

АКТУАЛЬНО

М.І. Пилипенко,
В.В. Корнеєва

*Інститут медичної радіології
ім. С.П. Григор'єва
АМН України,
м. Харків*

Перспективи забезпечення в Україні єдності вимірювань ікс-проміння в медицині

Perspectives for providing medical x-ray
measurements uniformity in Ukraine

Проблема досягнення єдності вимірювань іонізуювальних випромінень перебуває в центрі уваги багатьох міжнародних організацій, особливо Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). У сферу діяльності цих організацій входить задача забезпечення єдності вимірювань іонізуювальних випромінень, використовуваних у медицині. Широкого розповсюдження набула програма поштового зіставлення доз апаратів дистанційної терапії, яка проводиться під керівництвом МАГАТЕ й ВООЗ.

Багато зусиль докладається для розробки єдиних підходів при вимірюваннях у галузі радіаційного захисту. Це зумовлено підвищеним інтересом до проблеми доз опромінення при рентгенологічних дослідженнях і, як наслідок, прийняттям нових міжнародних документів у галузі радіаційного захисту, таких як Міжнародні стандарти безпеки [1], Директива 97/43/Євратом [2], національні закони й норми в галузі використання джерел іонізуювальних випромінень [3–5].

Велику увагу МАГАТЕ приділяє розв'язанню проблеми міжнародної стандартизації в дозиметрії та підвищенню рівня взаємодії всередині міжнародної системи вимірювань. Велика заслуга МАГАТЕ й ВООЗ полягає в створенні Міжнародної мережі дозиметричних лабораторій вторинного стандарту (Secondary Standard Dosimetry Laboratories — SSDLs), основними функціями якої є забезпечення зв'язку з первинними еталонами, а також повірення клінічних дозиметрів і приладів радіаційного захисту. Нині Міжнародна мере-

жа дозиметричних лабораторій вторинного стандарту (SSDLs) налічує 73 лабораторії [6], які діють у Росії, Білорусі, Литві. До вступу в Міжнародну мережу SSDLs готуються також такі країни, як Вірменія та Грузія.

Останнім часом SSDLs приділяє особливу увагу питанню перевірки дозиметрів, використовуваних для вимірювань ікс-випромінень. Майже 40 % дозиметричних лабораторій вторинного стандарту в даний час виконують перевірку дозиметрів, застосовуваних у ікс-діагностиці. Слід зазначити, що при проведенні перевірок робіт лабораторії використовують різні підходи та ікс-проміння з різними спектрами енергії фотонів (випромінення різної якості). Більшість лабораторій зацікавлені в розробці єдиних рекомендацій у цій галузі.

На 9-му засіданні Наукового комітету Міжнародної мережі дозиметричних лабораторій вторинного стандарту МАГАТЕ/ВООЗ, яке відбулося в листопаді 2000 року, підкреслено високу пріоритетність забезпечення якості діагностичного зображення і, відповідно, якості дозиметричних вимірювань у галузі ікс-проміння. В зв'язку з цим протягом останніх років сфера наукової й практичної діяльності дозиметричних лабораторій МАГАТЕ поширилася на галузь дозиметрії ікс-випромінень. При цьому для забезпечення єдності та стандартизації вимірювань велику увагу приділяють розробці єдиного дозиметричного протоколу у галузі рентгенодіагностики [6, 7].

У сфері забезпечення єдності вимірювань МАГАТЕ здійснює широку програму технічного співробітництва, що сприяє підвищенню якості дозиметричних вимірювань у різних

країнах. Програми технічної допомоги МАГАТЕ відіграють важливу роль у створенні SSDLs, які входять у мережу лабораторій. Ця допомога передбачає як експертні заходи, так і постачання основного технічного обладнання та дозиметричного оснащення для діяльності лабораторій, у тому числі випромінювальних установок, та їх монтаж і налагодження з дотриманням міжнародних вимог радіаційної безпеки. Водночас проводиться інструктаж фахівців і персоналу лабораторій у галузі радіаційних вимірювань.

