Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно- вимірювальних технологій

Кобута Михайло Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 339.543:004.7
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення засобу для виявлення контрабандних перевезень товарів при здійсненні митного контролю
(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка
(назва освітньої програми)

175. Інформаційно-вимірювальні технології
(шифр і назва спеціальності)

Кобута М. Р.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Кононенко Марина Андріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є Середюк.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

_____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ
2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут ___інформаційних технологій_____

Кафедра _інформаційно-вимірювальних технологій_____

Освітній рівень__магістр_____

Спеціальність _175 інформаційно-вимірювальні технології_____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри __ІВТ_____

_____Середюк О.Є._

«____» _____20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Кобуті Михайлу Романовичу_____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: _Розроблення засобу для виявлення контрабандних перевезень товарів при здійсненні митного контролю _____

керівник роботи ___Кононенко Марина Андріївна, к.т.н., доцент,_____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "03"грудня 2024 року № 787/7_____

2. Строк подання студентом роботи 13 грудня 2024 року_____

3. Вихідні дані до роботи: портативний засіб-детектор заснований на реєстрації зворотного розсіяного гама-випромінювання, джерело випромінювання Ba 133, глибина сканування – від 300мм і більше, доступ до об'єкту контролю – односторонній_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

_1. Огляд і аналіз існуючих приладів митного контролю транспортних засобів. 2. Розробка елементів електричної принципової схеми приладу митного контролю транспортних засобів. 3. Метрологічне забезпечення технічних засобів митного контролю._____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

МР.МТТм-27.00.00.001– Взаємозв'язок основного та допоміжних технологічних процесів митного контролю._____

МР.МТТм-27.00.00.002 – Структурна схема детектора._____

МР.МТТм-27.00.00.003 – Детектор магнітного контролю транспортних засобів. Загальний вигляд._____

МР.МТТм-27.00.00.004 – Схема аналогового процесора АП._____

МР.МТТм-27.00.00.005 – Бюджет невизначеності результату вимірювання потужності експозиційної дози (ПЕД)._____

_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Лютак З.П., професор кафедри		

7. Дата видачі завдання __15.10.2024р._____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз існуючих методів і засобів для митного контролю транспортних засобів	15.10.–1.11.2024р.	
2.	Розроблення елементів електричної схеми засобу	02.11.–19.11.2024р.	
3.	Аналіз метрологічного забезпечення технічних засобів митного контролю та особливостей метрологічного обслуговування детекторів-індикаторів	20.11–28.11.2024р.	
4.	Висновки по роботі	29.11–30.11.2024р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12.–13.12.2024р.	

Студент _____ __Кобута М.Р.____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ __Кононенко М.А.__
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП…… **7**
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧёёИХ ПРИЛАДІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ…… 11
1.1 Аналіз й оцінка схемотехнічних і конструктивних рішень приладів оглядового контролю…… 11
1.1.1.Аналіз методів оглядового контролю……. 11
1.1.2 Найімовірніші місця для несанкціонованих вкладень…….. 12
1.1.3 Фізичні основи методу зворотного розсіяного гама-випромінювання й аналіз принципу дії приладів контролю на такий основі ……. 14
1.2 Аналіз джерела випромінювання приладу ……... 24
1.3 Аналіз детектора приладу…… 28
2 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ МИТНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ….. 32
2.1 Структурна схема приладу оглядового контролю заснованого на реєстрації зворотного розсіяного гама-випромінювання…….. 32
2.2 Розробка основних блоків приладу…… 35
2.3 Spice-моделювання та дослідження схеми підсилювача-формувача…….. 39
2.4 Spice-моделювання і дослідження схеми аналогового процесора…. 41
2.5Дослідження і оптимізація схеми модуля попередньої обробки аналогової інформації…… 48
2.6 Методика обробки даних і порядок роботи з приладом…….. 52
2.6.1. Режими роботи приладу…….. 52
2.6.2 Опис і робота складових частин детектора…… 58

3. МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ……. 61
3.1 Організація метрологічного забезпечення митних органів…… 61
3.2. Особливості метрологічного забезпечення детекторів-індикаторів.. 64
3.3Контроль функціонування детектора (індикатора) контрабанди і заходи із забезпечення його надійної роботи……. 69
3.3.1Оцінювання невизначеності при вимірюванні параметрів гамма-випромінювача…….. 69
3.3.2Методика розрахунку терміну служби джерела γ –випромінювання……... 76
ВИСНОВКИ 79
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА 80

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: « Розроблення засобу для виявлення контрабандних перевезень товарів при здійсненні митного контролю». Кобута М.Р., ІФНТУНГ, 2024, 84 с., 32 рис., 3 табл., 5 аркушів графічного матеріалу, 40 джерел.

Метою роботи є розроблення приладу-детектора для виявлення і контролю контрабанди у схованих порожнинах при односторонньому доступі.

Для вирішення цієї задачі було проаналізовано існуючі прилади митного контролю транспортних засобів, розроблено структурну схему приладу митного контролю, запропоновано методику обробки даних і порядок роботи приладом митного контролю транспортних засобів, розглянуто основи метрологічного забезпечення технічних служб митного контролю та проаналізовано надійність митних детекторів для оглядового контролю і заходи із забезпечення їх надійної роботи як засобів, для яких не регламентовано метрологічні характеристики.

Запропонований підхід було реалізовано у проєктуванні засобу митного контролю для виявлення несанкціонованих вкладень у порожнинах транспортних засобів різної глибини, який засновано на реєстрації зворотного розсіяного гамма-випромінювання.

МИТНИЙ КОНТРОЛЬ, ДЕТЕКТОР, РОЗСІЯНЕ ГАМА-ВИПРОМІНЮВАННЯ, РАДІОІЗОТОПНЕ ДЖЕРЕЛО, СХОВАНКА, ФОТОЕЛЕКТРОННИЙ ПОМНОЖУВАЧ, НВИЗНАЧЕНІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ

ABSTRACT

Master's work: "Development of customs control means for unauthorized transportation detection of goods and substances ". Kobyta M., IFNTUNG, 2024, 84pp., 32 figures, 3 tables, 5 sheets of graphic material, 40 sources.

The purpose of the work is to develop a detector device for detecting and controlling contraband in hidden cavities with one-way access.

To solve this problem, the existing customs control devices of vehicles were analyzed, the structural scheme of the customs control device was developed, the method of data processing and the operation procedure of the vehicles customs control were proposed, the metrological support basics of the customs control technical services were analyzed, and the reliability of the customs detectors and inspection were analyzed measures to ensure their reliable operation as a means for which metrological characteristics are not regulated.

The proposed approach was implemented in the design of a customs control tool for detecting unauthorized investments in the vehicles cavities with different depth, which is based on the registration of backscattered gamma rays.

CUSTOMS CONTROL, DETECTOR, DISTRIBUTED GAMMA EMISSION, RADIO ISOT SOURCE, COVER, PHOTOMULTIPLIER TUBE, MEASUREMENT UNCERTAINTY, RELIABILITY

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток зовнішньоекономічних зв’язків, становлення ринкової економіки в умовах збільшеної кількості теракtів й економічних злочинів вимагають забезпечення високопродуктивного, ефективного митного контролю вантажів, транспортних засобів, що перетинають державний кордон. Особливого значення ці заходи набувають з прийняттям Закону України,який має наблизити митне законодавство до європейських стандартів. Як зазначено у прес службі Президента, закон №202-IX має на меті наблизити митне законодавство України до стандартів та практики Європейського Союзу. Це є одним з обов’язків України в рамках Угоди про асоціацію з ЄС.

Закон визначає терміни: «контрафактні товари», «піратські товари», «товари, що підозрюються у порушенні права інтелектуальної власності». Закон має посилити боротьбу з такими товарами, прискорити переміщення через митний кордон та митне оформлення оригінальних товарів, сприяти розвитку міжнародної торгівлі та підвищенню інвестиційної привабливості України.Крім того, закон встановлює, як перевірятимуться та оформлюватимуться товари у міжнародних поштових та експрес-відправленнях.

