

Тема 2.7. Випромінювання оптичного діапазону

Мета

навчальна: вивчити вплив випромінювання оптичного діапазону на працюючих та основні методи захисту від них

виховна: виховувати зацікавленість дисципліною, прагнення отримувати нові знання.

пізнавальна: розвивати уміння користуватися всіма доступними джерелами знань.

План

1. Класифікація та джерела випромінювань оптичного діапазону.
2. Особливості інфрачервоного (ІЧ), ультрафіолетового (УФ) та лазерного випромінювання, їх нормування, прилади та методи контролю.
3. Засоби та заходи захисту від ІЧ та УФ випромінювань.
4. Класифікація лазерів за ступенями небезпечності лазерного випромінювання.
5. Специфіка захисту від лазерного випромінювання.

Література

1. Закон України «Про охорону праці» (нова редакція із змінами та доповненнями станом на 1 січня 2004 року). – К.: Основа, 2004. – 56 с.
2. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.
3. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
4. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2005. – 317с.
5. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.
6. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с
7. Основи охорони праці:.. /В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г.Валенко та ін.; за ред. проф. В.В. Березуцького. – Х.:Факт, 2005. – 480 с.
8. Охорона праці: навч. посіб. / З.М. Яремко, С.В. Тимошук, О.І. Третяк, Р.М. Ковтун; за ред. проф. З.М. Яремка. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 374 с.



1. Класифікація та джерела випромінювань оптичного діапазону

Цим терміном позначається випромінювання видимого діапазону хвиль (0,4—0,77 мкм), а також межуючих з ним діапазонів — інфрачервоного (ІЧ) з довжиною хвилі 0,77—0.1 мкм та ультрафіолетового (УФ) з довжиною хвилі 0,4—0,05 мкм.

Таким чином, з боку довгих хвиль між оптичним діапазоном та НВЧ лежить маловивчений та поки що мало використовуваний діапазон субміліметрових хвиль (0—0,1 мм), а з боку коротких хвиль — перехід до рентгенівського випромінювання.

Радіоелектронні прилади, як і будь-які інші, мають ККД менше 100 %, і частина енергії джерел живлення витрачається на покриття втрат та в кінцевому рахунку переходить у тепло, тобто, в ІЧ випромінювання.

До випромінювань **оптичного діапазону відносять** електромагнітні поля інфрачервоного (ІЧ) та ультрафіолетового (УФ) діапазону, створювані різними джерелами, у тому числі і випромінювання оптичних квантових генераторів (ОКГ) — лазерні випромінювання (ЛВ).

2. Особливості інфрачервоного (ІЧ), ультрафіолетового (УФ) та лазерного випромінювання, їх нормування, прилади та методи контролю

До інфрачервоних випромінювань належать електромагнітні випромінювання (ЕМВ) невидимої частини спектру, що знаходиться в діапазоні довжини хвилі λ 0,78 мкм – 1000 мкм.

Джерелом інфрачервоного випромінювання є будь-яке тіло, температура поверхні якого перевищує температуру абсолютного нуля (-273 K). Спектральний склад випромінювань інфрачервоного діапазону залежить від температури поверхні тіла. Чим вища температура тіла, тим коротша довжина випромінюваної електромагнітної хвилі.

Джерела ІЧ випромінювання поділяються на природні (природна радіація сонця, неба) і штучні — будь-які поверхні, температура яких вища порівняно з поверхнями, що опромінюються. Для людини це все поверхні $t^\circ > 36-37^\circ\text{C}$.

По фізичній природі ІЧ випромінювання являє собою потік матеріальних часток, яким притаманні квантові і хвильові властивості. ІЧ випромінювання охоплює область спектра з довжиною хвилі 0.78...540 мкм. Енергія кванта лежить у межах 0.0125...1.25 еВ.

Вплив інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі, що випромінюється, й від глибини проникнення променів.

В залежності від цього інфрачервоне випромінювання поділяють на три ділянки: А, В, С.

