

Т. В. Ковалінська*, В. І. Сахно*Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна**Відповідальний автор: sungel@i.ua**ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИЙ ІМІТАТОР УШКОДЖУЮЧИХ ФАКТОРІВ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Обговорюється проект модернізації радіаційної установки Інституту ядерних досліджень НАН України з метою адаптації її під медико-біологічні дослідження впливу основних чинників ядерної енергії на біологічні об'єкти. Описано конструкцію спеціального обладнання для реалізації біологічних методик радіаційних досліджень. Розраховано очікувані радіаційні характеристики комплексу після його модернізації. Така модернізація забезпечує технічні умови для виконання широкого переліку спеціальних ядерних і радіаційних досліджень і спрямована на подальше удосконалення експериментальної бази інституту.

Ключові слова: радіаційна установка, медико-біологічні дослідження, експериментальні дослідження.

1. Вступ

Медико-біологічні дослідження і випробування є специфічною областю радіаційних технологій. Зазвичай тут не використовується промислова потужна радіаційна техніка через надмірно високі значення радіаційних параметрів. Для таких робіт, а особливо тонких медико-біологічних досліджень, створюється спеціальна експериментальна техніка з підвищеними вимогами до її параметрів, традиційно – радіоактивні генератори іонізуючих випромінювань (ізотопів). У даний час, з огляду на екологічну ситуацію та зростання соціальної небезпеки, поширення радіоізотопів необхідно замінити на електрофізичні джерела.

В ІЯД НАН України (ІЯД) є потужна ядерно-фізична техніка наукового призначення для досліджень фундаментальних ядерних процесів. Наявність готових приміщень із протирадіаційним захистом є привабливим для організації спеціалізованих експериментальних комплексів різноманітного призначення. А медико-біологічний напрям виходить на передній план фундаментальних і прикладних досліджень із прикладної ядерної та радіаційної фізики.

Основна ідея – це використання наявної електрофізичної радіаційної техніки ІЯД [1] для технічного забезпечення прикладних досліджень взаємодії радіації з живою і неживою матерією та супутніх технологічних робіт із використанням таких процесів. Планується подальше створення сучасного багатоцільового експериментального радіаційного технічного комплексу для колективного використання різними фахівцями науки і техніки, оборонної галузі, промислового виробництва, медицини та освіти.

В Україні спостерігається суттєве відставання від світового рівня обсягів медичного використання ядерних знань. Основна причина – відсут-

ність у профільних медичних і медико-біологічних вітчизняних організаціях технічної бази для таких робіт. Ядерна і радіаційна техніка належить до переліку найбільш дорогих технічних засобів і в даний час практично недоступна для більшості зацікавлених організацій. А залучення до вирішення цієї проблеми радіаційної техніки ІЯД є найбільш простим й економічно виправданим шляхом подолання вказаного недоліку.

Передбачено в експериментальному приміщенні радіаційної установки ІЯД з потужним протирадіаційним захистом імітувати/відтворювати окремо основні чинники ядерної енергії та формувати суперпозиції радіаційних полів з γ -випромінювання, потоків β -випромінювання [2] і, надалі, нейтронних потоків. Параметри діючої установки забезпечують потужні потоки радіації в діапазоні енергій, властивих різноманітним ядерним процесам в ядерній медицині, при використанні ядерної зброї, в ядерній енергетиці, промисловості. Проблемою адаптації є приведення цих параметрів у відповідність до норм медико-біологічних досліджень [2]. В ІЯД вже є тривалий досвід ядерних досліджень для таких галузей, як медицина, екологія, сільське господарство та харчове виробництво [3].

2. Проблеми

Адаптація існуючої радіаційної установки є необхідною умовою забезпечення метрологічних вимог медико-біологічних досліджень. Тут джерелами інформації є фізіологічний відгук піддослідних організмів на дію радіації. Для їхнього використання необхідно забезпечити специфічні умови роботи детекторів з метою виключення спотворень отриманої інформації від побічних факторів – температурних, акустичних шумів,

© Т. В. Ковалінська, В. І. Сахно, 2019

хімічної дії активних продуктів радіолізу, зовнішньої температури, радіаційного фону від генеруючого обладнання та інших, менше значимих, супутніх ефектів. Наводимо короткий перелік основних шкідливих супутніх факторів обстановки, які супроводжують роботу потужного прискорювача електронів в технологічному боксі і реакційній камері.