У різних сферах діяльності людини (будівництво, гуманітарне розмінування, геологія, силові структури і т. ін.) дуже часто виникають завдання, пов'язані з пошуком об'єктів у прихованих середовищах. Одним з напрямків розвитку технічного забезпечення оглядового контролю транспортних засобів є створення портативних радіоізотопних приладів, які використовують зворотно розсіяне гамма-випромінювання. Такі прилади дають можливість здійснювати оперативний контроль в геометрії одностороннього доступу, що особливо важливо при огляді великогабаритних об'єктів.

Вони дозволяють виявляти предмети, приховані всередині конструкцій транспортних засобів за різними перешкодами.

Принцип дії приладів заснований на аналізі зворотно розсіяного об'єктом контролю гамма-випромінювання радіоізотопного джерела, яке реєструється сцинтиляційним детектором. Для здійснення одностороннього контролю транспортних засобів і деяких видів багажу в даний час найбільш ефективними і ергономічними є детектори прихованих порожнин або вимірювачі щільності, які випускаються більшістю виробників під назвою "детектор контрабанди". Детектор контрабанди - апаратура, яка забезпечує можливість виявляти наявність незаконних вкладень в різних порожнинах всередині конструкцій.

Принцип роботи пошукової техніки заснований на виявленні об'єктів, котрі за будь-якими або фізичними параметрами відрізняються від параметрів матеріалу середовища, в якому вони сховані.

Як об'єкти, які виявляються пошуковими приладами, можуть виступати схованки в різних середовищах, наркотичні та вибухові речовини, вироби з чорних і кольорових металів.

Широкий набір пошукових засобів викликаний досить великою різноманітністю предметів, що представляють інтерес, а також видів середовищ, у яких ховають ці предмети (ці предмети можуть бути заховані в землі, воді, в стінах будівель, речах, меблях і навіть на тілі людини).

В залежності від умов проведення огляду об’єктів прилади і системи контролю, що засновані на застосуванні іонізуючого рентгенівського і гама-випромінювання, розрізняють стаціонарні і пересувні інспекційно-оглядові комплекси, мобільні інспекційно-оглядові комплекси, переносні прилади, до яких відносять портативні прилади.

Принцип роботи мобільних, стаціонарних і пересувних оглядових комплексів може бути заснований на використанні:

– пройденого рентгенівського і гама-випромінювання;

– зворотно розсіяного гама-випромінювання системи;

– пройденого і зворотно розсіяного випромінювання – комбіновані системи.

Дія портативних оглядових приладів заснована на реєстрації відбитих від досліджуваної поверхні гама-квантів випромінювання джерела сцинтиляційним детектором. Інтенсивність зареєстрованого випромінювання залежить від наявності об’єкта, що розсіює випромінювання, та від його властивостей (середньої густини сканованого об’єму). За зміною інтенсивності зареєстрованого розсіяного випромінювання, відносні значення якого реєструються на екрані дисплея, можна робити висновок про зміни густини контрольованого об’єкта.

Підвищення вимог до технічного оснащення спеціальних підрозділів і митних служб з метою більш ефективного вирішення завдань протидії загрозам державній, соціальній, економічній, особистій і майновій безпеці обумовлює актуальність розробки нових і удосконалення існуючих засобів митного контролю.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Результати досліджень, які відображені у магістерській роботі, виконано автором відповідно до плану навчання на кафедрі інформаціно-вимірювальних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Ця робота виконана за безпосередньою участю автора як виконавця окремих розділів.

Мета роботи полягає у розробці приладу-детектора для виявлення і контролю контрабанди у схованих порожнинах при односторонньому доступі.

Задачі дослідження. На основі проведеного аналізу існуючих портативних митних засобів оглядового контролю дослідити основні схемотехнічні рішення детекторів контрабанди, що дозволяють при виявленні аномальної неоднорідності об'єкту здійснювати уточнення характеристик несанкціонованої закладки або порожнини.

Для вирішення мети та задачі дослідження у магістерській роботі слід сформулювати наступні завдання:

– проаналізувати існуючі прилади митного контролю транспортних засобів;

– розробити структурну схему приладумитного контролю і за допомогою програми схемотехнічного моделювання B2 Spice AD Professional v4.2.6 Trial провести моделювання схеми основних блоків приладу;

– запропонувати методику обробки даних і порядок роботи з приладом;

– розглянути основи метрологічного забезпечення технічних служб митного контролю;

– проаналізувати надійність митних детекторів для оглядового контролю і заходи із забезпечення їх надійної роботи як засобів, для яких не регламентовано метрологічні характеристики.

Об’єктом дослідження є процес виявленнянесанкціонованої закладки у порожнинах транспортного засобу при його митному огляді.

Предметом дослідження є результати спостережень, що одержано в результаті оглядового митного контролю за допомогою засобів, заснованих на реєстрації зворотного розсіяного гама-випромінювання.

Методи дослідження:аналіз теоретичних знань, теорія вимірювань, моделювання за допомогою програми схемотехнічного моделювання B2 Spice AD Professional v4.2.6 Trial, методи математичної статистики і теорії ймовірності.

Наукова новизна та практичне значення роботи полягає у:
визначенні основних вимог до засобів митного контролю**,** для яких не регламентовано метрологічні характеристики, а також у тому що запропоновані схемотехнічні рішення можна використовувати при проєктуванні засобів митного контролю для виявлення несанкціонованих вкладень у порожнинах транспортних засобів різної глибини, а також результати роботи можуть бути використані у начальному процесі на кафедрі інформаціно-вимірювальних технологій ІФНТУНГ.

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИЛАДІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Аналіз й оцінка схемотехнічних і конструктивних рішень приладів оглядового контролю

1.1.1.Аналіз методів оглядового контролю

В даний час існує багато способів пошуку об'єктів за різними перешкодами, такі як: ультразвукові товщиноміри і густиноміри, георадари, радіолокатори, міношукачі, тепловізори, рентгенотелевізійні установки, детектори контрабанди і т. ін. [1, 2, 3]. Всі вони мають свої переваги і недоліки. Проведемо короткий порівняльний аналіз вище перерахованих способів стосовно до вирішення завдань пошуку об'єктів у прихованих середовищах:

– ультразвукові товщиноміри і густиноміри відрізняються високою роздільною здатністю, але їх основним недоліком є те, що вони не здатні виявити об'єкт за перешкодою, якщо між об'єктом і перешкодою є, наприклад, повітряний прошарок, що призводить до загасання зондуючого сигналу [3].

– електромагнітний метод в більшості випадків використовується для пошуку об'єктів з високою електропровідністю (в основному метали), тому пошук предметів за металевими перешкодами буде дуже утруднений, а часом і неможливий [2];

– особливістю застосування тепловізорів є те, що для нормального функціонування установки необхідний градієнт температур, тобто досліджуване середовище необхідно буде підігрівати або охолоджувати [4];

– рентгенотелевізійний аналіз добре підходить для вирішення завдань пошуку об'єктів у прихованих середовищах і володіє великою роздільною

здатністю, але його основним недоліком є великі масо-габаритні показники і низька мобільність [5];

– нелінійний радіолокатор – це дуже ефективна, універсальна і проста в експлуатації пошукова апаратура. Нелінійний радіолокатор свого роду індикатор напівпровідникових приладів: він дозволяє виявити нелегально розміщені радіоелектронні пристрої будь-якого призначення, причому як працюючі, так і "сплячі", але це стосується лише об'єктів, в яких є наявність контакту з металом, що є недоліком [6];

– ядерно-квадрупольний резонанс (ЯКР) з успіхом вирішує завдання безконтактного виявлення герметично упакованих вибухових речовин і наркотиків і має ряд властивих тільки ЯКР методу переваг, але елементарне екранування може поставити непереборну перешкоду виявленню несанкціонованих вкладень в різні порожнини [2,5];

– гамма-випромінювання має велику проникаючу здатність і апаратура, яка заснована на зворотно розсіяному гамма-випромінюванні, поки що залишається найбільш універсальним засобом для виявлення різних небезпечних вкладень в ручній поклажі, багажі, транспортних засобах, схованках і навіть на тілі людини. Серед недоліків даного методу можна виділити тільки наявність джерела іонізуючого випромінювання в приладі, але це питання вирішується застосуванням різних поглинаючих матеріалів [2,5,7].

