та смерчів.

В рамках проекту SATREPS розпочинаються додаткові дослідження сучасних характеристик радіоактивних аерозолів в ЧЗВ, включаючи встановлення нових постів моніторингу аерозолів поблизу водойми – охолоджувача ЧАЕС. Це дозволить отримати нові дані про інтенсивність процесів вторинного забруднення повітря, в тому числі при екстремальних метеоумовах (пилі бурі) та внаслідок горіння рослинного покриву на радіоактивно забруднених територіях, які можуть бути використані для оцінки поточного стану забруднення повітря в ЧЗВ та перерозподілу радіоактивності по території ЧЗВ.

В рамках проекту SATREPS виконано порівняння та верифікацію результатів модельних оцінок наслідків великих лісових пожеж в ЧЗВ в періоди 26-30 квітня 2015 р. та 5-7 червня 2018 р., виконаних з використанням системи RODOS та моделі ПІБ АЕС, на основі оперативних даних стаціонарного і мобільного моніторингу ДСП Екоцентр. Виявлено необхідність додаткового уточнення критичних параметрів моделей лісових пожеж, в першу чергу параметризації інтенсивності підйому радіоактивних аерозолів при горінні рослинності, швидкості розповсюдження фронту пожежі, розподіл аерозольних часток – продуктів горіння за розмірами.

Розроблені і впроваджені моделі і системи створили можливість прогнозування атмосферного переносу на основі оперативної інформації моніторингу і метеорологічних прогнозів. Уточнення цих прогностичних методик необхідно проводити з залученням даних більш деталізованого моніторингу радіоактивних аерозолів в ЧЗВ.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Тимченко А.А.¹, Савченко Є.А.², Савченко М.Ю.³

1 – д.т.н., проф., Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, бул. Шевченко, 460, E-mail: tymchenkoaa@ukr.net,

2 – к.т.н., с.н.с., Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України,

м. Київ, пр. Академіка Глушкова, 40, E-mail: savchenko_e@meta.ua,

3 – магістр, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, вул. Васильківська, 90, E-mail: m_savchenko@meta.ua

Розглядаються інформаційні технології створення та використання складних системних комплексів з точки зору теорії обслуговування та впровадження засобів обчислювальної техніки. Аналізуються, в першу чергу, об'єкти обслуговування і їх процеси, а також виробничі та професійні відносини спеціалістів. В основу системного аналізу покладені методи теорії систем, теорії категорій, методи прикладного аналізу, аналітико-цифрових технологій. Теорія обслуговування дозволяє з системних позицій розглядати окремо в якості об'єкту дослідження комплекс технічних засобів АЕС та засоби обслуговування. Для цього розроблено поетапні аналітико-цифрові методи комп'ютерних інформаційних технологій. Це дозволяє сформулювати вимоги до створення сучасних програмно-методичних обчислювальних комплексів.

Ключові слова: *складна система, системний підхід, системний аналіз, інформаційні технології, теорія обслуговування.*

Коротка історична довідка. Як відомо, комплекс технічних засобів атомної електростанції (АЕС) є матеріальним втіленням послідовних процесів перетворення енергії: атомної, теплової, механічної та електричної, а саме атомний реактор, парова турбіна з електрогенератором та велика кількість додаткового обладнання та засобів автоматизації і діагностики. Техніка АЕС періоду 70–80-х рр. відносилась до об'єктів нової техніки з як позитивними так і негативними системними властивостями.

Етапи становлення інформаційних технологій. Процес створення і використання АЕС можливо відобразити деякою послідовністю етапів життя системи – життєвий цикл, а процеси наступних еволюційних змін – життєвими циклами поколінь:

<соціальне замовлення та наукові дослідження>→<формування технічного завдання та ескізне проектування>→<системне проектування та розробка технологій створення та використання>→<виготовлення та будівницт-

во>→<дослідницька експлуатація та виявлення недоліків>→<промислова експлуатація та масове впровадження>.