А – ближня (короткохвильова) – характеризується високою проникністю крізь шкіру $X = 0,78-1,4$ мкм;

В – середня (середньохвильова) – поглинається шарами дерми та підшкірною жировою тканиною $X = 1,4-3,0$ мкм;

С – далека (довгохвильова) – поглинається епідермісом $X = 3,0-1000$ мкм.

Інфрачервоне випромінювання, що потрапляє на тіло людини, впливає, перш за все, на незахищені його ділянки (обличчя, руки, шию, груди, очі). Основним його проявом є тепло, яке проникає на деяку глибину в тканинах. Тіло людини може витримувати інфрачервоне випромінювання певної густини потоку енергії, яка вимірюється в Вт/м^2 . Так при густині потоку випромінювання величиною 280-260 Вт/м^2 відчувається ледь помітне тепло. Його людський організм може витримувати тривалий час без будь-яких змін у його функціональному стані. При густині потоку випромінювання величиною 560-1050 Вт/м^2 настає межа, коли людина не витримує дію інфрачервоного випромінювання. Знаходження людини протягом тривалого періоду часу в зоні інфрачервоного випромінювання значної потужності, як і при дії високих температур, впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему (збільшується частота серцебиття, змінюється артеріальний тиск, прискорюється дихання), порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей. Діючи на очі, інфрачервоне випромінювання викликає помутніння кришталика, опік сітківки.

Інтенсивність ІЧ радіації необхідно вимірювати на робочих місцях чи у робочій зоні поблизу джерела випромінювання. Нормування ІЧ випромінювань здійснюється згідно санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99, ДСТ - 12.4.123-83.

Нормована допустима густина потоку енергії інфрачервоного випромінювання на робочому місці залежить від ділянки випромінювання.

Для ділянки А нормована густина потоку енергії не повинна перевищувати 100 Вт/м² при опроміненні 50% тіла і більше.

Для ділянки В – 120 Вт/м² при опроміненні поверхні тіла в межах 25-50%.

Для ділянки С – 150 Вт/м², якщо опромінюється не більше 25% поверхні тіла. Нормами передбачено тривалість опромінення, перерв, які залежать від густини потоку опромінення.

Для виміру щільності потоку випромінювання на робочому місці застосовують актинометр (алюмінієва пластина, що має в шаховому порядку почорніння; термopари, приєднані до гальванометра). Для визначення спектральної інтенсивності випромінювань застосовують інфрачервоні спектрометри (ІЧС-10).

Характеристика УФ випромінювань.

Джерелами ультрафіолетових випромінювань у виробничих умовах є: електродугове зварювання, плазмове обладнання, газорозрядні лампи тощо.

Біологічна дія ультрафіолетового випромінювання обумовлена хімічними змінами молекул живих клітин, які його поглинають, і виявляється в порушенні поділу та загибелі клітин. Тривалість впливу великих доз випромінювання може призвести до ураження шкіри та органів зору.

Ультрафіолетовим випромінюванням (УФВ) називають електромагнітні випромінювання в оптичній ділянці з довжиною хвилі в діапазоні 200-380 нм. За способом генерації воно належить до теплового випромінювання, але за своєю дією подібне до іонізуючого випромінювання. Природним джерелом УФВ є сонце. Штучними джерелами є електричні дуги, лазери, газорозрядні джерела світла.

Генерація ультрафіолетового випромінювання починається при температурі тіла понад 1200 °С, а його інтенсивність зростає з підвищенням температури. Енергетичною характеристикою УФВ є густина потоку потужності, яка вимірюється у Вт/м².

Інтенсивність випромінювання та його електричний спектральний склад залежить від температури поверхні, що є джерелом УФВ, наявності пилу та загазованості повітря. Вплив УФВ на людину кількісно оцінюють за еритемною дією, тобто в почервонінні шкіри, яке в подальшому (як правило, через 48 годин) призводить до її пігментації (засмаги).

УФВ має незначну проникаючу здатність. Воно затримується верхніми шарами шкіри людини. Ультрафіолетове випромінювання необхідне для нормальної життєдіяльності людини. За тривалої відсутності УФВ в організмі людини розвивається негативне явище, яке отримало назву «світлового голодування».