1.1.2 Найімовірніші місця для несанкціонованих вкладень

Є такі місця для закладок, що частіше зустрічаються на транспорті. Є багато різних місць в автомобільному транспорті (легкові, вантажні автомобілі і автобуси), де можна заховати від митного інспектора певний предмет: колеса, двері, бампер, крила і підкрилки, бензобак, радіатор, фари, природні (технологічні) і штучні порожнини кузова, і т. ін. Зустрічалися і такі випадки у практиці митного огляду, коли здійснювалася установка

додаткових вихлопних систем, призначених для приховування предметів контрабанди, а також ємності з подвійним дном [8, 9].

У залізничному транспорті є більше технологічних порожнин (акумуляторні ящики, ящики з електрообладнанням і т. ін.), в яких часто можна знайти предмети, яких там не мало би бути. Конструкція вагонів така, що дозволяє ховати предмети між обшивками, в трубах вентиляційної системи та опалення, в тамбурах, туалетах, люках і т. ін. [10].

Більше місць для контрабанди там, де складніша конструкція транспортного засобу, і більше можливостей ховати контрабанду. Особливо це стосується повітряних транспортних засобів, де огляду у слід піддавати практично всі вузли, механізми і приміщення [11]. Огляду підлягають технічні відділи літака, зливні і заправочні системи, відсіки для шасі, крила і двигуни літака, кабіна екіпажу, буфети, туалети, тамбури, пасажирський салон, не кажучи вже про більш дрібні вузли і механізми. А морські та річні транспортні засоби – це цілі житлові будинки, де є багато житлових приміщень, а також вантажних відсіків і відділень для силових установок. Тут є де розгулятися контрабандисту з уявою та певними знаннями конструктивних особливостей транспортних засобів. Контрабанду можуть ховати в вентиляційних шахтах і повітроводах, трубках і шлангах, в баках з пальним, вантажі підвішують або встановлюють на плавучі платформи, затоплюють за допомогою вантажів, кріплять до стелі та стін у важкодоступних місцях, ховають у сипучих матеріалах і за перегородками [12].

Матеріалами, які слугують перешкодами і за якими можуть бути приховані несанкціоновані вкладення, найчастіше бувають метали, пластик, дерево, елементи будівельних конструкцій, різні сипучі матеріали і рідини. Розміри таких перешкод можуть змінюватися в широких межах (до 10 мм для перешкод із сталі, до 25 мм для перешкод з алюмінію і пластика, до 100 мм для перешкод з дерева, до 500 мм для перешкод з бетону, до 1000 мм при пошуках закладок в рідинах і сипучих матеріалах). А предметами

контрабанди найчастіше бувають наркотики (органічного і синтетичного походження), зброя (пістолети, автомати, патрони і різного роду комплектуючі для них), радіоактивні матеріали, вибухові речовини (ТНТ, гексоген, С4, різні солі селітри і т. ін.), коштовності та дорогоцінні метали (вироби) та їх руди (з'єднання – золото, платина, срібло, рутеній, родій, паладій, осмій, іридій і т. ін.), дорогоцінне каміння (діаманти, алмази і т. ін.), гроші, різні матеріальні цінності та електронна апаратура [12]. Об’єм закладок також може коливатися від 0.03дм^3 – це розмір сірникової коробки і до 400 дм^3– об’єм бензобака вантажного автомобіля.

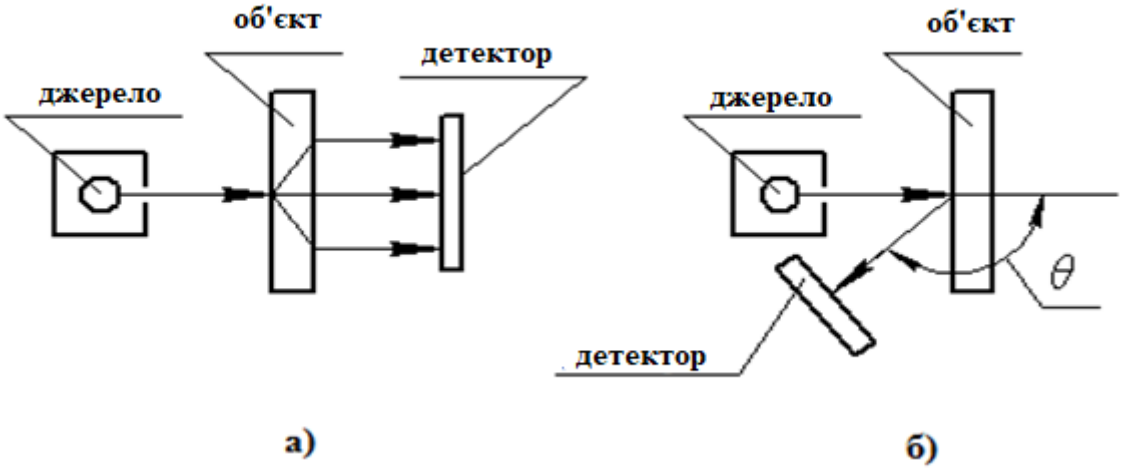
1.1.3 Фізичні основи методу зворотного розсіяного гамма-випромінювання й аналіз принципу дії приладів контролю на такий основі

Радіаційний неруйнівний контроль заснований на реєстрації і аналізі іонізуючого випромінювання після того, як відбулася взаємодія його з контрольованим об'єктом. Такий контроль застосовується при виявленні дефектів у виливках, зварних і паяних з'єднаннях; при технологічному контролі виготовлення біоматеріалів; при контролі контейнерів, багажу, поштових відправлень; при експертизі витворів мистецтва; при визначенні якості посівного матеріалу; у наукових дослідженнях для реєстрації швидко плинних процесів і т. ін.[5]

Обладнання контролю зазвичай містить як мінімум три елементи – джерело іонізуючого випромінювання (ДІВ), об'єкт контролю і детектор, що реєструє інформацію про параметри випромінювання [5].

За конструктивними особливостями засоби радіаційного контролю поділяють на два види: з одностороннім доступом до об'єкту, при цьому реєструють зворотно розсіяні рентгенівські гамма-кванти, і двостороннім доступом, коли реєструють випромінювання, що проходить.

Двосторонній доступ реалізований, як правило, в стаціонарних установках контролю і рідше в мобільних. Односторонній доступ мають портативні прилади і мобільні комплекси (рис. 1.1) [13].



а) за допомогою випромінювання, що проходить;

б) за допомогою зворотно-розсіяного випромінювання

Рисунок 1.1 – Геометрія і принцип роботи засобів радіаційного контролю

Теоретичною базою радіометричних методів контролю є загальна теорія розподілу гамма-квантів в речовині. Відомо, що γ-кванти взаємодіють з речовиною за допомогою трьох таких процесів: фотоелектричне поглинання, утворення електронно-позитронних пар і комптонівського розсіювання [5].

Коли в основу взято фотоелектричне поглинання, гамма-квант втрачає всю свою енергію при одній взаємодії зі зв'язаним електроном атома речовини, що опромінюється. В цьому випадку гамма-квант перестає існувати як гамма-квант. Імовірність такої взаємодії сильно залежить від енергії падаючого гамма-кванта Eγ і атомного номера речовини, що опромінюється Z.

