

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциалық емес акционерлік қоғамы

Ө. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау институты

Стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасы

Сәулет Мәдина

Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негізі»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6В07501 – Өнеркәсіптік инженерия

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес
акционерлік қоғамы

Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты

Стандарттау, сертификаттау және метрология институты

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі,

ДОПУЩЕНО К ЗАЩИТЕ
PhD докторы Ережел Д.Е.
НАС «Қазіргі Ғ.И.Сәтбаев»
«Институт энергетика
и машиностроения» 2025ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негізі

6B07501 – Өнеркәсіптік инженерия

Орындаған:

Сәулет М.

Пікір беруші

Алматы технологиялық
университетінің профессор ассистенті,
PhD

Ж - Жаксыбаева Г.С.

«__» _____ 20__ ж.

Ғылыми жетекші

п.ғ.к., қауым.проф.

Дуйсебаева

Дуйсебаева К.К.

«__» _____ 20__ ж.

Алматы 2025

КАЗАКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциалық емес акционерлік қоғамы

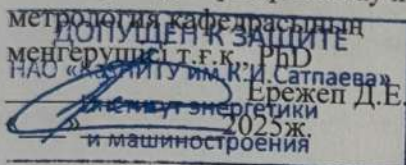
Ө. бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау институты

Стандарттау, сертификаттау және метрология кафедрасы

6B07501 – Өнеркәсіптік инженерия

БЕКІТЕМІН

Стандарттау, сертификаттау және



**Дипломдық жобаны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Сәулет Мәдина

Тақырыбы: «Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негізі»

Академиялық істер жөніндегі проректор 2025 жылғы «25» қаңтар №бұйрығымен бекітілген
Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «__» _____ 2025ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы деректері: сынау әдістері

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздерін талдау және өлшеудің бақылану түрінің мәселелерін зерттеу

б) эталондардың мәртебесін және калибрлеу инфрақұрылымын дамыту жолдарын зерттеу

в) тіршілік қауіпсіздігі және еңбекті қорғау мәселелері

г) экономикалық тиімділікті зерттеу есебі

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

Жұмыс презентациясы слайдтарда көрсетілген

Ұсынылған негізгі әдебиеттер:

1. Төлеуова Г.Б., Садықов М.А. «Сапа менеджменті және стандарттау жүйелері» (Алматы: Экономика, 2020) атты оқу құралында мекемелердегі сапаны басқару құрылымдары, аккредитацияның мәні мен маңызы, сондай-ақ зертханалар қызметінің сапа жүйесіндегі рөлі қарастырылған. Авторлар сапа менеджменті жүйесінің негізгі қағидаттарын, сапа мәдениетінің қалыптасу жолдарын және зертханалық аккредитацияның халықаралық талаптарға сәйкестігін жан-жақты сипаттайды. 2. Баймұратова А.С. мен Қалдыбаева Ш.М. «Сапа және қауіпсіздік жүйелерін басқару» (Нұр-Сұлтан: Фолиант, 2021) атты оқу құралында метрологиялық қызметтің рөлі, аккредитацияның құрылымы және сынақ зертханаларының жұмысы кеңінен баяндалған.

**Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, дайындалатын сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге өткізу мерзімі	Ескерту
Теориялық шолу	02.09.2025	орындалды
Өнімді сынау	07.03.2025	орындалды
Өндірістегі сапаны бақылау	10.04.2025	орындалды

Аяқталған дипломдық жұмыстың және оларға қатысты диплом жобасының
бөлімдерінің кеңесшілерінің және қалып бақылаушының
қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, Т.А.Ә. (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық шолу	Дуйсебаева К.К	09.06.2025	
Өнімді сынау	Дуйсебаева К.К	09.06.2025	
Өндірістегі сапаны бақылау	Дуйсебаева К.К	09.06.2025	
Норма бақылаушы	Есентай А.М	09.06.2025	

Ғылыми жетекші

Білімалушы тапсырманы орындауға алды

Күні

қолы

Дуйсебаева К.К.

Аты-жөні

Сәулет М.

Аты-жөні

«__» _____ 20__ ж

АНДАТПА

Зерттеу Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық негіздерін талдауға арналған. Жұмыстың мақсаты – иондаушы сәулеленуді өлшеудің мүмкіндіктерін бағалау және өлшеудің бақылану түрінің (прослеживаемость) мәселелері мен шешу жолдарын анықтау. Зерттеу міндеттеріне радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігін, дозиметрия мен радиометрияның негізгі бағыттарын, ДРГ-01 дозиметрінің рөлін, эталондардың мәртебесін және бақылану түрінің мәселелерін талдау кіреді. Аналитикалық, салыстырмалы және жүйелік әдістер қолданылды. ДРГ-01 дозиметрінің өлшеу диапазоны (0,1 мкЗв/сағ – 100 мЗв/сағ) және дәлдігі ($\pm 15\%$) зерттелді, оның «ҚазСтандарт» эталонымен калибрленуі ($\pm 0,5\%$, ВІРМ 2023) бақылану түрінің негізі ретінде қарастырылды. Нәтижелер радиометриялық эталондардың жетіспеушілігі және халықаралық салыстырулардың сиректігі сияқты мәселелерді анықтады. Шешім ретінде эталондар базасын кеңейту, облыстық зертханалар ашу және МАГАТЭ-мен ынтымақтастықты арттыру ұсынылды. Зерттеу радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық жүйесін жетілдіруге және Қазақстанның халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етуге ықпал етеді.

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено анализу метрологической основы обеспечения радиационной безопасности в Казахстане. Цель работы – оценка возможностей измерения ионизирующего излучения и выявление проблем и путей решения прослеживаемости измерений. Задачи исследования включают анализ актуальности радиационной безопасности, основных направлений дозиметрии и радиометрии, роли дозиметра ДРГ-01, статуса эталонов и проблем прослеживаемости. Применялись аналитические, сравнительные и системные методы. Изучены диапазон измерений (0,1 мкЗв/ч – 100 мЗв/ч) и точность ($\pm 15\%$) дозиметра ДРГ-01, его калибровка по государственному эталону «КазСтандарта» ($\pm 0,5\%$, ВІРМ 2023) рассмотрена как основа прослеживаемости. Результаты выявили проблемы, такие как недостаток радиометрических эталонов и редкость международных сравнений. В качестве решений предложены расширение базы эталонов, создание региональных лабораторий и усиление сотрудничества с МАГАТЭ. Исследование способствует совершенствованию метрологической системы радиационной безопасности и обеспечению соответствия Казахстана международным стандартам.

ANNOTATION

The study is devoted to analyzing the metrological basis for ensuring radiation safety in Kazakhstan. The objective is to assess the capabilities of measuring ionizing radiation and identify issues and solutions for measurement traceability. The research tasks include analyzing the relevance of radiation safety, key directions of dosimetry and radiometry, the role of the DRG-01 dosimeter, the status of standards, and traceability challenges. Analytical, comparative, and systemic methods were applied. The DRG-01 dosimeter's measurement range ($0.1 \mu\text{Sv/h} - 100 \text{ mSv/h}$) and accuracy ($\pm 15\%$) were examined, with its calibration based on the national standard of "KazStandard" ($\pm 0.5\%$, BIPM 2023) considered as the foundation of traceability. The results identified issues such as the lack of radiometric standards and infrequent international comparisons. Proposed solutions include expanding the standards base, establishing regional laboratories, and enhancing cooperation with IAEA. The study contributes to improving the metrological system of radiation safety and ensuring Kazakhstan's compliance with international standards.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	9
1 Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік: өзектілігі және объектілері	11
2 Иондаушы сәулеленуді өлшеудің негізгі бағыттары және Қазақстандағы өлшеу мүмкіндіктері	28
3 Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеу эталондары және олардың мәртебесі	34
4 Өлшеудің бақылану түрі бойынша қадағалау мәселесін талдау және шешудің мүмкін жолдары	38
ҚОРЫТЫНДЫ	44
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	47

КІРІСПЕ

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік – халықтың денсаулығын қорғау, қоршаған ортаның экологиялық тұрақтылығын сақтау және ұлттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін стратегиялық маңызы бар мәселе. Еліміздің 1949–1989 жылдар аралығында Семипалатинск ядролық полигонында жүргізілген 456 ядролық сынақтың тарихи мұрасы, әлемдегі ең ірі уран өндірушілердің бірі ретіндегі рөлі, сондай-ақ ядролық медицина мен өнеркәсіпте иондаушы сәулеленудің кең қолданылуы радиациялық бақылаудың қатаң және дәл жүйесін талап етеді.

Радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізі иондаушы сәулеленудің дозасын, доза қуатын және радиоактивті заттардың белсенділігін жоғары дәлдікпен өлшеуге негізделген. Осы мақсатта қолданылатын құралдардың бірі – ДРГ–01 дозиметрі, ол гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейінгі диапазонда өлшеуге қабілетті және радиациялық нысандарда кеңінен қолданылады. Радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде өлшеу құралдарының дәлдігі мен сенімділігі шешуші рөл атқарады. Алайда, Қазақстандағы метрологиялық инфрақұрылымның шектеулері, әсіресе эталондардың жеткіліксіздігі және өлшеу нәтижелерінің халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етудегі қиындықтар өлшеудің бақылану түрінің мәселелерін тудырады. Мысалы, дозиметриялық өлшеулер үшін мемлекеттік эталондар болғанымен, радиометриялық өлшеулер (альфа және бета сәулелену) үшін эталондардың шектеулі болуы өлшеу дәлдігін және халықаралық танылуды қиындатады. Осыған байланысты радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздерін зерттеу, олардың қазіргі жай–күйін талдау және жетілдіру жолдарын анықтау өзекті мәселе болып табылады. Бұл зерттеу Қазақстанның радиациялық қауіпсіздік жүйесін халықаралық стандарттарға жақындатуға және метрологиялық инфрақұрылымды дамытуға бағытталған.

Зерттеудің мақсаты: Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негіздерін талдау, иондаушы сәулеленуді өлшеудің мүмкіндіктерін бағалау және өлшеудің бақылану түрінің проблемалары мен шешу жолдарын анықтау.

Зерттеудің міндеттері:

1. Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігін және оның негізгі объектілерін анықтау.
2. Иондаушы сәулеленуді өлшеудің негізгі бағыттарын (дозиметрия және радиометрия) және ДРГ–01 дозиметрінің рөлін талдау.
3. Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеу эталондарының мәртебесін зерттеу.
4. Өлшеудің бақылану түрінің проблемаларын анықтау және оларды шешу жолдарын ұсыну.

Зерттеу объектісі: Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық жүйесі, оның ішінде иондаушы

сәулеленуді өлшеуге арналған құралдар (ДРГ–01 дозиметрі), эталондар және өлшеудің бақылану түрінің процесі.

Зерттеуәдістері:

– Аналитикалық әдіс: Радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздеріне қатысты әдебиеттерді, нормативтік–құқықтық құжаттарды және халықаралық стандарттарды (МАГАТЭ, ВІРМ) талдау.

– Салыстырмалы әдіс: Қазақстандағы метрологиялық инфрақұрылымды халықаралық тәжірибемен (мысалы, ВІРМ салыстырулары) салыстыру.

– Статистикалық әдіс: Радиациялық өлшеулердің дәлдігі мен эталондардың сипаттамаларына қатысты деректерді талдау (мысалы, 2023 жылы $\pm 0,5\%$ дәлдікпен расталған эталон).

Жұмыстың құрылымы: Жұмыс төрт негізгі бөлімнен, кіріспеден, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Бірінші бөлімде радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігі мен объектілері қарастырылады. Екінші бөлімде дозиметрия мен радиометрияның негізгі шамалары, өлшеу құралдары және ДРГ–01 дозиметрінің мүмкіндіктері талданады. Үшінші бөлімде Қазақстандағы эталондардың мәртебесі зерттеледі. Төртінші бөлім өлшеудің бақылану түрінің проблемалары мен шешу жолдарына арналған. Жұмыс қорытынды және ұсыныстармен аяқталады.

Зерттеудің маңызы: Бұл зерттеу Қазақстанның радиациялық қауіпсіздік жүйесін жетілдіруге, метрологиялық инфрақұрылымды дамытуға және өлшеу нәтижелерінің халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етуге ықпал етеді. ДРГ–01 сияқты құралдардың рөлін анықтау арқылы өлшеу дәлдігін арттыруға бағытталған ұсыныстар ядролық және экологиялық қауіпсіздікті нығайтуға, сондай-ақ Қазақстанның халықаралық аренадағы беделін арттыруға септігін тигізеді.

1 ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ РАДИАЦИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІК: ӨЗЕКТІЛІГІ ЖӘНЕ ОБЪЕКТІЛЕРІ

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік – ұлттық қауіпсіздіктің, халық денсаулығын қорғаудың және қоршаған ортаның экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етудің ажырамас бөлігі. Еліміздің күрделі ядролық мұрасы, уран өндірісінің әлемдік нарықтағы жетекші рөлі, сондай-ақ атом энергетикасы мен ядролық медицинаға қатысты жобалар радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігін арттырады. Радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету тек технологиялық немесе метрологиялық мәселе ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік–экономикалық және экологиялық салдарға тікелей әсер ететін стратегиялық міндет болып табылады.

Радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігі

Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікке деген ерекше назары еліміздің тарихи және географиялық ерекшеліктерінен туындайды. 1949–1989 жылдар аралығында Семей полигонында жүргізілген ядролық сынақтар халық денсаулығына және қоршаған ортаға ұзақ мерзімді теріс әсер етті. Бұл сынақтардың салдары әлі күнге дейін экологиялық қалпына келтіру және денсаулық сақтау саласындағы маңызды міндеттердің бірі болып қала береді. Сонымен қатар, Қазақстан әлемдегі ең ірі уран өндірушілердің бірі ретінде уран кеніштерінде және өңдеу нысандарында радиациялық бақылаудың жоғары стандарттарын сақтауды талап етеді.

Қазіргі уақытта радиациялық қауіпсіздіктің маңыздылығы ядролық технологиялардың дамуымен және олардың медицина, өнеркәсіп және энергетика салаларында кеңінен қолданылуымен арта түсуде. Мысалы, онкологиялық ауруларды диагностикалау және емдеу үшін қолданылатын радиодиагностикалық және радиотерапиялық жабдықтар, сондай-ақ өнеркәсіптік радиографиялық бақылау құралдары иондаушы сәулеленудің қауіпсіз қолданылуын қамтамасыз етуді қажет етеді. Бұл міндеттердің барлығы радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізіне – иондаушы сәулеленудің дәл және сенімді өлшенуіне сүйенеді.

Радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігі сонымен қатар халықаралық міндеттемелермен байланысты. Қазақстан Халықаралық атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) мүшесі ретінде ядролық қауіпсіздік және радиациялық қорғау жөніндегі халықаралық стандарттарды сақтауға міндетті. Бұл стандарттар өлшеу құралдарының дәлдігін, эталондардың прослеживаемостығын және нормативтік–құқықтық базаның халықаралық талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етуді талап етеді.

Радиациялық қауіпсіздіктің негізгі объектілері

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету иондаушы сәулеленудің әлеуетті қауіпі бар нысандар мен процестерді мұқият бақылауды талап етеді. Бұл объектілер еліміздің тарихи, экономикалық және технологиялық ерекшеліктеріне байланысты кең ауқымды қамтиды. Радиациялық қауіпсіздіктің объектілеріне уран өндірісімен байланысты

кәсіпорындар, ядролық зерттеулер жүргізілетін ғылыми орталықтар, радиоактивті қалдықтарды сақтау орындары, медициналық мекемелердегі радиологиялық жабдықтар, сондай-ақ өнеркәсіптік және геологиялық процестерде қолданылатын радиациялық технологиялар жатады. Олардың әрқайсысы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін иондаушы сәулеленудің дәл өлшенуін және қатаң метрологиялық бақылауды қажет етеді.

Қазақстан әлемдегі уран өндірісінің көшбасшыларының бірі ретінде уран кеніштері мен өңдеу кәсіпорындарын радиациялық қауіпсіздіктің негізгі объектілерінің бірі деп санайды. «Қазатомөнеркәсіп» ұлттық компаниясы басқаратын кеніштер, әсіресе Түркістан, Қызылорда және Ақмола облыстарында орналасқан кен орындары, радиациялық бақылаудың маңызды нысандары болып табылады. Мысалы, Оңтүстік Қазақстандағы Инкай және Мойынқұм кеніштері жылына мыңдаған тонна уран өндіреді, бұл процесте гамма-сәулелену және радон газының көлемдік белсенділігі сияқты радиациялық параметрлерді үнемі өлшеуді талап етеді. Радон, уран ыдырауының өнімі ретінде, өндіріс орындарында және жақын маңдағы елді мекендерде қоршаған орта мен жұмысшылардың денсаулығына қауіп төндіреді. Осы нысандарда ДРГ-01 дозиметрі кеңінен қолданылады, ол гамма-сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ-тан 100 мЗв/сағ-қа дейінгі диапазонда өлшеуге қабілетті. Бұл портативті құрал өзінің жоғары сезімталдығы мен қатал климаттық жағдайларда сенімді жұмыс істеу қабілетімен ерекшеленеді, бұл оны уран кеніштеріндегі радиациялық бақылаудың ажырамас бөлігіне айналдырады.

Ядролық зерттеулер мен технологияларға қатысты нысандар да радиациялық қауіпсіздіктің маңызды объектілері болып табылады. Алматы қаласындағы Ядролық физика институты және Курчатов қаласындағы Ұлттық ядролық орталық Қазақстандағы ядролық технологиялардың дамуы мен радиациялық қауіпсіздікті зерттеудің орталықтары болып саналады. Ядролық физика институты материалтану және радиациялық технологиялар бойынша зерттеулер жүргізеді, ал Ұлттық ядролық орталықта ИГР және ИВГ.1М сияқты зерттеу реакторлары орналасқан. Бұл нысандарда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін жоғары дәлдіктегі өлшеу құралдары қажет. ДРГ-01 дозиметрі мұнда да қолданылады, әсіресе реакторлардың жұмыс аймақтарында және зертханаларда гамма-сәулеленудің доза қуатын бақылау үшін. Бұл құралдың өлшеу нәтижелері зерттеушілер мен қызметкерлердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және радиациялық инциденттердің алдын алуға мүмкіндік береді.

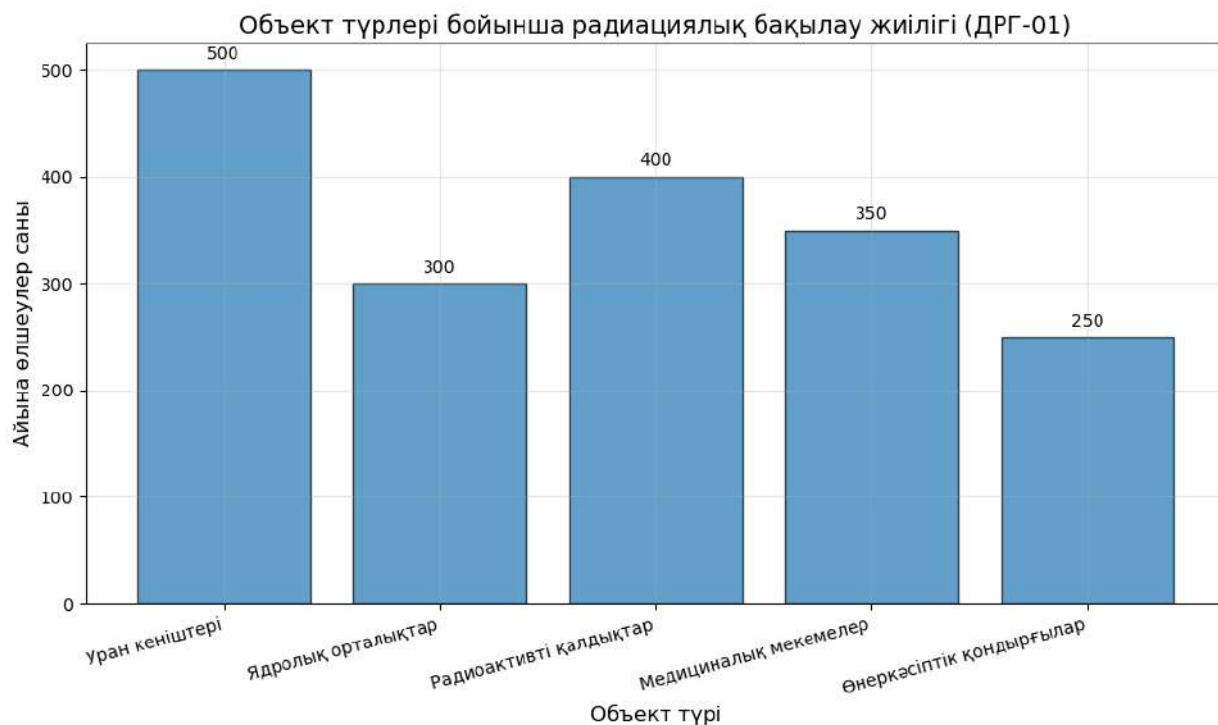
Радиоактивті қалдықтарды сақтау орындары Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің ерекше назар аударуды қажет ететін объектілерінің бірі болып табылады. Семей ядролық полигоны, онда 1949–1989 жылдар аралығында 456 ядролық сынақ жүргізілген, радиоактивті қалдықтардың негізгі көзі болып қала береді. Полигон аумағындағы «БалАРАН» және «Сары-Үзен» сияқты сынақ алаңдары, сондай-ақ

радиоактивті ластанған топырақ пен материалдар сақталатын қоймалар қоршаған ортаға радионуклидтердің таралуын болдырмау үшін қатаң бақылауды талап етеді. Сонымен қатар, Байқоңыр ғарыш айлағындағы радиациялық қалдықтар және уран өндірісінің нәтижесінде пайда болған қалдықтарды сақтау орындары да маңызды объектілерге жатады. ДРГ– 01 дозиметрі мұндай нысандарда радиациялық фонды бақылау үшін қолданылады, бұл қоршаған ортаның ластану деңгейін анықтауға және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Мысалы, Семей полигоны аумағындағы бақылау пункттерінде ДРГ–01 көмегімен радиациялық фонның деңгейі үнемі өлшенеді, бұл деректер экологиялық мониторинг және қалпына келтіру шараларын жоспарлау үшін пайдаланылады.

Медициналық мекемелер радиациялық қауіпсіздіктің тағы бір маңызды саласын құрайды. Қазақстандағы онкологиялық орталықтар, әсіресе Алматы, Астана және Шымкент қалаларында орналасқан ірі медициналық орталықтар, радиодиагностика және радиотерапия үшін кеңінен қолданылатын жабдықтармен жабдықталған. Компьютерлік томография аппараттары, рентген жабдықтары және гамма–терапиялық қондырғылар пациенттерді диагностикалау және емдеу кезінде иондаушы сәулеленуді пайдаланады. Бұл жабдықтардың қауіпсіз жұмыс істеуі және медициналық персонал мен пациенттердің сәулелену дозасын бақылау радиациялық қауіпсіздіктің маңызды міндеті болып табылады. ДРГ–01 дозиметрі рентген кабинеттерінде және радиотерапия бөлмелерінде радиациялық фонды өлшеу үшін қолданылады. Оның портативтілігі және өлшеудің жоғары дәлдігі медициналық мекемелерде радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуді жеңілдетеді. Мысалы, Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми–зерттеу институтында ДРГ–01 радиотерапиялық жабдықтардың айналасындағы радиациялық деңгейді бақылау үшін қолданылады, бұл персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді және пациенттердің артық сәулеленуін болдырмайды.

Өнеркәсіптік және ғылыми қондырғылар да радиациялық қауіпсіздіктің маңызды объектілеріне жатады. Мұнай–газ өнеркәсібінде, әсіресе Атырау және Маңғыстау облыстарында, құбырлар мен жабдықтардың сапасын тексеру үшін радиографиялық дефектоскопия кеңінен қолданылады. Бұл процесте гамма–сәулеленуді шығаратын изотоптар, мысалы, кобальт–60 немесе иридий–192, пайдаланылады, бұл радиациялық бақылаудың қатаң шараларын талап етеді. ДРГ–01 дозиметрі мұндай жұмыстар кезінде операторлардың сәулелену деңгейін бақылау үшін қолданылады, бұл радиациялық қауіпсіздіктің нормативтік талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, геологиялық барлау кезінде радиациялық әдістер, мысалы, гамма–каротаж, тау жыныстарының құрамын анықтау үшін қолданылады. Бұл процестерде де ДРГ– 01 радиациялық фонды бақылау үшін тиімді құрал ретінде қызмет етеді. Материалтану саласында, әсіресе Ядролық физика институтының зертханаларында, радиациялық

технологиялар материалдардың қасиеттерін зерттеу үшін қолданылады, және ДРГ–01 зерттеушілердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады.



Сурет 1 – Объект түрлері бойынша радиациялық бақылау жиілігі

Төмендегі кесте радиациялық қауіпсіздік объектілерінің түрлерін, олардың мысалдарын, радиациялық қауіптерін және ДРГ–01 дозиметрінің қолданылуын сипаттайды.

Кесте 1 – Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің негізгі объектілері

Объект түрі	Мысалдар	Радиациялық қауіптер	ДРГ-01 дозиметрінің қолданылуы
Уран кеніштері және өңдеу кәсіпорындары	Инкай, Мойынқұм кеніштері (Түркістан, Қызылорда, Ақмола облыстары)	Гамма сәулелену, радон газының көлем белсенділігі	Жұмысшылардың сәулелену деңгейін және қоршаған ортаның радиациялық фонын бақылау
Ядролық зерттеу орталықтары	Ядролық физика институты, Ұлттық ядролық орталық	Реакторлардан шығатын гамма-сәулелену, радионуклидтердің ықтимал таралуы	Реакторлардың жұмыс аймақтары мен зертханаларда гамма-сәулеленудің доза

			қуатын өлшеу
Радиоактивті қалдықтарды сақтау орындары	Семей полигоны, Байқоңыр ғарыш айлағы	Радионуклидтердің қоршаған ортаға таралуы, радиоактивті ластанған топырақ және материалдар	Радиациялық фонды бақылау, экологиялық мониторинг және қалпына келтіру шараларын жоспарлау
Өнеркәсіптік және ғылыми қондырғылар	Мұнай-газ ісі өнеркәсібі (Атырау, Маңғыста), геологиялық барлау, материалтану	Радиографиялық дефектоскопия (кобальт-60, иридий-192), гамма-каротаж	Операторлардың сәулелену деңгейін бақылау, радиациялық фонды өлшеу және нормативтік сәйкестіктерді қамтамасыз ету

Бұл объектілердің барлығы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін иондаушы сәулеленудің дәл өлшенуіне тәуелді. ДРГ–01 дозиметрінің қолданылуы радиациялық бақылаудың тиімділігін арттырады, өйткені ол әртүрлі орталарда – өндірістік нысандардан бастап ғылыми зертханаларға дейін – сенімді өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Оның техникалық сипаттамалары, соның ішінде кең өлшеу диапазоны және қатал жағдайларда жұмыс істеу қабілеті, оны Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық жүйесінің ажырамас бөлігіне айналдырады. ДРГ–01 көмегімен алынған өлшеу нәтижелері персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге, қоршаған ортаның радиациялық ластануын бақылауға және радиациялық апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді, бұл Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі халықаралық міндеттемелеріне сәйкес келеді.

Метрологиялық негіз және ДРГ–01 дозиметрінің рөлі

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізі иондаушы сәулеленудің физикалық шамаларын – сіңірілген дозаны, эквивалентті дозаны, доза қуатын және радиоактивті заттардың белсенділігін – дәл және сенімді өлшеуге негізделген метрологиялық жүйе болып табылады. Метрологиялық өлшеулердің дәлдігі радиациялық бақылаудың тиімділігін, нормативтік-құқықтық талаптардың сақталуын және халық пен қоршаған ортаның қауіпсіздігін анықтайды. Иондаушы сәулеленуді өлшеу екі негізгі бағыт бойынша жүзеге асырылады: дозиметрия және радиометрия. Дозиметрия персоналдың және халықтың сәулелену дозасын бағалауға бағытталған, бұл радиациялық объектілерде, мысалы, уран кеніштерінде немесе медициналық мекемелерде, қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін маңызды. Радиометрия қоршаған ортадағы радионуклидтердің белсенділігін,

мысалы, радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарындағы немесе өнеркәсіптік нысандардағы ластануды анықтауға мүмкіндік береді. Бұл өлшеулердің сенімділігі метрологиялық құралдардың дәлдігіне және олардың мемлекеттік немесе халықаралық эталондарға сәйкес калибрленуіне тікелей байланысты.