У той же час тривала дія значних доз УФВ може призвести до ураження очей та шкіри. Ураження очей гостро проявляються у вигляді фото- або

електрофтальмії. Тривала дія УФВ довжиною хвилі 200-280 нм може призвести до утворення ракових клітин. УФВ впливає на центральну нервову систему, викликає головний біль, підвищення температури, нервові збудження, зміни у шкірі та крові.

Випромінювання ділянки 315-380 нм має слабку біологічну дію, переважно флуоресценцію. Випромінювання в ділянці 200-280 нм руйнує біологічні клітини, викликає коагуляцію білків. Короткохвильове випромінювання змінює освітлення робочих місць, іонізує повітря. Природне короткохвильове ультрафіолетове випромінювання (виходить від сонця) не потрапляє на Землю, а поглинається озоновим шаром. Для УФВ, в залежності від ділянки випромінювання, встановлена допустима густина потоку енергії у Вт/м².

Нормування ультрафіолетового випромінювання у виробничих приміщеннях здійснюють згідно з санітарними нормами СН 4557-88 (ДНАОП 0.03-3.17-88).

Допустимі значення густини ультрафіолетового випромінювання наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Допустимі значення для УФВ

Діапазон ультрафіолетового випромінювання, нм	Допустимі значення густини УФ випромінювання, Вт/м ²
220 - 280 (УФ-С)	0,01
280 - 320 (УФ-В)	0,01
320 - 400 (УФ-А)	10,0

Характеристика лазерного випромінювання.

Лазери використовують у техніці, медицині. Найбільш чутливим органом до лазерного випромінювання є очі, - ушкодження сітківки очей може статись навіть при порівняно невеликих інтенсивностях.

Більш широкого застосування в промисловості, науці і медицині знаходять оптичні квантові генератори (ОКГ) – лазери.

Лазери використовують при дефектоскопії матеріалів, в радіоелектронній промисловості, в будівництві, при обробці твердих і надтвердих матеріалів. За їх допомогою здійснюється багатоканальний зв'язок на великих відстанях, лазерна локація, швидке опрацювання інформації.

Лазер – це генератор електромагнітних випромінювань оптичного діапазону, робота якого полягає у використанні вимушених випромінювань.

Принцип дії лазера базується на властивості атомів (складної квантової системи) випромінювати фотони при переході із збудженого стану в основний (з меншою енергією).

Головною особливістю лазерного випромінювання є його чітка спрямованість, що дозволяє на великій відстані від джерела отримати точку світла майже незмінних розмірів з великою концентрацією енергії.

За характером генерації електромагнітних хвиль лазери поділяються на імпульсні (тривалість випромінювання до 0,25 с) і лазери безперервної дії (тривалість випромінювання від 0,25 с і більше).

Лазер генерує електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 0,2 до 1000 мкм. Цей діапазон за довжиною хвилі та біологічною дією поділяється на три ділянки:

- ультрафіолетову (від 0,2 до 0,38 мкм);
- видиму (від 0,38 до 0,78 мкм);
- ближню інфрачервону (від 1,4 до 1000 мкм).

У зв'язку з малою довжиною хвилі лазерне випромінювання може бути сфокусоване оптичними системами невеликих геометричних розмірів (розміри обмежені дифракцією), завдяки чому на малій площі досягається велика густина енергії випромінювання.

Дія лазерного випромінювання на організм людини має складний характер і обумовлена як безпосередньою дією лазерного випромінювання на тканину, так і вторинними явищами, обумовленими змінами в організмі внаслідок опромінення. Розрізняють термічну і біологічну дію лазерного випромінювання на тканини, що може призвести до теплової, ударної дії світлового тиску, електрострикції (механічні коливання під дією електромагнітної складової електромагнітного поля), перебудови внутрішньоклітинних структур та інше.

Вражаюча дія лазерного променя залежить від потужності, довжини хвилі випромінювання, тривалості імпульсу, частоти повторення імпульсів, часу взаємодії, біологічних та фізико-хімічних особливостей опромінюваних тканин та органів.