Гамма-квант також може втратити всю свою енергію в процесі взаємодії з утворенням пари електрон-позитрон. Однак, цей процес не є суттєво значущим для задач неруйнівного контролю, що використовують ефект розсіювання гамма-випромінювання, оскільки його енергетичний поріг перевищує 1МеВ. Рисунок 1.2 ілюструє типову залежність лінійного

коефіцієнта ослаблення від енергії падаючого гамма-випромінювання, а також залежність ймовірності процесів взаємодії гамма-випромінювання з навколишнім середовищем від енергії випромінювання [5,7], і як видно, в області енергій близько 1 МеВ процес комптонівського розсіювання починає спадати, а превалює процес утворення пар електрон-позитрон.

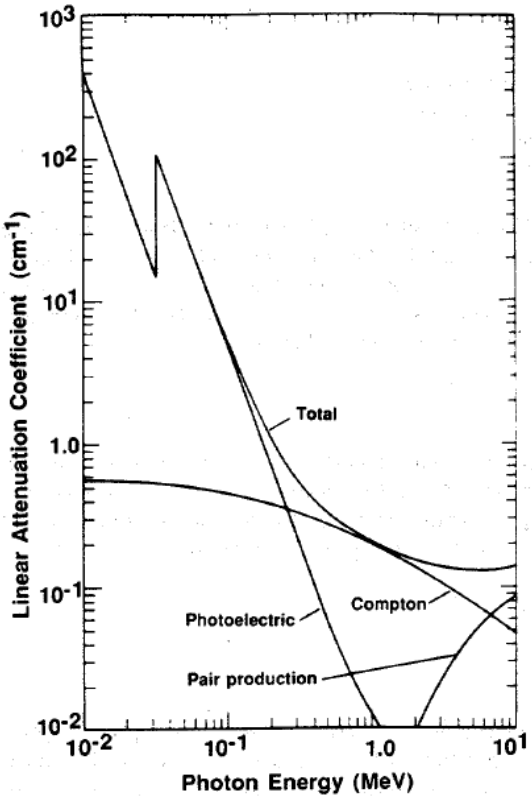


Рисунок 1.2 – Графік лінійного загасання від процесів фотоелектричного поглинання, комптонівського розсіювання і утворення пар електрон-позитрон

В процесі фотоелектричного поглинання гамма-квант втрачає всю свою енергію при одній взаємодії зі зв'язаним електроном атома речовини, що опромінюється і перестає існувати як гамма-квант. Імовірність такої взаємодії сильно залежить від енергії падаючого гамма-кванта Eγ і атомного номера речовини, що опромінюється Z.

Гамма-квант також може втратити всю свою енергію в процесі взаємодії з утворенням пари електрон-позитрон. Однак, цей процес не є суттєво значущим для задач неруйнівного контролю, що використовують ефект розсіювання гамма-випромінювання, оскільки його енергетичний поріг перевищує 1МеВ. Рисунок 1.2 ілюструє типову залежність лінійного коефіцієнта ослаблення від енергії падаючого гамма-випромінювання, а також залежність ймовірності процесів взаємодії гамма-випромінювання з навколишнім середовищем від енергії випромінювання [5,7], і як видно, в області енергій близько 1 МеВ процес комптонівського розсіювання починає спадати, а превалює процес утворення пар електрон-позитрон.

Оскільки електрони перебувають строго на своїх орбітах і розташовані кожна на своїй відстані від ядра і при цьому чітко характеризують визначений енергетичний стан атома [7], то поле зворотно розсіяного випромінювання несе інформацію про стан досліджуваного матеріалу. Цей принцип використовується в багатьох радіоізотопних приладах.

При комптонівському розсіюванні гамма-квант втрачає при одній взаємодії тільки частину своєї енергії. Така ймовірність взаємодії слабо залежить від $E\gamma$ і Z. Комптонівським розсіюванням є процес пружного зіткнення, в якому гамма-квант з енергією $E\gamma$ взаємодіє з вільним або слабо зв'язаним електроном ($E\gamma >>$ енергії зв'язку електрона з ядром атома) і передає частину своєї енергії електрону (рисунок 1.3). Відповідно до законів збереження енергії, електрон, який незначно пов'язаний з атомом, отримує частину енергії гамма-кванту. Гамма-квант залишається у комптонівській взаємодії, у котрій також беруть участь зовнішні електрони атома, але такі, що дуже мало взаємопов’язані.

У вільного електрона кінетична енергія рівна різниці енергії, яка втрачається гамма-квантом і енергії зв'язку електрона [7].

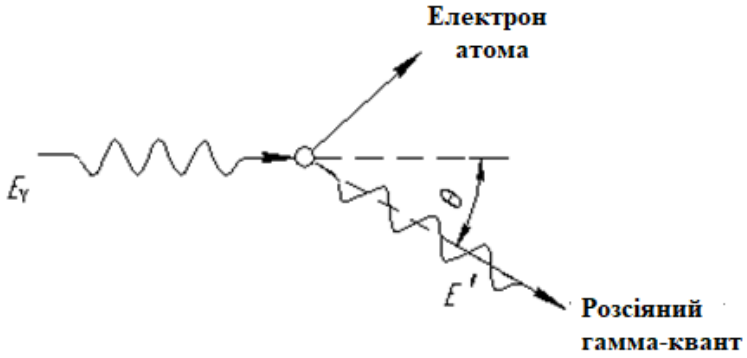


Рисунок 1.3 – Схема здійснення комптонівського розсіювання

Оскільки енергія зв'язку електрона дуже мала в порівнянні з енергією гамма-кванта, кінетична енергія електрона дуже близька до енергії, яка втрачена гамма-квантом:

$$E_e = E_\gamma - E', \tag{1.1}$$

де *Ee* – енергія розсіяного електрона;*Eγ* – енергія падаючого гамма-кванта; *E'* – енергія розсіяного гамма-кванта.

Енергія одного первинного фотона (γ-кванта) рівна:

$$E_\gamma = h \cdot \frac{c}{\lambda} = h\nu, \tag{1.2}$$

де c - швидкість світла у вакуумі, λ - довжина хвилі, ν - частота.

У результаті взаємодії на цьому місці залишають дві частки: електрон, що звільнений, і гамма-квант, що є розсіяний. Їхні напрямки вильоту залежать від кількості енергії, яка передається електрону протягом взаємодії. Рівняння з [5] дає вираз для енергії розсіяного гамма-кванта і зв'язок з кутом його вильотуθ і енергією падаючого гамма-кванта:

$$E' = m_e c^2 / \left(1 - \cos\theta + m_e c^2 / E_\gamma\right), \tag{1.3}$$

де: $m_e c^2$– енергія спокою електрона = 511 кеВ; θ – тілесний кут між падаючим і розсіяним гамма-квантами (див. рисунок. 1.3).

При цьому кут θ може приймати значення практично від 0 до 180°. Прилади, що працюють на ефекті зворотного розсіяного гамма-випромінювання, детектують гамма-кванти з кутом θ близьким до 180º, що

надає можливість розташувати джерело і детектор гамма-випромінювання з одного боку від досліджуваної поверхні. Як видно з формули (1.3) енергія розсіяного фотона залежить тільки від кута розсіювання θ.

Кутовий розподіл диференціального перерізу комптонівського розсіювання на вільному електроні виражається формулою Клейна-Нішини-Тамма [14]:

$$\frac{d\sigma(\cos\theta,\varepsilon)}{d\Omega}=\frac{r_e^2}{2}\frac{1}{\left[1+\varepsilon(1-\cos\theta)\right]^2}\left[1+\cos^2\theta+\frac{\varepsilon^2(1-\cos\theta)^2}{1+\varepsilon(1-\cos\theta)}\right]d\Omega, \quad (1.4)$$

де $r_e=e^2/m_ec^2=2{,}8\cdot10^{-15}$ *м* – класичний радіус електрона (e – заряд електрона);

$$\varepsilon=E_\gamma/m_ec^2,$$

де $d\Omega=\sin\theta\cdot d\theta\, d\varphi$ - елемент тілесного кута.