В Інституті медичної радіології ім. С.П. Григор'єва АМН України в межах такого технічного співробітництва з МАГАТЕ виконуються два проекти: «Поліпшення радіаційного захисту при медичному опромінюванні (UKR/6/003 Improved Radiation Protection in Medical Exposure) та «Український Національний поштовий ТЛД-аудит і ТЛД-моніторинг при медичному опромінюванні» (UKR/6/005 National Postal Dose Audit Network), спрямовані на підвищення якості дозиметричних вимірювань у медицині. У вересні 2002 року при безпосередній участі фахівців МАГАТЕ в інституті створено дозиметричну ікс-променевою установку, яка на сьогодні не має аналогів в Україні і може забезпечити перевірку клінічних дозиметрів ікс-проміння на рівні, відповідному міжнародним вимогам до точності та якості вимірювань.

При реконструкції приміщень, призначених для розміщення ікс-променевої установки РАНТАК-НФ160, враховано вимоги, що висувуються до приміщень сучасних повіркових лабораторій. Приміщення (бункер) загальною площею 62 м² з товщиною зовнішніх стін не менше 1 м має окремий вхід і відповідає всім вимогам НРБУ-97 щодо створення нормальних умов роботи. Автоматична система підтримання необхідних кліматичних умов і регульована система припливно-витяжної вентиляції з підігріванням повітря забезпечують стабільні параметри (температуру, тиск) навколишнього середовища у приміщенні. Система кондиціонування підтримує температуру повітря з точністю $\pm 1^\circ\text{C}$.

Ікс-променевою установка РАНТАК-НФ160 генерує стабілізовану постійну напругу за

допомогою генератора високої частоти. Установка, оснащена металокерамічною трубкою з берилієвим вихідним вікном, може працювати в діапазоні напруг на трубці 5–160 кВ при анодному струмі до 50 мА (максимальне навантаження 3,2 кВт). Згідно з технічною документацією на установку РАНТАК-НФ160, відтворюваність анодної напруги при постійній температурі становить $\pm 0,03\%$; точність установки анодної напруги $\pm 1\%$, величина пульсацій високої напруги менше $\pm 0,15\%$ при частоті 15 кГц. Ці параметри забезпечені системою контролю з мікропроцесором.

Пульт керування установкою, розташований у контрольній (пультовій) кімнаті, суміжній з бункером, виконує функції електронного контролю за системою випромінювача, струмовимірними приладами та системою живлення високої напруги, забезпечує повне тестування стану блоків живлення, генерування й контролю під час виходу на обраний режим, при вмиканні та в процесі роботи. Режим роботи генератора згідно з програмою задає оператор з пульта керування. Обраний режим роботи і поточний стан системи відображаються на світловому табло пульта керування. Система контролю створює максимум зручностей і безпеки при експлуатації установки завдяки існуванню програми автоматичного прогрівання, можливості програмування режимів роботи шляхом зберігання в пам'яті і можливості виклику з неї параметрів для 1000 режимів. Захист установки від перевантажень гарантовано постійним зіставленням операційних параметрів, які встановлюють і реально спостерігають на пульті, та попередньо заданих граничних значень.

Радіаційна безпека гарантована розміщенням ікс-променевої трубки в апаратній кімнаті, відділеній від контрольної захисною стіною. Функцію контролю виконують також радіаційний індикатор в апаратній кімнаті та система відеоспостереження, які сигналізують, що затвор на вихід ікс-променевого джерела відчиняється й зачиняється. Ця система складається з 3 відеокамер і 3 моніторів та забезпечує візуальний контроль за приміщенням апаратної кімнати, місцем знаходження детекторів та шкалою приладу, що повіряється.

