

## НОВИЙ МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛУ ОБ'ЄКТІВ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

Запропоновано удосконалення системи управління радіаційною безпекою персоналу ядерних об'єктів. Суть його полягає в урахуванні індивідуальної радіорезистентності при професійному доборі. Для визначення індивідуальної радіочутливості запропоновано оригінальну неінвазивну експрес-методику. Її застосування дозволяє підняти радіаційний захист персоналу на якісно новий рівень.

**Ключові слова:** радіаційна безпека, персонал, індивідуальна радіочутливість, радіаційний захист.

Предложено усовершенствование системы управления радиационной безопасностью персонала ядерных объектов. Суть его состоит в учете индивидуальной радиорезистентности при профессиональном отборе. Для определения индивидуальной радиочувствительности предложена оригинальная неинвазивная экспресс-методика. Ее применение позволяет поднять радиационную защиту персонала на качественно новый уровень.

**Ключевые слова:** радиационная безопасность, персонал, индивидуальная радиочувствительность, радиационная защита.

The improved management of personnel radiation safety of nuclear facilities. The idea is to take into account individual radioresistance in professional selection. To determine individual radiosensitivity it was proposed the original non-invasive rapid technique. Its application allows to raise the radiation protection to a qualitatively higher level.

**Key words:** radiation safety, personnel, individual radiation sensitivity, radiation protection.

**Постановка проблеми та аналіз наявних здобутків.** В Україні управління безпекою персоналу, що зазнає професійного опромінення джерелами іонізуючих випромінень (ДІВ), полягає у забезпеченні протирадіаційного захисту, який базується на сукупності радіаційно-гігієнічних, проектно-конструкторських, технічних та організаційних заходів, спрямованих на дотримання вимог радіаційної безпеки в частині обмеження та мінімізації опромінення персоналу і радіоактивного забруднення навколишнього середовища при проектуванні, будівництві, експлуатації та технічному обслуговуванні об'єктів та установок, які містять ядерні матеріали (ЯМ) та/або інші джерела іонізуючої радіації (ДІВ). При цьому для забезпечення радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту керуються наступними принципами:

– будь-яка *практична діяльність*, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить більшої *користі* опроміненню особам або суспільству в цілому порівняно зі *шкодою*, яку вона завдає, – **принцип виправданості**;

– опромінення окремих осіб від усіх джерел та видів діяльності у результаті не повинно перевищувати встановлених *лімітів доз* – **принцип неперевищення**;

– величина індивідуальних доз, кількість осіб, які опромінюються, та ймовірність опромінення від будь-якого з видів іонізуючого випромінювання повинні бути найнижчими з тих, що їх можна практично досягти, враховуючи економічні і соціальні фактори, – **принцип ALARA** (As Low As Reasonably Achievable).

В основу принципу *неперевищення* покладено дотримання лімітів доз та допустимих рівнів, регламентованих для різних категорій опромінюваних осіб у державних гігієнічних нормативах «Норми радіаційної безпеки України» НРБУ-97 та НРБУ-97/Д-2000 [1; 2], санітарно-гігієнічних вимог до організації і виконання робіт з ДІВ, дотримання допустимих рівнів радіоактивного забруднення тіла, одягу та робочих поверхонь, інших радіаційно-гігієнічних вимог, відображених в «Основних санітарних правилах забезпечення радіаційної безпеки України» (ОСПУ) [3]. Крім цього, ОСПУ обмежують доступ до роботи з ДІВ за медичними протипоказаннями, перелік яких наведено в [4].

Для ефективного застосування *принципу виправданості* вкрай необхідно офіційно прийняти методику оцінки вартості життя, яку поки що в Україні не реалізовано, хоча відомі наукові публікації з цієї проблеми [5; 6]. Значною мірою з цієї ж причини

недостатньо розвинена в Україні методологія оптимізації професійного опромінення (*застосування принципу ALARA*). Недостатньо розвинутою є і відповідна методична база.

Значний резерв удосконалення управління безпекою персоналу міститься у розвитку систем забезпечення якості на всіх етапах життєвого циклу ядерних установок і радіаційних технологій та формування культури безпеки.

Однак перераховані вище та будь-які інші заходи удосконалення існуючої методології управління ядерною та радіаційною безпекою в діючих концептуальних рамках себе в основному вичерпали і можуть лише частково сприяти вирішенню поставленої задачі. Для переходу на якісно вищий ступінь управління безпекою персоналу необхідно застосувати концептуально новий підхід. Усі нормативи, які наразі діють у галузях, де застосовуються ядерні та радіаційні технології, установлені для усередненої, референтної людини. Проте відомо, що у людини усі біологічні показники, у тому числі й ті, що характеризують індивідуальну стійкість до дії іонізуючої радіації, варіюють у широких межах і найчастіше розподіляються у популяції за нормальним законом. Тому значна частина (до 20 %) осіб, яких за діючими нормативами допускають до роботи з ЯМ та іншими ДІВ, є радіочутливими і зазнають підвищених радіаційних ризиків, що призводить до зростання інвалідизації та передчасної смерті. Отже, найефективніше мінімізувати шкоду для здоров'я за дії іонізуючої радіації можливо, лише враховуючи індивідуальну радіорезистентність людини. Виходячи з цього, саме профдобр, що враховує індивідуальну радіорезистентність людини, дозволить підняти на новий, якісно вищий рівень ступінь протирадіаційного захисту персоналу і закласти підвалини принципово нового методу управління ядерною і радіаційною безпекою на об'єктах атомної енергетики, промисловості та інших галузей, де використовуються джерела іонізуючих випромінень.