Метрологиялық жүйенің тиімділігі өлшеу құралдарының техникалық мүмкіндіктеріне және олардың әртүрлі радиациялық орталарда қолданылуына негізделеді. Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаратын құралдардың бірі – ДРГ–01 дозиметрі (1–сурет). Бұл портативті құрал гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеуге арналған және өзінің жоғары сезімталдығы, қолданудың қарапайымдылығы мен сенімділігімен ерекшеленеді. ДРГ–01–дің техникалық сипаттамалары оны әртүрлі радиациялық объектілерде – уран кеніштерінен бастап ядролық зерттеу орталықтарына және медициналық мекемелерге дейін – қолдануға мүмкіндік береді. Құрал 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейінгі кең диапазонда гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшей алады, бұл оны төмен деңгейлі радиациялық фонды (мысалы, медициналық кабинеттерде) және жоғары радиациялық қауіпті орталарды (мысалы, уран кеніштерінде) бақылау үшін әмбебап етеді. Сонымен қатар, ДРГ– 01 қатал климаттық жағдайларда, мысалы, Қазақстанның шөлді және құрғақ аймақтарында, сенімді жұмыс істеуге қабілетті, бұл оны өнеркәсіптік және далалық жағдайларда қолдануға өте қолайлы етеді.



Сурет 2 – ДРГ–01 дозиметрі

ДРГ–01 дозиметрінің қолданылу аясы

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің әртүрлі салаларын қамтиды. Уран кеніштерінде, мысалы, Түркістан облысындағы Инкай және Мойынқұм кеніштерінде, ДРГ–01 жұмысшылардың сәулелену деңгейін бақылау үшін қолданылады. Бұл кеніштерде уран өндірісі кезінде гамма–сәулелену және

радон газы сияқты радиациялық қауіптер туындайды, сондықтан ДРГ–01 көмегімен жүргізілген үнемі өлшеулер персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және радиациялық нормалардың сақталуын бақылауға мүмкіндік береді. Медициналық мекемелерде, әсіресе Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми–зерттеу институтында, ДРГ–01 рентген кабинеттерінде және радиотерапия бөлмелерінде радиациялық фонды өлшеу үшін пайдаланылады. Бұл құрал медициналық персоналдың және пациенттердің сәулелену дозасын бақылауға, сондай-ақ радиодиагностикалық жабдықтардың қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз етуге көмектеседі. Ядролық зерттеу орталықтарында, мысалы, Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталықта, ДРГ–01 зерттеу реакторларының жұмыс аймақтарында гамма–сәулеленудің деңгейін бақылау үшін қолданылады, бұл зерттеушілердің қауіпсіздігін және радиациялық инциденттердің алдын алуға ықпал етеді.

ДРГ–01 дозиметрінің сенімділігі оның мемлекеттік эталондарға сәйкес мұқият калибрленуімен қамтамасыз етіледі. Қазақстанда иондаушы сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының базасында сақталады. Бұл эталон халықаралық метрологиялық стандарттарға сәйкес калибрленеді және ДРГ–01 сияқты өлшеу құралдарының дәлдігін тексеру үшін қолданылады. Калибрлеу процесі өлшеу нәтижелерінің прослеживаемостығын – яғни, олардың ұлттық және халықаралық эталондарға сәйкестігін – қамтамасыз етеді. Мысалы, ДРГ–01 құралдары «ҚазСтандарт» зертханаларында мерзімді түрде тексеріледі, бұл олардың өлшеу дәлдігін және нормативтік талаптарға сәйкестігін растайды. Бұл процесс әсіресе халықаралық стандарттарға, соның ішінде Халықаралық атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) талаптарына сәйкес радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін маңызды.

ДРГ–01 дозиметрінің артықшылықтары оның әмбебаптығы мен қолжетімділігінде ғана емес, сонымен қатар оның радиациялық қауіпсіздіктің кешенді жүйесіндегі рөлінде. Бұл құрал радиациялық объектілердегі өлшеулерді жедел жүргізуге мүмкіндік береді, бұл радиациялық апаттардың алдын алу және қоршаған ортаның ластануын бақылау үшін өте маңызды. Мысалы, Семей полигоны сияқты радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарында ДРГ–01 радиациялық фонның деңгейін үнемі өлшеу арқылы экологиялық мониторингке ықпал етеді. Сонымен қатар, ДРГ–01–дің қарапайым интерфейсі мен портативтілігі оны радиациялық бақылаумен айналысатын мамандар үшін қолдануға ыңғайлы етеді, бұл өлшеу процесін тездетеді және деректерді жинаудың тиімділігін арттырады.

Метрологиялық жүйенің дамуы және ДРГ–01 сияқты құралдардың кеңінен қолданылуы Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі міндеттемелерін күшейтеді. Алайда, метрологиялық инфрақұрылымды одан әрі жетілдіру қажеттілігі сақталуда. Мысалы, радиометриялық өлшеулер үшін эталондардың шектеулі болуы және калибрлеу орталықтарының техникалық мүмкіндіктерінің жеткіліксіздігі өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуына кедергі келтіруі

мүмкін. Осыған байланысты ДРГ–01 сияқты құралдардың рөлін күшейту және олардың халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз ету радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізін нығайту үшін маңызды қадам болып табылады.

ДРГ–01 дозиметрінің өлшеу диапазоны

ДРГ–01 дозиметрі – радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық жүйесінде маңызды рөл атқаратын жоғары дәлдіктегі портативті құрал. Ол гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 микрозиверт сағатына (мкЗв/сағ) бастап 100 миллизиверт сағатына (мЗв/сағ) дейінгі кең диапазонда өлшейді. Бұл диапазон құралдың әмбебаптығын қамтамасыз етеді, өйткені ол радиациялық фонның әртүрлі деңгейлерін – төмен интенсивті орталардан бастап (мысалы, медициналық кабинеттердегі 0,1–1 мкЗв/сағ) жоғары қауіпті аймақтарға дейін (мысалы, уран кеніштеріндегі 10–100 мЗв/сағ) – дәл бағалауға қабілетті. Мұндай техникалық мүмкіндіктер ДРГ–01–ді Қазақстандағы радиациялық бақылаудың негізгі құралына айналдырады, ол әртүрлі орталарда – өнеркәсіптік нысандардан зертханалық жағдайларға дейін – тиімді қолданылады. Құралдың өлшеу диапазоны оның қолданылу аясын айтарлықтай кеңейтеді. Мысалы, Қызылорда облысындағы Инкай кенішінде ДРГ–01 уран өндірісі кезінде жұмысшылардың гамма–сәулелену дозасын бақылау үшін қолданылады. Бұл кеніште радиациялық фон 10 мкЗв/сағ–тан 50 мЗв/сағ–қа дейін ауытқиды, ал ДРГ–01 өлшеулері жылдық эквивалентті дозаның 20 мЗв–тан аспауын қамтамасыз етеді, бұл Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің санитариялық қағидаларына сәйкес. Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми–зерттеу институтында құрал рентген және радиотерапия кабинеттерінде радиациялық фонды бағалау үшін пайдаланылады, мұнда фон әдетте 0,5–2 мкЗв/сағ аралығында болады. Бұл өлшеулер медициналық персоналдың және пациенттердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге, сондай–ақ артық сәулеленуді болдырмауға мүмкіндік береді. Семипалатинск полигонының аумағында, әсіресе «БалАРАН» және «Сары–Үзен» сынақ алаңдарында, ДРГ–01 экологиялық мониторинг үшін қолданылады, онда радиациялық фон 0,2–10 мкЗв/сағ аралығында ауытқиды. Мұндай өлшеулер радионуклидтердің (цезий–137, стронций–90) таралуын бағалау және қалпына келтіру шараларын жоспарлау үшін маңызды.

ДРГ–01 дозиметрінің кең диапазоны оның техникалық конструкциясымен және жоғары сезімтал газоразрядты санағышымен (Гейгер–Мюллер түтігі) байланысты. Бұл құрал төмен радиациялық фонды өлшеу кезінде жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді, ал жоғары қарқынды сәулелену жағдайларында тұрақты өлшеулерді жүзеге асырады. Құралдың далалық жағдайларда қолданылуға бейімделгендігі – оның маңызды артықшылығы. Мысалы, Қазақстанның шөлді және құрғақ аймақтарында, әсіресе уран кеніштерінде, температураның күрт ауытқуы және шаңды орта құралдың жұмысына кедергі келтіруі мүмкін. Дегенмен, ДРГ–01–дің қатал климаттық жағдайларда сенімді жұмыс істеу қабілеті оны осындай орталарда

тиімді етеді. Зертханалық жағдайларда, мысалы, Алматыдағы Ядролық физика институтында, құрал радиациялық технологияларды зерттеу кезінде дәл өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді, бұл зерттеушілердің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

ДРГ–01–дің өлшеу диапазонының әмбебаптығы оның радиациялық қауіпсіздіктің әртүрлі салаларында қолданылуын қамтамасыз етеді. Ол тек өнеркәсіптік және медициналық нысандарда ғана емес, сонымен қатар экологиялық мониторинг және ғылыми зерттеулерде де маңызды рөл атқарады. Мысалы, Курчатовағы Ұлттық ядролық орталықта ДРГ–01 ИГР зерттеу реакторының жұмыс аймақтарында гамма–сәулеленудің деңгейін бағалау үшін пайдаланылады, мұнда радиациялық фон 1–50 мкЗв/сағ аралығында болуы мүмкін. Бұл өлшеулер реактордың қауіпсіз жұмысын және зерттеушілердің радиациялық қорғалуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, ДРГ–01–дің батареямен ұзақ уақыт жұмыс істеу қабілеті және портативтілігі оны далалық экспедицияларда, әсіресе шалғай аймақтарда қолдануға ыңғайлы етеді.

Құралдың өлшеу диапазонының тиімділігі оның калибрлеу процесімен тығыз байланысты. ДРГ–01 Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасында сақталатын гамма–сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталонына сәйкес тексеріледі. Эталонның өлшеу диапазоны (0,01 мкЗв/сағ – 10 Зв/сағ) және $\pm 0,5\%$ дәлдігі (2023 жылы ВІРМ салыстыруларында расталған) ДРГ–01–дің өлшеулерінің сенімділігін қамтамасыз етеді. Бұл процесс өлшеудің бақылану түрінің тізбегін нығайтады, яғни өлшеу нәтижелерінің ұлттық және халықаралық стандарттарға сәйкестігін растайды.

Кесте 2 – ДРГ-01 дозимтерінің өлшеу диапазоны және қолданылуы

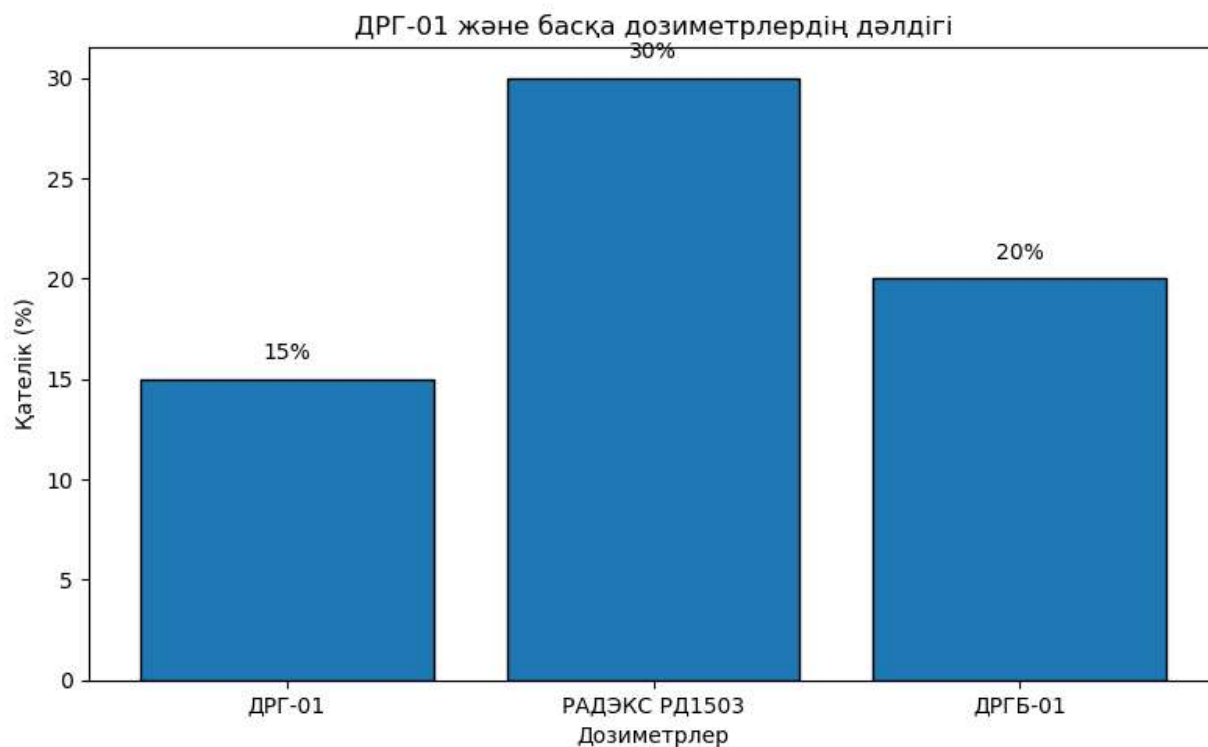
Параметр	Сипаттама
Диапазон	0,1 мкЗв/сағ – 100 мЗв/сағ, гамма-сәулеленудің доза қуатын өлшеуге арналған құрал
Техникалық ерекшеліктер	Төмен (0,1-1 мкЗв/сағ) және жоғары (10-100 мкЗв/сағ) радиациялық фонды бақылау
Қолданылу мысалдары	Инкай кеніші (20 мкЗв/жыл шегі), Алматы онкология институты (0,5-2 мкЗв/сағ), Семей полигоны (0,2-10 мкЗв/сағ)
Артықшылықтары	Далалық (шөлді аймақтар) және зертханалық (ЯФИ, ҰЯО) жағдайларда әмбебаптық

Радиациялық қауіпсіздіктің құқықтық негіздерін реттейтін тағы бір маңызды құжат – 1998 жылы қабылданған «Радиациялық қауіпсіздік туралы» Қазақстан Республикасының Заңы. Бұл заң радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің құқықтық және ұйымдастырушылық негіздерін белгілейді, мемлекеттік бақылау органдарының міндеттерін және радиациялық нысандардың операторларына қойылатын талаптарды

нақтылайды. Заң радиациялық бақылаудың барлық аспектілерін, соның ішінде өлшеу құралдарының дәлдігін тексеруді, персоналдың сәулелену дозасын бақылауды және қоршаған ортаның радиациялық ластануын болдырмауды қамтиды. Осы заңның талаптарына сәйкес, ДРГ–01 сияқты өлшеу құралдары мемлекеттік эталондарға сәйкес калибрленіп, нормативтік шектерге сәйкестігі тексеріледі. Мысалы, Түркістан облысындағы Инкай кенішінде ДРГ–01 арқылы жүргізілген өлшеулер заңда белгіленген 20 мЗв/жыл шегін сақтауды қамтамасыз етеді, бұл жұмысшылардың денсаулығын қорғауға ықпал етеді.

Кесте 3 – ДРГ-01 дозиметрінің дәлдігі және өлшенетін шамалар

Параметр	Сипаттама
Өлшенетін шама	Гамма-сәулеленудің доза қуаты (мкЗв/сағ), кей модельдерде жинақталған доза (мЗв)
Дәлдік	15% қателік (0,1-100 мЗв/сағ), төмен диапазонда 20% дейін, ГОСТ
Техникалық негіз	Газоразрядты санағыш (Гейгер-Мюллер), жоғары сезімтал электроника
Қолданылудағы маңызы	Инкай кеніші (20 мЗв/жыл), Алматы онкология институты (0,5-2 мкЗв/сағ), Семей полигоны (цезий-137 бағалау)



3-сурет – ДРГ-01 және басқа дозиметрлердің дәлдігі

Қазақстанның халықаралық міндеттемелері радиациялық қауіпсіздіктің нормативтік базасын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Еліміз Халықаралық атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) мүшесі ретінде радиациялық қорғау және өлшеу құралдарының калибрлеу жүйесіне қатысты халықаралық стандарттарды сақтауға міндетті. МАГАТЭ-нің GSR Part 3 стандарты радиациялық қауіпсіздіктің халықаралық талаптарын анықтайды, оның ішінде өлшеу құралдарының дәлдігі, эталондардың бақылану түрі және радиациялық бақылаудың процедуралары қамтылады. Қазақстан осы стандарттарға сәйкес ұлттық ережелерді әзірлеп, метрологиялық жүйесін халықаралық талаптарға бейімдейді. Мысалы, ДРГ-01 дозиметрінің өлшеу дәлдігі ($\pm 15\%$) және оның «ҚазСтандарт» зертханасындағы мемлекеттік эталонға сәйкес калибрленуі МАГАТЭ стандарттарына сәйкес келеді. Бұл процесс өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын қамтамасыз етеді, әсіресе уран экспорты және халықаралық есептерді дайындау кезінде маңызды.

ДРГ-01 сияқты өлшеу құралдарының нормативтік талаптарға сәйкестігі Алматыдағы «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының метрологиялық зертханаларында жүргізілетін калибрлеу процесі арқылы қамтамасыз етіледі. Бұл зертханада гамма-сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны сақталады, оның өлшеу диапазоны 0,01 мкЗв/сағ-тан 10 Зв/сағ-қа дейін жетеді. Эталон кобальт-60 және цезий-137 сияқты радиоактивті көздерді пайдаланады, олар дәл және тұрақты гамма-сәулеленуді қамтамасыз етеді. 2023 жылы Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен (BIPM) жүргізілген салыстыруларда эталон $\pm 0,5\%$ дәлдікпен расталды, бұл оның жоғары сенімділігін және халықаралық стандарттарға сәйкестігін көрсетеді. ДРГ-01 дозиметрі осы эталонға сәйкес жыл сайын тексеріледі, бұл оның $\pm 15\%$ қателікпен өлшеу дәлдігін сақтауға мүмкіндік береді. Калибрлеу процесі өлшеудің бақылану түрінің тізбегін (BIPM → ҚазСтандарт → Калибрлеу зертханасы → ДРГ-01) нығайтады, бұл өлшеу нәтижелерінің сенімділігін және нормативтік талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етеді.

Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудегі нормативтік-құқықтық базасы тек ішкі талаптармен шектелмей, халықаралық деңгейдегі міндеттемелермен де тығыз байланысты. МАГАТЭ-нің стандарттарына сәйкес, өлшеу құралдарының калибрлеуі және радиациялық бақылаудың процедуралары халықаралық эталондарға сәйкес болуы тиіс. ДРГ-01 дозиметрінің «ҚазСтандарт» зертханасында калибрленуі осы талаптарды орындаудың маңызды бөлігі болып табылады. Мысалы, Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми-зерттеу институтында ДРГ-01 арқылы өлшенген радиациялық фонның нәтижелері МАГАТЭ-нің радиациялық қорғау стандарттарына сәйкес персонал мен пациенттердің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, Семипалатинск полигонындағы экологиялық мониторинг кезінде ДРГ-01 деректері

халықаралық есептерде қолданылады, бұл өлшеудің бақылану түрінің маңыздылығын және нормативтік базаның рөлін көрсетеді.

Нормативтік–құқықтық базаның тиімділігі радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізімен тығыз байланысты. ДРГ–01 сияқты құралдардың дәлдігі мен сенімділігі санитариялық нормалардың, заңнамалық талаптардың және халықаралық стандарттардың сақталуын қамтамасыз етеді. Алайда, радиометриялық өлшеулер үшін эталондардың шектеулі болуы және калибрлеу зертханаларының аймақтық қолжетімділігінің төмендігі нормативтік талаптарды толық іске асыруға кедергі келтіруі мүмкін. Мысалы, Қызылорда облысындағы уран кеніштеріндегі ДРГ–01 құралдарының калибрлеуі үшін Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасына тасымалдау қажет, бұл уақыт пен қаржылық шығындарды талап етеді. Осы мәселелерді шешу үшін нормативтік базаға облыстық калибрлеу орталықтарын дамыту және радиометриялық эталондарды әзірлеу жөніндегі ұсыныстарды енгізу қажет. Бұл шаралар радиациялық қауіпсіздіктің сенімділігін арттырып, Қазақстанның халықаралық стандарттарға сәйкестігін нығайтады.

Жалпы, Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің нормативтік–құқықтық базасы радиациялық бақылаудың барлық аспектілерін реттейтін кешенді жүйе болып табылады. Санитариялық қағидалар, «Радиациялық қауіпсіздік туралы» заң және МАГАТЭ стандарттары радиациялық объектілердің қауіпсіздігін және өлшеу құралдарының дәлдігін қамтамасыз етеді. ДРГ–01 дозиметрінің «ҚазСтандарт» зертханасында калибрленуі осы базаның маңызды бөлігі болып табылады, өйткені ол өлшеудің бақылану түрінің тізбегін нығайтып, радиациялық қауіпсіздіктің сенімділігін арттырады. Нормативтік базаны одан әрі жетілдіру және метрологиялық инфрақұрылымды дамыту еліміздің радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі міндеттемелерін күшейтеді.

Радиациялық қауіпсіздіктің қиындықтары және метрологиялық шешімдер

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету – тарихи, экономикалық және әлеуметтік факторлармен тығыз байланысты күрделі міндет, ол ұлттық қауіпсіздіктің, халық денсаулығының және қоршаған ортаның экологиялық тұрақтылығының негізгі элементі болып табылады. Еліміздің 1949–1989 жылдар аралығында Семипалатинск ядролық полигонында жүргізілген 456 ядролық сынақтың ауыр мұрасы, әлемдегі ең ірі уран өндірушілердің бірі ретіндегі рөлі, сондай-ақ ядролық медицина мен өнеркәсіпте иондаушы сәулеленудің кең қолданылуы радиациялық бақылаудың дәл және сенімді жүйесін талап етеді. Алайда, бұл салада бірқатар күрделі қиындықтар бар, оларды шешу метрологиялық инфрақұрылымды дамытуға, халықаралық стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз етуге және мамандардың біліктілігін арттыруға байланысты. Осы қиындықтарды жеңу үшін метрологиялық шешімдер маңызды рөл атқарады,

әсіресе ДРГ–01 сияқты құралдардың қолжетімділігі мен дәлдігі радиациялық қауіпсіздіктің тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің ең маңызды қиындықтарының бірі – ядролық сынақтардың ұзақ мерзімді салдары және радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарымен байланысты мәселелер. Семипалатинск полигонының аумағында, әсіресе «БалАРАН» және «Сары– Үзен» сияқты сынақ алаңдарында, цезий–137 және стронций–90 сияқты радионуклидтердің жоғары концентрациясы қоршаған ортаға және жергілікті халыққа әлі күнге дейін қауіп төндіреді. Бұл аймақтарда радиациялық фонды бақылау және экологиялық қалпына келтіру шараларын жүргізу ұзақ мерзімді және күрделі міндет болып табылады. Радиоактивті қалдықтарды сақтау орындары, соның ішінде уран өндірісінің қалдықтары және Байқоңыр ғарыш айлағына қатысты материалдар, қатаң бақылауды және радионуклидтердің қоршаған ортаға таралуын болдырмау үшін тиісті өлшеу жүйесін қажет етеді. ДРГ–01 дозиметрі сияқты құралдар осы мақсатта кеңінен қолданылады, ол гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейінгі диапазонда $\pm 15\%$ дәлдікпен өлшейді. Алайда, радиометриялық өлшеулер үшін эталондардың жетіспеушілігі және аймақтық калибрлеу зертханаларының шектеулі қолжетімділігі осы процесті қиындатады, әсіресе Шығыс Қазақстан және Қызылорда облыстарында.

Радиациялық объектілердің санының артуы метрологиялық инфрақұрылымға қосымша жүктеме түсіреді, бұл радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің тағы бір күрделі мәселесі болып табылады. Соңғы жылдары ядролық медицина орталықтарының, әсіресе Алматы, Астана және Шымкент қалаларындағы онкологиялық мекемелердің дамуы радиодиагностикалық және радиотерапиялық жабдықтардың қолданылуын арттырды. Бұл жабдықтар рентген және гамма–сәулеленуді пайдаланады, сондықтан медициналық персонал мен пациенттердің сәулелену дозасын дәл бақылау қажет. Мысалы, Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми–зерттеу институтында ДРГ– 01 дозиметрі рентген кабинеттерінде радиациялық фонды өлшеу үшін қолданылады, бұл персоналдың жылдық эквивалентті дозасын 20 мЗв–тан және халық үшін 1 мЗв–тан аспауын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, мұнай–газ өнеркәсібінде (Атырау, Маңғыстау облыстары) радиографиялық дефектоскопия үшін иридий–192 сияқты изотоптардың қолданылуы радиациялық бақылаудың көлемін ұлғайтады. Бұл нысандардың өсуі метрологиялық зертханалардың техникалық мүмкіндіктерін және өлшеу құралдарының қолжетімділігін арттыруды талап етеді, әйтпесе калибрлеу уақытылы жүргізілмеуі мүмкін.

Өлшеу құралдарының халықаралық деңгейде танылуын қамтамасыз ету үшін өлшеудің бақылану түрінің (прослеживаемость) жетілдірілмегендігі радиациялық қауіпсіздіктің тағы бір маңызды қиындығы болып табылады. ДРГ– 01 дозиметрі Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасында мемлекеттік эталонға (0,01 мкЗв/сағ – 10 Зв/сағ) сәйкес калибрленеді, ол 2023 жылы ВІРМ салыстыруларында $\pm 0,5\%$ дәлдікпен расталған. Алайда, радиометриялық

өлшеулер (альфа және бета сәулелену) үшін эталондардың болмауы және халықаралық салыстырулардың сиректігі өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын шектейді. Мысалы, Семипалатинск полигонында цезий–137 деңгейін бағалау кезінде ДРГ–01 өлшеулері МАГАТЭ есептерінде қолданылады, бірақ радиометриялық эталондардың жетіспеушілігі деректердің толық сәйкестігін қиындатады. Бұл мәселе Қазақстанның уран экспорты және халықаралық ынтымақтастығы үшін маңызды, өйткені өлшеу нәтижелерінің сенімділігі халықаралық серіктестердің сеніміне тікелей әсер етеді.

Метрологиялық шешімдер осы қиындықтарды жеңуге бағытталған және радиациялық қауіпсіздіктің тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. ДРГ–01 сияқты өлшеу құралдарының қолжетімділігі және олардың мемлекеттік эталонға сәйкес калибрленуі радиациялық бақылаудың дәлдігін қамтамасыз етеді. ДРГ–01 дозиметрі гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейін $\pm 15\%$ дәлдікпен өлшейді, бұл оны уран кеніштерінде, медициналық мекемелерде және экологиялық мониторингте әмбебап құрал етеді. Мысалы, Инкай кенішінде ДРГ–01 арқылы жүргізілген өлшеулер жұмысшылардың сәулелену дозасын нормативтік шектерде (20 мЗв/жыл) ұстауға мүмкіндік береді, ал Семей полигонында радиациялық фонды бағалау экологиялық қалпына келтіру шараларын жоспарлауға ықпал етеді. ДРГ–01–дің портативтілігі, қатал климаттық жағдайларда (мысалы, шөлді аймақтарда) сенімді жұмыс істеу қабілеті және жоғары сезімталдығы оны радиациялық бақылаудың ажырамас бөлігіне айналдырады.

Метрологиялық зертханалардың техникалық базасын жаңғырту радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізін нығайтуға бағытталған маңызды шешім болып табылады. Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасы соңғы жылдары заманауи жабдықтармен, соның ішінде гамма–сәулеленудің дәл көздерін және калибрлеу камераларын қамтамасыз ететін технологиялармен жабдықталды. 2023 жылы бұл зертхана калибрлеу уақытын 30%–ға қысқартты, бұл ДРГ–01 сияқты құралдардың уақытылы тексерілуін жеңілдетті. Алайда, облыстық деңгейде калибрлеу зертханаларының шектеулі болуы, әсіресе Қызылорда және Шығыс Қазақстан облыстарында, метрологиялық инфрақұрылымның тиімділігін төмендетеді. Мысалы, Инкай кенішіндегі ДРГ–01 құралдарының калибрлеуі үшін Алматыға тасымалдау қажет, бұл уақыт пен қаржылық шығындарды арттырады. Осы мәселені шешу үшін облыстық калибрлеу орталықтарын ашу және оларды заманауи жабдықтармен қамтамасыз ету ұсынылады, бұл радиациялық бақылаудың қолжетімділігін және тиімділігін арттырады.

Мамандардың біліктілігін арттыру және халықаралық метрологиялық ұйымдармен ынтымақтастық радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізін дамытудың маңызды аспектілері болып табылады. Метрология және радиациялық қауіпсіздік саласындағы білікті кадрлардың жетіспеушілігі өлшеудің бақылану түрінің тиімділігін төмендетеді. МАГАТЭ–нің 2024

жылғы оқу бағдарламасына 10 қазақстандық маман қатысты, бірақ бұл жеткіліксіз. Халықаралық тәжірибе алмасу және жергілікті оқу бағдарламаларын МАГАТЭ мен ВІРМ стандарттарына сәйкестендіру мамандардың біліктілігін арттыруға ықпал етеді. Халықаралық ынтымақтастық, әсіресе МАГАТЭ-нің 2024 жылы бастаған радиометриялық эталондарды әзірлеу жобасы және 2025 жылы жоспарланған ВІРМ салыстырулары, өлшеу нәтижелерінің халықаралық танылуын күшейтеді. Мысалы, ДРГ-01 өлшеулерінің МАГАТЭ есептерінде қолданылуы Қазақстанның радиациялық қауіпсіздік саласындағы беделін арттырады.

Қорытындылай келе, Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік – тарихи мұра, экономикалық басымдықтар және әлеуметтік жауапкершілікпен байланысты күрделі мәселе. Ядролық сынақтардың салдары, радиациялық объектілердің өсуі және халықаралық танылу қажеттілігі метрологиялық инфрақұрылымға айтарлықтай талаптар қояды. ДРГ-01 дозиметрі сияқты метрологиялық құралдар радиациялық бақылаудың тиімділігін қамтамасыз етеді, ал метрологиялық зертханаларды жаңғырту, мамандарды оқыту және халықаралық ынтымақтастық осы қиындықтарды шешуге бағытталған негізгі шешімдер болып табылады. Бұл шаралар Қазақстанның ядролық және экологиялық қауіпсіздігін нығайтып, халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етеді, осылайша еліміздің радиациялық қауіпсіздік саласындағы беделін арттырады.

2 ИОНДАУШЫ СӘУЛЕЛЕНУДІ ӨЛШЕУДІҢ НЕГІЗГІ БАҒЫТТАРЫНА ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ӨЛШЕУГЕ МҮМКІНДІКТЕРІ

ДРГ–01 дозиметрі Қазақстандағы радиациялық объектілерде кеңінен қолданылады. Мысалы, Түркістан облысындағы Инкай және Мойынқұм кеніштерінде, «Қазатомөнеркәсіп» ұлттық компаниясы басқаратын уран өндірісі кезінде, ДРГ–01 жұмысшылардың гамма–сәулелену деңгейін бақылау үшін пайдаланылады. Бұл кеніштер жылына мыңдаған тонна уран өндіреді, және радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін үнемі өлшеулер жүргізу қажет. ДРГ–01 арқылы алынған деректер персоналдың сәулелену дозасын нормативтік шектерде (жылдық эквивалентті доза 20 мЗв–тан аспауы керек) ұстауға және радиациялық инциденттердің алдын алуға мүмкіндік береді. Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми–зерттеу институты сияқты медициналық мекемелерде ДРГ–01 рентген және радиотерапия кабинеттерінде радиациялық фонды өлшеу үшін қолданылады. Бұл құрал рентген аппараттары мен гамма–терапиялық қондырғылардың айналасындағы сәулелену деңгейін бақылауға, сондай–ақ медициналық персонал мен пациенттердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге көмектеседі. Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталықта ДРГ– 01 зерттеу реакторларының, мысалы, ИГР реакторының жұмыс аймақтарында гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеу үшін қолданылады, бұл зерттеушілердің радиациялық қауіптен қорғалуын қамтамасыз етеді.

ДРГ–01 дозиметрінің сенімділігі оның «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының базасындағы мемлекеттік эталондарға сәйкес мұқият калибрленуімен қамтамасыз етіледі. Қазақстанда иондаушы сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны сақталады, ол Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросының (BIPM) стандарттарына сәйкес тексеріледі. Калибрлеу процесі ДРГ–01–дің өлшеу нәтижелерінің прослеживаемостығын – яғни, олардың ұлттық және халықаралық эталондарға сәйкестігін – қамтамасыз етеді. Мысалы, ДРГ–01 құралдары «ҚазСтандарт» зертханаларында жыл сайын тексеріледі, бұл олардың дәлдігін және Қазақстанның радиациялық қауіпсіздік туралы заңнамасына, сондай–ақ Халықаралық атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) талаптарына сәйкестігін растайды. Бұл процесс әсіресе халықаралық деңгейде танылуды қамтамасыз ету үшін маңызды, өйткені Қазақстан әлемдегі уран өндірісінің көшбасшысы ретінде радиациялық қауіпсіздіктің жоғары стандарттарын сақтауға міндетті.

Дозиметриялық бақылаудың тиімділігі ДРГ–01 сияқты құралдардың техникалық мүмкіндіктерімен ғана емес, сонымен қатар метрологиялық инфрақұрылымның даму деңгейімен анықталады. Қазақстанда «ҚазСтандарт» және «ҚазСтандарт» сияқты мекемелер өлшеу құралдарын калибрлеу және стандарттау бойынша қызметтерді ұсынады, бірақ калибрлеу

орталықтарының саны мен олардың техникалық жабдықталуы әлі де жетілдіруді қажет етеді.

Мысалы, облыстық деңгейде калибрлеу зертханаларының шектеулі болуы құралдарды тексерудің уақтылы жүргізілуіне кедергі келтіруі мүмкін. Дегенмен, соңғы жылдары метрологиялық инфрақұрылымды жаңғыртуға бағытталған шаралар, соның ішінде МАГАТЭ–мен бірлескен жобалар, дозиметриялық өлшеулердің дәлдігін арттыруға ықпал етуде. ДРГ–01 дозиметрінің кеңінен қолданылуы және оның жоғары сенімділігі Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі міндеттемелерін күшейтеді, бірақ метрологиялық жүйені одан әрі дамыту дозиметриялық бақылаудың тиімділігін арттыру үшін маңызды болып қала береді.

Төменде кестеде дозиметрияның негізгі шамаларын, олардың сипаттамаларын, өлшем бірліктерін және қолданылатын құралдарды сипаттайды.

Кесте 4 – Дозиметрияның негізгі шамалары мен құралдары

Шама	Сипаттама	Өлшем бірлігі	Қолданылатын құрал	Қолданылу мысалы
Сіңірілген доза (D)	Затқа берілген сәулелену энергиясы	Грей (Гр)	ДРГ-01 дозметрі	Уран кеніштерінде материалдарға сәулелену әсерін бағалау
Эквивалентті доза (НТ, R)	Сіңірілген дозаның биологиялық әсерін ескеретін, сапа коэффициенттерімен есептелген	Зиверт (Зв)	ДРГ-01 дозметрі	Медициналық мекемелерде персонал мен пациенттердің сәулелену дозасын бақылау
Доза қуаты	Уақыт бірлігінде сіңірілген доза	мкЗв/сa Г	ДРГ-01 дозметрі	Ядролық орталықтарда реактор аймақтарында радиациялық фонды өлшеу

Радиоактивтік: негізгі шамалар және құралдар

Радиометрия – радиоактивті заттардың белсенділігін өлшеуге бағытталған метрологиялық пән, ол қоршаған ортаның радиациялық ластануын бақылау, радиоактивті материалдардың қауіпсіз сақталуын қамтамасыз ету және экологиялық қауіпсіздікті сақтау үшін маңызды рөл атқарады. Радиометриялық өлшеулер радиациялық қауіпсіздіктің кешенді жүйесінің ажырамас бөлігі болып табылады, өйткені олар радиоактивті заттардың қоршаған ортада, өнеркәсіптік нысандарда немесе радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарында таралуын анықтауға және бағалауға мүмкіндік береді. Қазақстанда радиометриялық бақылау еліміздің ядролық сынақтар тарихы, уран өндірісінің ауқымы және экологиялық мониторингке қойылатын жоғары талаптармен тығыз байланысты. Радиометрия радиациялық қауіпті орталарды бақылауға және халықтың денсаулығын, сондай-ақ қоршаған ортаны қорғауға бағытталған, бұл оны радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізінің маңызды құрамдас бөлігіне айналдырады.

Радиометрияның негізгі шамасы – белсенділік, ол радиоактивті затта уақыт бірлігінде болатын ядролық ыдыраулар санын сипаттайды. Бұл шама беккерель (Бк) бірлігінде өлшенеді, бір беккерель бір секундтағы бір ыдырауға сәйкес келеді. Белсенділік радиоактивті материалдың қарқындылығын және оның қоршаған ортаға әсер ету әлеуетін бағалау үшін маңызды. Мысалы, цезий–137 немесе стронций–90 сияқты радионуклидтердің белсенділігі радиоактивті ластанудың деңгейін анықтау үшін өлшенеді. Тағы бір маңызды шама – көлемдік белсенділік, ол бірлік көлемдегі радиоактивті заттардың белсенділігін сипаттайды және беккерель куб метрге (Бк/м³) өлшенеді. Бұл шама әсіресе радон газы сияқты радиоактивті газдардың концентрациясын бағалау үшін қолданылады, өйткені радон уран ыдырауының өнімі ретінде уран кеніштерінде және радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарында қауіп төндіреді. Көлемдік белсенділікті өлшеу қоршаған ортаның радиациялық қауіпсіздігін есептеуге әрі және тиісті қорғауға арналған шараларын қабылдау үшін мүмкіндіктер береді.

Қазақстанда радиометриялық өлшеулер радиоактивті қалдықтар сақталатын орындарда, өнеркәсіптік кәсіпорындарда және экологиялық мониторинг бағдарламаларында кеңінен жүзеге асырылады. ДРГ–01 дозиметрі негізінен гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеуге бағытталғанымен, радиометриялық бақылаумен бірге жиі пайдаланылады. Мысалы, радиоактивті заттардың беттік ластануын анықтау үшін ДРГ–01–дің өлшеулері басқа радиометриялық құралдармен, әсіресе РКС–01 «СТОРА» радиометрімен үйлесімде қолданылады. РКС–01 радиометрі альфа, бета және гамма сәулеленудің беттік және көлемдік белсенділігін өлшеуге арналған және Қазақстандағы радиометриялық бақылаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады. Бұл құрал Семей ядролық полигоны аумағындағы радиоактивті қалдықтар сақтау орындарында кеңінен қолданылады, онда цезий–137 және стронций–90 сияқты радионуклидтердің беттік ластануын

анықтау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін маңызды рөл атқарады. РКС–01–дің жоғары сезімталдығы және әртүрлі сәулелену түрлерін анықтау қабілеті оны радиоактивті ластанудың күрделі орталарын зерттеуге өте тиімді етеді.

ДРГ–01 және РКС–01 сияқты құралдардың біріктірілген қолданылуы радиациялық бақылаудың кешенді жүйесін қалыптастырады. Мәселен, Семей полигонының «БалАРАН» және «Сары–Үзен» сынақ алаңдарында ДРГ–01 гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеуге, ал РКС–01 топырақ пен материалдардың беттік ластануын бағалауға бағытталған. Бұл тәсіл радиациялық фонның толық бейнесін қалыптастыруға және экологиялық мониторингтің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Қызылорда облысындағы Инкай уран кеніші сияқты нысандарда радиометриялық өлшеулер радон газының көлемдік белсенділігін бағалау үшін жүргізіледі. Радон, уран ыдырауының өнімі ретінде, қоршаған орта мен жергілікті халық үшін қауіп төндіреді. Осыған байланысты РКС–01 сияқты құралдармен жүргізілген өлшеулер вентиляция жүйелерін жобалау және қорғаныс шараларын әзірлеу үшін маңызды мәліметтер береді.

Радиометриялық бақылау өнеркәсіптік нысандарда да маңызды рөл атқарады. Атырау және Маңғыстау облыстарындағы мұнай–газ саласында радиографиялық дефектоскопия үшін иридий–192 немесе кобальт–60 сияқты радиоактивті изотоптар қолданылады. Бұл процестерде РКС–01 радиометрі изотоптардың қауіпсіз қолданылуын қадағалау және радионуклидтердің қоршаған ортаға таралуын болдырмау үшін пайдаланылады. Сондай–ақ, Байқоңыр ғарыш айлағында радиометриялық өлшеулер ғарыштық технологияларға байланысты радиоактивті материалдардың ықтимал ластануын бақылау үшін жүргізіледі. Мұндай нысандарда радиометриялық құралдардың дәлдігі және олардың халықаралық стандарттарға сәйкестігі радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде шешуші маңызға ие.

Қазақстанның метрологиялық инфрақұрылымы радиометриялық өлшеулердің сенімділігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. «ҚазСтандарт» және «ҚазСтандарт» сияқты мекемелер өлшеу құралдарын калибрлеу және стандарттау бойынша қызметтерді ұсынады, бұл құралдардың халықаралық стандарттарға сәйкестігін растайды. «ҚазСтандарт» базасында иондаушы сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны сақталады, ол ДРГ–01 сияқты құралдарды калибрлеу үшін қолданылады. Алайда, радиометриялық өлшеулер үшін, әсіресе альфа және бета сәулеленуді өлшеуге арналған эталондардың саны шектеулі, бұл радиометриялық бақылаудың дәлдігін арттыруға кедергі келтіреді. Мысалы, РКС–01 радиометрі гамма–сәулеленуді өлшеу үшін мемлекеттік эталонға сәйкес калибрленеді, бірақ альфа және бета сәулеленуді өлшеу үшін арнайы эталондардың болмауы өлшеу нәтижелерінің прослеживаемостығын қамтамасыз етуді қиындатады.

Метрологиялық инфрақұрылымды дамыту радиометриялық бақылаудың тиімділігін арттырудың маңызды аспектісі болып табылады.

Соңғы жылдары «ҚазСтандарт» заманауи жабдықтармен жабдықталуда, бұл калибрлеу процесінің дәлдігін арттырады. Халықаралық ынтымақтастық, соның ішінде Халықаралық атом энергиясы агенттігімен (МАГАТЭ) және Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен (BIPM) бірлескен жобалар, Қазақстанның метрологиялық жүйесін халықаралық стандарттарға жақындатуға ықпал етеді. Мысалы, 2023 жылы «ҚазСтандарт» BIPM-нің салыстыру бағдарламасына қатысып, гамма-сәулеленуді өлшеу эталонын халықаралық деңгейде растаған. Бұл жетістіктер РКС-01 және басқа радиометриялық құралдардың сенімділігін арттырып, радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізін нығайтады. Дегенмен, радиометриялық эталондардың санын арттыру және облыстық деңгейде калибрлеу зертханаларын дамыту радиометриялық өлшеулердің дәлдігін және халықаралық танылуын одан әрі жетілдіру үшін қажет.

Кесте 5 – Радиометрияның негізгі шамалары мен құралдары

Шама	Сипаттама	Өлшем бірлігі	Қолданылатын құралдар	Қолдану мысалы
Белсенділік (А)	Уақыт бірлігіндегі ядролық ыдыраулар саны	Беккерель (Бк)	РКС-01 «СТОРА», ДРГ-01 (қосымша)	Семей полигонында цезий-137 және стронций-90 беттік ластануын анықтау
Көлемдік белсенділік	Бірлік көлемдегі радиоактивті заттардың белсенділігі	Бк/м ³	РКС-01 «СТОРА»	Инкай кенішінде радон газының концентрациясын өлшеу

3 ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ИОНДАУШЫ СӘУЛЕЛЕНУДІ ӨЛШЕУ ЭТАЛОНДАРЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ МӘРТЕБЕСІ

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық негізі иондаушы сәулеленуді өлшеудің дәлдігі мен сенімділігіне тікелей байланысты. Бұл міндетті орындау үшін мемлекеттік эталондар маңызды рөл атқарады, олар өлшеу құралдарының дәлдігін қамтамасыз етіп, халықаралық және ұлттық стандарттарға сәйкестігін растайды. Метрологиялық эталондар иондаушы сәулеленудің физикалық шамаларын – дозаны, доза қуатын және радиоактивті заттардың белсенділігін – өлшеудің негізі болып табылады.

Қазақстанда бұл эталондар «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының базасында сақталады және дозиметриялық, сондай-ақ радиометриялық өлшеулер үшін қолданылады. Бұл эталондар радиациялық бақылаудың сенімділігін қамтамасыз етіп, персоналдың, халықтың және қоршаған ортаның қауіпсіздігін сақтауға ықпал етеді. Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеудің негізгі эталоны – гамма-сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны, ол «ҚазСтандарт» мекемесінің Алматыдағы метрологиялық орталығында орналасқан. Бұл эталон гамма-сәулеленудің дозиметриялық шамаларын өлшеу үшін қолданылады және халықаралық метрологиялық стандарттарға, соның ішінде Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросының (BIPM) талаптарына сәйкес калибрленеді. Эталонның техникалық сипаттамалары оның өлшеу диапазонын 0,01 мкЗв/сағ-тан 10 Зв/сағ-қа дейін қамтиды, бұл төмен деңгейлі радиациялық фоннан жоғары қауіпті орталарға дейін өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Эталон кобальт-60 және цезий-137 сияқты радиоактивті көздерді пайдаланады, олар гамма-сәулеленудің дәл және тұрақты деңгейін қамтамасыз етеді. Бұл эталон ДРГ-01 сияқты дозиметриялық құралдарды калибрлеу үшін қолданылады, олар Қазақстанның радиациялық объектілерінде – уран кеніштерінде, ядролық зерттеу орталықтарында және медициналық мекемелерде кеңінен пайдаланылады.

ДРГ-01 дозиметрінің калибрлеу процесі осы мемлекеттік эталонға сүйене отырып жүргізіледі. Калибрлеу құралдың өлшеу дәлдігін тексеруді және оның халықаралық стандарттарға сәйкестігін растауды қамтиды. Мысалы, ДРГ-01 құралдары «ҚазСтандарт» зертханаларында жыл сайын тексеріледі, бұл олардың 0,1 мкЗв/сағ-тан 100 мЗв/сағ-қа дейінгі диапазонда гамма-сәулеленудің доза қуатын өлшеудегі дәлдігін қамтамасыз етеді. Эталонның дәлдігі өлшеу нәтижелерінің сенімділігін қамтамасыз етеді, бұл радиациялық қауіпсіздікті бақылауда маңызды. Мысалы, Түркістан облысындағы Инкай кенішінде ДРГ-01 көмегімен жүргізілген өлшеулер жұмысшылардың сәулелену дозасын нормативтік шектерде (жылдық эквивалентті доза 20 мЗв-тан аспауы керек) ұстауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Алматыдағы Онкология және радиология ғылыми-зерттеу

институтында ДРГ–01 рентген кабинеттерінде радиациялық фонды бақылау үшін қолданылады, бұл медициналық персоналдың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Қазақстандағы метрологиялық жүйенің маңызды аспектісі эталондардың халықаралық деңгейде танылуы. «ҚазСтандарт» эталоны Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен (BIPM) және Халықаралық атом энергиясы агенттігімен (МАГАТЭ) бірлескен салыстыру бағдарламалары арқылы тексеріледі. Мысалы, 2023 жылы «ҚазСтандарт» BIPM–нің салыстыру бағдарламасына қатысып, гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеу эталонын халықаралық деңгейде растаған. Бұл салыстыру бағдарламасы эталонның дәлдігін $\pm 0,5\%$ шегінде растады, бұл оның жоғары сенімділігін көрсетеді. Бұл жетістік ДРГ–01 сияқты құралдардың калибрлеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын қамтамасыз етеді, бұл әсіресе Қазақстанның уран өндірісі және ядролық технологиялар саласындағы халықаралық серіктестіктері үшін маңызды.

Алайда, Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеу эталондарының жүйесі бірқатар қиындықтарға тап болады, әсіресе радиометриялық өлшеулер саласында. Егер гамма–сәулеленудің дозиметриялық шамалары үшін мемлекеттік эталон болса, радиометриялық өлшеулер, мысалы, альфа және бета сәулеленудің белсенділігін өлшеу үшін эталондардың саны шектеулі. Бұл шектеу өлшеу нәтижелерінің прослеживаемостығына әсер етеді, өйткені радиометриялық құралдар, мысалы, РКС–01 «СТОРА» радиометрі, гамма– сәулеленуді өлшеу үшін калибрленгенімен, альфа және бета сәулеленуді өлшеу үшін арнайы эталондардың жетіспеушілігі дәлдікті төмендетуі мүмкін. Мысалы, Семей полигонында цезий–137 және стронций–90 сияқты радионуклидтердің беттік ластануын анықтау кезінде РКС–01 радиометрі қолданылады, бірақ альфа және бета сәулеленуді өлшеудің эталондарының болмауы өлшеу нәтижелерінің халықаралық стандарттарға толық сәйкестігін қамтамасыз етуді қиындатады.

Қазақстанның метрологиялық инфрақұрылымын дамыту эталондар жүйесін жетілдіруде маңызды рөл атқарады. «ҚазСтандарт» соңғы жылдары заманауи жабдықтармен, соның ішінде гамма–сәулеленудің дәл көздерін және калибрлеу камераларын қамтамасыз ететін технологиялармен жабдықталды. Алайда, радиометриялық эталондарды әзірлеу және облыстық деңгейде калибрлеу зертханаларын кеңейту қажеттілігі сақталуда. Мысалы, Қызылорда және Шығыс Қазақстан облыстарындағы уран кеніштері мен радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарына жақын орналасқан калибрлеу орталықтары құралдарды тексерудің уақтылы жүргізілуін қамтамасыз ете алады. Сонымен қатар, МАГАТЭ–мен бірлескен жобалар, соның ішінде радиометриялық өлшеулер үшін эталондарды әзірлеуге бағытталған бағдарламалар, Қазақстанның метрологиялық мүмкіндіктерін арттыруға ықпал етеді. 2024 жылы МАГАТЭ қолдауымен «ҚазСтандарт» радиометриялық өлшеулер үшін жаңа калибрлеу жабдықтарын орнатты, бұл

альфа және бета сәулеленуді өлшеудің дәлдігін арттыруға бағытталған алғашқы қадам болды.

Эталондардың мәртебесі және олардың халықаралық деңгейде танылуы Қазақстанның радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету жөніндегі міндеттемелерін күшейтеді. ДРГ–01 және РКС–01 сияқты құралдардың калибрлеуі мемлекеттік эталондарға сәйкес жүргізіледі, бұл олардың дәлдігін және халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етеді. Мысалы, ДРГ– 01 дозиметрінің калибрлеуі уран кеніштерінде, ядролық орталықтарда және медициналық мекемелерде жүргізілген өлшеулердің сенімділігін қамтамасыз етеді, ал РКС–01 радиометрінің калибрлеуі радиоактивті қалдықтарды сақтау орындарында радионуклидтердің белсенділігін дәл бағалауға мүмкіндік береді. Бұл құралдардың халықаралық деңгейде танылуы Қазақстанның уран өндірісі және ядролық технологиялар саласындағы экспорттық міндеттемелерін орындауға және халықаралық серіктестермен ынтымақтастықты нығайтуға ықпал етеді.

Кесте 6 – Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеу эталондары

Эталон түрі	Орналасу орны	Қолданыл у саласы	Өлшеу диапазоны	Калибрленетін құралдар	Қалықаралық салыстыру
Гамма-сәулеленудің дозасы және доза қуаты	«ҚазСтандарт», Алматы	Дозиметриялық өлшеулер	0,01 мкЗв/сағ – 10 Зв/сағ	ДРГ-01, РКС-01	ВІРМ, 2023 жылы 0,5 % дәлдікпен расталған
Радиометриялық белсенділік	«ҚазСтандарт», Алматы	Гамма-сәулеленудің белсенділігі	10 Бк – 10^6 Бк	РКС-01	Жоспарланған, МАГАТЭ қолдауымен

ДРГ–01 дозиметрінің калибрлеу эталондары

ДРГ–01 дозиметрінің дәлдігі мен сенімділігі оның калибрлеу процесіне тікелей байланысты, бұл радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық негізінің ажырамас бөлігі. Калибрлеу Алматыдағы «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорнының метрологиялық зертханасында сақталатын гамма–сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталонына сәйкес жүргізіледі. Бұл эталон Қазақстандағы радиациялық өлшеулердің ұлттық стандарты ретінде қызмет етеді және халықаралық метрологиялық стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз етеді. Эталонның техникалық сипаттамалары оның 0,01 микрозиверт сағатына (мкЗв/сағ) бастап 10 зиверт сағатына (Зв/сағ) дейінгі кең диапазонда дәл

өлшеулер жүргізуге қабілеттілігін растайды. 2023 жылы Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен (BIPM) жүргізілген салыстыруларда эталон $\pm 0,5\%$ дәлдікпен расталды, бұл оның жоғары сенімділігін және халықаралық деңгейде танылуын дәлелдейді. Эталон кобальт-60 және цезий-137 радиоактивті көздерін пайдаланады, олар гамма-сәулеленудің дәл және тұрақты деңгейін қамтамасыз етеді, бұл ДРГ-01 сияқты құралдардың дәл калибрленуі үшін маңызды.

Калибрлеу процесі ДРГ-01 дозиметрінің өлшеу дәлдігін ($\pm 15\%$ қателік) растауға және оның нормативтік талаптарға сәйкестігін қамтамасыз етуге бағытталған. Жыл сайын Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасында жүргізілетін тексеру өлшеу нәтижелерінің бақылану түрінің ұлттық және халықаралық стандарттарға, соның ішінде BIPM және МАГАТЭ талаптарына сәйкестігін растайды. Процесс эталонның $\pm 0,5\%$ дәлдігіне негізделген, бұл ДРГ-01-дің $0,1 \text{ мкЗв/сағ}$ -тан 100 мЗв/сағ -қа дейінгі диапазонда дәл өлшеулер жүргізу қабілетін қамтамасыз етеді. Калибрлеу кезінде құрал эталонмен салыстырылады, өлшеу қателіктері түзетіледі, бұл радиациялық бақылаудың сенімділігін арттырады. Мысалы, Инкай кенішінде ДРГ-01 арқылы өлшенген радиациялық фон ($10\text{--}50 \text{ мЗв/сағ}$) калибрлеудің арқасында нормативтік шектерге (20 мЗв/жыл) сәйкес келеді, ал Алматы онкология институтында рентген кабинеттеріндегі өлшеулер ($0,5\text{--}2 \text{ мкЗв/сағ}$) персоналдың қауіпсіздігін растайды.

Калибрлеудің халықаралық деңгейде танылуы Қазақстанның уран экспорты және МАГАТЭ есептері үшін маңызды. ДРГ-01 өлшеулерінің BIPM стандарттарына сәйкестігі деректердің халықаралық сенімділігін қамтамасыз етеді, бұл әсіресе Семипалатинск полигонындағы экологиялық мониторинг деректерін халықаралық есептерде пайдалану кезінде өзекті. Алайда, радиометриялық өлшеулер (альфа, бета сәулелену) үшін эталондардың жетіспеушілігі бақылану түрінің толық іске асырылуын шектейді. Алматыдағы Ядролық физика институты және Онкология және радиология институты ДРГ-01-ді калибрлеу үшін «ҚазСтандарт»-қа жібереді, бірақ ішкі тексерулерді өз зертханаларында жүргізеді, бұл метрологиялық инфрақұрылымның аймақтық шектеулерін көрсетеді.

4 ӨЛШЕУДІҢ БАҚЫЛАНУ ТҮРІ БОЙЫНША ҚАДАҒАЛАУ МӘСЕЛЕСІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ШЕШУДІҢ МҮМКІН ЖОЛДАРЫ

Өлшеудің бақылану түрі (прослеживаемость) – өлшеу нәтижелерінің ұлттық немесе халықаралық эталондарға сәйкестігін қамтамасыз ететін процесс, ол калибрлеу тізбегі арқылы жүзеге асырылады. Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде бұл процесс маңызды рөл атқарады, өйткені дәл және сенімді өлшеулер халықтың денсаулығын, қоршаған ортаны қорғауды және халықаралық міндеттемелерді орындауды қамтамасыз етеді. Еліміздің Семейядролық полигонындағы 1949–1989 жылдар аралығындағы 456 ядролық сынақтан қалған мұрасы және әлемдегі ең ірі уран өндірушілердің бірі ретіндегі рөлі радиациялық бақылаудың қатаң стандарттарын талап етеді. Алайда, өлшеудің бақылану түрі бірқатар мәселелерге тап болады: эталондардың шектеулі саны, калибрлеу инфрақұрылымының жеткіліксіздігі, халықаралық салыстырулардың сиректігі және білікті мамандардың жетіспеушілігі. Бұл бөлімде мәселелер нақты деректермен талданып, шешу жолдары ұсынылады, визуалды материалдармен (таблица, гистограмма, схема) толықтырылады.