Ікс-променева установка забезпечена системами електронного затвора і фільтрації випромінювання. Дистанційно контрольований затвор дозволяє переривати опромінювання без вимикання високої напруги. Це зумовлює стабільність роботи установки. Металевий диск діаметром 60 см, розміщений перед вихідним вікном ікс-променевої трубки, має 8 симетрично розташованих по колу отворів діаметром 6 см — позицій для розміщення поглинальних фільтрів з різних металів. При обертанні диска центри отворів збігаються з центром радіаційного поля. В 6 позиціях диска розміщені фільтри, що забезпечують 6 спектрів (Q1 — Q6) ікс-випромінювання з різними значеннями шару половинного ослаблення (ШПО), що відповідають Міжнародному стандарту ISO 4037-3-1996 [Е] [8].

Прецизійний вимірювальний візок, призначений для розміщення дозиметричних приладів (детекторів) при повіркових роботах, може переміщуватися напрямними рейками вздовж центральної поздовжньої осі бункера. Положення візка контролюється за допомогою лазерної системи позиціонування, що складається з лазерного центратора та візирного пристрою, виконаного на основі теодоліта, жорстко закріпленого на візку. Оптична система теодоліта дозволяє визначити відстань від випромінювача з точністю 0,2 мм. За допомогою штатива можна переміщувати детектори вгору і вниз. Сам штатив може переміщуватися у площині, перпендикулярній осі переміщення візка. Таким чином, детектор, що повіряється, має 3 ступені свободи при переміщенні.

Після монтажу й налагодження ікс-променевої установки РАНТАК-НФ160 експертом МАГАТЕ і співробітниками інституту були проведені дослідження її метрологічних характеристик — значень ШПО для різних режимів роботи, дотримання закону зворотних квадратів відстаней, однорідності радіаційного поля в площині, перпендикулярній напрямкові розповсюдження струменя ікс-проміння, лінійної залежності радіаційного виходу від анодного струму.

Енергетичні характеристики установки наведено в табл. 1.

На рис. 1 представлено профіль струменя, виміряний у площині, перпендикулярній напрямкові ікс-проміння, що характеризує однорідність радіаційного поля на відстані 100 см від фокуса ікс-променевої трубки при напрузі 150 кВ і анодному струмі 15 мА.

Для дотримання закону зворотних квадратів відстаней необхідно, щоб добуток значення потужності поглинутої дози на квадрат відповідної відстані від центру джерела ікс-проміння до центру детектора був сталою величиною з урахуванням ослаблення випромінювання в повітрі вздовж напрямку ікс-струменя. Максимальне відхилення не має перевищувати за абсолютним значенням 2 %. На рис. 2 наведено результати вимірювання поглинутої дози (у відсотках від значення в точці на відстані 1 м від джерела ікс-проміння) на різних відстанях від фокуса трубки до центру йонізаційної камери (детектора). Вимірювання проводили при напрузі на трубці 150 кВ і анодному струмі 5 мА з додатковим фільтром 1 мм Al + 2,5 мм Sn (енергетичний спектр відповідає позначці Q6 у табл. 1).

Таблиця 1 — Результати вимірювання ШПО для серії ікс-випромінень з вузьким енергетичним спектром (за ISO 4037)

Table 1 — Results of the half-value level measurements for narrow spectrum x-ray beams (ISO 4037)

Позначення енергетичного спектра ікс-проміння (за ISO 4037)	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6
Напруга на трубці, кВ	40	60	80	100	120	150
Анодний струм, мА	25	25	20	15	12	10
ШПО _{ISO} , мм	0,08 Cu або 2,7 Al	0,24 Cu	0,58 Cu	1,11 Cu	1,71 Cu	2,40Cu
ШПО _{вим.} , мм	2,78 Al	0,236 Cu	0,573 Cu	1,117 Cu	1,735 Cu	2,405 Cu
ШПО _{вим.} / ШПО _{ISO} , %	+3,0	-1,7	-1,2	+0,6	+1,5	+0,2