Термін «радіочутливість» (чи «радіорезистентність») означає здатність біологічної структури бути модифікованою при опроміненні і є одним із проявів загальної реактивності організму [7; 8]. Індивідуальні розходження у радіочутливості являють собою один із видів загальної біологічної варіабельності, що пояснюється з генетичної точки зору унікальним набором властивостей, притаманним кожному окремому індивідууму [9; 10]. Проблема визначення індивідуальної радіорезистентності (особливо у прогностичному контексті) набула особливої актуальності і стала однією із пріоритетних у радіобіології. Радіобіологами та фахівцями у галузі радіаційної медицини у цьому напрямі ведеться активний науковий пошук [11; 12]. Наразі встановлено, що індивідуальна радіочутливість пов'язана з генетично детермінованими властивостями регуляторних, компенсаторних та репараційних систем організму, які на різних рівнях його інтеграції визначають інтенсивність і спрямованість біохімічних, імунних та інших фізіологічних процесів, що підтримують сталість внутрішнього середовища організму. Однак проблема радіочутливості ще далека від свого

остаточного вирішення. Це можна пояснити великими методичними труднощами у ідентифікації необхідної і достатньої кількості різноманітних показників, які б досить вірогідно характеризували такий феномен, як радіочутливість і були придатними для оцінки радіорезистентності людини.

Найважливішими аспектами цієї проблеми є виявлення факторів, які визначають індивідуальні особливості реакції організму на опромінення та дослідження механізмів, що контролюють формування радіорезистентності.

Принципово індивідуальну радіочутливість людини можна визначати і прогнозувати за загальносистемними та імуногенетичними маркерами. Пошук імуногенетичних маркерів індивідуальної радіочутливості виходить за рамки цієї роботи за причинами їх інвазивності та рутинності, оскільки експресність та неінвазивність складають умови професійного добору як частини скринінгового обстеження працездатного населення. Тому зосередимо наш пошук на загальносистемних маркерах.

Порівняння радіаційної ураженості з типом вегетативної реакції у експериментах на тваринах показало, що найбільші шанси вижити після опромінення мають особини з парасимпатичним типом реакції вегетативної нервової системи (ВНС) на стрес-агент [13]. Звідси слідує, що пошук механізмів фізіологічної адаптації до іонізуючого випромінювання і пов'язаної з ним індивідуальної радіочутливості слід вести у плані вивчення стану вегетативного гомеостазу і механізмів його неспецифічної регуляції.

Водночас універсальним індикатором різних порушень в організмі, у тому числі спричинених впливом іонізуючого випромінювання, є стан системи кровообігу. Функціонування цієї системи з її складним апаратом керування органічно вплітається в конструкцію адаптаційних механізмів цілісного організму, завдяки багатоповірковій ієрархії регуляторних механізмів, у якій виділяються дві ланки: керуюча (центральна нервова система, ВНС, гуморально-гормональні підсистеми) та узгоджувальна (вісцеральні системи). Функціональний стан систем регуляції (керуюча ланка) головним чином визначає стресостійкість організму і є фактором, що лімітує досягнення певного рівня фізичного стану. Узгоджувальна ланка, яка включає і систему кровообігу, вирішує задачу пошуку оптимального стану внутрішнього середовища відповідно до тих критеріїв, що були задані керуючими ланками. Вона реалізує адаптивну відповідь організму на будь-який стресорний вплив, у тому числі і на дію іонізуючої радіації. Основними реакціями системи кровообігу у відповідь на регулюючі впливи є зміна тиску в судинному руслі та зміна хвилинного об'єму крові (ХОК).

Неспецифічні адаптивні, пристосувальні реакції організму успішно вивчаються за допомогою застосування різноманітних функціональних проб і навантажень, що може бути використано для прогнозування типів реакції ВНС на опромінення і їх кореляції з радіаційною ураженістю. Ще у 1970 р. Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) було опубліковано доповідь «Рухові тести для

визначення функціонального стану серцево-судинної системи» [14], у якій було рекомендовано, з метою визначення функціонального стану серцево-судинної системи (ССС), використовувати методи тестування з застосуванням фізичного навантаження (ФН). За допомогою навантажувальних тестів можна успішно вивчати неспецифічні адаптивні реакції організму і результати використати для прогнозування особливостей реакції ВНС на опромінення залежно від ступеня радіаційного ураження.

Найдоступнішим для аналізу показником системи кровообігу є серцевий ритм, чи тривалість часового інтервалу між двома серцевими скороченнями. Його значення разом зі значеннями систолічного та діастолічного тиску є необхідними і достатніми показниками для розрахунку усіх основних гемодинамічних характеристик серцево-судинної системи, за якими, застосовуючи тестування з дозованим фізичним навантаженням, можна робити інтегральну оцінку загального функціонального стану організму.

На підставі результатів математичного аналізу серцевого ритму можна судити про функціональний стан центральних механізмів регуляції. Як неспецифічний метод діагностики, математичний аналіз серцевого ритму дозволяє виявити найбільш ранні зміни балансу ланок вегетативної нервової системи, за величиною напруженості яких можна створити уявлення про вираженість адаптаційно-компенсаторних реакцій, що дозволяє прогнозувати стан організму при надзвичайних впливах, оскільки зміни в нервовій і гуморальній регуляції настають раніше, ніж відбуваються енергетичні, метаболічні і гемодинамічні порушення. Сучасні методи математичного аналізу серцевого ритму дозволяють визначити основні показники активності вегетативної нервової системи, які характеризують її функціональний стан.