Коли послідовність технологічних етапів «життя» системи від «зародження» до захоронення замикається «великим» зворотнім зв'язком, відбувається завершення покоління. Початок нового покоління можливий з неповним завершення життя попереднього або в силу морального старіння або техногенних аварійних процесів.

З системних позицій ці технологічні процеси характеризуються *ефективністю* виробництва та *якістю* кінцевих результатів. Між ефективністю та якістю існують компроміси на основі часу життя системи. Наприклад, відповідно до концепції *Індустрія 4.0* етапи зміни поколінь і техніки та технологій, ефективність якісно відповідає стадіям:

<використання конвеєрного виробництва>→<винахід парової машини та електричної енергії>→<поява електронних обчислювальних машин та комп'ютерних інформаційних технологій>→<використання штучного інтелекту в сукупності з кіберфізичними системами>.

В галузі атомної енергетики ситуація практично не вийшла за межі першого покоління за показниками якості та рівнем безпеки, що і підтвердилось на практиці. Кожне з попередніх поколінь енергетичних станцій:

<теплоелектростанції - ТЕС>→<гідроелектростанції - ГЕС>→<вітроелектростанції - ВЕС>→<сонячні електростанції СЕС>

займало ту чи іншу нішу в той чи інший період, крім використання атомної енергії. Від атомної бомби до атомної станції на жаль пройшов дуже короткий час.

Інформаційні технології які супроводжували етапи життєвого циклу комплексів технічних засобів АЕС базувались на моделях натурних експериментів та методах прикладної математики, особливо методах теорії автоматичного керування [1].

Проведений аналіз технологічних процесів функціонування та натурального моделювання базувався на етапах початкового використання засобів цифрової обчислювальної техніки в якості автоматизованих систем: АСНД – автоматизована система наукових досліджень, САПР – системи автоматизованого проектування та конструювання (САПР ТПП – САПР технологічними процесами), АСУ – автоматизовані системи управління (АСУП – АСУ підприємством, АСУТП – АСУ технологічними процесами).

ми). АСПЕ – автоматизована система програмованої експлуатації. Це були окремі системи автоматизації, але в цей час формувались технології без паперової інформатики [2, 3].

За останні десятиріччя спостерігається активний розвиток комп'ютерних інформаційних технологій та моделей з інтегральними властивостями. При цьому формуються методи комп'ютерно-аналітичного використання [4].

Післямова. Використовуючи елементи теорії обслуговування можна зробити висновок, що спостерігаються якісні зміни при комп'ютерному описі об'єктів дослідження (обслуговування) так інтегрованих системах реалізації перспективних комп'ютерних інформаційних технологій [5, 6].

Література

1. Щипанов Г.В. Теория и методы проектирования автоматических регуляторов. Автоматика и телемеханика. №1, 1939. С. 49-66.

2. Тимченко А.А., Орлова Т.І. Системний підхід: матерія, енергія, інформація. Бажання та обмеження. Др. Міжн. конф. «Проблеми знання з експлуатації об'єктів ядерної енергетики відновлення навколишнього середовища» INUDECО 2017. Чернігів: ЧНТУ, 2017. С. 27 5-276.

3. Тимченко А.А., Теслюк Д.В., Орлова Т.І. Системний аналіз аварії на ЧАЭС: причини і следствия. III Міжн. конф. «Проблеми знання з експлуатації об'єктів ядерної енергетики відновлення навколишнього середовища» INUDECО 2018. Чернігів: ЧНТУ, 2018. С. 345-348.

4. Гриценко В.І., Тимченко А.А., Триус Ю.В. Системний аналіз об'єктів і процесів інформатизації та роботизації. XXV Міжн. конф. з автоматичного управління Автоматика–2018. Львів: Вид-во Львівська політехніка. С. 109-110.