Термічна дія випромінювання лазерів безперервної дії має багато спільного із звичайним нагріванням. При помірній інтенсивності випромінювання на шкірі можуть з'явитися видимі зміни (порушення пігментації, почервоніння) з досить чіткими межами ураженої ділянки, а при інтенсивності випромінювання понад 100 Вт/с виникає кратероподібний отвір внаслідок руйнування та випарювання клітинних структур. Загалом шкіряний покрив, який сприймає більшу частину енергії лазерного випромінювання, значною мірою захищає організм людини від внутрішніх ушкоджень. Але є відомості, що опромінення окремих ділянок шкіри викликає порушення у різних системах організму, особливо нервовій та серцево-судинній.

При великій інтенсивності і дуже малій тривалості імпульс спостерігається біологічна дія лазерного випромінювання, обумовлена процесами, які виникають внаслідок вибіркового поглинання тканинами електромагнітної енергії, а також електричними і фотоелектричними ефектами. Тому, при відносно слабких ушкодженнях шкіри може виникати ураження внутрішніх тканин – набряки, крововиливи, змертвіння тканин, згортання крові. Результатом лазерного опромінення, навіть дуже малих доз, можуть бути такі явища, як нестійкість артеріального тиску, порушення серцевого ритму, втома, роздратування, головний біль, підвищена збудженість, порушення сну. Звичайно, такі порушення зворотні і зникають після відпочинку.

Особливо чутливі до дії лазерного випромінювання очі людини. Ураження очей виникає від влучення як прямого, так і відбитого променя лазера, навіть

якщо поверхня відбиття не є дзеркальною. Характер ураження залежить від довжини хвилі. Найсерйознішу небезпеку становить випромінювання УФ діапазону, яке може призвести до зміни структури білка (коагуляція) рогівки та опіку слизової оболонки, що викликає повну сліпоту.

Випромінювання видимого діапазону впливає на клітини сітківки, внаслідок чого настає тимчасова сліпота або втрата зору від опіку з наступною появою рубцевих ран.

Випромінювання 14 діапазону, яке поглинається райдужною оболонкою, кришталиком та скловидним тілом, більш-менш безпечно, але також може спричинити сліпоту.

Внаслідок лазерного опромінення у біологічних тканинах організму можуть виникати вільні радикали, які активно взаємодіють з органічними молекулами та порушують нормальний хід процесів обміну на клітинному рівні. Внаслідок цього є загальне погіршення стану здоров'я.

3. Засоби та заходи захисту від ІЧ та УФ випромінювань

Захист від ІЧ випромінювань. Способи захисту від ІЧ випромінювань наступні:

- 1 — захист часом;
- 2 — захист відстанню;
- 3 — усунення джерела тепловиділень;
- 4 — теплоізоляція;
- 5 — екранування й охолодження гарячих поверхонь;
- 6 — індивідуальні засоби захисту.

Теплова ізоляція є найефективнішим і найбільш економічним заходом щодо зменшення ІЧ випромінювання (зменшуються загальні тепловиділення), запобіганню опіків, скороченню витрат палива. Згідно діючих СН температура нагрітих поверхонь устаткування та огорожень не повинна перевищувати 45⁰ С. Застосовують також внутрішню теплоізоляцію — футеровку для зниження температур робочих поверхонь конструкцій і устаткування.

В залежності від принципу дії теплозахисні засоби поділяються на:

◆теповідбивні — металеві листи (сталь, залізо, алюміній, цинк, поліровані або покриті білою фарбою тощо) одинарні або подвійні; загартоване скло з плівковим покриттям; металізовані тканини; склотканини; плівковий матеріал та ін.;

◆теповбираючі — сталеві або алюмінієві листи або коробки з теплоізоляцією з азбестового картону, шамотної цегли, повсті, вермикулітових плит та інших теплоізоляторів; сталева сітка (одинарна або подвійна з загартованим силікатним склом); загартоване силікатне органічне скло та ін.;

◆теповідвідні — екрани водоохолоджувальні (з металевого листа або сітки з водою, що стікає), водяні завіси та ін.;

◆комбіновані.