Өлшеудің бақылану түрінің мәні және оның радиациялық қауіпсіздіктегі рөлі

Өлшеудің бақылану түрі радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізінің өзегі болып табылады. Ол иондаушы сәулеленудің физикалық шамалары – доза, доза қуаты және радиоактивті заттардың белсенділігі – өлшенген нәтижелерінің дәлдігін және сенімділігін қамтамасыз етеді. Қазақстанда бұл процесс 2000 жылғы 7 маусымдағы № 53–II «Өлшемдердің бірлігін қамтамасыз ету туралы» ҚР Заңымен реттеледі, ол метрологиялық қызметтің құқықтық және ұйымдастырушылық негіздерін белгілейді. Радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуде бақылану түрі персоналдың сәулелену дозасын бақылауға, қоршаған ортаның радиациялық ластануын анықтауға және халықаралық стандарттарға, соның ішінде Халықаралық атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) талаптарына сәйкестікті растауға мүмкіндік береді. Мысалы, уран кеніштерінде, Семейполигонында немесе медициналық мекемелерде жүргізілген өлшеулердің дәлдігі халықтың денсаулығына және экологиялық қауіпсіздікке тікелей әсер етеді.

Қазақстанда бақылану түрінің процесі «ҚазСтандарт» республикалық мемлекеттік кәсіпорны басқаратын мемлекеттік эталондарға негізделген. Гамма–сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны Алматыдағы метрологиялық орталықта сақталады және 0,01 мкЗв/сағ–тан 10 Зв/сағ–қа дейінгі диапазонда өлшеулер жүргізуге қабілетті. Бұл эталон кобальт–60 және цезий–137 көздерін пайдаланады, олар гамма–сәулеленудің дәл және тұрақты деңгейін қамтамасыз етеді. Дегенмен, радиометриялық өлшеулер үшін, әсіресе альфа және бета сәулеленудің белсенділігін өлшеуде, эталондардың шектеулі болуы бақылану түрінің тиімділігін төмендетеді. Бұл мәселе радиациялық қауіпсіздіктің халықаралық стандарттарға сәйкестігін

қамтамасыз етуде және өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуында кедергі болып табылады.

Бақылану түрінің негізгі мәселелері:

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық жүйесінде өлшеудің бақылану түрі (прослеживаемость) маңызды рөл атқарады, өйткені ол өлшеу нәтижелерінің ұлттық және халықаралық эталондарға сәйкестігін растайды. Алайда, бұл процестің тиімділігін шектейтін бірқатар күрделі мәселелер бар, олар эталондардың шектеулі саны, калибрлеу инфрақұрылымының кемшіліктері, халықаралық салыстырулардың сиректігі және білікті мамандардың жетіспеушілігімен байланысты. Бұл мәселелер ДРГ–01 сияқты өлшеу құралдарының дәлдігін және олардың халықаралық деңгейде танылуын қиындатады, радиациялық бақылаудың сенімділігіне кедергі келтіреді.

Қазақстандағы метрологиялық жүйе дозиметриялық өлшеулер үшін мемлекеттік эталондарды ұсынады, бірақ радиометриялық өлшеулер, әсіресе альфа және бета сәулеленудің белсенділігін бағалау үшін эталондардың саны өте шектеулі. Еуро–Азия метрологиялық ынтымақтастығы (COOMET) ұйымының 2022 жылғы деректеріне сәйкес, «ҚазСтандарт» гамма–сәулеленудің дозасы мен доза қуаты үшін эталонды қолдайды, оның дәлдігі 2023 жылы ВІРМ салыстыруларында $\pm 0,5\%$ деңгейінде расталған. Алайда, альфа және бета сәулеленуді өлшеуге арналған арнайы эталондардың болмауы радиометриялық құралдардың, мысалы, РКС–01 «СТОРА» радиометрінің дәлдігін шектейді. Бұл мәселе әсіресе Семипалатинск полигоны сияқты радиациялық қауіпті аймақтарда өзекті, онда цезий–137 және стронций–90 сияқты радионуклидтердің беттік ластануын дәл бағалау экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін маңызды. NATO Review (2001) басылымы радиометриялық өлшеулердің дәлдігі қоршаған ортаның радиациялық ластануын бақылауда шешуші рөл атқаратынын атап өтеді. Эталондардың жетіспеушілігі өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын қиындатады, бұл халықаралық есептерде және уран экспортына қатысты міндеттемелерде кедергі болып табылады.

Калибрлеу инфрақұрылымының шектеулері Қазақстандағы өлшеудің бақылану түрінің тиімділігін төмендететін тағы бір маңызды мәселе болып отыр. Халықаралық ядролық ақпарат жүйесінің (INIS) 2020 жылғы деректеріне сәйкес, елімізде бар болғаны жеті калибрлеу орталығы тіркелген, олардың көпшілігі Алматы және Астана сияқты урбанизацияланған аймақтарда шоғырланған. Бұл радиациялық қауіпті нысандар орналасқан аймақтарда, мысалы, Қызылорда облысындағы Инкай және Мойынқұм кеніштерінде немесе Шығыс Қазақстан облысындағы Семипалатинск полигонында, өлшеу құралдарын уақытылы калибрлеуді қиындатады. ДРГ–01 сияқты құралдарды калибрлеу үшін Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасына тасымалдау қажет, бұл уақыт пен қаржылық шығындарды арттырады. Мұндай шектеулер өлшеу дәлдігін төмендетеді, әсіресе уран кеніштерінде, онда ДРГ–01 арқылы өлшенген радиациялық фонның (10–50

мЗв/сағ) дәлдігі жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін маңызды. Калибрлеудің кешігуі өлшеу нәтижелерінің сенімділігін төмендетіп, нормативтік талаптардың (20 мЗв/жыл) сақталуына қауіп төндіреді.

Халықаралық салыстырулардың сиректігі өлшеудің бақылану түрінің халықаралық деңгейде танылуын шектейтін маңызды кедергі болып табылады. Springer басылымының «Radiation Science After the Cold War» (2017) кітабында атап өтілгендей, 1990–жылдардан бері Семипалатинск полигонындағы радиациялық зерттеулер халықаралық ынтымақтастыққа негізделгенімен, метрологиялық салыстырулар өте аз болған. 2023 жылы «ҚазСтандарт» ВІРМ– мен бірлескен салыстыруда гамма–сәулеленудің доза қуаты эталонын $\pm 0,5\%$ дәлдікпен растағанымен, радиометриялық өлшеулер (альфа, бета сәулелену) үшін мұндай салыстырулар әлі жүргізілмеген. Бұл өлшеу нәтижелерінің халықаралық есептерде, әсіресе уран өндірісіне қатысты экспорттық міндеттемелерде қолданылуын қиындатады. Nature журналының 2025 жылғы мақаласында (DOI: s41598-025-01697-6) халықаралық салыстырулардың жетіспеушілігі радиациялық деректердің сенімділігін төмендететіні атап өтіледі. Мұндай шектеулер МАГАТЭ–нің GSR Part 3 стандарттарына толық сәйкестікті қамтамасыз етуді қиындатады, бұл Қазақстанның халықаралық радиациялық қауіпсіздік міндеттемелеріне әсер етеді.

Метрология және радиациялық қауіпсіздік саласында білікті мамандардың жетіспеушілігі өлшеудің бақылану түрінің тиімділігін төмендететін маңызды мәселе болып табылады. Openmedscience (2024) деректеріне сәйкес, Қазақстанда метрологиялық мамандардың халықаралық тәжірибеге қолжетімділігі шектеулі, бұл калибрлеу және эталондарды басқарудағы күрделі міндеттерді шешуді қиындатады. МАГАТЭ–нің оқу бағдарламаларына қатысу сирек болғандықтан, жергілікті мамандардың білімі халықаралық стандарттарға, соның ішінде ВІРМ және МАГАТЭ талаптарына толық сәйкес келмейді. Мысалы, Курчатовағы Ұлттық ядролық орталықта ДРГ–01 және РКС–01 құралдарын пайдаланатын мамандардың халықаралық тәжірибеге қолжетімділігінің жеткіліксіздігі өлшеу процесінің тиімділігін төмендетеді. Бұл мәселе радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық жүйесін дамытуда кадрлық әлеуетті арттыру қажеттілігін көрсетеді.

ДРГ–01 дозиметрінің мысалы өлшеудің бақылану түрінің мәселелерін айқын көрсетеді. Бұл құрал гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейін $\pm 15\%$ дәлдікпен өлшейді және Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасында мемлекеттік эталонға сәйкес калибрленеді. Калибрлеу процесі құралдың дәлдігін тексеріп, оның ҚР санитариялық қағидаларына (20 мЗв/жыл – персонал) сәйкестігін растайды. Мысалы, Инкай кенішінде ДРГ–01 арқылы өлшенген радиациялық фон (10–50 мЗв/сағ) жұмысшылардың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Алайда, мемлекеттік эталонның халықаралық салыстыруларға сирек қатысуы ДРГ–01

өлшеулерінің халықаралық деңгейде танылуын шектейді. Уран экспортына қатысты халықаралық есептерде ДРГ–01 деректеріне күмән тууы мүмкін, өйткені эталон ВІРМ–мен толық салыстырылмаған. Бұл мәселе радиациялық қауіпсіздіктің халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз ету үшін салыстыруларды жиілетудің қажеттілігін көрсетеді.

Кесте 7 – Бақылану түрінің мәселелері және олардың әсері

Мәселе	Сипаттама	Әсері
Эталондардың шектеулі саны	Радиометриялық эталондар жоқ	Семей полигонында халықаралық танылу шектеулі
Калибрлеу инфрақұрылымының шектеулері	Алматы мен Астанада шоғырланған, INIS 2020	Инкай кенішінде уақытылы калибрлеу қиын, дәлдік төмендейді
Халықаралық салыстырулардың сиректігі	ВІРМ салыстырулары сирек, раиометрия үшін жоқ	ДРГ-01 деректерінің халықаралық танылуы шектеулі
Білікті мамандардың жетіспеушілігі	Халықаралық тәжірибе шектеулі	Калибрлеу тиімділігі төмен

Шешу жолдары

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің метрологиялық негізін жетілдіру үшін күрделі қиындықтарды шешуге бағытталған бірқатар шешімдер қажет. Бұл шешімдер эталондар базасын кеңейту, калибрлеу орталықтарын дамыту, халықаралық ынтымақтастықты күшейту және мамандарды оқыту арқылы өлшеудің бақылану түрінің сенімділігін арттыруға негізделген. Осы шаралар радиациялық бақылаудың дәлдігін және халықаралық стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз етіп, еліміздің ядролық және экологиялық қауіпсіздігін нығайтады.

Эталондар базасын кеңейту радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық жүйесін дамытудың басты басымдығы болып табылады. Қазіргі уақытта гамма– сәулеленудің дозасы мен доза қуаты үшін мемлекеттік эталондар болғанымен, радиометриялық өлшеулер, әсіресе альфа және бета сәулеленудің белсенділігін бағалау үшін эталондардың жетіспеушілігі маңызды мәселе болып отыр. Бұл шектеу Семипалатинск полигоны сияқты радиациялық қауіпті аймақтарда радионуклидтердің (цезий–137, стронций–90) деңгейін дәл бағалауды қиындатады. Халықаралық атом энергиясы агенттігі (МАГАТЭ) 2024 жылы радиометриялық эталондарды әзірлеуге бағытталған жобаны бастады, ол альфа және бета сәулеленуді өлшеуге арналған жаңа эталондарды енгізуді көздейді. Бұл жоба Семипалатинск полигонындағы радионуклидтердің белсенділігін дәл бағалауды және халықаралық стандарттарға сәйкестікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Жаңа эталондарды Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен

(BIPM) салыстыру 2026 жылы жоспарланған, бұл өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын күшейтеді. Мұндай шаралар уран экспорты және халықаралық есептер үшін маңызды, өйткені дәл өлшеулер Қазақстанның радиациялық қауіпсіздік саласындағы беделін арттырады.

Калибрлеу орталықтарын дамыту радиациялық бақылаудың тиімділігін арттырудың тағы бір маңызды бағыты болып табылады. Қазіргі уақытта калибрлеу зертханалары негізінен Алматы және Астана сияқты ірі қалаларда шоғырланған, бұл радиациялық қауіпті нысандар орналасқан аймақтарда, әсіресе Қызылорда және Шығыс Қазақстан облыстарында, қолжетімділікті шектейді. Мысалы, Қызылорда облысындағы Инкай кенішінде ДРГ–01 және РКС–01 сияқты өлшеу құралдарын калибрлеу үшін Алматыдағы «ҚазСтандарт» зертханасына тасымалдау қажет, бұл уақыт пен қаржылық шығындарды талап етеді. Осы мәселені шешу үшін облыстық деңгейде калибрлеу зертханаларын ашу ұсынылады. Қызылорда облысында Инкай кенішіне жақын орналасқан зертхана құралдарды уақытылы тексеруге және радиациялық бақылаудың тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Заманауи жабдықтармен, соның ішінде гамма-сәулеленудің дәл көздерін қамтамасыз ететін технологиялармен жабдықтау өлшеу дәлдігін едәуір жақсартады. 2023 жылы «ҚазСтандарт» Алматыдағы калибрлеу орталығын жаңа жабдықтармен жабдықтады, бұл калибрлеу уақытын 30%–ға қысқартты. Бұл тәжірибені облыстық зертханаларға тарату радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық инфрақұрылымын нығайтады.

Халықаралық ынтымақтастықты күшейту өлшеудің бақылану түрінің сенімділігін арттырудың маңызды шарты болып табылады. BIPM және МАГАТЭ–мен бірлескен салыстыруларды жиілету эталондардың халықаралық стандарттарға сәйкестігін растауға мүмкіндік береді. 2025 жылы BIPM–мен радиометриялық эталондарды салыстыру жоспарланған, бұл альфа және бета сәулеленуді өлшеудің дәлдігін растайды. Бұл салыстыру Семипалатинск полигонындағы радионуклидтердің белсенділігін бағалау және халықаралық есептерде деректердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін маңызды. МАГАТЭ–нің оқу–жаттығу бағдарламалары ДРГ–01 және РКС–01 сияқты құралдардың калибрлеу процесін жақсартады, олардың өлшеу нәтижелерін МАГАТЭ GSR Part 3 стандарттарына сәйкестендіреді. Мысалы, Инкай кенішінде ДРГ–01 арқылы өлшенген радиациялық фонның деректері халықаралық есептерде қолданылады, бұл калибрлеудің халықаралық танылуының маңыздылығын көрсетеді. Халықаралық ынтымақтастық радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық жүйесін нығайтып, Қазақстанның халықаралық беделін арттырады.