Фізичний стан людини на сьогодні оцінюється за показником, що характеризує максимальні можливості аеробного енергоутворення – максимальним споживанням кисню (МСК). Відповідно до рекомендації комітету експертів ВООЗ, МСК пропонується використовувати як міжнародний еталон функціональної здатності серця і легень. У науковій літературі містяться докази того, що МСК є критерієм неспецифічної стійкості організму при впливі на нього найрізноманітніших факторів – від гострої гіпоксії до проникаючої радіації [15].

Таким чином, застосовуючи навантажувальний тест, можна оцінювати загальний фізичний стан осіб, які зазнають професійного впливу іонізуючих випромінень, функціональний стан їх серцево-судинної системи та функціональний стан вегетативної нервової системи, що дозволить вивчати особливості адаптації до несприятливих умов дії іонізуючих випромінень, оцінювати групову резистентність і відкриває перспективу вирішення проблеми прогнозування індивідуальної радіочутливості.

Наблизитись до вирішення цієї важливої проблеми посприяли унікальні умови, що склалися у Зоні відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення ЧАЕС (ЗВ). За час, що минув після аварії, утворилися усталені колективи, які складаються із осіб різної

статі та віку. Переважна частина працівників мають стаж роботи у ЗВ декілька років; частина із них працює з 1986-87 рр. Дози опромінення цього персоналу складають весь можливий спектр – від фонових значень до декількох Зв. Дослідження їхнього фізичного стану і функціонального стану вегетативної нервової та серцево-судинної систем у їх поєднанні з величиною дози опромінення відкрило реальну можливість наблизитися на методичному рівні до вирішення проблеми прогнозування індивідуальної радіорезистентності людини, що і становилу мету нашої роботи.

#### Матеріали і методи досліджень

Функціональні дослідження проводили в ЗВ у 1993-1996 рр. за розробленою нами методикою [16]. Вивчали особливості адаптивної відповіді організму людини, залежно від вегетативного статусу, на хронічну дію іонізуючого випромінювання малої потужності при роботі в ЗВ вахтовим методом. Фізичний стан обстежуваних, функціональний стан їхньої ССС та ВНС визначали за результатами тестування з застосуванням субмаксимального навантажувального тесту. Всього було обстежено 218 осіб (146 чоловіків та 72 жінки) віком від 19 до 64 років. Серед них 169 осіб (121 чоловік та 48 жінок різного віку) представляли персонал, що тривалий час працює у ЗВ. Сумарні дози опромінення серед цього контингенту становили від 0,004 до декількох Зв. Дози, величина яких становила 0,5 Зв та менше, брали із індивідуальних дозиметричних карт. Дози опромінення понад 0,5 Зв оцінювали розрахунковим методом. Для цього проводили спеціальне анкетування «високодозників», за результатами якого склали маршрутні листи і за значеннями потужності дози на робочому місці та часу виконання роботи розраховували ефективні дози опромінення. У двох осіб із цієї когорти дози верифіковані за цитогенетичним методом (FISH-method) [17]. Сорок дев'ять осіб (25 чоловіків та 24 жінки) різного віку склали групу порівняння. Це були пересічні люди – мешканці м. Львова, які не проходили спеціального медичного відбору і практично не зазнали додаткового (надфонового) опромінення внаслідок Чорнобильської катастрофи.

Усі обстежувані за вегетативним індексом були попередньо розподілені на 4 групи: симпатотоніки, нормотоніки, ваготоніки та особи з нестабільним вегетативним статусом (нестабільним типом ВНС). Показником, який дозволяє розподілити людей на групи, є вегетативний індекс (ВІ), який визначається як:

$$ВІ = \left( 1 - \frac{ДТ}{ЧСС} \right) * 100 \text{ (ум. од.)}, \quad (1)$$

де ДТ – діастолічний тиск, мм. рт. ст.;

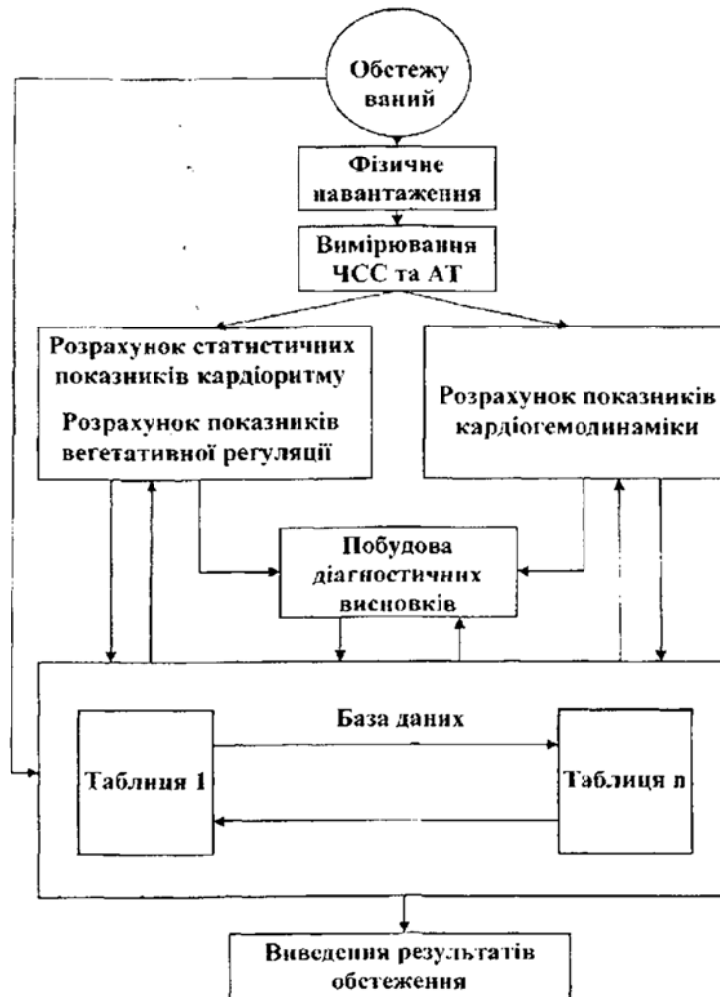
ЧСС – частота серцевих скорочень, хв.<sup>-1</sup>