Супутній фактор	Величина/перелік
Блок прискорення	До 10 Гр·хв
Блок виводу	До 3 Гр·хв
Продукти радіолізу атмосфери в боксі	O ₂ , O ₃ , NO ₂ , NO, H, H ₂ , H ₂ O _x ,
Акустичний шум	78 - 85 дБ
Потік повітря	1500 м ³ ·год
Температура	12 - 35 °С

Для медико-біологічних досліджень найбільш значимими є небажаний вплив радіаційного фону від 9 МВт магнетронного генератора НВЧ енергії, гальмівного випромінювання від системи випуску пучка та фон від розсіяних і вторинних електронів, які попадають на конструкції обладнання в реакційній камері установки.

Із хімічних супутніх факторів найбільш шкідливим є озон та окисли азоту, що у великих кількостях генеруються по всій траєкторії руху електронів в атмосфері від прискорювача до об'єкта.

3. Спеціалізована реакційна камера для медико-біологічних робіт

Для медико-біологічних робіт на радіаційній установці з потужним електронним прискорювачем розроблено спеціалізовану експериментальну камеру (рис. 1).

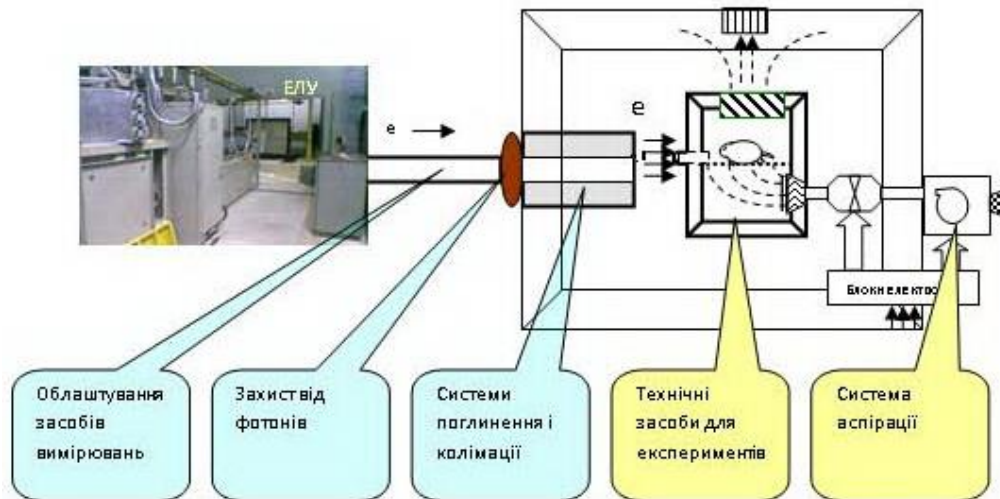


Рис. 1. Схема організації медико-біологічних робіт з електронами, розроблена для удосконалення радіаційної установки ІЯД.

Технічною основою адаптації радіаційної установки є спеціалізована експериментальна камера для розташування піддослідних об'єктів, зображена на рис. 1 справа. Вона являє собою щільний корпус-каркас із коробчастими стінками, які при необхідності можуть заповнюватися захисним матеріалом (свинцева цегла та бетонні блоки). Така камера ізолює внутрішній об'єм від зовнішнього середовища боксу й виключає надходження туди небажаних факторів. Життєдіяльність біологічних об'єктів забезпечується окремою вентиляційною системою з аспірацією повітря від сторонніх домішок. Відповідно повітря (при необхідності) може нагріватися до певної температури. Указана система є локальною, має невелику потужність і забезпечує тихий ламінарний потік свіжого повітря в експериментальну камеру завдяки вхідному багат шаровому сітчастому фільтру камери. Відпрацьоване повітря, за рахунок його підпирання вхідним пото-

ком локальної системи, виходить у приміщення прискорювача і видаляється загальною системою спецвентиляції.