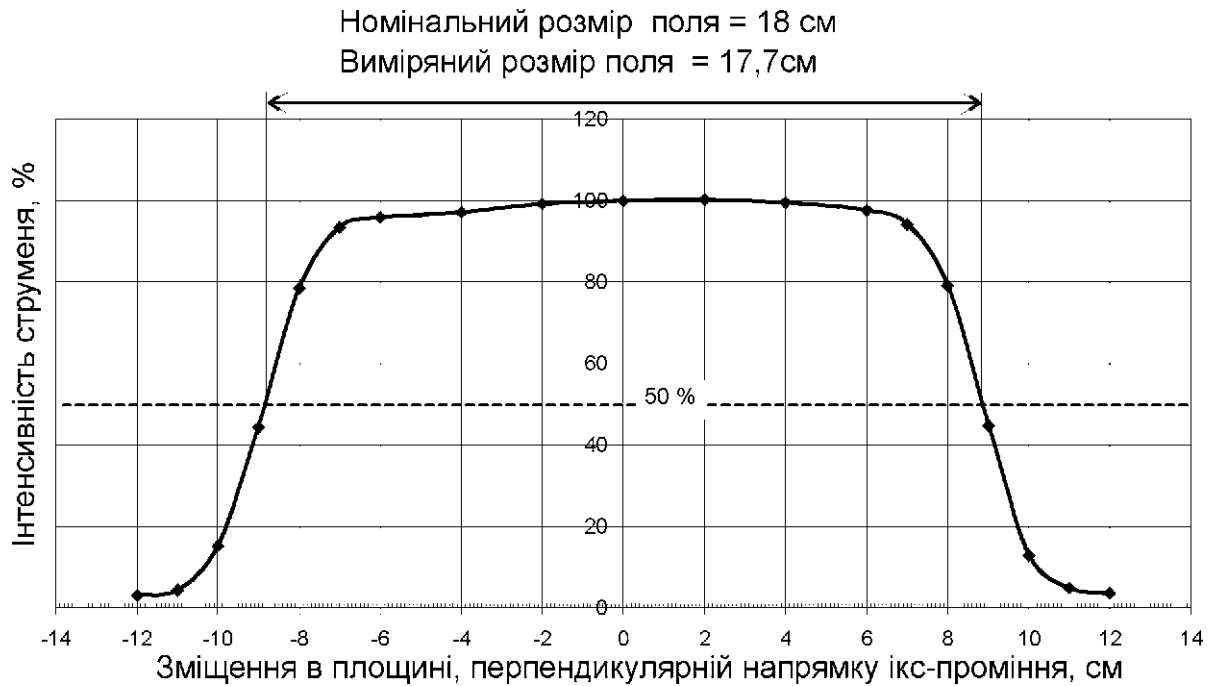


Рис. 1 — Однорідність радіаційного поля, створюваного ікс-променевою установкою при напрузі 150 кВ і анодному струмі 15 мА
Fig. 1 — Uniformity of a radiation field at 150 kVp and 15 mA

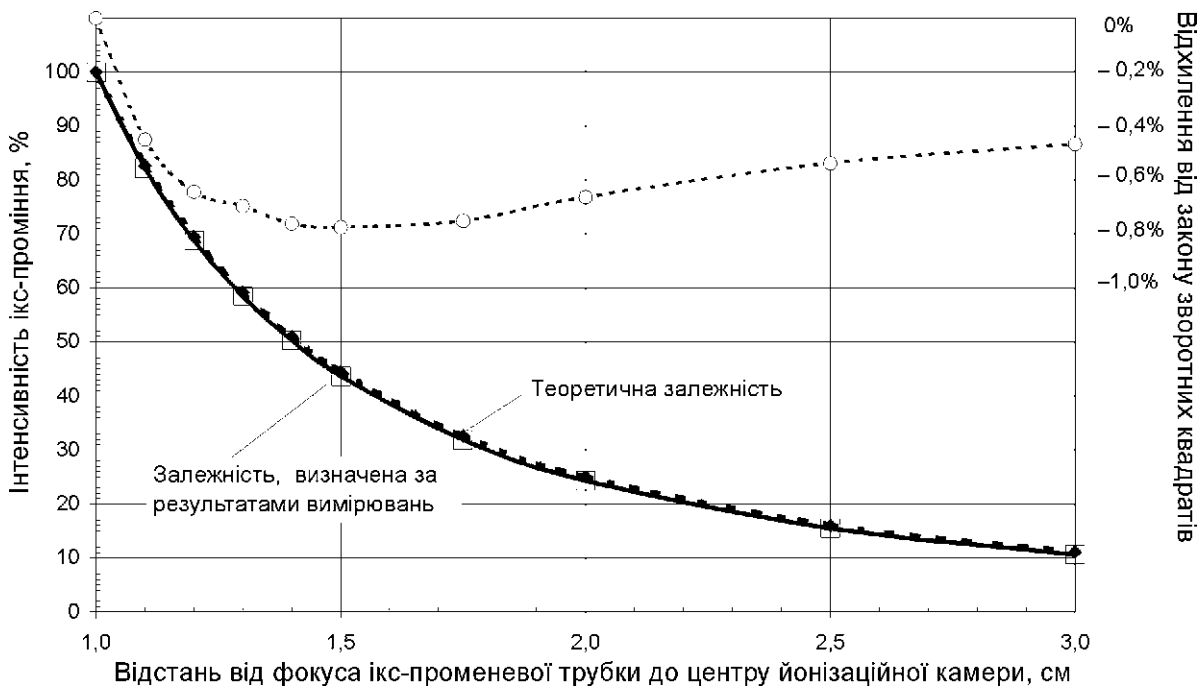
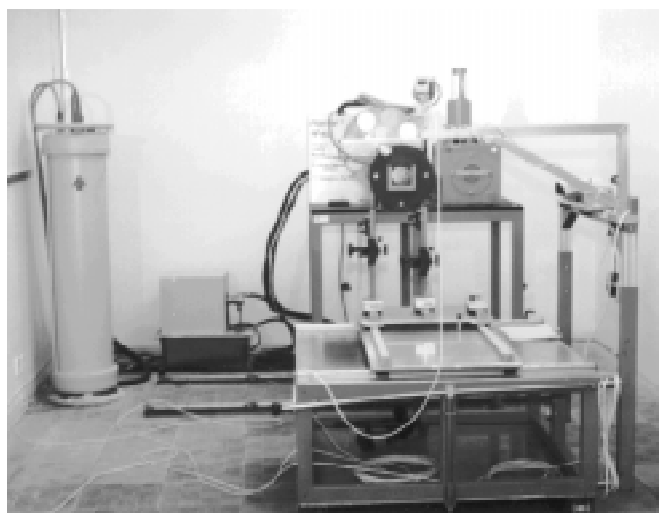


Рис. 2 — Ослаблення інтенсивності струменя з віддаленням від джерела ікс-проміння
Fig. 2 — Decreasing of beam intensity with distance from the source of x-ray radiation

Створена в Інституті медичної радіології ім. С.П. Григор'єва АМН України за активної участі МАГАТЕ технічна база на основі

ікс-променевої установки РАНТАК-НФ160, відповідає міжнародним вимогам, які висувають до обладнання, призначеного для прове-

дення повіркових робіт і дозиметричних вимірювань у галузі ікс-проміння в одиницях поглинутої дози в повітрі (повітряної керми) і потужності поглинутої дози (потужності повітряної керми). Високі технічні можливості створеної установки дають можливість для забезпечення в Україні регулярної повірки діючих і створюваних клінічних дозиметрів ікс-проміння і впровадження операційних одиниць у систему індивідуального дозиметричного контролю медичного персоналу згідно з вимогами міжнародних організацій. За таких умов створюється основа для забезпечення єдності вимірювань в галузі медичного використання ікс-проміння з метою підвищення якості променевої діагностики та променевої терапії.