5. Никулина Е.Н., Северин В.П., Кошоба Н.В. Идентификация и анализ устойчивости контуров автоматического регулирования энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-1000. XXV Міжн. конф. з автоматичного управління Автоматика-2018. Львів: Вид-во Львівська політехніка. С. 54-55.

6. Северин В.П., Никулина Е.Н., Шевцова А.С. Оптимизация систем автоматического управления паровой турбины К-1000-60/1500-2 по прямым показателям качества. XXV Міжн. конф. з автоматичного управління Автоматика-2018. Львів: Вид-во Львівська політехніка. С. 52-53.

SYSTEM ANALYSIS OF THE LIFE CYCLE OF TECHNICAL MEANS COMPLEX OF ATOMIC POWER PLANTS

Тимченко А.А.¹, Savchenko Ye.A.², Savchenko M.Yu.³

1 – Doctor (Eng.), professor, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Blvd. Shevchenko, 460,

- 2 – Ph.D. (Eng.), Senior Researcher, International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, Academician Glushkov Ave., 40,
3 – Master's Degree, Kyiv National Taras Shevchenko University, Kyiv, Vasylykivska Ave., 90

The information technologies of creation and use of big system complexes from the point of view of the theory of service and introduction of computer engineering are considered. The objects of service and their processes, production and professional relations of specialists are analyzed first of all. Systems analysis is based on systems theory, category theory, applied analysis methods, analytics and digital technologies. The service theory allows considering separately as an object of study the complex of atomic power plant of technical means and service means from point of view of system positions. For this purpose, phased analytical-digital methods of computer information technologies have been developed. This allows us to formulate the requirements for the creation of modern software and methodical computing complexes.

Using the elements of the theory of service, we can conclude that there are qualitative changes in the computer description of objects of research (maintenance) of integrated systems for the implementation of promising computer information technologies.

Keywords: *complex system, system approach, system analysis, information technologies, the service theory.*

ЦЕНТР УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ушаков Д.Р.

Корпорація «Укратомприлад», Україна, Київ, ushakov@uap.kiev.ua

The organization of transportation radioactive materials requires resolution of planning and emergency preparedness. The automated system – control center of transportation of radioactive materials (CCTRM) intended for monitoring of the specialized vehicles during transportation.

Keywords: *CCTRM, radioactive materials, specialized vehicles, automated system.*

При використанні радіоактивних матеріалів часто виникає необхідність у їх безпечному перевезенні. Організація таких перевезень вимагає вирішення питань по плануванню та готовності до аварійного реагування при транспортних аваріях, пов'язаних з радіоактивними матеріалами.

Автоматизована система Центру управління перевезеннями радіоактивних матеріалів (ЦУП РМ) призначена для моніторингу спеціалізованого автотранспорту підприємства-користувача, та створення умов для об'єктивної оцінки стану щодо транспортування високоактивних радіоактивних джерел іонізуючого випроміню-

вання, радіоактивних відходів (РАВ) і своєчасне виявлення небезпечної ситуації при транспортуванні РАВ. Крім того, система має забезпечувати керівництво підприємства-користувача необхідною оперативною і достовірною інформацією щодо стану спеціалізованого автотранспорту та небезпечного вантажу для підтримки і прийняття рішень при транспортуванні РАВ і раціонального використання матеріальних ресурсів підприємства-користувача.

Автоматизована система ЦУП РМ дозволяє комплексно вирішувати завдання:

- поточного моніторингу стану об'єктів, датчиків та значень вимірювальних параметрів при нормальному стані об'єктів контролю (автотранспортні засоби для перевезення радіоактивних матеріалів);

- організації контролю і навігації транспортних об'єктів з використанням супутникових систем;

- своєчасного раннього виявлення тенденцій до зміни стану контрольованих параметрів, що вказує на можливу зміну ситуації;

- забезпечення інформацією для аналізу та прогнозування змін обстановки у випадку виникнення аварій.