Потік радіації формується шаруватою системою захисту від γ -випромінювання з 10-см шару парафіну та свинцю товщиною 5 см з відповідним вікном-коліматором для проходження електронного пучка. Далі електронний пучок колімується трубчастим коліматором з легкого полімерного матеріалу, а розсіяні електрони поглинаються парафіновими захисними блоками відповідної товщини. Формування поля опромінення необхідного діаметра (у межах 2 - 4 см) передбачено вибором внутрішнього діаметра трубчастого коліматора в стінці експериментальної камери. При зняттю коліматорі в камері формується поле опромінення з діаметром близько 25 - 30 см з нерівномірністю 30 %. Більш детально коліматор показано на правій середній виносці рис. 2.

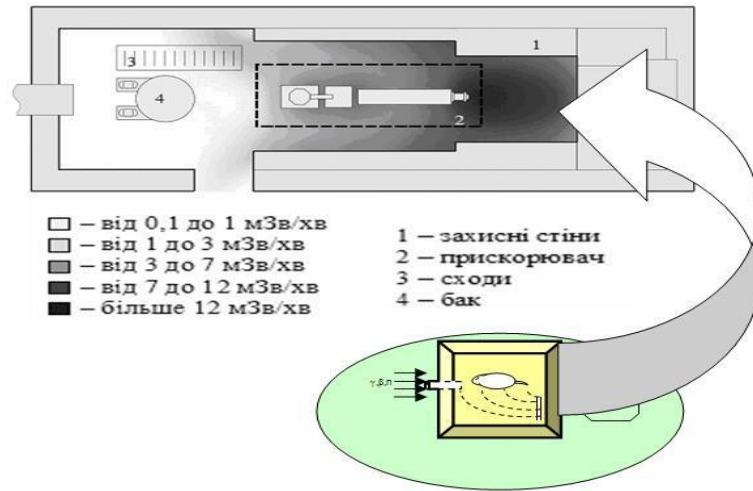


Рис. 2 Розташування експериментальної камери у приміщенні прискорювача.