В залежності від особливостей технологічних процесів застосовують прозорі і напівпрозорі екрани.

Вибір теплозахисних засобів обумовлюється інтенсивністю та спектральним складом випромінювання, а також умовами технологічного процесу.

Теплозахисні екрани повинні забезпечувати нормовані величини опромінення працівників; бути зручними в експлуатації; не ускладнювати огляд, чищення та змащування агрегатів; гарантувати безпечну роботу з ними; бути міцними і зручними для виготовлення та монтажу; мати достатньо тривалий строк експлуатації; у процесі експлуатації зберігати ефективні теплозахисні якості.

Індивідуальні засоби захисту: спецвзуття, спецодяг, який витримує високі температури і захищає від інфрачервоних випромінювань, який водночас є м'яким і повітро-непропускним (брзент, сукно). Для захисту очей використовують спеціальні окуляри зі скельцями жовто-зеленого або синього кольору.

Захист від УФВ досягається:

- 1 — захистом відстанню;
- 2 — екрануванням робочих місць;

3 — засобами індивідуального захисту;

4 — спеціальним фарбуванням приміщень і раціональним розташуванням робочих місць.

При визначенні захисної відстані використовують дані безпосередніх вимірів у конкретних умовах. Найбільш раціональним методом захисту є екранування джерел випромінювання різними матеріалами і світлофільтрами. Екрани виконуються у виді щитів, ширм, кабін. Повний захист від УФВ всіх областей забезпечує флінтглас (скло, яке вміщує оксид свинцю).

У якості ЗІЗ використовують спецодяг (куртки, брюки, рукавички, фартухи), із спеціальних тканин, що не пропускають УФВ (льняні, бавовняні, поплін); захисні окуляри та щитки із світлофільтрами. Для захисту рук застосовують мазі із вмістом речовин, що служать світлофільтрами (салол, саліцилово-метиловий ефір).

Стіни і ширми у цехах фарбують у світлі кольори (сірий, жовтий, блакитний), застосовуючи цинкове чи титанове білило для поглинання УФВ.



4. Класифікація лазерів за ступенями небезпечності лазерного випромінювання

Під лазерною безпекою розуміється сукупність організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів, які забезпечують безпеку умов праці персоналу при використанні лазерів.

Прийняття тих чи інших заходів лазерної безпеки залежить, від класу лазера. Клас безпеки лазера встановлюється підприємством, яке його виготовляє.

Нормування лазерного випромінювання здійснюється згідно санітарних норм і правила СНиП 5804-91. За нормативами при проектуванні лазерної техніки має бути діючим принцип відсутності впливу на людину прямого, дзеркального та дифузного випромінювання.

При визначенні класу безпеки лазерного випромінювання враховуються три спектральних діапазони (нм): I — $180 < \lambda \leq 380$, II — $380 < \lambda \leq 1400$, III — $1400 < \lambda \leq 10^5$.

Нормованими параметрами ЛВ з погляду безпеки є енергія W (Дж) і потужність P (Вт) випромінювання, що пройшло обмежуючу апертуру діаметрами $d_a = 1.1$ мм (у спектральних діапазонах I і II) і $d_a = 7$ мм (у діапазоні II); енергетична експозиція H і опромінення E , усереднені по обмежуючій апертурі:

$$H = W/S_a; \quad E = P/S_a \quad (1)$$

де S_a — площа обмежуючої апертури.

Згідно нормативам лазерне устаткування за ступенем небезпеки розділяється на 4 класи:

1 клас — повністю безпечні лазери, які не мають шкідливої дії на очі та шкіру;

2 клас — мають небезпеку для очей та шкіри при дії колімірованим (прямим), тобто замкнутим у малому куті розповсюдження пучком; однак, дзеркальне або дифузне випромінювання таких лазерів безпечне для людини;

3 клас — це лазери, які діють у видимій межі спектру і являють небезпеку як для очей (прямим і дзеркальним випромінюванням на відстані 10 см від відбиваючої поверхні), так і шкіри (тільки прямий пучок);

4 клас — найбільш потужні лазери, які небезпечні при дифузному випромінюванні для очей і шкіри на відстані 10 см від дифузно відбиваючої поверхні.