Загальний вигляд ікс-установки PANTAK-HF160 в апаратній кімнаті

General view of x-ray unit PANTAK-HF160 in the operating room



Зліва направо: старш. наук. співроб. О.М. Куров, завідувачка лабораторії клінічної та повіркової дозиметрії канд. біол. наук В.В. Корнеєва, директор інституту проф. М.І. Пилипенко, експерт МАГАТЕ п. Рейнхард Гірзіковський, заст. директора з лікувальної роботи, канд. мед. наук Л.Я. Васильєв біля установки PANTAK-HF160 після успішного завершення її монтажу

Left to right: senior researcher O.M. Kurov, chief of laboratory of clinical and testing dosimetry of the Institute V.V. Korneyeva, director of the Institute prof. M.I. Pylypenko, IAEA expert Mr. Reinhard Girzikowsky, deputy director on medical work L.Ya. Vasiliev, M.D., Ph.D., at PANTAK-HF160 unit after successful installation of the unit

Автори висловлюють щирю вдячність Міжнародному агенству з атомної енергії за всебічну підтримку при виконанні проекту «Поліпшення радіаційного захисту при медичному опромінюванні» (UKR/6/003 *Improved Radiation Protection in Medical Exposure*) та допомогу у створенні технічної еталонної бази сучасної дозиметричної лабораторії для проведення повіркових робіт у галузі ікс-проміння, що має важливе значення для забезпечення єдності вимірювань для всієї України. Окремо автори зазначають цінність персонального внеску, зробленого п. Рейнхардом Гірзіковським (експерт МАГАТЕ, Австрія) та п. Раймондом Старгессом (представник фірми «Pantak Medical Systems», Велика Британія) при створенні дозиметричної ікс-променевої установки та проведенні вимірювань і навчанні співробітників інституту.

The authors express their sincere gratitude to the International Atomic Energy Agency for all-round support during the implementation of the Project UKR/6/003 *Improved Radiation Protection in Medical Exposure* and for the help in creation of technical basis for modern dosimetry laboratory for calibration of dosimeters in the field of x-ray radiation. This work will be important for maintenance of a high level of measurements quality in the entire Ukraine. The authors would like emphasize the significance of the personal contribution made by Mr. Reinhard Girzikowsky and Mr. Raimond Sturgess at dosimetry unit installation, carrying out of measurements and training the laboratory staff.

Література

1. *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series № 115.* — Vienna: IAEA, 1996. — 354 p.
2. EC 1997 European Commission. Council Directive of 30 June 1997 (97/43/Euratom) on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposures // *Official J. Eur. Communities.* — 1997. — № L 180/22.
3. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» № 15/98-ВР від 14.01.98 р.: Збірник нормативно-директивних документів з охорони здоров'я. — К., 2001. — № 7 (липень). — С. 3–4.
4. *Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи.* — К., 1997. — 125 с.
5. Про порядок створення єдиної державної системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення населення: Постанова Кабінету Міністрів України № 406 від 16 березня 1999 р. // *Уряд. кур'єр.* — 1999. — № 69–70. — С. 9.
6. *Report of the Ninth Meeting of the SSDL Scientific Committee of the IAEA/WHO Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories // SSDL News Letter.* — 2001. — № 44. — P. 6–19.
7. *Development of an International Code of Practice for Dosimetry in X-ray Diagnostic Radiology / Pernicka F., Carlsson G.A., Dance D.R. et al. // Proc. of Int. Conf. on Radiological Protection of Patient in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, Malaga, Spain.* — Malaga, 2001. — P. 93–98.
8. *ISO 4037-3-1996 [E] X-and gamma reference radiation for calibrating doseimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. International Organization for Standardization.*

Дата надходження: 24.04.2003.

Адреса для листування:
Корнєєва Віра Василівна,
ІМП ім. С.П. Григор'єва АМНУ,
вул. Пушкінська, 82, Харків, 61024, Україна