Вегетативний індекс визначали у стані спокою та на 10-й хвилині відновлення після фізичного навантаження. При цьому людей відносили до: ваготоніків, якщо у першому та другому стані  $ВІ < -10$ ; симпатотоніків, якщо  $ВІ > 10$ ; нормотоніків, якщо  $-10 \leq ВІ \leq 10$ . Якщо ж ВІ при повторному тестуванні чи через 10 хвилин після початку відновлення сильно змінювався (виходив за межі попередньо визначеного

діапазону), то таку особу відносили до групи з нестабільним типом реакції ВНС на подразнюючий фактор. У межах зазначених груп обстежуваних розбивали на «високодозові» (доза опромінення  $D \geq 1$  Зв), «середньодозові» ( $0,05 \text{ Зв} \leq D < 1 \text{ Зв}$ ) та «низькодозові» ( $D < 0,05 \text{ Зв}$ ). При виборі виду тесту враховано, що ходіння для людини є найбільш звичним видом фізичного навантаження. Тому з різноманітних навантажувальних тестів був обраний звичайний степ-тест з двома підйомами на сходинки, загальна висота яких становила 40 сантиметрів. Застосування степ-тесту є низьковартісним і може бути легко реалізоване. Таке тестування дає можливість отримання за скринінгових умов великого обсягу інформації. Обстежуваним пропонувалося зростаюче субмаксимальне 3-ступеневе навантаження, тривалістю по 4 хв на кожний ступінь, з 4-хвилинними інтервалами відпочинку між окремими ступенями навантаження.

Це забезпечувало адекватну реакцію на навантаження, контроль за об'єктивним станом обстежуваного, вимірювання ЧСС і артеріального тиску (АТ) та гарантувало безпеку проведення тесту відповідно до вимог ВООЗ [14]. Загальна тривалість тесту становила 35 хвилин. Вимірювання ЧСС і тривалості серцевого циклу (ТСС) проводили у стані спокою, після 1-го, 2-го та 3-го ступенів навантаження, а також через 1, 5 і 10 хв відновлення. Артеріальний тиск вимірювали за методом Короткова у стані спокою, після 1-го, 2-го і 3-го ступенів навантаження, та через 1, 2, 3, 5 і 10 хв відновлення. Детальний опис методики тестування ССС і ВНС наведено в [15]. За методами, описаними у цій методиці, для кожної особи визначали (у балах) фізичний стан, функціональний стан ССС та ВНС, тип кровообігу та проводили попередню (оціночну) діагностику ССС.

Схему тестування відображено на рис. 1.



**Рис. 1.** Функціональна схема, що демонструє методику автоматизованої експрес-діагностики стану серцево-судинної та вегетативної нервової систем

### Результати та обговорення

Результатами дослідження є виявлені нами особливості процесів адаптивної відповіді на умови роботи в ЗВ. Загальний механізм наступний. Радіаційний стрес призводить до інтенсивного продукування катехоламінів – адреналіну (А) та норадреналіну (НА) та гіперактивності симпатичного відділу ВНС. Процес

адаптації розпочинається з вагусного гальмування активності симпатoadреналової системи (САС), тобто підвищення активності парасимпатичного відділу ВНС. Це призводить до зсуву індексу Кердо у бік ваготонії. При цьому гіперкінетичний тип кровообігу змінюється на еу- та гіпокінетичний. Іншими словами, особи переходять із групи симпатотоніків у групи

нормотоніків та ваготоніків. Це підтверджується співставленням фактичного співвідношення симпатотоніки – нормотоніки – ваготоніки – нестабільний тип серед персоналу ЗВ та відповідними групами порівняння, які формувалися без спеціального добору випадковим способом. У чоловічій групі порівняння ці співвідношення (у відсотковому відношенні) складають ряд 56-24-4-16, а серед чоловічої когорти ЗВ ЧАЕС – 16-24-36-24. Для жіночого контингенту ці співвідношення мають наступний вигляд: для групи порівняння – 50-17-13-20 та для персоналу – 17-33-23-27. Дещо інтенсивніший зсув у бік ваготонії серед чоловіків, порівняно з жінками, можна пояснити вищими отриманими дозами опромінення.