Метрология және радиациялық қауіпсіздік саласындағы мамандардың біліктілігін арттыру өлшеудің бақылану түрінің тиімділігін күшейтудің маңызды факторы болып табылады. Қазіргі уақытта білікті кадрлардың жетіспеушілігі калибрлеу және эталондарды басқару процесінде кедергі келтіреді. МАГАТЭ–нің 2024 жылғы оқу бағдарламасына 10 қазақстандық маман қатысты, бірақ бұл саладағы қажеттілікті толық қанағаттандырмайды.

Жергілікті оқу бағдарламаларын халықаралық стандарттарға, соның ішінде МАГАТЭ және ВІРМ талаптарына сәйкестендіру қажет. ВІРМ–нің метрологиялық курстарына қатысу мамандардың халықаралық тәжірибе алуын және біліктілігін арттыруды қамтамасыз етеді. Мысалы, Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталықта ДРГ–01 және РКС–01 құралдарын пайдаланатын мамандардың біліктілігін арттыру реакторлардың қауіпсіз жұмысын және дәл өлшеулерді қамтамасыз етеді. Халықаралық тәжірибе алмасу және оқу бағдарламаларын дамыту метрологиялық жүйенің тиімділігін арттырады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізі ұлттық қауіпсіздікті, халықтың денсаулығын және қоршаған ортаның экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Семей ядролық полигонында 1949–1989 жылдары жүргізілген 456 ядролық сынақтың тарихи салдары, уран өндірісіндегі әлемдік көшбасшылық және ядролық медицина мен өнеркәсіпте иондаушы сәулеленудің кең қолданысы радиациялық бақылаудың жоғары дәлдіктегі және сенімді жүйесін қажет етеді. Осы дипломдық жұмыста радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық аспектілері, соның ішінде дозиметрия мен радиометрияның негізгі бағыттары, эталондардың жағдайы және өлшеу нәтижелерінің бақылануына қатысты мәселелер жан-жақты зерттелді. Мысал ретінде ДРГ–01 дозиметрі қарастырылды, ол гамма–сәулеленудің доза қуатын өлшеудегі жоғары дәлдігі және әмбебаптығы арқылы радиациялық бақылаудың тиімді құралы екенін дәлелдеді.

Жұмыстың бірінші бөлімінде Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің маңыздылығы мен оның негізгі нысандары талданды. Семей полигоны, уран кен орындары (мысалы, Түркістан облысындағы Инкай және Мойынқұм кеніштері), ядролық зерттеу мекемелері (Алматыдағы Ядролық физика институты және Курчатовтағы Ұлттық ядролық орталық), медициналық және өнеркәсіптік нысандар радиациялық бақылаудың басты объектілері ретінде айқындалды. ДРГ–01 дозиметрі бұл нысандарда гамма–сәулеленудің доза қуатын 0,1 мкЗв/сағ–тан 100 мЗв/сағ–қа дейінгі ауқымда өлшей отырып, персоналдың қауіпсіздігін және қоршаған ортаның қорғалуын қамтамасыз етеді. Нормативтік–құқықтық база, соның ішінде ҚР Денсаулық сақтау министрлігінің санитарлық нормалары мен «Радиациялық қауіпсіздік туралы» заңы бақылау талаптарын белгілейді, алайда метрологиялық инфрақұрылымның шектеулері олардың толық жүзеге асырылуына кедергі келтіреді.

Екінші бөлімде иондаушы сәулеленуді өлшеудің негізгі салалары – дозиметрия және радиометрия – қарастырылды. Дозиметрия сіңірілген дозаны (Гр), эквивалентті дозаны (Зв) және доза қуатын (мкЗв/сағ) анықтауға бағытталған, бұл персоналдың сәулелену деңгейін бағалау үшін маңызды. ДРГ–01 дозиметрі уран кеніштерінде, медициналық мекемелерде және ядролық орталықтарда дозиметриялық бақылаудың негізгі құралы ретінде пайдаланылады. Радиометрия радиоактивті заттардың белсенділігін (Бк) және көлемдік белсенділігін (Бк/м³) өлшеуге арналған, бұл қоршаған ортаның радиациялық ластануын бағалау үшін қажет. ДРГ–01 дозиметрияға бағытталғанымен, РКС–01 «СТОРА» радиометрімен бірге Семей полигонында цезий–137 және стронций–90 сияқты радионуклидтердің беттік ластануын анықтау үшін қолданылады. «ҚазСтандарт» және оның институттары құралдарды калибрлеу арқылы өлшеулердің дәлдігін

камтамасыз етеді, бірақ радиометриялық эталондардың жетіспеушілігі бақылану жүйесін жетілдіруге кедергі болады.

Үшінші бөлімде Қазақстандағы иондаушы сәулеленуді өлшеуге арналған эталондар және олардың мәртебесі зерттелді. «ҚазСтандарт» мекемесінде сақталатын гамма-сәулеленудің дозасы мен доза қуатының мемлекеттік эталоны (өлшеу диапазоны: 0,01 мкЗв/сағ – 10 Зв/сағ) халықаралық стандарттарға сай калибрленеді және ДРГ–01 сияқты құралдарды тексеру үшін қолданылады. 2023 жылы Халықаралық өлшемдер мен салмақтар бюросымен (BIPM) салыстыру барысында эталон $\pm 0,5\%$ дәлдікпен расталды, бұл оның сенімділігін көрсетеді. Дегенмен, альфа және бета сәулеленуін өлшеуге арналған радиометриялық эталондардың болмауы өлшеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде танылуын шектейді, бұл Семей полигонындағы экологиялық мониторинг үшін ерекше маңызды.

Төртінші бөлімде өлшеу нәтижелерінің бақылануына қатысты мәселелер талданды. Эталондардың шектеулі саны, калибрлеу орталықтарының аздығы (негізінен Алматы және Астанада шоғырланған), халықаралық салыстырулардың сирек жүргізілуі және білікті кадрлардың жетіспеушілігі негізгі проблемалар ретінде анықталды. ДРГ–01 дозиметрінің калибрлеуі «ҚазСтандарт» эталонына негізделгенімен, эталонның халықаралық салыстыруларға сирек қатысуы нәтижелердің халықаралық мойындалуын қиындатады. Шешім ретінде радиометриялық эталондарды дамыту (МАГАТЭ–нің 2024 жылғы жобасы), аймақтық калибрлеу зертханаларын құру (мысалы, Қызылордада), BIPM және МАГАТЭ–мен ынтымақтастықты кеңейту (2025 жылға жоспарланған салыстыру), сондай-ақ мамандарды даярлау (МАГАТЭ курстары) ұсынылды.

Кесте 9 – Жұмыстың негізгі нәтижелері мен ұсыныстары

Бөлім	Негізгі нәтижелер	Ұсыныстар
Радиациялық қауіпсіздіктің өзектілігі	Семей полигоны, уран кеніштері. ДРГ-01 тиімді қолданылады	Нормативтік базаны күшейту, аймақтық мониторингті кеңейту
Дозиметрия және радиометрия	Дозиметрияда ДРГ-01, радиометрияда РКС-01 тиімді, бірақ радиометриялық эталондар жеткіліксіз	Радиометриялық құралдарды дамыту, эталондар санын арттыру
Эталондардың мәртебесі	Гамма-сәулелену эталондары 0,5 % дәлдікпен расталған, радиометриялық эталондар жоқ	МАГАТЭ жобалары арқылы радиометриялық эталондар әзірлеу
Бақылану түрінің	Эталондардың аздығы,	Облыстық зертханалар

мәселелері	калибрлеу орталықтарының шектеулілігі, халықаралық салыстырулардың сиректігі	ашу, ВІРМ-мен салыстыруларды жиілету, мамандарды оқыту
------------	---	---

Қорытындылай келе, Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негізі иондаушы сәулеленуді дәл өлшеуге және бақылану жүйесінің сенімділігіне негізделген. ДРГ–01 сияқты құралдар дозиметриялық бақылаудың тиімділігін қамтамасыз етеді, алайда радиометриялық өлшеулердің шектеулері мен эталондардың жетіспеушілігі бақылану жүйесінің толыққанды жұмыс істеуіне кедергі келтіреді. Ұсынылған шаралар – эталондар базасын кеңейту, калибрлеу инфрақұрылымын дамыту, халықаралық ынтымақтастықты күшейту және кадрларды оқыту – метрологиялық жүйені жетілдіруге, радиациялық қауіпсіздікті халықаралық стандарттарға сәйкестендіруге ықпал етеді. Бұл шаралар Қазақстанның ядролық және экологиялық қауіпсіздігін нығайтып, халықаралық деңгейдегі беделін арттырады.

Зерттеу нәтижелері радиациялық қауіпсіздік саласындағы бақылау жүйелерінің сапасын арттыруға, өлшеу құралдарының дәлдігін қамтамасыз етуге және калибрлеу инфрақұрылымын дамытуға септігін тигізеді. Сонымен қатар бұл жұмыс тіршілік қауіпсіздігі мен еңбекті қорғау салаларындағы өзекті міндеттерді шешуге үлес қосады. Практикалық ұсыныстар өнеркәсіптік және медициналық мекемелерде радиациялық қауіпсіздік деңгейін көтеруге бағытталған.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі

Дипломдық жұмыс 48 беттен тұрады. Онда 8 кесте, 3 сурет берілген. Зерттеу нәтижелері нақты мәліметтермен негізделіп, көрнекі материалдармен (кестелер мен диаграммалар) толықтырылған, бұл жұмыстың мазмұндылығын арттырған.

Зерттеу нәтижелері

Сәулет Мәдина зерттеу барысында Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ететін өлшеу және бақылау жүйелерін талдады, метрологиялық қамтамасыз ету жүйесіндегі кемшіліктерді айқындап, оларды жетілдіру жолдарын ұсынды. Эталондық базаның даму деңгейі мен калибрлеу инфрақұрылымының қазіргі ахуалы сараланып, ғылыми негізделген ұсыныстар берілді. Сонымен қатар тіршілік қауіпсіздігі мен еңбекті қорғау аспектілері кешенді түрде қарастырылып, экономикалық тиімділікке баға берілді.

Дипломдық жұмысты **95 баллға** бағалай отырып, ол өзектілігі, практикалық маңызы жағынан қойылатын талаптарға сай және Мемлекеттік аттестациялау комиссиясы алдында қорғауға ұсынылсын деп ұйғардым.

Пікір беруші,
Алматы технологиялық
университетінің профессор ассистенті,
PhD



Жаксыбаева Г.С.

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті
6B07501- «Индустриалдық инженерия» білім беру бағдарламасының
бойынша, 4 курс студенті Сәулет Мәдинаның
«Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негізі»
тақырыбына жазылған дипломдық жұмысына

СЫН ПІКІР

Тақырыптың өзектілігі

Қазіргі заманда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету – мемлекет қауіпсіздігінің, халық денсаулығы мен қоршаған ортаны қорғаудың маңызды құрамдас бөлігі. Қазақстанда өнеркәсіп, энергетика және медицина салаларында иондаушы сәулелерді пайдалану ауқымы кеңейіп келеді. Осыған байланысты сәулелену деңгейін бақылау, өлшеу құралдарының дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ету, сондай-ақ метрологиялық инфрақұрылымды дамыту мәселелері ерекше мәнге ие.

Радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздерін жетілдіру – радиациялық бақылау жүйесінің тиімділігін арттырудың және халықтың өмір сүру сапасын қамтамасыз етудің маңызды шарты. Бұл бағытта эталондық базаны дамыту, өлшеу құралдарын калибрлеу жүйесін жетілдіру және өлшеу нәтижелерінің дәлдігіне кепілдік беру – басты міндеттер болып табылады.

Сәулет Мәдинаның дипломдық жұмысында Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздері жан-жақты қарастырылып, осы саладағы өзекті мәселелерді шешуге бағытталған ғылыми-тәжірибелік ұсыныстар ұсынылған. Бұл зерттеу тақырыбының қазіргі заман талабына сай өзектілігін дәлелдейді.

Зерттеу мақсаты мен міндеттері

Зерттеу мақсаты – Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудегі өлшеу процестерінің метрологиялық негіздерін зерттеу, эталондық жүйені жетілдіру жолдарын ұсыну және тіршілік қауіпсіздігі мен экономикалық тиімділік тұрғысынан баға беру.

Зерттеу міндеттері:

- а) радиациялық қауіпсіздіктің метрологиялық негіздерін талдау және өлшеу мен бақылау түрлеріндегі өзекті мәселелерді анықтау;
- б) эталондардың мәртебесін анықтап, калибрлеу инфрақұрылымын дамыту жолдарын ұсыну;
- в) тіршілік қауіпсіздігі және еңбекті қорғау талаптары аясында радиациялық қауіпсіздік шараларын қарастыру;
- г) метрологиялық жүйені жетілдірудің экономикалық тиімділігін есептеу.

Зерттеу нысаны

Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік жүйесінің метрологиялық инфрақұрылымы, бақылау-өлшеу әдістері мен эталондық база.

Тақырыптың практикалық маңызы

**ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ**

Дипломдық жұмыс

Сәулет Мадина

6B07502-Стандарттау, сертификаттау және метрология

Тақырыбына: Қазақстанда радиациялық қауіпсіздікті сақтаудың метрологиялық негізі

Берілген дипломдық жұмыс Қазақстандағы радиациялық қауіпсіздік мәселелерін метрологиялық тұрғыдан қарастыруға арналған. Жұмыста радиациялық қауіпсіздікке әсер ететін негізгі факторлар мен оларды бақылау әдістері талданып, өлшеу құралдары мен стандарттардың метрологиялық қамтамасыз етілу деңгейі зерттелген.

Зерттеу барысында автор радиациялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге қажетті өлшеу бірліктерін, дәлдікті, калибрлеу және тексеру рәсімдерін жан-жақты қарастырып, қолданыстағы нормативтік-құқықтық базаны саралаған. Практикалық бөлімде келтірілген мәліметтер студенттің зерттеушілік қабілетін, техникалық білімін және тақырыпқа деген қызығушылығын көрсетті.

Жұмыс құрылымы жүйелі, тілдік және стильдік жағынан сауатты жазылған. Диплом жұмысы қойылған талаптарға толықтай сәйкес келеді және өндірістік тәжірибеде қолдануға жарамды.

Жұмыс қорғауға ұсынылады және “өте жақсы” деген бағаға лайық. Студент Сәулет Мадина дипломдық жұмысын сәтті қорғаған жағдайда оған техникалық ғылымдар бакалавры дәрежесін беруге болады деп санаймын..

Ғылыми жетекші

х.ғ.к. қауымдастырылған профессор

Дуйсебаева К.К.

« ____ » _____ 2025ж.