Приклад графічного зображення діаграми розсіювання (рисунок 1.4) наведено за даними [7].

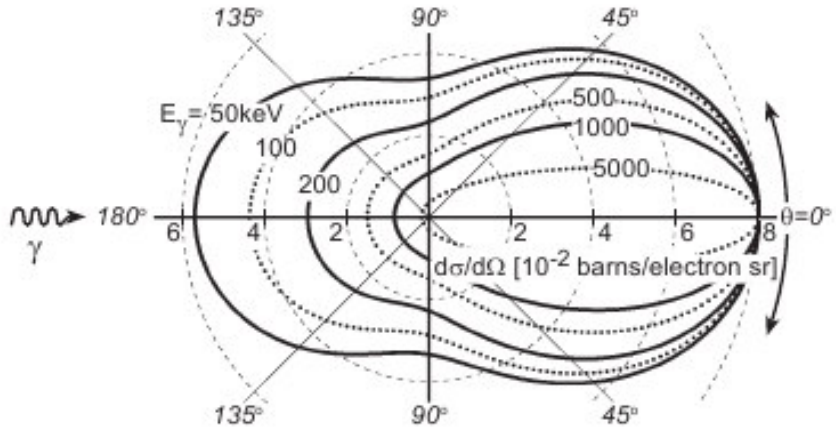


Рисунок 1.4 –Діаграма розсіювання

У свою чергу це призводить до зміни енергетичних і кутових характеристик випромінювання після його взаємодії з контрольованим об'єктом.

Густина – одна з найважливіших фізичних характеристик речовини. Тому широке поширення в багатьох областях набули виміри густини. Одним

з ефективних методів контролю густини є радіоізотопний метод. Існують три модифікації цього методу:

– метод просвічування матеріалу вузьким пучком;

– метод просвічування матеріалу широким пучком;

– метод розсіяного γ-випромінювання (гамма-метод).

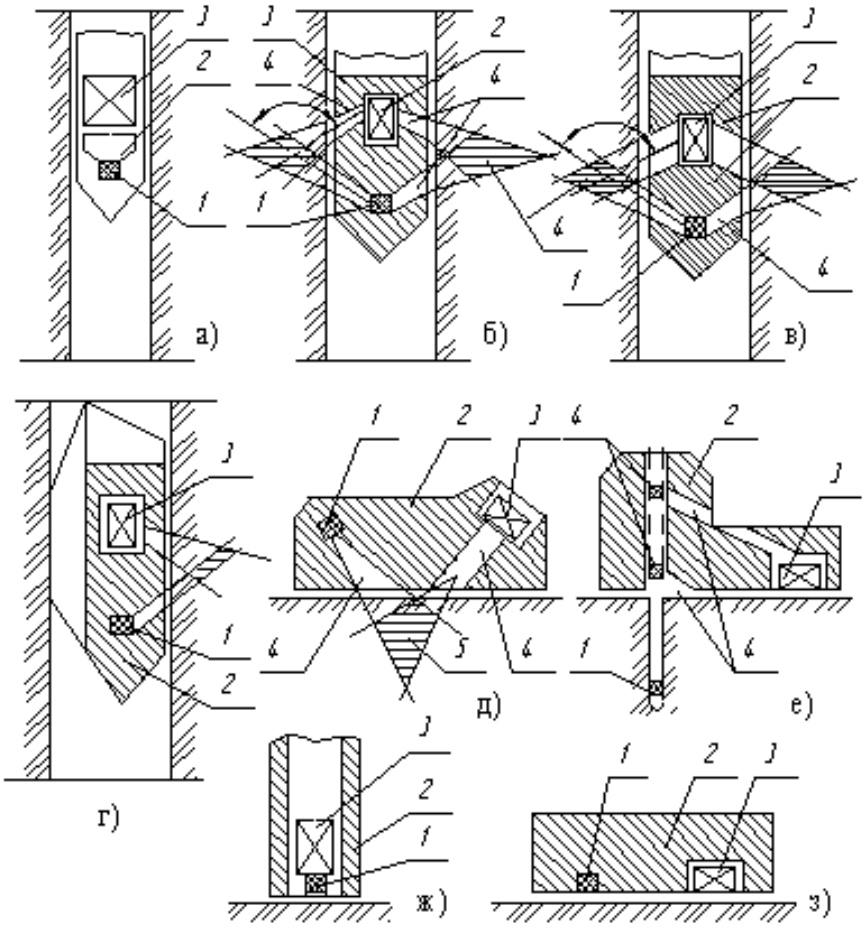
Метод просвічування вузьким пучком заснований на реєстрації тільки первинного γ-випромінювання, що проходить через шар досліджуваного матеріалу. При просвічуванні широким пучком необхідно враховувати вплив ще й розсіяного γ-випромінювання, а це ускладнює аналіз. Обидва ці методи реєструють випромінювання, що проходить.

Метод зворотного розсіяного γ-випромінювання є перспективним, він дозволяє здійснювати неруйнівний контроль при односторонньому доступі до об'єкта. Принцип дії приладів на основі цього методу розглянуто в роботі [15].

Усі гамма-густиноміри, що реалізують метод розсіяного γ-випромінювання, призначені для поверхневих або глибинних (свердловинних) вимірювань. У першому випадку джерело і детектор γ-випромінювання розміщують на поверхні досліджуваного матеріалу. При цьому між джерелом і детектором є захист від прямого γ-випромінювання. Зареєстроване детектором розсіянеγ-випромінювання дозволяє однозначно (внаслідок наявності статичного зв'язку характеристик розсіяного γ-випромінювання з густиною матеріалу) визначити густину досліджуваного середовища.

У гамма-густиномірах зазвичай джерело γ-випромінювання і детектор знаходяться на поверхні матеріалу (рис. 1.5, ж, з), коліматор джерела забезпечує геометрію поширення 2π. У деяких випадках можливий варіант установки джерела і детектора γ-випромінювання на деякій відстані від поверхні матеріалу (рис. 1.5, д). Останнім часом широке застосування набули

густиноміри з колімацією не тільки джерела, але і детектора [15] (рис. 1.5, а-г).



1 –джерело; 2 – захист; 3 – детектор; 4 – коліматор γ-джерела;
5 – область детектування

Рисунок 1.5 – Метод розсіяного гамма-випромінювання

При пошуку контрабанди можливі два принципово різні завдання, кожне з яких має своє рішення. У першому випадку потрібно визначити наявність або відсутність конкретних видів контрабанди (зазвичай вибухові речовини, наркотики, зброю, радіоактивні речовини). У другому випадку потрібна швидка відповідь типу «Так - Ні» без конкретизації за видом.

Аналіз патентної інформації [16-19] показує, що для вирішення першого завдання найчастіше використовують такі види випромінювання як

нейтронне і електромагнітне (рентгенівське, гама) різних енергій, альфа і бета випромінювання не застосовують.

Варто зазначити, що:

1) наведеними вище методами можна визначати вибухові речовини, а для виявлення різних інших елементів потрібне випромінювання з різними енергіями;

2) аналіз спектра і ідентифікація речовин, вимагають значного обсягу обчислень;

3) для роботи установок потрібно або імпульсне джерело нейтронів, або джерело гальмівного (рентгенівського) випромінювання. Все це не дозволяє створити компактну, портативну установку.

У випадку, коли не потрібно визначати конкретний вид контрабанди, завдання її пошуку набуває вигляду пошуку неоднорідності матеріалу і вирішується шляхом вимірювання густини цього матеріалу. Вимірювання густини радіометричним методом засновано на законі ослаблення потоку випромінювання в речовині. Вимірюючи інтенсивність потоку $I(x)$, який пройшов через речовину, можна розрахувати густину речовини. Саме так визначається густина в [20].