Надалі формування адаптивної відповіді залежить від функціональних резервів регуляторних систем і може протікати різними шляхами. Один із варіантів – так звана «успішна» адаптація, що спостерігалась у групи осіб («високодозників»), які тривалий час працювали в умовах ЗВ. Нами виявлено, що для цих осіб умовою успішної адаптації є достатній функціональний резерв симпатичної нервової системи, головним чином її гуморальної ланки. Так, у «високодозників», ефективні дози яких перевищують 1 Зв, (які, безумовно, є радіорезистентними, оскільки за час їхньої тривалої роботи в інтенсивних радіаційних полях пройшов природній відбір), задовільний фізичний стан підтримується за рахунок високих функціональних резервів симпатoadреналової системи на тлі гіперкінетичного чи еукінегічного типів циркуляції крові. Їхні індивідуальні дані свідчать про те, що для них характерним є великий функціональний резерв адреналіну в мозковому шарі наднирників та висока симпатoadреналова активність підкіркових нервових центрів. Такий стан симпатoadреналової ланки регуляції сприяє накопиченню в організмі кортикостероїдів, що є вирішальним чинником успішного пристосування до дії стресора. Слід зазначити, що нами зафіксовано лише 23 % випадків успішної адаптації до хронічної дії іонізуючого випромінювання.

Інший варіант – так звана «патологічна» адаптація, яка спостерігалась у 77 % випадків. Характерним проявом її є посилення антагонізму симпатичного і парасимпатичного відділів ВНС з одночасним вагусним гальмуванням на максимумі фізичного навантаження та на відновленні, що призводить до перенапруження систем регуляції. Підвищується «ціна адаптації»; при цьому задовільний фізичний стан і нормальна робота системи кровообігу, що спостерігається на першому етапі, забезпечується напруженням обох відділів ВНС з превалюванням нервового і гуморального каналів симпатoadреналової активності. Перенапруження регулюючих систем на відновленні і подальший зрив адаптації обумовлюється підвищенням симпатoadреналової активності периферичних відділів ВНС за одночасного зниження активності її парасимпатичного відділу. Зрив адаптації призводить до порушень гемодинаміки (у т. ч. перехід на гіпокінетичний тип кровообігу), які спричиняють патологічні наслідки: спазмування судин, виникнення серцево-судинної недостатності, формування стійкої форми гіпертонічної хвороби (очевидно,

за рахунок того, що внаслідок тривалого продукування і викиду в кров адреналіну та норадреналіну відбувається поступове виснаження компенсаторних резервів депресорної кінінової системи крові і нирок). Отже, у більшості випадків можна говорити про наявність негативного, ушкоджуючого ефекту стрес-реакції, супроводжуваного надмірною активацією стрес-реалізуючих, адренергічних систем, що є причиною виникнення різних патологічних станів. У таких випадках позитивні ефекти катехоламінів, що виражаються в мобілізації енергозабезпечення і працездатності системи, яка є відповідальною за адаптацію, трансформуються у негативні, ушкоджуючі.

Виявлені нами індивідуальні особливості процесу адаптації організму людини до хронічної дії іонізуючої радіації підтверджують тезу, що радіорезистентність організму визначається його реактивністю, функціональними резервами регуляторних систем і, очевидно, є генетично обумовленою.

#### ***Розробка методики експресного неінвазивного визначення індивідуальної радіорезистентності людини за загальносистемними показниками***

Для визначення радіорезистентності запропоновано використовувати єдиний інтегральний показник, який об'єктивно відображає ступінь порушення гомеостазу. Цей показник, який ми умовно назвали «індекс здоров'я» (ІЗ), має враховувати фізичний стан індивідуума, функціональний стан системи кровообігу та функціональний стан регуляторних систем. Як уже зазначалось, загальноприйнятим показником, який адекватно відображає фізичний стан людини, є МСК. Оскільки значення цього показника залежить від віку, при його використанні у визначенні індексу здоров'я проводили нормування на конкретний вік – 25 років. За методикою тестування системи кровообігу за десятьма параметрами кардіогемодинаміки частотою серцевих скорочень (ЧСС), систолічним тиском (СТ), діастолічним тиском (ДТ), ударним об'ємом (УО), пульсовим тиском (ПТ), хвилинним об'ємом крові (ХОК), серцевим індексом (СІ), периферичним опором судин (ПОС), вегетативним індексом (ВІ) та середнім динамічним тиском (СДТ), вимірних у стані спокою, у максимумі функціонального навантаження та на 10-й хвилині відновлення для усіх обстежуваних визначали у балах функціональний стан серцево-судинної системи. Його значення не виходить за межі діапазону 50-127. Функціональний стан ВНС, для усіх обстежуваних за згаданою методикою, визначали за 5-ма показниками (сумарний ефект регуляції, функція автоматизму, вегетативний гомеостаз, активність підкіркових центрів та стійкість регуляції), отриманих для стану спокою, кожного із трьох ступенів навантаження, 1-ї, 5-ї та 10-ї хвилин відновлення. На основі експертної оцінки отриманих результатів визначали коефіцієнт КВНС, який відображає внесок стану ВНС у загальний індекс здоров'я. Значення цього коефіцієнту не виходить за межі 0,5-1,0. Загальний індекс здоров'я описували добутком згаданих вище показників: нормованого МСК, функціонального стану ССС, вираженому у балах (ФСС) та КВНС, вираженому в умовних одиницях.

$$ІЗ = МСК \cdot ФСС \cdot КВНС \quad (2)$$

Зауважимо, що перемноживши перші два множники, отримаємо величину, яка лежить у межах 1000-7493, що не зовсім зручно для практичного використання. Тому цей діапазон ми розбивали на 100 і описували його новими значеннями, що змінюються у межах 0,1-10,0. Значення добутку показників, що характеризують фізичний стан та функціональний стан ССС (з урахуванням модифікації діапазону) перемножували на КВНС і отримували значення інтегрального показника – індексу здоров'я. Враховуючи, що МСК у жінок дорівнює 0,825 цього показника у чоловіків, при визначенні індексу здоров'я для жінок його розраховане значення ділили на 0,825.