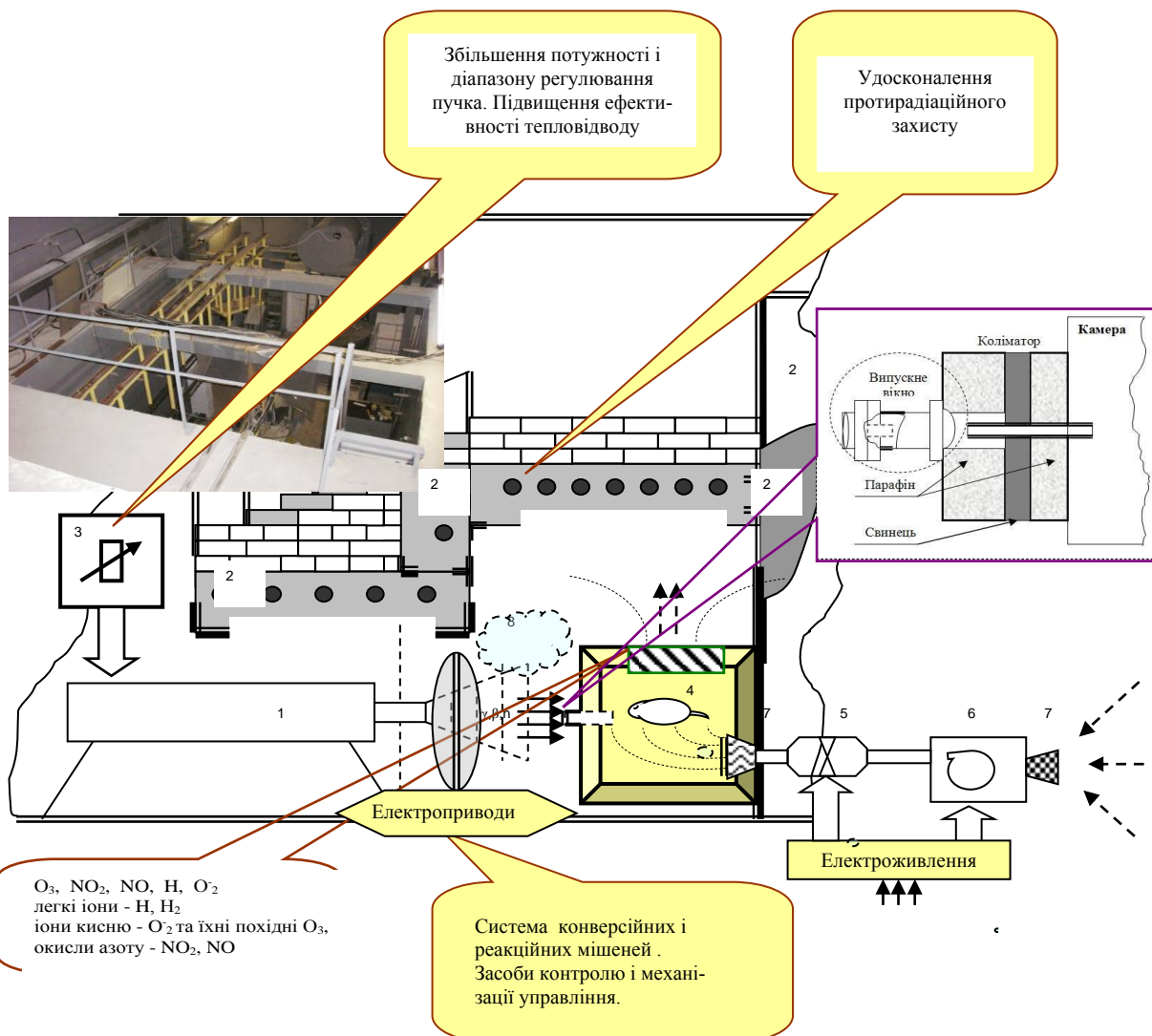


Рис. 3. Модернізація радіаційної установки для утворення багатоцільового експериментального комплексу для медико-біологічних досліджень. 1 – прискорювач; 2 – протирадіаційний захист; 3 – системи управління пучком; 4 – експериментальна камера для медико-біологічних робіт; 5 – кондиціонер; 6 – вентиляційний блок; 7 – фільтр вхідний.

Таку камеру при організації медико-біологічних робіт установлюють у робочому об'ємі приміщення прискорювача, як це показано на рис. 2. Затіннення відображають розподіл інтенсивності радіаційного поля у внутрішньому об'ємі боксу прискорювача, виміряну за допомогою системи з фотометричних дозиметрів [4].

У наведеній конфігурації експериментальної камери для біологічних досліджень адаптована радіаційна установка надає можливість виконання досліджень із термічними опіками, місцевими радіаційними опіками, комбінованими радіаційними ураженнями [2].

Але для формування багатоцільового експериментального радіаційного комплексу, здатного забезпечити медико-біологічні експерименти з усіма видами радіації, необхідно одночасно здійснити низку заходів модернізації комплектного обладнання радіаційної установки. Перелік найбільш важливих заходів наведено на схемі рис. 3.

Їхнє здійснення було передбачено планами діючої програми медико-біологічних досліджень, що виконувалися в обсязі державного замовлення на встановлення терапевтичних можливостей продуктів радіолізу води. Випробування здійснюються на термічних ураженнях та радіаційних травмах різного походження шляхом імітації радіаційного ураження в контрольованому режимі енергій і доз опромінення.

Реалізація режиму імітації вказаних чинників ядерної енергії супроводжується зростанням радіаційної потужності установки і, відповідно, зростання інтенсивності небажаних супутніх факторів

(продукти радіолізу, атмосфери, вологи, побічних випромінювань та ін.). Для захисту персоналу і довкілля необхідно модернізувати системи протирадіаційного захисту прискорювача та засобів силового живлення. На рис. 3 показано схему вдосконаленого комплексу в максимальному варіанті, аж до отримання нейтронних потоків. Значимо, що кожна складова радіаційного поля вимагає різної конструкції протирадіаційного захисту [5]. Наприклад, захист від нейтронів вимагає найбільшого вдосконалення і його реалізації за шаровими структурами.

З точки зору радіаційної безпеки найбільш важливим є вдосконалення системи протирадіаційного захисту. Для роботи з нейтронами його необхідно виконати як слоїсту структуру з комбінацією легких і важких поглиначів та розсіюючих екранів. Одночасно необхідно вдосконалити систему формування пучка та систему технологічної дозиметрії для роботи при низьких значеннях (нетрадиційних для промислового прискорювача) інтенсивності пучка.