У всіх наведених випадках джерело і детектор випромінювання знаходяться по різні боки об'єкта контролю, а це унеможливлює здійснювати односторонній контроль об'єктів і контроль у важкодоступних місцях (наприклад, при пошуку контрабанди в днищі автомобіля і т. ін.).

Як було відзначено, гамма-випромінювання, діючи на речовину, призводить до вибивання електронів з електронних оболонок атомів - це фотоефект; розсіювання гамма-квантів на електронних оболонках –це комптон-ефект і утворення позитрон-електронних пар при зіткненні квантів з атомними ядрами.

Фотоефект і комптон-ефект слабшають зі збільшенням енергії гамма-квантів, причому при енергіях менше 0.511 МеВ переважає фотоефект, а при

енергіях більше 1,022 МеВ вже утворюються пари електрон-позитрон, що і спричиняє зростання енергії квантів [20].

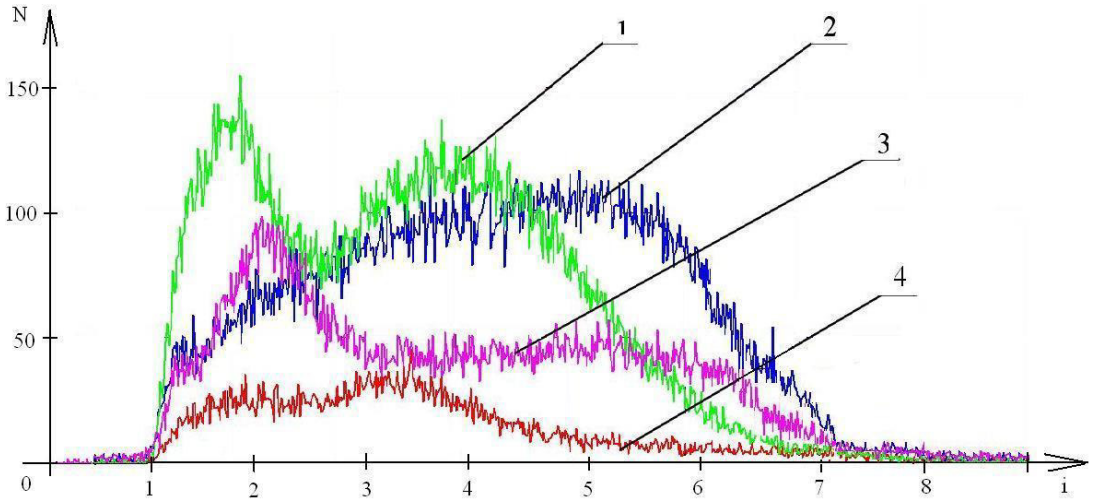
Енергія квантів, що викликали фотоефект, повністю поглинається речовиною, а гамма-кванти, розсіяні при комптон-ефект або такі, котрі випромінюються при анігіляції позитронів, рухаються в різних напрямках, що відрізняються від первинного, а це дозволяє розташувати джерело і детектор з одного боку від об'єкта.

Пристрій містить в собі два джерела гамма-випромінювання різних енергій – барій 133 і америцій 241 і працює таким чином: на деяку ділянку обстежуваного об'єкта направляють випромінювання джерела; розсіяний у зворотному напрямку потік потрапляє на детектор; сигнал, що знімається з детектора, служить мірою усередненої густини об'єкта на досліджуваній ділянці; потім прилад пересувають на сусідню ділянку, при цьому, якщо кількість речовини, що потрапляє під дію випромінювання джерела, змінюється, то змінюються і покази приладу. Величина відхилення від початкових показників є мірою неоднорідності об'єкту. Поява ж неоднорідності в тому місці об'єкта, де з відомих причин (конструктивних, технологічних та ін.) її не повинно бути, вказує на наявність стороннього предмета.

Пристрій не визначає точного значення густини, проте застосований в ньому метод має більш широкі можливості, ніж це може здатися на перший погляд. Метод дозволяє вже в процесі пошуку провести класифікацію за принципом: більше густина – більше показники приладу [21].

Отже, органічні, неорганічні речовини і різні метали, потрапляючи в зону дії пристрою, спричиняють різні його покази, а самі радіоактивні речовини, будучи джерелами випромінювання, призводять до аномально високих показів приладу. Таким чином, з'являється можливість визначити приналежність прихованого об'єкта контролю до певного типу речовин.

У результаті проведених експериментальних досліджень отримано спектри відбиття випромінювання від зразків з різних матеріалів (рис. 1.6) [21].



1 – спектр відбиття випромінювання від зразка з деревини товщиною 15 мм; 2 – спектр відбиття випромінювання від зразка з сталі товщиною 6 мм; 3 – спектр відбиття випромінювання від зразка з свинцю товщиною 20 мм; 4 – спектр фонового випромінювання

Рисунок 1.6 –Характеристики спектрів відбиття випромінювання від зразків з різних матеріалів

1.2 Аналіз джерела випромінювання приладу

Гамма-випромінювання – це короткохвильове електромагнітне випромінювання атомних ядер, що виникає в результаті зміни енергетичного стану ядер.

Принцип роботи детекторів прихованих порожнеч заснований на ефекті зворотного розсіювання гамма-випромінювання: випромінювання від джерела проникає всередину досліджуваного об'єкта (через обшивку, упаковку, перегородку і т. ін.) і розсіюється, причому частина зворотного розсіяного випромінювання реєструється детектором. Інтенсивність зворотного розсіяного випромінювання для речовин з меншою густиною і меншим атомним номером (таких, як папір, вибухові речовини, наркотики та

інших речовин органічного походження) більше, ніж для речовин з більшою густиною і, відповідно, більшим атомним номером (латунь, сталь, свинець та ін.) [20].

За зміною інтенсивності і спектру зареєстрованого розсіяного випромінювання можна судити про зміну густини об'єкту і, отже, про наявність відсутності контрабандної закладки, а також про її склад. Відомі труднощі у формуванні вирішальних висновків пояснюють тим, що зареєстрований спектр випромінювання залежить від геометрії об’єкта досліджень . Завданням даної роботи є дослідження за допомогою імітаційної моделі детектора залежності зареєстрованого спектра випромінювання від геометрії об’єкту для ряду типових випадків (виявлення цінних металів, органіки і т. ін.).

Імітаційна модель контролю розроблена з використанням методів Монте-Карлої описує модель поширення випромінювання в геометрії експерименту, його взаємодію з чутливим об'ємом детектора, а також ряд оптичних процесів до безпосередньої взаємодії з фотокатодом. На вході моделі змінюють матеріал, розміри, положення закладки, матеріал і товщину перешкод. На виході знімають спектр випромінювання, що був поглинений детектором.

Серед недоліків такого методу виявлення можна виділити тільки фактор радіаційної небезпеки, пов'язаний з наявністю в приладі джерела іонізуючого випромінювання, але це питання вирішується застосуванням різних поглинаючих матеріалів. Достатньо висока проникаюча здатність і спектральні характеристики зворотного розсіяного гамма-випромінювання в детекторах проявляються у збільшенні глибини сканування і можливості роботи з різними типами матеріалів перешкод. Слід так само відзначити, що таке випромінювання не робить впливу на об'єкт огляду, що позиціонує його як неруйнівний контроль [2, 20].

На рис. 1.7 наведено спрощену схему радіаційного детектора аномальних густин, що заснований на ефекті зворотного розсіяного гамма-випромінювання.