Для подальшого визначення індивідуальної радіорезистентності установили математичний вигляд дозозалежності ІЗ. З цією метою для кожної з груп, розбитих за дозовим критерієм, розраховували середню дозу опромінення  $D_c$  та середньогруповий індекс здоров'я  $I_{3c}$ , після чого будували графіки залежності цих індексів від дози і визначали математичні вирази цієї залежності. Цей інтегральний показник для осіб різної статі та з різним вегетативним статусом залежить від логарифму дози опромінення (рис. 2).

Той факт, що виявлено нелінійну залежність, підтверджує, що відповідь інтегруючих систем організму на хронічне опромінення у малих дозах є нелінійною, оскільки у цілісному організмі задіяні складні механізми ініціювання і репарації ушкоджень та адаптації до нових умов існування. Наступним кроком є розрахунок теоретичних значень індексу здоров'я  $I_{3t}$ . Для цього у вирази, що описують залежність середньогрупового індексу здоров'я від дози, підставляли значення реальних доз для кожного індивідууму. І насамкінець, переходили до безпосередньої оцінки індивідуальної радіорезистентності. Її характеризує коефіцієнт резистентності ( $K_p$ ) – відношення індивідуального індексу здоров'я, усередненого по декількох обстеженнях ( $I_{3ic}$ ), до його теоретичного значення ( $I_{3t}$ ) для тієї ж особи.

$$K_p = \frac{I_{3c}}{I_{3t}} \quad (3)$$

Якщо за коридор норми прийняти відхилення від теоретичного значення на 10 % у той чи інший бік, то усі випадки, коли співвідношення  $I_{3c}/I_{3t}$  перевищуватиме значення 1,1, характеризуватимуть радіорезистентних осіб, а значення, менші за 0,9, – радіочутливих. При цьому чим більше це співвідношення відхиляється від одиниці у ту чи іншу сторону, тим більш радіорезистентною чи радіочутливою є особа. Для осіб із групи контролю при розрахунку  $I_{3t}$  у

формули підставляли значення доз опромінення від природного фону з урахуванням можливого опромінення техногенно підсиленими джерелами.

Аналізуючи усі залежності індексу здоров'я від дози (рис. 2) за крутизною спаду кривих (множник при логарифмі), ми дійшли висновку, що за вегетативним статусом найбільш радіочутливими є симпатотоніки, а найбільш радіорезистентними – ваготоніки. Непрямим підтвердженням цьому також можна вважати те, що серед симпатотоніків виявлено найменшу кількість як в абсолютному, так і у процентному відношенні «високодозників». Приклад практичного визначення індивідуальної радіорезистентності за розробленою методикою для двох обстежуваних наведено в табл. 1.

### Висновки

Досягнуто розв'язання наукової проблеми, що полягає у визначенні індивідуальної радіорезистентності людини за загальносистемними показниками, які характеризують індивідуальну відповідь організму на хронічну дію іонізуючого випромінювання.

За допомогою навантажувального тесту обстежено осіб, які впродовж різних термінів та дозових навантажень працювали в зоні відчуження ЧАЕС, що дозволило оцінити індивідуальні особливості адаптивної відповіді на хронічну дію іонізуючого випромінювання.

Встановлено, що єдиний інтегральний показник (індекс здоров'я), який об'єктивно відображає ступінь порушення гомеостазу за хронічної дії радіаційного чинника та характеризує радіорезистентність людини, може бути сформовано за використання значення максимального споживання кисню, 10 показників кардіогеодинаміки та 5 показників кардіоритму, які визначаються у процесі тестування серцево-судинної та вегетативної нервової систем із застосуванням навантажувального тесту.

Встановлено залежності індексу здоров'я від ефективної дози опромінення для осіб чоловічої та жіночої статі з різними типами вегетативного статусу.

Розроблено експрес-методику неінвазивної оцінки індивідуальної радіорезистентності людини за індексом здоров'я, який враховує фізичний стан організму, функціональний стан серцево-судинної та вегетативної нервової систем.

За результатами досліджень розроблено принципово нову методику добору осіб для роботи з ядерними матеріалами та іншими джерелами іонізуючих випромінень, що базується на визначенні індивідуальної радіорезистентності людини і дозволяє підняти радіаційний захист персоналу на якісно новий рівень.

Таблиця 1

Приклад визначення індивідуальної радіорезистентності

| Код обстежуваного                  | h0078                         |      |     |      | h0077                         |     |     |     |
|------------------------------------|-------------------------------|------|-----|------|-------------------------------|-----|-----|-----|
|                                    | 0,042                         |      |     |      | 0,043                         |     |     |     |
| Доза, Зв                           |                               |      |     |      |                               |     |     |     |
| № обстеження                       | 1                             | 2    | 3   | 4    | 1                             | 2   | 3   | 4   |
| МСК · ФСС                          | 5,0                           | 6,3  | 6,5 | 7,5  | 4,8                           | 4,3 | 4,2 | 3,6 |
| КВНС                               | 0,7                           | 0,95 | 0,8 | 0,95 | 0,85                          | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| ІЗ                                 | 3,5                           | 6,0  | 5,2 | 7,1  | 4,1                           | 3,4 | 3,3 | 2,5 |
| ІЗс                                | 5,45                          |      |     |      | 3,35                          |     |     |     |
| ІЗт                                | 3,30                          |      |     |      | 3,43                          |     |     |     |
| <b>K<sub>p</sub> = ІЗс/ІЗт</b>     | <b>1,65</b>                   |      |     |      | <b>0,93</b>                   |     |     |     |
| Характеристика радіорезистентності | Радіорезистентність підвищена |      |     |      | Радіорезистентність нормальна |     |     |     |

