

УДК 621.039.8:615.849(083)

В. І. Богорад, Т. В. Литвинська,
А. В. Носовський, О. Ю. Слепченко

Державний науково-технічний центр
з ядерної та радіаційної безпеки

Щодо удосконалення нормативної бази із забезпечення безпеки діяльності з використання лінійних прискорювачів

Визначено положення національних нормативних документів, документів МАГАТЕ та директив Європейського Союзу, на яких мають базуватися вимоги безпеки до діяльності з використання лінійних прискорювачів і дотримуючись яких ліцензіат зможе гарантувати належний рівень радіаційної безпеки та захисту.

Ключові слова: лінійний прискорювач, джерело іонізуючого випромінювання, радіаційна безпека, біологічний захист.

В. И. Богорад, Т. В. Литвинская, А. В. Носовский, А. Ю. Слепченко

О совершенствовании нормативной базы в части безопасности деятельности по использованию линейных ускорителей

Определены положения национальных нормативных документов, документов МАГАТЭ и директив Европейского Союза, на которых должны базироваться требования безопасности к деятельности по использованию линейных ускорителей и с соблюдением которых лицензиат сможет гарантировать необходимый уровень радиационной безопасности и защиты.

Ключевые слова: линейный ускоритель, источник ионизирующего излучения, радиационная безопасность, биологическая защита.

© В. І. Богорад, Т. В. Литвинська, А. В. Носовський,
О. Ю. Слепченко, 2010

Лінійні прискорювачі заряджених частинок широко використовуються у фундаментальних і прикладних наукових дослідженнях, медицині, геології та багатьох інших галузях науки і техніки. Одним з ефективних сучасних методів лікування онкологічних захворювань є променева терапія на лінійних прискорювачах. Для України такий метод є досить новим, але останні роки він активно розвивається. Діяльність з використання лінійних прискорювачів підлягає ліцензуванню та державному нагляду. Убезпечення використання лінійних прискорювачів є однією з пріоритетних задач Державного комітету ядерного регулювання України (Держатомрегулювання) як органу регулювання ядерної та радіаційної безпеки.

Розвиток сучасних наукових знань у сфері радіаційної безпеки, досвід застосування прискорювачів, напрацьований в інших країнах, розвиток нормативно-правової бази в сфері використання джерел іонізуючого випромінювання є підґрунтям для перегляду старих та розробки нових документів з регулювання безпеки діяльності з використання лінійних прискорювачів.

Лінійні прискорювачі як джерела іонізуючих випромінювань

Лінійні прискорювачі — прискорювачі заряджених частинок, у яких частинка рухається прямолінійною траєкторією. Лінійні прискорювачі можна розділити на дві категорії: прискорювачі прямої дії та власно лінійні прискорювачі.

Найвідомішим прискорювачем *прямої дії* є електростатичний генератор (генератор Ван де Граафа), де частинки або іони ядер прискорюються безпосередньо за рахунок одно- або дворазового (у тандемах) проходження різниці потенціалів, що досягає 20 мільйонів вольт. Однак у таких прискорювачах важко забезпечити енергію протонів понад 40 МеВ, і для досягнення більших енергій використовують власне лінійні прискорювачі.

У *лінійних* прискорювачах (рис. 1) частинка піддається багаторазовому прискоренню, пролітаючи крізь циліндричні трубки, з'єднані з електричним генератором високої частоти (радіочастотним).

Пучок частинок рухається вздовж осі трубок. У середині кожної трубки електричне поле дорівнює нулю. Сусідні трубки мають протилежну полярність. Таким чином, прискорювальне поле міститься в зазорах між трубками. Частота генератора і розміри трубок підбираються так, щоб згусток прискорюваних частинок підходив до чергового зазору в той момент, коли полярність трубок змінюється на протилежну. Довжина трубки l , швидкість частинки v і період високочастотного поля T пов'язані співвідношенням $l = v/2$. У лінійних прискорювачах частинки можуть прискорюватися також електромагнітною хвилею, що поширюється всередині циліндричних порожнин.

Прискорювачі електронів поділяються на два основні класи залежно від характеру прискорюючого електричного поля: постійного електричного поля (рентгенівські трубки, електростатичні генератори) або змінного електричного поля (лінійні й циклічні прискорювачі — бетатрони, циклотрони, синхротрони, синхроциклотрони, синхрофазотрони тощо).

Безпечно використання прискорювачів значною мірою залежить від коректного вибору матеріалу та товщини

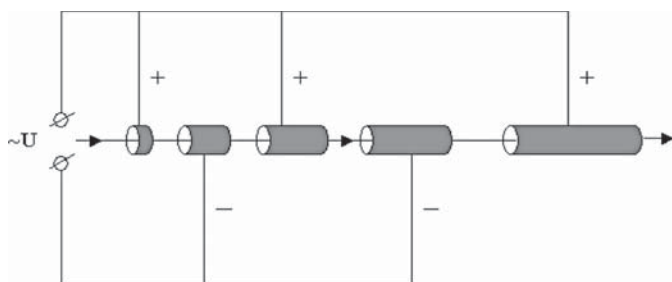


Рис. 1. Схема лінійного прискорювача

захисту, екрануючого випромінювання. У розрахунках і проектуванні радіаційного (біологічного) захисту найважливішими параметрами є максимальна енергія частинок, середній струм пучка (в прискорювальній техніці широко використовується також термін “інтенсивність пучка” — повне число циркулюючих у прискорювачі частинок), частота циклів (або тривалість циклу прискорення).

Параметри прискорювачів варіюються в широких межах. Так, максимальна енергія електронів змінюється від десятків кілоелектронвольт у рентгенівських апаратах до тисяч гігаелектронвольт у великих протонних синхротронах. Енергія електронів сучасних медичних прискорювачів досягає 22 MeV і більше, а імпульсний струм електронних прискорювачів — сотень ампер. Тривалість циклу прискорення змінюється також у широкому діапазоні і може досягати кількох десятків секунд.

Основним наслідком такої кількості параметрів є різноманіття підходів, методів і способів створення радіаційного (біологічного) захисту на різних установках, причому частина з них наразі лише формується. Особливо це стосується протонних прискорювачів високої енергії. За різноманіттям фізичних процесів взаємодії утворюваних в них частинок з середовищем високоенергетичні прискорювачі не мають собі рівних серед інших ядерно-фізичних установок.

Прискорювачі заряджених частинок належать до найбільш екологічно чистих установок. У разі правильного компонування захисту й достатньої кратності ослаблення випромінювання прискорювачі можуть впливати на довкілля мінімально.

Потенційно або безпосередньо можуть спричинити шкідливий вплив два види випромінювання:

миттєве імпульсне іонізуюче випромінювання, що генерується тільки під час роботи прискорювача;

залишкове випромінювання наведеної радіоактивності, яке зберігається й після вимкнення прискорювача.

Імпульсне миттєве випромінювання генерується безпосередньо взаємодією прискорених частинок з ядрами мішеней, основного устаткування й захисту. Це випромінювання існує тільки під час роботи прискорювача, точніше — під час взаємодії пучка частинок з речовиною. Розробляючи захист того або іншого прискорювача, потрібно враховувати й детально аналізувати найбільш проникаючі компоненти. До таких належать: в електронних прискорювачах — гальмівне випромінювання, утворення фотонейтронів, а при енергіях вище за 1 GeV — мюони високої енергії; в протонних прискорювачах — нейтрони всіх енергій, аж до максимальної енергії прискорюваних частинок, протони й π -мезони високої енергії.

Найбільш значимою є наведена радіоактивність основного устаткування прискорювача: вакуумної камери, електромагніта, мішеней, коліматорів, формувачів і погли-

начів пучків. Для наведеної активності на сучасних прискорювачах характерні рівні доз порядку часток грея, а поблизу поглиначів пучка — у кілька греїв. Випромінювання наведеної радіоактивності складається з двох компонентів: гамма- і бета-випромінювання. Спектральна сполука залежить, головним чином, від хімічного складу устаткування й захисту, часу опромінення і витримки.

Прискорювачі електронів залежно від енергії прискорюваних електронів можуть бути лише джерелами гальмівного випромінювання або, якщо енергія електронів досить велика, джерелами фотонейтронів і мюонів. У випадках, коли пучок первинних електронів виводиться з прискорювача і потрапляє на захист, захист має забезпечувати повне поглинання електронів. Розрахунок захисту від електронів не становить особливих труднощів, однак будь-який екран, призначений для поглинання електронів, є джерелом гальмівного випромінювання, а при певній енергії електронів — нейтронів і мюонів.

У більшості випадків прискорювачі електронів використовуються як джерела гальмівного випромінювання. При цьому прискорені електрони прямують на внутрішні або зовнішні мішені. Взаємодія електронів з атомами речовини мішені створює гальмівне випромінювання. Останнє з'являється також у разі взаємодії електронів з конструкційними елементами прискорювача, апаратурою й захистом. Внаслідок цього під час роботи прискорювача утворюються потужні потоки вторинних нейтронів, а після його вимкнення на мішенях й устаткуванні тривалий час зберігається наведена активність [1].

Конструкційні рішення радіаційного захисту прискорювачів відрізняються надзвичайно великою різноманітністю через відмінності технологічних параметрів пучків частинок, що прискорюються (сорт прискорюваних частинок, їх енергія), призначення прискорювачів, їх функціональні особливості. Розмаїтість підходів до компонування захисту визначається також фізичними процесами формування й дисипації вторинних випромінювань. Прискорювачі електронів, що використовуються у медицині, — це серійне обладнання з відомими характеристиками, тому захист від випромінювання таких прискорювачів розраховується за типовими методиками.

Нормативне забезпечення діяльності з використання прискорювачів

На сьогоднішній день основним документом, що регламентує забезпечення діяльності з використання прискорювачів електронів з енергією до 100 MeV [2]. Цей документ був розроблений більше ніж 30 років тому. Він встановлює основні правила проектування та експлуатації прискорювачів електронів з енергією до 100 MeV, охоплюючи вимоги до розміщення, планування, обладнання приміщень прискорювачів, радіаційного захисту, вентиляції, систем блокування та сигналізації, радіаційного контролю, пусконаладжувальних та ремонтно-профілактичних робіт, а також вимоги до попередження аварій і ліквідації їх наслідків. У [2], зокрема, визначені радіаційні і нерадіаційні фактори впливу на персонал і населення.

Вимоги до прискорювачів протонів високих енергій — лінійних прискорювачів, фазотронів (синхроциклотронів), синхрофазотронів тощо — визначались за документами [3], [4]. З моменту виходу зазначених документів з'явилися

нові знання щодо впливів іонізуючих випромінювань на людину і довкілля, розширився спектр використання прискорювачів, запроваджено нові технології, встановлено нові принципи нормування шкідливих факторів і впливів, внаслідок чого нормативно-правова база в сфері поводження з джерелами іонізуючого випромінювання (далі — ДІВ) набула значного розвитку.

Наразі в Україні безпека використання ядерної енергії та ДІВ регулюється низкою законодавчих та нормативних актів. Зокрема, основні положення безпеки містяться в законах [5]—[10]. Норми та правила безпеки, що реалізують положення даних законів, базуються на рекомендаціях Міжнародної агенції з атомної енергії (далі — МАГАТЕ) та Міжнародної комісії з радіологічного захисту (далі — МКРЗ) і визначають конкретні вимоги щодо забезпечення використання ДІВ.

Введені в Україні “Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)” [11] відповідають Міжнародним основним нормам безпеки для захисту від іонізуючих випромінювань і безпечного поводження з джерелами випромінювання [12]. В НРБУ-97 визначено ряд сучасних понять, термінів та вимог, які не відображені в [2]. Це, зокрема:

- основні принципи радіаційної безпеки;
- поняття категорювання персоналу відповідно до НРБУ-97;
- основні регламенти першої та другої груп;
- референтний час опромінення для персоналу різних груп та населення.

Крім того, в НРБУ-97 запроваджено систему радіаційно-гігієнічних регламентів, для яких встановлено відповідні дозові обмеження. Введено «двоберну» концепцію, якою зменшено ліміти доз опромінення персоналу та населення. Встановлено систему допустимих рівнів радіаційних параметрів, що характеризують шляхи формування доз опромінення. Введено поняття ризику у сфері регулювання радіаційної безпеки. Все це має бути враховано у вимогах безпеки щодо діяльності з використання лінійних прискорювачів.

“Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України” (ОСПУ-2005) [13], як і [11], розроблено на базі рекомендацій МКРЗ та МАГАТЕ. Документ [13] поширюється на всі види виробничої діяльності, охоплюючи планування, проектування та проведення практичної діяльності з використання відкритих та закритих ДІВ.

Він визначає вимоги до системи радіаційно-дозиметричного контролю, служб радіаційної безпеки, обліку дозових показників, облаштування приміщень, в яких проводяться роботи з ДІВ, встановлення відповідальності, інструктивно-методичної документації. Сформульовано ряд вимог в термінах неперевикнення радіаційних параметрів для конкретних установок (джерел), зокрема таких, що генерують іонізуюче випромінювання.

Згідно з ОСПУ-2005, для цілей планування та проектування прискорювачі мають розглядатись як джерела поточного та потенційного опромінювання. На етапі проектування передбачаються вимоги окремо до допроектної і проєктної документації. *Допроєктна документація* (концептуальний проєкт, техніко-економічне обґрунтування проєкту) в частині, що стосується радіаційного захисту персоналу і населення, повинна містити: обґрунтування виправданості запланованої практичної діяльності; докази дотримання принципу неперевикнення дозових лімітів (зокрема попередні оцінки доз опромінення) персоналу і населення; докази дотримання принципу оптимізації в запропонованих проєктних рішеннях.

Проєктна документація повинна містити необхідну й достатню інформацію, розрахунки, обґрунтування, відомості, що стосуються: радіаційних характеристик джерел; геометричних параметрів джерел у системі “джерело — захист”; методів розрахунку радіаційно-гігієнічних характеристик; доказів дотримання принципу неперевикнення дозових лімітів персоналу і населення; доказів дотримання принципу оптимізації у запропонованих проєктом конструктивно-технологічних рішеннях тощо. Всі ці положення також мають враховуватись при визначенні вимог до безпеки діяльності з використання лінійних прискорювачів.

В Україні нещодавно запроваджено систему ліцензування діяльності в сфері використання ядерної енергії, яка розповсюджується і на діяльність з використання ДІВ. Відповідно набула розвитку і нормативна база, що регулює дану сферу. Це такі документи, як:

• Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.5.05/2.065-02) [14];

• Вимоги до звіту про аналіз безпеки провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.5.05/2.066-02) [15];

• Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006), (НП 306.6.124-2006) [16];

• Правила забезпечення збереження ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.4.08/1.042-00) [17].

НП 306.5.05/2.065-02 [14] встановлює умови проведення ліцензіатом діяльності з використання ДІВ та вимоги щодо забезпечення їх експлуатації. Зокрема, визначено вимоги до забезпечення фінансовими та людськими ресурсами, біологічного захисту ДІВ, підготовки та навчання персоналу, аналізу доз опромінення персоналу, щорічного звіту з безпеки. Проте даним документом не враховано специфіку конкретних ДІВ та умов їх використання в різних галузях, тому в розвитку даного документа розроблюються ліцензійні умови та вимоги для різних сфер застосування ДІВ (медицина, дефектоскопія тощо) та окремих видів ДІВ (прискорювачів) з урахуванням їх специфіки.

Відповідність чинних норм документам МАГАТЕ та директивам ЄС

З поширенням застосування ДІВ у промисловості та медицині все більше уваги проблемам безпеки приділяється з боку МАГАТЕ. Так, документ “Radiation Protection In the Design of Radiotherapy Facilities” Safety reports series № 47 [18] наводить засади безпечного використання ДІВ, в тому числі лінійних прискорювачів. У документі визначено сучасний підхід до забезпечення радіаційного захисту, заснований на модельних розрахунках взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною. Положення даного документа можуть служити доповненням до методичної частини нових вимог безпеки під час використання прискорювачів в частині, що стосується проектування. Так, згідно з [18] основними компонентами біологічного захисту випромінювальної установки є:

• первинні бар’єри, розташовані перпендикулярно до площини обертання випромінювальної головки, — захист від первинних пучків фотонів;

вторинні бар'єри, розташовані за периметром приміщень (стін), — захист від супутніх і розсіяних випромінювань;

двері й лабіринт — захист безпечного доступу персоналу і пацієнтів до випромінювальної установки.

Коректний розрахунок захисту передбачає врахування внеску первинних, супутніх і розсіяних випромінювань у сумарну потужність дози персоналу і населення. Спеціального розгляду потребують захист від супутнього нейтронного випромінювання, розрахунок захисних властивостей лабіринту, оцінка внеску фотонейтронів, утворених первинними пучками в захисних бар'єрах, а також врахування випромінювання, розсіяного пацієнтом. Захист має розраховуватися для максимальних потоків випромінювань основного джерела та супутнього випромінювання: фотонів і нейтронів, що виникають при взаємодії високоенергетичних первинних пучків з матеріалами мішені, фільтрів, коліматорів та іншими елементами конструкції випромінювальної головки, матеріалом захисту.

Значної уваги захисту працівників від дії іонізуючого випромінювання приділено в директивах Європейського Союзу: “Основні стандарти безпеки для захисту здоров'я працівників та населення від небезпеки, що виникає від іонізуючої радіації” [19], “Про захист робітників, що працюють по найму, схильних до ризику проникаючої радіації протягом їх роботи в контрольованих зонах” [20], “Інформування широкої громадськості про заходи охорони здоров'я, що мають вживатися, та дії, які повинні виконуватися у випадку радіаційної аварії” [21], “Про контроль над закритими джерелами високого радіоактивного випромінювання і кинутими джерелами” [22]. Цими документами встановлено як обмеження граничних доз опромінення персоналу та населення, так і вимоги до організації робочих місць, моніторингу, захисних заходів, ведення записів, медичного контролю працівників, інформування, реагування на радіаційні аварії, зберігання і захоронення ДІВ. Визначено категорії персоналу, що працює з ДІВ, регламентовано положення щодо інформації про індивідуальні дози опромінення працівників (записи, облік, бази даних), інформування громадськості при радіаційній аварії тощо.

Згадані документи ЄС вийшли набагато пізніше за документ [2], а тому цілий ряд сучасних вимог до радіаційної безпеки при проектуванні та використанні прискорювачів в [2] відсутні. Насамперед, це вимоги, що стосуються організації радіаційного захисту персоналу на основі таких понять, як програма якості, програма радіаційного контролю, культура безпеки, принципи оптимізації. Саме ці напрямки з організації радіаційного захисту займають велике місце в директивах ЄС. Крім того, велика увага в директиві ЄС про захист здоров'я громадян від іонізуючого випромінювання при використанні його в медичних цілях [23] приділяється безпеці пацієнтів; вимоги до безпеки пацієнтів у нині діючих “Санітарних правилах щодо розміщення і експлуатації прискорювачів електронів” [2] відсутні.

Особливу увагу слід звернути на методичні аспекти обґрунтування безпеки використання лінійних прискорювачів електронів, застосовуючи такі запобіжні заходи, як додатковий захист в напрямках розповсюдження пучка гальмівного випромінювання, лабіринт захисних дверей тощо. При сучасному плануванні приміщень розташування прискорювачів такі заходи з метою економії будівельних матеріалів дуже поширені.

У методичній частині [2] вимоги до порядку проведення розрахунків і переліку радіаційно небезпечних факторів,

які треба визначити, розглянуті в дуже спрощеному вигляді без урахування геометрії розташування захисних бар'єрів та всіх складових вторинного іонізуючого випромінювання. Це призводить до того, що біологічний захист, спроектований відповідно до чинних Санітарних правил, не є оптимальним.

Висновки

Широке використання ДІВ вимагає від ліцензіатів високої культури безпеки, а від органів державного регулювання — запровадження сучасних вимог до поведінки з ними. В умовах все більшої відкритості суспільства та європейської і світової інтеграції регуляторні документи в сфері поведінки з ДІВ мають бути гармонізовані з документами міжнародних організацій (МАГАТЕ, МКРЗ) та директивами ЄС.

Сучасні підходи до нормування радіаційних впливів на населення, персонал та довкілля, комплексний підхід до забезпечення радіаційного захисту є тими передумовами, на яких має базуватися нормативне регулювання безпеки.

Проведений аналіз існуючої нормативної вітчизняної бази, рекомендацій МАГАТЕ та директив ЄС щодо радіаційного забезпечення в процесі використання прискорювачів електронів показав:

1. Чинний на сьогоднішній день документ “Санітарні правила розміщення і експлуатації прискорювачів електронів з енергією до 100 МеВ” [2] є фактично єдиним профільним документом, що встановлює вимоги до радіаційної безпеки експлуатації та проектування прискорювачів електронів як у наукових, так і в медичних закладах.

2. У документі [2] відсутня низка положень, визначених директивами ЄС та чинними нормативними документами України.

3. Нормативне забезпечення безпеки при використанні прискорювачів заряджених частинок має бути переглянуто у зв'язку з оновленням вітчизняної нормативної бази і широким застосуванням у дослідницьких установках та, особливо, медичних закладах джерел іонізуючого випромінювання.

При розробленні вимог безпеки до діяльності з використання лінійних прискорювачів треба базуватися на вимогах чинних вітчизняних нормативно-правових актів, враховувати рекомендації МАГАТЕ, директиви ЄС та спиратися на сучасний вітчизняний та закордонний досвід.

Список літератури

1. Гусев Н. Г. Защита от ионизирующих излучений. — В 2-х т. — Т. 2: Защита от излучений ядерно-технических установок: Учебник для вузов / Н. Г. Гусев, Е. Е. Ковалев, В. П. Машкович, А. П. Суворов. — 3-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 352 с.
2. Санитарные правила размещения и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ № 1858-78.
3. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 / Минздрав СССР. — М: Энергоатомиздат, 1988. — 90 с.
4. Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП 72/87 / Минздрав СССР. — М: Энергоатомиздат, 1988. — 70 с.
5. Закон України “Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку” від 08.02.1995 № 39.
6. Закон України “Про дозвілну діяльність у сфері використання ядерної енергії” від 11.01.2000 № 1370.

7. Закон України “Про поводження з радіоактивними відходами” від 30.06.1995 № 255.
8. Закон України “Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання” від 14.01.1998 № 15.
9. Закон України “Про фізичний захист ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання” від 19.10.2000 № 2064.
10. Закон України “Про цивільну відповідальність за ядерну шкоду та її фінансове забезпечення” від 13.12.2001 № 2893.
11. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): затвердж. наказом М-ва охорони здоров'я України від 14.07.1997 № 208, введ. в дію постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 № 62.
12. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками ионизирующего излучения. Серия изданий по безопасности № 115. — Вена: МАГАТЭ, 1997.
13. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України: затвердж. наказом М-ва охорони здоров'я України від 02.02.2005 № 54, зареєстр. у Мін'юсті України 20.05.2005 за № 552/10832.
14. Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.5.05/2.065-2002): затвердж. наказом Держатомрегулювання від 02.12.02 № 125, зареєстр. Мін'юстом України 17.12.02 за № 978/7266.
15. Вимоги до звіту про аналіз безпеки провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.5.05/2.066-2002): затвердж. наказом Держатомрегулювання від 02.12.02 № 125, зареєстр. Мін'юстом України 17.12.02 за № 979/7267.
16. Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів (ПБПРМ-2006), (НП 306.6.124-2006): затвердж. наказом Держатомрегулювання України від 30.08.06 № 132, зареєстр. Мін'юстом України 18.09.2006 за № 1056/12930.
17. Правила забезпечення збереження ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання (НП 306.4.08/1.042-00): затвердж. наказом Міністерства України від 14.12.00 № 241, зареєстр. Мін'юстом України 12.01.01 за № 13/5204.
18. Radiation Protection In the Design of Radiotherapy Facilities. Safety reports series No. 47. — Vienna: IAEA, 2006.
19. Директива Ради 96/29/Євратом від 13.05.1996. Основні стандарти безпеки для захисту здоров'я працівників та населення від небезпеки, що виникає від іонізуючої радіації.
20. Директива Ради 90/641/Євратом від 04.12.1990. Про захист робітників, що працюють по найму, схильних до ризику проникаючої радіації протягом їх роботи в контрольованих зонах.
21. Директива Ради 96/618/Євратом від 27.11.1989. Інформування широкої громадськості про заходи охорони здоров'я, що мають вживатися, та дії, які повинні виконуватись у випадку радіаційної аварії.
22. Директива Ради 2003/122/Євратом від 22.12.2003. Про контроль над закритими джерелами високого радіоактивного випромінювання і кинутими джерелами.
23. Директива Ради 97/43/Євратом від 30.06.1997. Про захист здоров'я громадян від іонізуючого випромінювання при використанні його в медичних цілях.

Надійшла до редакції 29.03.2010.