Установка лазерів дозволяється тільки у спеціально обладнаних приміщеннях. На дверях приміщення, де знаходяться лазери 2,3,4 класів, повинні бути нанесені знаки лазерної небезпеки.

Лазери 4 класу повинні бути розташовані в окремих приміщеннях. Велике значення має стан приміщення всередині. Всі предмети, за винятком спеціального устаткування, не повинні мати дзеркальної поверхні.

Розташовувати устаткування потрібно так, щоб воно стояло вільно. Для лазерів 2, 3, 4 класів з лицевої сторони пультів і панелей управління необхідно залишати вільний простір шириною 1,5 м — при однорядному розташуванні лазерів, і шириною не менше 2 м — при дворядному. Із задніх та бокових сторін лазерів потрібно залишати відстань не менше 1 м.

Керування лазерами 4 класу повинно бути дистанційним, а двері приміщення, де вони знаходяться, повинні мати блокування.

При використанні лазерів 2 та 3 класів необхідно запобігати попаданню випромінювання на робочі місця. Повинні бути передбачені огороження лазерно шкідливої зони, або екранування пучка випромінювання. Для екранів та огорож потрібно вибирати вогнестійкі матеріали, які мають найменший коефіцієнт відбиття на довжину хвилі генерації лазера. Ці матеріали не повинні виділяти токсичні речовини при дії на них лазерного випромінювання.

При експлуатації лазерів 2,3,4 класів треба здійснювати періодичний дозиметричний контроль (не менше одного разу на рік), а також додаткового в таких випадках: при надходженні в експлуатацію нових лазерів 2-4 класів, при зміні конструкції засобів захисту, при організації нових робочих місць.

5. Специфіка захисту від лазерного випромінювання

Лазерні квантові генератори слід розміщувати в спеціально призначених для цих цілей приміщеннях, двері яких повинні мати спеціальне блокування з світловим таблом, що включається на час роботи лазерних генераторів. Приміщення повинні задовольняти усім вимогам санітарних норм і повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією.

Приміщення усередині, а також устаткування і предмети, що знаходяться в ньому, не повинні мати дзеркально відбиваючих поверхонь, у противному разі їх варто фарбувати в темні матові тони.

Квантовий генератор повинен установлюватися таким чином, щоб шлях променя проходив в найменш відвідуваній людиною зоні, а місця фокусування променя під час його роботи були захищені діафрагмами. Наприкінці променя розміщують пастку для поглинання відбитого випромінювання. Для зменшення розсіювання випромінювання лінзи, призми й інші тверді перешкоди на шляху променя повинні бути обладнані блендами. У деяких випадках необхідно відбивати весь хід променя.

Для візуального юстирування пристрої повинні бути оснащені захисними поглинаючими фільтрами. При роботі з оптичними квантовими генераторами їх розташування за польових умов слід позначати спеціальними знаками.

Ширми, що екранують, штори, завіси можна виготовляти з бавовняної чорної фланелі.

Захист очей слід здійснювати захисними окулярами, скло яких має велику оптичну щільність. Закордонні дослідники пропонують використовувати скло щільністю 9 на довжинах хвиль 0,6943 і 1,06 мкм. Для запобігання ушкодження скла випромінюванням оптичного квантового генератора перед ним пропонується розміщувати скло з меншим коефіцієнтом поглинання.

Окуляри СЗС-22, виконані із синьо-зеленого скла, практично непроникні для випромінювань з довжинами хвиль 0,63-1,5 мкм.

Робітники в процесі роботи з оптичними квантовими генераторами для профілактики захворювань повинні два рази на рік проходити медичні огляди за участю терапевта, гематолога, офтальмолога і невропатолога.

Дослідження і обслуговування оптичних квантових генераторів повинні проводити працівники не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань.