дносний ризик спонтанних онкологічних захворювань.

Показано, що високий рівень верифікації математичних моделей прогнозу радіаційного ризику згідно з Рекомендаціями МКРЗ (103 Публікація) з урахуванням даних наслідків аварії на ЧАЕС, дозволяє провести на їх основі прогнозні оцінки можливих віддалених радіологічних наслідків аварії на АЕС Fukushima - Daiichi.

Наведені оцінки ризиків радіологічних наслідків аварії на АЕС Fukushima - Daiichi носять попередній характер з огляду на неповноту основних дозиметричних і демографічних даних.

Література

1. Скалозубов В.И., Ключников А.А., Ващенко В.Н. Яровой С.С. Анализ причин и последствий аварии на АЭС Fukushima как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах // НАН Украины, ИПБ АЭС НАНУ.- Чернобыль – 2012 г. – 280 с.
2. The Overview of OECD/NEA Benchmark Study of the Accident at the Fokushima-Daiichi Nuclear Power Station (BSAF) Project//Masanori Naiton, Fu the Fokushima-Daiichi Nuclear mihisa Nagase, Andew Whites – The Institute of Applied Energy (JA),Japan Atomic Energy Agency (JAEA), OECD/NEA -6th Europen meeting on Severe Accident Research (ERMSAR - 2013). Avignon (France), Palats des Papes.- 2-4 October, 2013.
3. Авария на АЭС «Фукусима-1»: оперативный прогноз и оценка радиационных и радиологических последствий// Р. В. Арутюнян, О. А. Павловский, С. В. Панченко, С. Н. Красноперов, Е. Л. Серебряков // Труды ИБРАЭ РАН. Авария на АЭС «Фукусима-1»:опыт реагирования и уроки.- Вып.13. – 2013 г. – С.15-67.
4. Повышение экологической безопасности атомной энергетики Украины в постфукусимский период: монография / В.И. Скалозубов, В.Н. Ващенко, Т.В. Габлая , А.А. Гудима, Т.В. Герасименко, И.Л. Козлов; под ред. В.И. Скалозубова; НАН Украины, ИПБ АЭС НАНУ. – К.: «А.С.К.», 2013. -128 с.
5. Иванов В.К., Кащеев В.В., Чекин С.Ю. и др. Уроки Чернобыля и Фукусима: прогноз радиологических последствий. // Радиация и риск. -2011.- Т. 20.- № 3.- С. 6-15.
6. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP. 2007. V. 37 (2-4). Elsevier, 2007.

УДК 615.47:658.588.8 (045)

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БІОМЕДИЧНОЇ АПАРАТУРИ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ

Кучеренко В.Л.
Національний авіаційний університет
просп. Космонавта Комарова, 1, 03680м. Київ
bikam_nau@mail.ru

Показано вплив іонізуючого випромінювання на навколишнє середовище. Проведено аналіз існуючої стратегії ремонту біомедичної апаратури. Визначено фактори, які впливають на рівень якості технологічного процесу ремонту біомедичної апаратури. Показано шляхи вдосконалення існуючої системи ремонту біомедичної апаратури. Для забезпечення необхідного рівня якості технологічного процесу ремонту біомедичної апаратури запропоновано структуру перспективної системи ремонту за фактичним технічним станом. **Ключові слова:** іонізуюче рентгенівське випромінювання, екологічна безпека**,** рівень якості, технічний стан, технологічний процес ремонту, експлуатація, біомедична апаратура.

Экологические аспекты эксплуатации биомедицинской аппаратуры по техническому состоянию. Кучеренко В.Л. Показано влияние ионизирующего излучения на окружающую среду. Проведен анализ существующей стратегии ремонта биомедицинской аппаратуры. Определены факторы, которые влияют на уровень качества технологического процесса ремонта биомедицинской аппаратуры. Показаны пути совершенствования существующей системы ремонта биомедицинской аппаратуры. Для обеспечения необходимого уровня качества технологического процесса ремонта биомедицинской аппаратуры предложена структура перспективной системы ремонта по фактическому техническому состоянию. **Ключевые слова:** ионизирующее рентгеновское излучение, экологическая безопасность, уровень качества, техническое состояние, технологический процесс ремонта, эксплуатация, биомедицинская аппаратура.

Ecological aspects of exploitation of biomedical apparatus after the technical state. Kucherenko V.L. Influence of ionizing radiation is shown on an environment. The analysis of existent strategy of repair of biomedical apparatus is conducted. Factors that influence on the level of quality of technological process of repair of biomedical apparatus are certain. The ways of perfection of the existent system of repair of biomedical apparatus are shown. For providing of necessary level of quality of technological process of repair of biomedical apparatus the structure of the perspective system of repair offers after the actual technical state. **Keywords:** the ionizing x-rayed radiation, ecological safety, level of quality, technical state, technological process of repair, exploitation, biomedical apparatus.

Сучасні досягнення науки і техніки в біомедикотехнічній галузі додали до природних електромагнітних полів новий екологічний фактор. Проблема взаємодії людини і електромагнітних випромінювань є актуальною. Постійно збільшується чисельність людей, які контактують з надмірними рівнями енергії електромагнітних полів, одночасно збільшується захворюваність населення, яке проживає в зоні розповсюдження радіохвиль. Розвиток телекомунікаційних технологій, біомедичної апаратури для лікування та діагностики, доплерівських систем вимірювання

швидкості на автошляхах призвели до широкого освоєння короткохвильової частини радіочастотного спектра. Вплив радіохвиль на людину може бути як патологічний, так і лікувальний. В медичній практиці широко використовуються прилади, фізіологічний ефект яких базується на дії високочастотних та надвисокочастотних полів на органи людини. При цьому медичні працівники, професійно пов`язані з джерелом електромагнітного випромінювання, підпадають під його несанкціоновану дію.

Одним із фізичних чинників навколишнього середовища, який здатний негативно впливати на здоров'я людини, є іонізуюче випромінювання природного або техногенного походження. Серед техногенних джерел іонізуючого опромінення на сьогодні людина найбільш опромінюється під час медичних процедур та лікування, пов'язаних із застосуванням радіоактивності та джерел радіації. Радіація використовується в медицині як у діагностичних цілях, так і для лікування. Одним із найпоширеніших медичних приладів е рентгенівський апарат. Також все більше поширюються і нові складні діагностичні методи, що спираються на використання радіоізотопів.

Для зменшення дози випромінювання на навколишнє середовище та на населення необхідно підтримувати апаратуру в справному технічному стані та здійснювати не періодичний, а постійний контроль її технічного стану протягом всього періоду експлуатації, тобто мова йде про експлуатацію за фактичним технічним станом. Існуюча методика поточного контролю не дозволяє об'єктивно оцінити, чи забезпечує воно потрібний рівень якості, наприклад, рентгенологічних досліджень, тобто отримання необхідної для діагностики якості зображень при неперевищуванні встановлених допустимих рівнів опромінення пацієнта.

На сучасному рівні розвитку біомедикотехнічної галузі в медико-біологічних закладах інтенсивно впроваджується сучасна біомедична апаратура (БМА) із функціями опромінення. Біомедична апаратура – це синтез біотехнічних та медичних комплексів, призначених для діагностування, лікування та реабілітації людини. Як свідчить досвід експлуатації БМА, ефективність діагностування стану здоров'я пацієнтів залежить від технічного стану та якісного ремонту БМА. Процес вирішення задачі ефективного ремонту є складним через використання БМА як вітчизняних, так і зарубіжних виробників, які не в повній мірі забезпечують експлуатаційну технологічність для оцінювання працездатності, діагностування та прогнозування технічного стану БМА, що знижує рівень якості виконання ремонтних робіт. На сьогодні застосовуються застарілі технології ремонту, яким властиві недоліки, уникнути яких можна при зміні стратегії ремонту. Рівень ефективності БМА залежить від ступеня її готовності до виконання своїх функцій, що визначається рядом властивостей та факторів, якими є надійність, прийнята система ремонту, кваліфікація обслуговуючого персоналу, модернізація існуючої системи ремонту. Суттєвого значення набуває процес модернізації системи ремонту, що може бути досягнуто за рахунок підвищення рівня якості виконання ремонтних робіт в технологічному процесі (ТП). Аналіз функціонування сервісних центрів показує, що вдосконалення якості ремонту значною мірою може бути досягнуто шляхом впровадження у ТП прогресивних технологій, які базуються на методах та засобах автоматизації [1,2].

Основна частина

У статті наведено результати аналізу існуючої системи ремонту та запропоновано організаційну структуру перспективної системи ремонту за фактичним технічним станом. Процес ремонту БМА на сьогодні здійснюється за принципом «по напрацюванню» або за «фактом відмови». Застосування стратегії ремонту за напрацюванням означає, що виріб, який поступає на ремонт, незалежно від його фактичного технічного стану (ТС), підлягає розбиранню в обсязі, передбаченому раніше заданим переліком обов'язкових робіт. Аналогічно здійснюється і діагностування. Залежно від обсягу ремонту, глибини розбирання та ступеня відновлення ресурсу в рамках стратегії ремонту за напрацюванням розрізняють такі види ремонту – мілкий (обслуговування), середній та капітальний, хоча чіткої межі між обсягами середнього та капітального ремонтів не існує [3]. Такій стратегії ремонту властивий основний недолік, який полягає у невідповідності обсягів ремонтних робіт, що проводяться для відновлення втрати ресурсу БМА. І як результат – проведення в умовах інформаційної невизначеності щодо технічного стану БМА завищеного або заниженого обсягу ремонтних робіт. У першому випадку має місце збільшення часу ремонтних робіт, у другому – повернення БМА на повторний ремонт після етапу вихідного контролю ТП ремонту. За результатами досліджень останніх років, а також з урахуванням положень Державного стандарту [4] сформована структура системи ремонту та обслуговування БМА, яка базується на впровадженні ТП комплексного технічного обслуговування. Комплексне технічне обслуговування включає сукупність організаційно-технічних заходів та робіт по забезпеченню працездатного стану БМА, являє собою єдиний ТП і включає такі види робіт: контроль ТС, технічне обслуговування, поточний ремонт, метрологічна підготовка БМА до державної повірки [5]. Система технічного обслуговування та ремонту БМА ґрунтуються на систематичному контролі та обліку ТС виробів у процесі їх експлуатації для визначення виду ТС виробу: справність або несправність; працездатність або непрацездатність; досягнення або не досягнення граничного стану. За результатами контролю ТС виробу приймається рішення щодо проведення ТО, калібрування, ремонту або зняття з ТО виробів БМА. Технічне обслуговування стаціонарного БМА здійснюється на місці його установки в лікувально-діагностичних закладах. Відповідно до [4], контроль технічного стану (КТС) класифікується на: КТС перед використовуванням (експлуатацією); поточний КТС; плановий КТС. Ці КТС різняться за обсягом, періодичністю проведення і залежно від призначення проводяться лікувальним і технічним персоналом лікувального закладу або фахівцями сервісної організації.

За результатами проведеного аналізу виробничої діяльності вітчизняних підприємств, що здійснюють ремонт БМА, можна відмітити такі основні ознаки, які знижують рівень якості сучасних ТП ремонту [6]:

–низький рівень автоматизації виробничих технологій, що не дає можливість забезпечити необхідний рівень об'єктивної оцінки ТС БМА;

–невідповідність обсягу ремонтних робіт фактичному ТС виробів, що призводить до зниження рівня рентабельності виробничої технології.

Суттєвим недоліком, що знижує якість ТП ремонту БМА, які експлуатуються в діагностичних центах, лікарнях на сьогодні, є ремонт БМА через раніше заплановані інтервали календарного часу або напрацювання без урахування його фактичного ТС. За результатами аналізу існуючої системи ремонту БМА можна зробити такі висновки:

– не доцільно дозволяти підвищувати ефективність експлуатації БМА з причин низької продуктивності ТП ремонту, низького рівня якості ремонтних робіт, недосконалості інформаційних технологій;

– низький рівень адаптації до рівня розвитку БМА пов'язаний з недосконалістю виробничих технологій (методи та засоби контролю ТС не відповідають рівню контролепридатності БМА).

Для забезпечення необхідного рівня якості ТП ремонту БМА доцільно перейти на новий рівень експлуатації, методи та засоби якої базуються на використанні інформаційного ресурсу щодо результатів оцінювання фактичного ТС БМА. Ремонт БМА також буде здійснюватись за фактичним ТС. При стратегії ремонту за фактичним ТС перелік операцій із розбирання та відновлення працездатності визначається за результатами діагностування виробу в момент початку ремонту. На відміну від стратегії ремонту за напрацюванням перелік обов'язкових робіт при ремонті за фактичним ТС містить тільки вказівки щодо обсягу діагностування та деяких допоміжних робіт, які забезпечують його проведення. Обсяг власне ремонту повністю залежить від результатів отриманої при діагностуванні оцінки ТС виробу, який поступив на ремонт. Ремонт за ТС базується на тому, що в даному конкретному виробі здійснюються тільки ті роботи, які необхідні для підтримки його післяремонтної надійності на заданому рівні. На сьогодні в системі ремонту БМА створилася проблемна ситуація, щодо необхідності переходу з умов ризику та невизначеності до умов повної визначеності управлінських рішень, що може бути здійснено при переході на ремонт за ТС [7]. Реалізація методу ремонту БМА за ТС полягає у формуванні структури перспективної системи ремонту, яка включає не тільки ремонтні підприємства (РП) (заводи-виробники), а й експлуатаційні підприємства (ЕП). Впровадження новітніх технологій ремонту – інформаційної та виробничої – забезпечує перехід на експлуатацію за ТС. Інформаційна технологія складає основу комп'ютеризованої інформаційної системи (КІС), а виробнича технологія – основу автоматизованого ТП ремонту [8]. Блоки БМА як об'єкти ремонту поділені на два потоки: один спрямований із ЕП до РП, другий – із РП до ЕП. Обсяг ремонтних робіт поділяються як роботи мілкого ремонту (обслуговування), середнього і капітального. Для забезпечення ефе-

ктивності кожного з видів ремонту при переході на ремонт за ТС використовується інформаційний ресурс щодо фактичного ТС БМА. Аналіз техніко-економічних характеристик процесу застосування методу ремонту за ТС показує, що саму систему ремонту БМА доцільно організовувати за такою структурою: обсяги мілкого і середнього ремонту (обслуговування) виконувати в ЕП, а обсяги капітального ремонту – на спеціалізованих РП або заводах-виробниках (ЗВ) [9]. Складові функціональні блоки БМА класифікуються як демонтовані вироби (ДВ). На ЕП (1) відбувається обслуговування поточне (або за фактичним ТС) (2) і планове технічне обслуговування ДВ (3). Висновок щодо доцільності ремонту в умовах ЕП чи РП здійснюється на основі обробки результатів вимірювання засобами автоматизованої оцінки ТС (АОТС) (4), які поступають в КІС (10). Для розрахунків доцільності ремонту на РП або ЕП вводиться коефіцієнт ефективності ремонту $K_{ефр}\left(R^{ДВ}\right)$ (5). На даному етапі також приймається рішення про доцільність подальшого ремонту блоку або його відбракування (7). Після цього ДВ проходять перевірку на етапі автоматизованого технічного контролю (9) і повертаються на місце експлуатації. Якщо вироби на етапі (9) визнані несправними, то вони повертаються на повторний ремонт (26). Функцію автоматизації на етапах (5, 8, 9) виконує автоматизований комплекс, до складу якого входить КІС. Вироби другого складового потоку направляються для ремонту на РП (11). Для КІС джерелами інформації являються: автоматизований комплекс, який здійснює оцінку ТС; статистичні дані щодо відмов (19); інформація про ТС, що поступає з РП (11). Враховуючи викладене, а також ситуацію, що в процесі обслуговування оцінку ТС проходять практично всі ДВ, доцільно КІС проектувати і застосовувати в умовах ЕП.

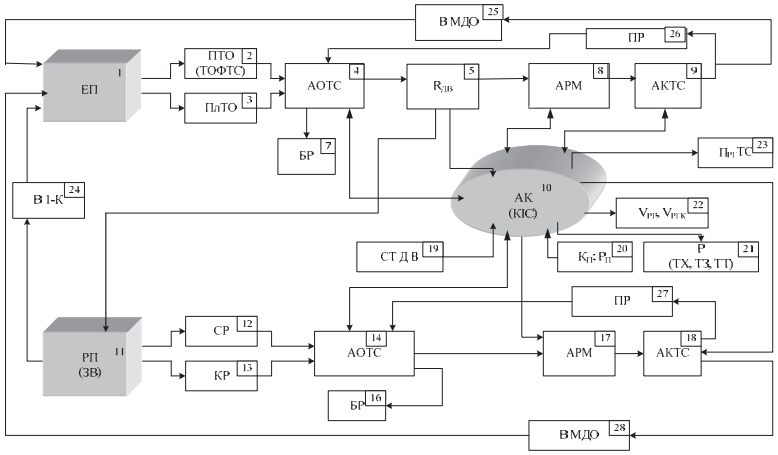

Рис. 1. Структура системи ремонту БМА за фактичним ТС

Маючи в своєму розпорядженні довготривалу інформацію про ТС ДВ БМА, можна вирішити ряд важливих для системи ремонту задач: планування ЗІП-ів, розрахунок обсягів ремонтних робіт $V_{рр}$ і ремонтно-групових комплектів $V_{РГК}$ для ЕП (22); визначення рівня контролепридатності та ремонтопридатності (20); розробка рекомендацій для біомедикотехнічної галузі (21); прогнозування ТС БМА (23). Впровадження засобів автоматизації забезпечує необхідну якість виконання ремонтних робіт, що позитивно позначається на забезпеченні необхідного рівня ефективності експлуатації БМА. Потік ДВ з ЕП (1) поступає на РП (11), де здійснюється середній та капітальний ремонти. Автоматизована оцінка ТС ДВ (14) здійснюється автоматизованим комплексом (10). За обсягом ремонтних робіт і з урахуванням результатів оцінки ТС проводиться класифікація ДВ для виявлення блоків, ремонт яких проводити недоцільно – брак (16). Вироби, що залишилися, ремонтуються на робочих місцях (17). При цьому ремонт проводиться відповідно встановлених обсягів Vpp (22). Довготривале накопичення інформації про використання ремонтних групових комплектів дозволяє проводити стратегію планування необхідного обсягу $V_{РГК}$ (22). Відремонтовані ДВ проходять вихідну автоматизовану перевірку (18). При встановленні працездатного та справного станів блоки БМА повертаються на експлуатацію, а несправні – на повторний ремонт (27). Якість ТП ремонту досягається за рахунок оцінювання фактичного ТС, що передбачає впровадження новітніх методів та засобів автоматизації виробничої технології [10].