Частину цих заходів уже реалізовано [6]. Модернізовано систему формування пучка і освоєно експлуатацію прискорювача з низьким («біологічним») струмом пучка. Розроблено і реалізовано гнучку систему місцевих засобів протирадіаційного захисту. На рис. 4 показано приклад успішної реалізації на установці місцевого захисту від побічного випромінювання коліматора випускного вікна прискорювача та електронно-оптичну систему формування пучка різного діаметра.

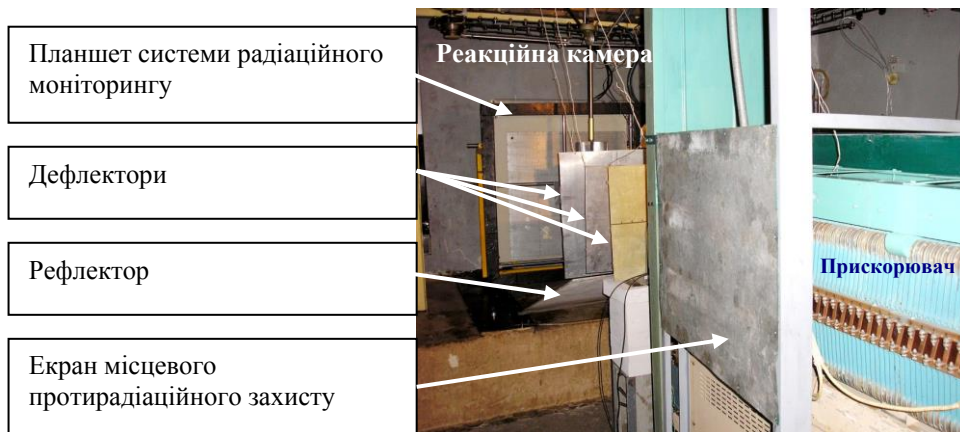


Рис. 4. Локальний протирадіаційний захист випускного вікна прискорювача. У глибині – система формування перерізу пучка.

Досліджено перелік продуктів радіолізу повітря (див. рис. 3), створено та отримано досвід експлуатації системи спецвентиляції приміщення прискорювача для ліквідації небажаних шкідливих сполук азоту та озону.

Проведено попередні розрахунки загальноприйнятими методами очікуваних параметрів нейтронів, якщо буде необхідно виконувати

дослідження з цим видом випромінювань [7]. Оцінки показали, що на даній установці конверсією електронного пучка можна отримувати швидкі нейтрони із середньою енергією близько 2 МеВ, інтенсивністю не гірше 10^7 част·см², а з парафіновим сповільнювачем можна отримувати і потоки теплових нейтронів.

Такі заходи вимагають відчутних витрат і обмежують коло технологічних досліджень, що можуть негативно позначитися на подальшій експлуатації діючого зараз експериментального технологічного комплексу. Але при відповідній постановці завдання шляхом такої модернізації можна утворити багатоцільовий і корисний зараз електрофізичний імітатор діючих факторів ядерної енергії для фахівців із медицини, медичної радіології, радіобіології, оборонної галузі, матеріалознавства.

4. Висновки

1. Розроблено шляхи модернізації радіаційної установки ІЯД з метою утворення експериментального комплексу для медико-біологічних досліджень, у першу чергу для виконання заключного етапу державного замовлення на встановлення медичних можливостей продуктів радіолізу води. Показано, що з урахуванням особливостей здійснення медико-біологічних радіаційних

досліджень, діючу в ІЯД установку можна адаптувати під виконання таких досліджень.

2. Досліджено проблеми, які виникають при створенні вказаної установки на базі потужної промислової радіаційної техніки. Показано, що необхідно вдосконалювати техніку генерації випромінювань, методи і техніку експериментів, системи протирадіаційного захисту. Розроблено проект такої установки у складі експериментального обладнання ІЯД.

3. Розроблено і частково реалізовано вузлові заходи щодо адаптації установки.

4. Показано, що при виконанні всього об'єму даного проекту можна утворити потужний експериментальний комплекс імітації всіх діючих факторів ядерної енергії, з якими доводиться мати справу при ядерних технологіях, в ядерній медицині, у промисловості, при застосуванні ядерної зброї, технологічних аваріях в ядерній енергетиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. И.Н. Вишне夫斯基 и др. Радиационная установка с ускорителем электронов ИЯИ НАН Украины. *Атомная энергия* 94(2) (2003) 124.
2. Патент РФ RU2534802C1. Способ моделирования сочетанных радиационных поражений, включающих общее гамма-и местное бета-облучение. А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, Н.И. Заргарова, О.О. Владимирова. Заявл. 08.01.2013; опубл. 12.10.2014.
3. В.И. Сахно. Современное состояние технической базы электрофизических технологий морепродуктов. *Рыбное хозяйство Украины* 2(19) (2002) 49.
4. І.М. Вишневський та ін. Дослідження розсіяного випромінювання лінійного прискорювача електронів. *Ядерна фізика та енергетика* 2(20) (2007) 126.
5. Л.Н. Зайцев, М.М. Комочков, Б.С. Сычев. *Основы защиты ускорителей* (Москва: Атомиздат, 1971) 398 с.
6. В.І. Сахно. Проблеми оптимізації протирадіаційного захисту промислових радіаційних технологічних установок. У кн.: XVI Міжнар. конф. по фізиці радіаційних явищ та радіаційному матеріалознавстві. (Алушта, Крим, 6 - 11 вересня. 2004) с. 286.
7. М.Я. Амусья. *Тормозное излучение* (Москва: Энергоатомиздат, 1990) 208 с.

Т. В. Ковалинская*, В. И. Сахно

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

*Ответственный автор: sungel@i.ua

ЕЛЕКТРОФІЗИЧЕСКИЙ ИМИТАТОР ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

Обсуждается проект модернизации радиационной установки ИЯИ НАН Украины с целью адаптации ее под медико-биологические исследования влияния основных факторов ядерной энергии на живую ткань и физиологию организма. Описана конструкция специального оборудования для реализации биологических методик радиационных исследований. Рассчитаны ожидаемые радиационные характеристики комплекса после его модернизации. Такая модернизация обеспечивает технические условия для применения широкого перечня специальных ядерных и радиационных исследований и направлена на дальнейшее усовершенствование экспериментальной базы института.

Ключевые слова: радиационная установка, медико-биологические исследования, экспериментальные исследования.

Т. В. Ковалінська*, В. І. Сакно

Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: sungel@i.ua

ELECTROPHYSICAL SIMULATOR OF NUCLEAR ENERGY STRIKING FACTORS

Modernization project of the radiation installation of the INR of NAS of Ukraine for its adaptation to biomedical research of the influence of the main nuclear energy factors on living matter and body physiology is discussed. The construction of special equipment for implementing biological methods of radiation research is described. Expected radiation characteristics of the complex after its modernization are calculated. Such modernization provides technical conditions for different special nuclear and radiation research and is aimed to further improvement of the experimental base of the Institute.

Keywords: radiation installation, biomedical research, experiments.

REFERENCES

1. I.N. Vishnevskii et al. Radiation setup with an electron accelerator at the INR of the NAS of Ukraine. *At. Energy* 94(2) (2003) 124.
2. Patent RF RU2534802C1. The method of modeling of combined radiation lesions, including total gamma- and local beta irradiation. A.N. Grebenyuk, V.I. Legeza, N.I. Zargarova, O.O. Vladimirova. Appl. 08.01.2013; publ. 12.10.2014. (Rus)
3. V.I. Sakhno. The current state of the technical base of seafood electro-physical technologies. *Rybnoye Khozyaystvo Ukrainy* 2 (19) (2002) 49. (Rus)
4. I.M. Vyshnevskiy et al. The research of the scattered radiation of electrons linear accelerator. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 2(20) (2007) 126. (Ukr)
5. L.N. Zaitsev, M.M. Komochkov, B.S. Sychev. *Fundamentals of Accelerator Protection* (Moskva: Atomizdat, 1971) 398 p. (Rus)
6. V.I. Sakhno. Problems of optimization of radiation protection of industrial radiation treatment plants. In: XVI Intern. Conf. on Physics of Radiation Phenomena and Radiation Material Science. (Alushta, Crimea, Sept. 6 - 11, 2004) p. 286 (Ukr)
7. M.Y. Amusia. *Bremsstrahlung Radiation* (Moskva: Energoatomizdat, 1990) 208 p. (Rus)

Надійшла 28.09.2018

Received 28.09.2018