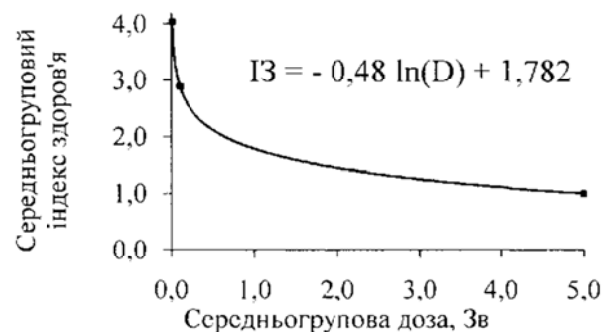
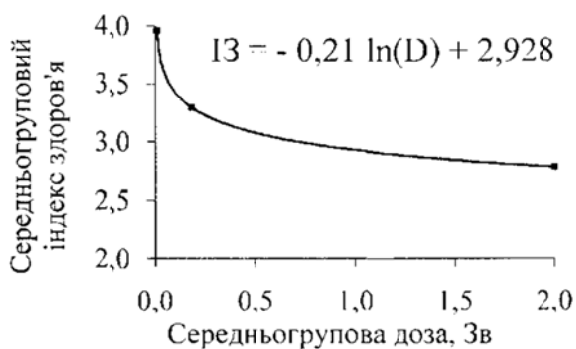
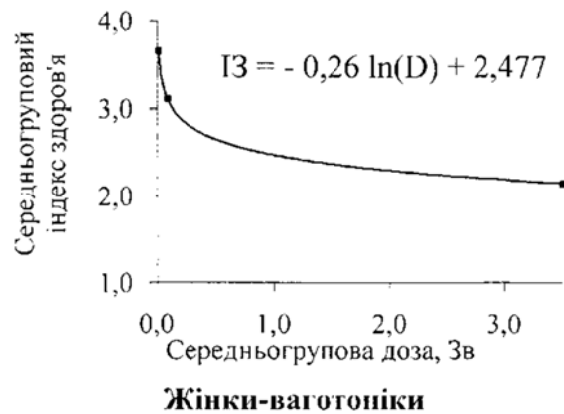
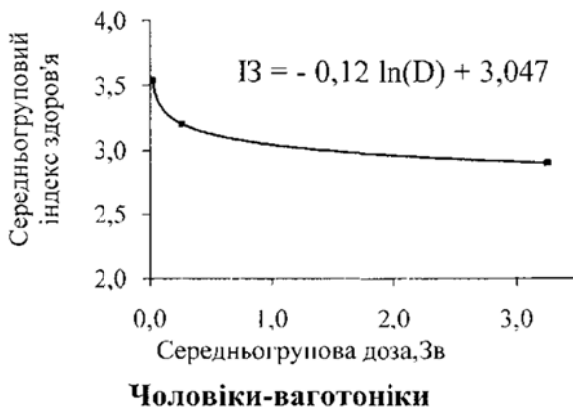
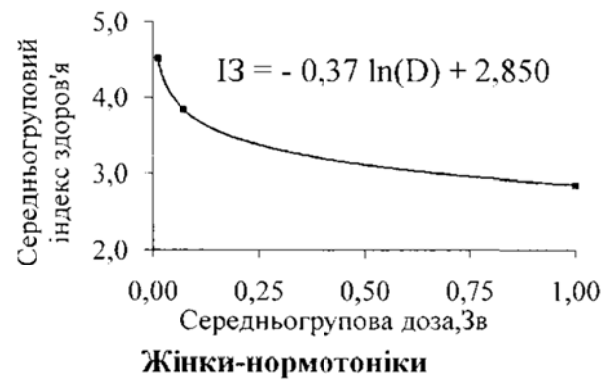
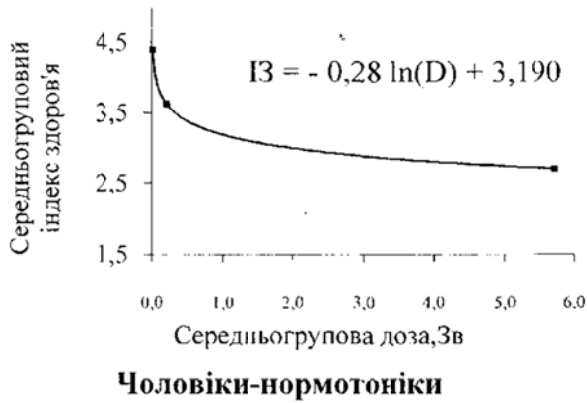
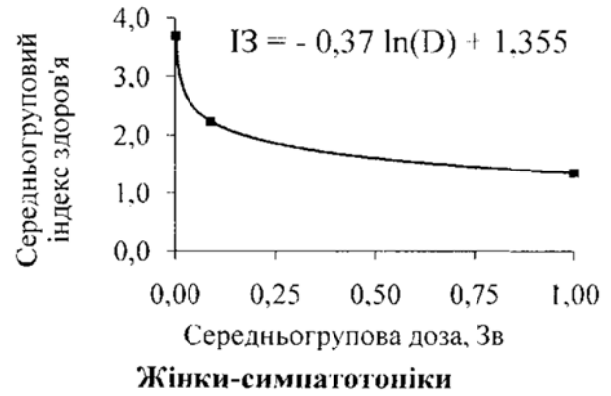
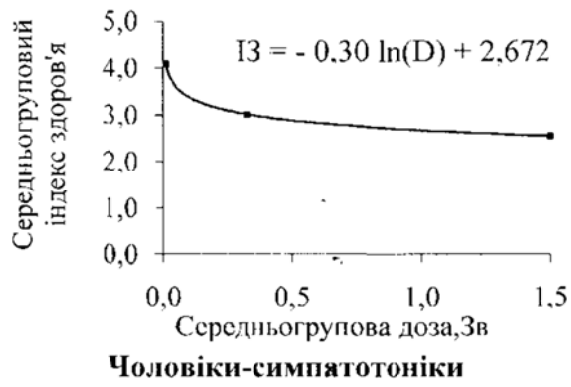