Висновки

1. В результаті дослідження впливу іонізуючого рентгенівського випромінювання при експлуатації БМА встановлено необхідність здійснення поточного контролю дозоформуючих параметрів. Встановлено, що рівень якості виконання ремонтних робіт за сучасної стратегії ремонту БМА за принципом «по напрацюванню» або за «фактом відмови», не забезпечує необхідного рівня вірогідності медичного діагнозу та прогнозування ТС БМА.

2. Для забезпечення необхідного рівня якості ремонтних робіт в ТП доцільно перейти на прогресивний рівень ремонту, методи та засоби якого базуються на використанні інформаційного ресурсу щодо результатів оцінювання фактичного ТС БМА, що дозволить здійснювати поточний контроль технічного стану БМА та зменшити вплив іонізуючого випромінювання на пацієнтів та обслуговуючий персонал.

3. При проведенні тільки періодичного контролю технічного стану рентгенівських апаратів як різновиду БМА має місце невідповідність точності встановлення напруги або неможливість використання всього діапазону напруг. Внаслідок цієї несправності на деяких апаратах неможливо зробити якісні знімки поперекового відділу хребта та інших частин тіла. А занижені значення цього параметру можуть привести до значного (в рази) перевищення дози, отриманої пацієнтом.

4. При проведенні тільки періодичного контролю технічного стану рентгенівських апаратів має місце відхилення форми високовольтного імпульсу від необхідної. У разі виявлення такого дефекту інженерна служба може діагностувати несправність, зокрема відсутність фази при формуванні випромінювання в рентгенівському пристрої живлення. Також форма імпульсу може пояснити чому при зміні напруги не збільшується радіаційний вихід як на пацієнтів і медичний персонал, так і на навколишнє середовище.

Література

1. Малиновский, А.В. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию медицинской техники РМТ 59498076-03-2007/ А.В. Малиновский. – СПб.: Медтехника, 2007.–ТЗ., Ч.1. – 278 с.
2. Малиновский, А.В. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию медицинской техники РМТ 59498076-03-2007/ А.В. Малиновский. – СПб.: Медтехника, 2007.–ТЗ., Ч.2. – 272 с.
3. Леонов, А.И. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры/ А.И. Леонов, Н.Ф. Дубровский. – М. : Легпромбытиздат, 1991. – 272 с.
4. ГОСТ 15.601-98 Техническое обслуживание и ремонт техники. Основные положения. – К.: Госстандарт Украины, 2000. – 5 с.
5. Горбач А. Современная методика совершенствования технического обслуживания медицинского оборудования в практике лечебных учреждений/ А. Горбач // Медична техніка. – 2008. – № 3(4). – С. 95 – 99.
6. Кузовик В. Методика оцінювання рівня якості процесу ремонту медичного обладнання/ В.Кузовик, Л.Кошева, В.Кучеренко // «Метрология и измерительная техника (МИТ 2011)» материалы Международной научно-технической конференции, г. Харьков, 10-13 октября 2011 г. – Вип. 6 (96). – С. 64-67.
7. Кузовик В. Новітні технології ремонту медичного діагностичного обладнання за фактичним технічним станом/ В.Кузовик, В.Кучеренко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2012. – Вип. 3 (25). – С. 10-14.
8. Кучеренко В. Методика побудови новітнього технологічного процесу ремонту медичного діагностичного обладнання/ В.Кучеренко // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 5 (103). – С. 38-41.
9. Кузовик В. Методика оцінки якості технологічного процесу ремонту електронного обладнання/ В.Кузовик, В.Кучеренко, О.Булигіна // Автошляховик України: окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру ТАУ. – 2008. – Вип.11. – С. 93-97.
10. Кучеренко В. Автоматизована виробнича технологія ремонту для забезпечення якості експлуатації медичного діагностичного обладнання/ В.Кучеренко // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – Вип. 06 (82). – С. 216-220.