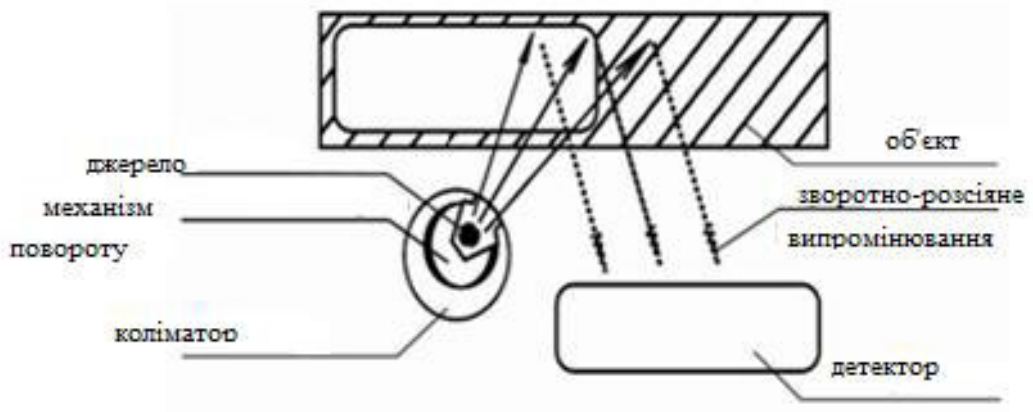


Рисунок 1.7- Спрощена схема радіаційного детектора аномальних густин

Таблиця 1.1 – Характеристики існуючих портативних приладів, що засновані на ефекті зворотного розсіяного гамма-випромінювання

Характеристика	Одини-ця вимі-рювання	Прилад			
		Рось-4М Україна	К910В Buster США	Rad Reflex2 Німеччина	ХТ08-01 Китай
Тип джерела		Ba-133	Ba-133	Ba-133	Ba-133
Активність джерела	МБк	1	0,37	0,95	0,37
Детектор		NaI	CdCnTe	CsI	Н/д
Сканування: - швидкість - глибина, до	 мм/с мм	 до 300* 150	 150-300 178	 Н/д Н/д	 150-300 180
Товщина сталевої перепони, не більше	мм	6**	6	Н/д	Н/д

У таблиці 1.1 наведено характеристики приладів, які працюють на ефекті зворотного розсіяного гамма-випромінювання і дозволяють здійснювати пошук вкладень у прихованих зонах [9-12, 21]. Ці прилади розглядають як детектори аномальних густин (детектори контрабанди). За їх допомогою проводять доглядові заходи в митних, прикордонних та інших спеціальних службах.

Як основні показники ефективності приладу слід виділяти глибину і швидкість сканування. Швидкість сканування впливає на тривалість проведення оглядової процедури, а це дозволяє збільшити оперативність контролю у цілому. Важливим показником оглядової техніки також є товщина і матеріал перепони, через яку проводиться пошук об'єктів.

Зіставляючи надані виробниками характеристики приладів, можна відзначити перевагу російського аналога по глибині сканування при аналогічній з вітчизняним активності джерела. Розглянуті в таблиці прилади працюють в режимі індикаторів і не володіють контрольованими метрологічними характеристиками, що дозволяє використовувати в них інтенсивність джерела випромінювання активністю від 0,37 × 106 Бк до 1 × 106 Бк.

Застосування джерел активністю до 1 МБк дозволяє забезпечити потужність еквівалентної дози (без урахування природного гама - фону): на поверхні блоку не більше 1 мкЗв/год, а на відстані 0,1 м від поверхні блоку і на ручці управління не більше 0,2 мкЗв/годину [22]. Ці значення узгоджуються з вимогами санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки і забезпечують виконання принципу не перевищення. Вони можуть бути прийнятими як вихідні при формуванні вимог до розроблюваних приладів оглядового контролю і при розрахунках їх захисту [23,24].

1.3 Аналіз детектора приладу

Важливе місце серед різноманітних антитерористичних засобів належить пошуково-оглядовій техніці, заснованої на використанні іонізуючого випромінювання. Висока інформативність цього методу дозволяє створювати пошукові апаратурні засоби, що забезпечують "бачення" внутрішньої структури практично будь-якого об'єкта контролю у променях, що проходять прямо чи у зворотних розсіяних променях.

Детектори контрабанди на світовому ринку представлені наступними приладами (частина приладів та їх характеристики розглянуто у табл. 1.1) Buster K910B Density Meter; RadReflex Portable Contraband Detector; Merlin133 Contraband Detector; ДИП-А01М Детектор зміни густини; детектор контрабанди РМ-1703Т POLON ALFA; УПН-РМ1401М-П пристрій пошуку неоднорідностей; детектор контрабанди Рось-4М (7) (див. рис. 1.9). Усі прилади призначені для використання в однакових умовах, а саме в умовах роботи спецпідрозділів і митниці. На рисунку1.9 (а, б, в, г) представлено прилади реалізовані в одноблоковій конструкції, на рисунку 1.9 (д, е, ж) показані прилади двоблокової конструкції [22-24].

Детектування розсіяного гамма-випромінювання від вбудованого джерела іонізуючого випромінювання проводиться при переміщенні приладу з швидкістю близько 5 см/с вдовж поверхні об’єкту, що перевіряють.

З метою забезпечення безпечної роботи у приладах детектор прихованих пустот ”Рось-4М” оснащений автоматичним втягуванням (або відхиленням) джерела іонізуючого випромінювання у неробоче положення [20].

а) Buster K910B Density Meter; б) RadReflex Portable Contraband Detector; в) Merlin133 Contraband Detector; г) ДИП-А01М детектор зміни густини; д) РМ-1703Т POLON ALFA детектор контрабанди; е) пристрій пошуку неоднорідностей - УПН-РМ1401М-П; ж) детектор контрабанди прихованих пустот “Рось 4М”

Рисунок 1.9 –Детектори контрабанди

Усі прилади мають клас захисту корпусу IP 56. Кількість кнопок, які керують роботою розглянутих приладів, коливається від двох до п'яти. Прилади мають однаковий спосіб відображення інформації – цифровий, безрозмірний на рідкокристалічному дисплеї, що має автоматичне підсвічування. Крім цього детектори оснащені звуковою сигналізацією і дозволяють працювати з ними в навушниках при підвищеному рівні шуму.

Слід зазначити деякі недоліки рідкокристалічних дисплеїв, пов'язані з швидкодією виведення інформації. Цей параметр критичний для приладів з рідкокристалічним (РК) дисплеєм. Навіть, якщо прилад має високу продуктивність при зніманні і обробці інформації, низька швидкість виведення інформації може істотно знизити всі переваги приладу. Особливо сильно проблеми РК-екранів проявляються при низьких температурах

довкілля. На жаль, альтернативи застосуванню РК-дисплеїв поки немає і ця проблема поки що повністю не вирішена. Також проблеми РК-дисплеїв проявляються у вигляді "відсвічування" і "недоліку яскравості" при роботі на відкритому повітрі [22].

Прилади УПН-РМ1401М-П, РМ-1703Т POLON ALFA, детектор прихованих порожнеч "Рось 4М" конструктивно реалізовані у вигляді двоблочних конструкцій: в одному блоці розташовується джерело випромінювання з детектором, а в іншому проводиться обробка інформації і виводиться на дисплей інформація про результати сканування об'єкта. Перші два прилади реалізують функцію "детектора контрабанди" при кріпленні дозиметра до кронштейну з вбудованим джерелом випромінювання за допомогою притискної планки і гвинта, детектор прихованих порожнеч "Рось 4М" має два окремі блоки: блок реєстрації і блок індикації, які механічно не пов'язані між собою [24].

За час експлуатації детекторів контрабанди проявилася необхідність їх оснащення віддаленим дисплеєм для зручності зчитування показів при положенні приладу, коли основний дисплей розташований на великій відстані або під кутом зору незручному для зчитування (рис. 1.10).

Рисунок 1.10 – Приклади сканування об’єктів огляду детекторами

Наведемо характеристики вітчизняного детектора Рось-4М, який буде взято за аналог розроблюваного приладу [24].