ЦУП РМ є дворівневою автоматизованою системою. Верхній рівень (ВУ) ЦУП РМ включає в себе сервери збору і обробки даних та робочі місця диспетчерів. Крім цього, для забезпечення оперативного зв'язку в аварійному режимі передбачається використання супутникового каналу зв'язку, термінали якого знаходяться як на транспортному засобі, так і у диспетчерів.

Для підвищення надійності ЦУП РМ і забезпечення резервування каналу прийому-передачі інформації, дані з нижнього рівня надходять одночасно на обидва сервера збору і обробки даних верхнього рівня (основний і резервний), які приймають і обробляють інформацію паралельно та незалежно один від одного, що дозволить, в разі виходу з ладу основного сервера, продовжити функціонування ЦУП РМ. Нижній рівень (НР) ЦУП РМ розміщений на транспортному засобі і складається з комплексу технічних засобів для організації збору, обробки та передачі інформації на ВР ЦУП РМ.

Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє здійснювати простий, надійний доступ до накопичених даних, а також їхню наочну візуалізацію, чіткий аналіз і документування. ЦУП

РМ має розвинені можливості нарощування й масштабування, що дозволяє розширювати контроль об'єктів без значних витрат і достатньо просто в інженерно-технічному аспекті.

ПРЯМУЄМО РАЗОМ: КРОКИ СЛАВУТИЧА НА ШЛЯХУ ДО ЕКОНОМІЧНОГО ЗРОСТАННЯ

Віктор Шевченко

Перший заступник міського голови
з питань діяльності виконавчих органів ради
Виконавчий комітет Славутицької міської ради, м. Славутич
Shevchenko.V@slav.gov.ua

В квітні 2017 року місто Славутич приєдналося до Ініціативи Європейського Союзу «Мери за економічне зростання» і місцева влада взяла на себе зобов'язання впроваджувати заходи щодо:

- дерегуляції підприємницької діяльності;
- спрощення доступу до фінансових, земельних ресурсів та інфраструктури;
- розвитку людського потенціалу;
- промоції ресурсного та інвестиційного потенціалу.

В грудні 2017 року місто Славутич стало переможцем конкурсу Європейського Союзу в рамках Східної регіональної програми дій Європейського інструменту сусідства для муніципального розвитку та з 2018 року реалізує Грантовий проект ЄС «План місцевого економічного розвитку: Славутич - драйвер росту відкритої та вільної економіки регіону».

Термін реалізації: 2018 - 2020 роки.

Виконавці:

- Виконавчий комітет Славутицької міської ради
- Міська громадська організація «Лабораторія малого бізнесу»

Загальний бюджет: 850 050 Євро:

- Внесок Європейського Союзу - 650 000 Євро (76,47%)
- Внесок місцевого бюджету - 200 050 Євро (23,53%)

Головна ціль: Створити умови для економічного зростання міста Славутича.

Спеціальні цілі:

1. Налагодити партнерські стосунки з навколишніми громадами для спільного економічного розвитку.

2. Створити комплексну інфраструктуру для розвитку бізнес-середовища.

3. Покращити інвестиційний клімат та розширити доступ до фінансування.

Протягом 2018 року місто Славутич виконало наступні кроки:

Крок 1. Налагоджено співпрацю громад міста Славутича (Київська область) та 42 населених пунктів Любецької та Михайло-Коцюбинської об'єднаних територіальних громад (Чернігівська область). За результатами співпраці, з урахуванням громадської думки, розроблено Меморандум про партнерство та Концепцію соціально-економічного розвитку територіальних громад «Славутич-Чернігівський регіон». Громади – партнери Славутича приєдналися до Ініціативи ЄС «Мери за економічне зростання» та приступили до розробки власних Планів місцевого економічного розвитку.

Крок 2. Затверджено План місцевого економічного розвитку Славутича - дорожню карту до економічного зростання. В розробці Плану приймали участь майже 400 представників влади, бізнесу та громадськості за принципом партисипативної демократії. План схвалений експертами ЄС та отримав найвищу оцінку Світового банку - «Відмінно».

Крок 3. Створено службу Бізнес-омбудсмена, як консультативно-дорадчий орган при міському голові Славутича, задля забезпечення реалізації місцевої політики у сфері захисту прав та інтересів бізнесу, недопущення або усунення випадків порушення законодавства в сфері підприємницької діяльності, а також надання практичної юридичної допомоги підприємцям.

Крок 4. Створено службу Е-послуг для бізнесу «Єдине вікно», що сприяє суб'єктам бізнесу в отриманні електронних місцевих адміністративних послуг. Нові електронні бізнес-сервіси працюватимуть на веб-сайті Центру надання адміністративних послуг за принципами: Зручно! Швидко! Прозоро!, що дозволить спростити процедуру надання адміністративних послуг, скоротити час їх оформлення та мінімізувати контактування підприємців з представниками влади.

Крок 5. Впроваджується механізм залучення інвестицій до Славутичської, Любецької та Михайло-Коцюбинської громад, здійснюється активна промоція їх ресурсних можливостей та

інвестиційного потенціалу. Розроблено Інвестиційний портал «Славутич-Чернігівський регіон» та здійснюється його інформаційне наповнення.

Крок 6. Налагоджено дієвий діалог влади та громади. Розроблено Концепцію «Громада–головний інструмент соціально-економічного розвитку регіону», що впроваджує загальноміську систему інформування та комунікації з громадськістю. Комунальні підприємства, управління Славутицької міської ради, відділи виконавчого комітету Славутицької міської ради створили 30 сторінок у соціальній мережі Facebook. Розпочато впровадження веб-сервісу «Електронні консультації з громадськістю».

Крок 7. Виконані роботи по проектуванню Інноваційного індустріального Бізнес-парку, загальною площею 1279,7 м², який стане додатковим сучасним інфраструктурним об'єктом для започаткування та розвитку бізнес-діяльності в регіоні. Розроблено Концепцію створення та функціонування Бізнес-парку. Будівельні роботи на об'єкті планується виконати протягом 2019 року.

Крок 8. Розроблено тренінгову програму «Бізнес навички – інструмент особистісного розвитку». Бізнес-навчання проводиться для всіх охочих працівників бюджетних організацій, підприємств, учасників бойових дій, суб'єктів бізнесу та безробітних громадян, (в т.ч. молоді та жінок,) які матимуть змогу ознайомитись з основами бізнесу, сучасними методиками мотивації персоналу, успішними тактиками продажу, отримати навички управління часом та ефективної комунікації.

Крок 9. Розпочато створення системи фінансової підтримки суб'єктів бізнесу. В 2019 році буде створено Фонд підтримки інноваційного та початкового бізнесу, який надаватиме фінансову допомогу для започаткування та розвитку підприємницької діяльності.

Економічний розвиток – головний пріоритет місцевої влади Славутича. Ми прагнемо жити в місті, де постійно підвищується добробут громадян, комфортно жити та виховувати дітей, можливо знайти роботу, легко вести бізнес, безпечно й вигідно вкладати інвестиції.

Запрошуємо амбітних підприємців стати учасниками Бізнес-парку «Славутич» та реалізувати свої найсміливіші інноваційні проекти!

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

IV Міжнародна конференція

**ПРОБЛЕМИ ЗНЯТТЯ
З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВІДНОВЛЕННЯ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**Fourth International Conference
on Nuclear Decommissioning
and Environment Recovery
INUDECO 19**

(24–26 квітня 2019 року, м. Славутич)

Збірник матеріалів

Комп'ютерна верстка і макетування

О. С. Смелова

Підписано до друку 10.04.2019. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. – 14,41.
Тираж 150 пр. Замовлення № 457/19.

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.