Рис. 2. Залежності індексу здоров'я від ефективної дози опромінення

## ЛІТЕРАТУРА

1. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97 (ДГН 6.6.1.-6.5.001-98). Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 № 62.
2. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: радіаційний захист від джерел потенційного опромінення НРБУ-97/Д-2000 (ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000). Затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000р. № 116.
3. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України ОСПУ (ДСП 6.177-2005-09-02), затверджені наказом МОЗ від 02.02.2005, № 54.
4. Наказ МОЗ України «Про затвердження Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій» від 21 травня 2007 р., № 246.
5. Трунов И. Л. Эквивалент стоимости человеческой жизни / Трунов И. Л., Айвар Л. К., Харисов Г. Х // Представительная власть XXI века: законодательство, комментарии, проблемы, 2006. – Вып. № 3(69). – С. 24–29.
6. Дрозд І. П. Втрати держави внаслідок виробничого травматизму зі смертельними наслідками / Дрозд І. П., Дрозд М. І., Семко О. П. // Україна: аспекти праці, 2006. – № 5. – С. 23-29.
7. Поспишил М. Индивидуальная радиочувствительность, ее механизмы и проявления / М. Поспишил, И. Ваха – М. : Энергоатомиздат. – 1986. – 286 с.
8. Даренская Н. Г. Возможности прогнозирования индивидуальной радиочувствительности / Н. Г. Даренская // Мед. радиология. – 1986. – № 12. – С. 47-52.
9. Радиочувствительность и мембраны лимфоцитов / [Афонина Г. Б., Варус В. И., Коляденко В. Г. и др.] – К. : Нац. мед. ун-т им. А. А. Богомольца, 2001. – 203 с.
10. Молекулярно-генетические подходы, применяемые для оценки воздействия радиации на геном и индивидуальная радиочувствительность человека / [И. А. Гончарова, М. Б. Фрейдин, Р. М. Тахауов и др.] // Сибирский медицинский журнал. – 2003. – № 5. – С. 78-83.
11. Афонина Г. Б. Прогноз индивидуальной радиочувствительности к низким дозам ионизирующего облучения / [Афонина Г. Б., Яценко В. П., Минченко Ж. Н. и др.] // Доповіді Національної Академії Наук України. – 1999. – № 3. – С. 163-168.
12. Білий О. В. Імуногенетичні критерії медичного відбору спеціалістів для роботи в умовах впливу низьких рівнів іонізуючої радіації : автореф. дис. ... канд. біол. наук / О. В. Білий. – К., 1998. – 16 с.
13. Мамотюк Є. М. Вплив типів реагування щурів на перебіг у них гострої променевої хвороби / Є. М. Мамотюк // УРЖ, 2008. – № 16. – С. 178-182.
14. Двигательные тесты для определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы: Доклад совещания ВОЗ. Серия техн. докладов № 388. – Женева. – 1970.
15. Мальцев Л. М. Дифференциальная диагностика нейроциркуляторной дистонии и гипертонической болезни / Мальцев Л. М., Кобзев В. П., Валеев Г. Х. // Военно-медицинский журнал. – 1987. – № 1. – С. 61-63.
16. Автоматизированная экспресс-методика определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы и систем ее регуляции : методические рекомендации / [Дрозд И. П., Мукалов И. О., Масальская С. А Серкиз Я. И., Гриджук М. Ю.]. – Киев, 2001. – 32 с.
17. High exposures to radiation received by workers inside the Chernobyl Sarcophagus / [Sevankaev A., Lloyd D., Edwards A., Moiseenko V.] // Radiation Protection & Dosimetry. – 1995. – V. 59, № 2. – P. 85-91.

Рецензенти: **Григор'єва Л. І.**, д.б.н., професор;  
**Чорна В. І.**, д.б.н., професор.

© Дрозд І. П., Гриджук М. Ю., 2012

Дата надходження статті до редколегії: 06.02.2012 р.

**ДРОЗД Іван Петрович** – д.б.н., провідний науковий співробітник відділу радіобіології та радіоекології, старший науковий співробітник, Інститут ядерних досліджень НАН України.

**Коло наукових інтересів:** радіобіологія – кінетика радіонуклідів в організмі, дозоутворення, індивідуальна радіочутливість; радіоекологія – міграція радіонуклідів по біологічних ланцюгах; техногенна та екологічна безпека – методологія управління безпекою на усіх структурних рівнях на основі ризик-орієнтованого підходу; сталий розвиток; поведіння з відходами.

**ГРИДЖУК Михайло Юрійович** – д.б.н., заступник начальника Управління охорони здоров'я Дніпровської районної державної адміністрації у м. Київ, Заслужений лікар України.

**Коло наукових інтересів:** радіобіологія – індивідуальна радіочутливість людини; радіаційна медицина – механізми виникнення радіаційно індукованої загальносоматичної патології; техногенна безпека – нормування опромінення персоналу.