Таблиця 1.2 - Характеристики детектора Рось-4М

Характеристики	Одиниця вимірювання	Величина
1.Час готовності, не більше	с	5
2.Періодичність зняття показів, не менше	с	0,25
3.Періодичність оновлення показівіндикатора, не менше: – в основному режимі “Робота” – в додатковому режимі “Точно” – в режимі “Калібрування”	с	 0,5 3,0 5,0
4.Швидкість сканування, до	мм/с	300
5.Глибина сканування	мм	1-150
6.Товщина сталевої перешкоди, не більше	мм,	6
7.Вірогідність виявлення з ймовірністю 0,95 прихованого за сталевою перешкодою товщиною 1 мм калібрувального еталона густини	-	0,5
8.Тип вбудованого джерела гамма-випромінювання ^{133}Ba-GBa 3.044	-	-
9.Номінальна активність радіонукліда ^{133}Ba	МБк	1
10.Потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання у робочому стані: – в напрямку випромінювання на відстані 1м від поверхні блока детектування (блок джерела) не більше – на поверхні ручки блока детектування(блока джерела) не більше	 мкЗв/г мкЗв/г	 0,2 0,2

2 РОЗРОБКА ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ МИТНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Структурна схема приладу оглядового контролю заснованого на реєстрації зворотного розсіяного гама-випромінювання

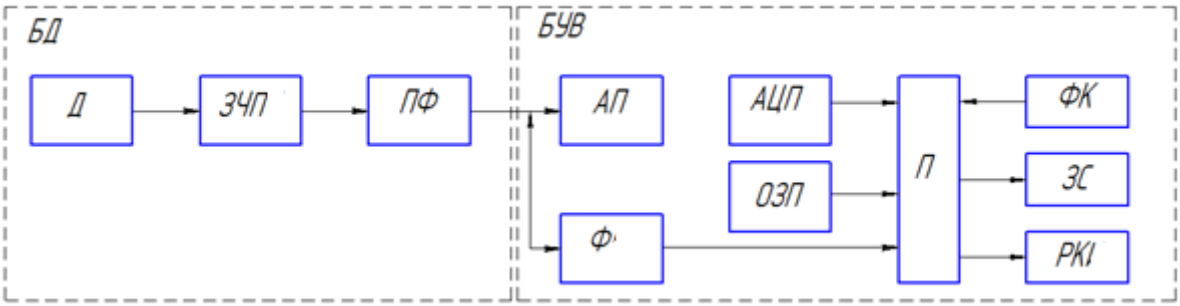
На підставі проведеного в розділі 1 аналізу літературно-патентного пошуку і оцінки напрямків досліджень алгоритмічних, схемотехнічних і конструктивно-технічних рішень приладів оглядового контролю вирішено прийняти за аналог прилад, яким оснащені пропускні митні пункти України – КРОС 4М і встановлено, що прилад, який розробляється, повинен забезпечувати не тільки високу ймовірність виявлення контрабанди, а й її ідентифікацію. Отже, крім режиму лічби, що традиційно використовується в приладах даного класу, необхідно передбачити перехід до спектрального або багатовіконного лічильного режиму [25].

Структурна схема приладу оглядового контролю, що розроблена з врахуванням цих вимог, приведена на рисунку 2.1.

Прилад складається з двох блоків: блоку детектування і блоку управління і візуалізації і функціонує під управлінням процесора, режим роботи якого задає оператор за допомогою функціональної клавіатури.

Випромінювання від джерела іонізуючого випромінювання (на рис. 2.1 не показано) проникає всередину досліджуваного об'єкта і розсіюється. Частина зворотно розсіяного випромінювання реєструється детектором. Отриманий сигнал має малу амплітуду (порядку декількох пікоампер) і невеликий час (близько десятка наносекунд). Для підсилення він передається на зарядочутливий попередній підсилювач, на виході якого отримуємо сигнал з амплітудою порядку декількох мілівольт і шириною фронту – сотні наносекунд, а спаду – сотні мікросекунд. Далі сигнал надходить на

підсилювач-формувач з регульованим коефіцієнтом підсилення, який перетворює амплітуду і форму сигналу необхідну для подальшої обробки. З блоку детектування сигнал надходить в блок управління і візуалізації, в якому реалізовано два тракти – спектрометричний і лічильний.



БД – блок детектування; БУВ– блок управління і візуалізації; Д – детектор; ЗЧП – зарядочутливий попередній підсилювач; ПФ – підсилювач-формувач; АП – аналоговий процесор; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; Ф – формувач вікон; П – процесор; ОЗП – оперативно-запам’ятовуючий пристрій; ФК – функціональна клавіатура; ЗС – звукова сигналізація; РКІ – рідкокристалічний індикатор

Рисунок 2.1 – Структурна схема приладу оглядового контролю

Лічильний тракт містить апаратний формувач енергетичних вікон (Ф), межі яких задаються процесором. Кожне вікно формує логічний вихідний сигнал в тому випадку, якщо величина вхідного імпульсу перевищила нижню межу вікна, але менше верхньої межі. Це дозволяє виділити корисний сигнал на тлі шумів. Далі отримані імпульси подаються на процесор, який підраховує їх кількість за заданий час.

При апаратній реалізації багатовіконного режиму межі кожного вікна задаються процесором, для чого необхідно паралельно підключати певну кількість Ф, що істотно ускладнює апаратуру і погіршує масогабаритні показники приладу. Тому пропонується реалізовувати тільки одне

енергетичне вікно, а багато віконний – здійснювати програмно за рахунок аналізу спектрометричного тракту після накопичення спектра [25].

Спектрометричний тракт включає аналоговий процесор, аналого-цифровий перетворювач і оперативно-запам'ятовуючий пристрій. Аналоговий процесор забезпечує всі функції, необхідні для спектрометра іонізуючих випромінювань:

– дискримінації шумів блоку детектування;

– зберігання максимального значення спектрометричного імпульсу на час його оцифрування;

– режекції накладених імпульсів;

– стабілізацію початкового рівня;

– запуск АЦП.

У момент оцифрування вхідної інформації АЦП генерує сигнал зайнятості, який аналізується процесором і по його закінченню знімаються дані з АЦП. Після чого процесор обробляє отримані дані і формує в ОЗП спектр гама-випромінювання [23].

Після обробки отриманих даних і прийняття рішення процесор видає повідомлення на РКІ (рідкокристалічний індикатор) і при необхідності – на звукову сигналізацію.

Прилад оглядового контролю, в основу роботи котрого покладена розроблена структурна схема, що забезпечить швидке сканування контрольованого об'єкта в лічильному режимі, який передбачає роботу в одному енергетичному вікні зворотно розсіяного гама-випромінювання. При виявленні аномальної неоднорідності об'єкту передбачена можливість перемикання приладу в спектрометричний режим для уточнення характеристик несанкціонованої закладки або порожнини.

2.2 Розробка основних блоків приладу

Проведемо дослідження з метою оптимізації схеми високовольтного джерела живлення фотоелектронного помножувача. Налаштування високовольтних джерел для живлення фотоелектронних помножувачів (далі – ФЕП) є складним і трудомістким процесом. Це обумовлено наявністю в схемі індуктивного елемента (високочастотного трансформатора), робочі параметри якого часто відрізняються від розрахункових, і високою напругою на виході (близько 1 кВ і вище) тощо [26].

Значно полегшити процес налаштування високовольтного джерела живлення можна за рахунок використання програми симуляції електронних схем, яка дозволяє досить швидко підібрати режим роботи схеми високовольтного перетворювача, тобто «налаштувати схему». Для моделювання використовувалася програма схемотехнічного моделювання B2 Spice AD Professional v4.2.6 Trial.

Для початку було проведено моделювання спрощеної схеми перетворювача [27] з біполярним (рис. 2.2) і польовим (рис. 2.3) транзистором.

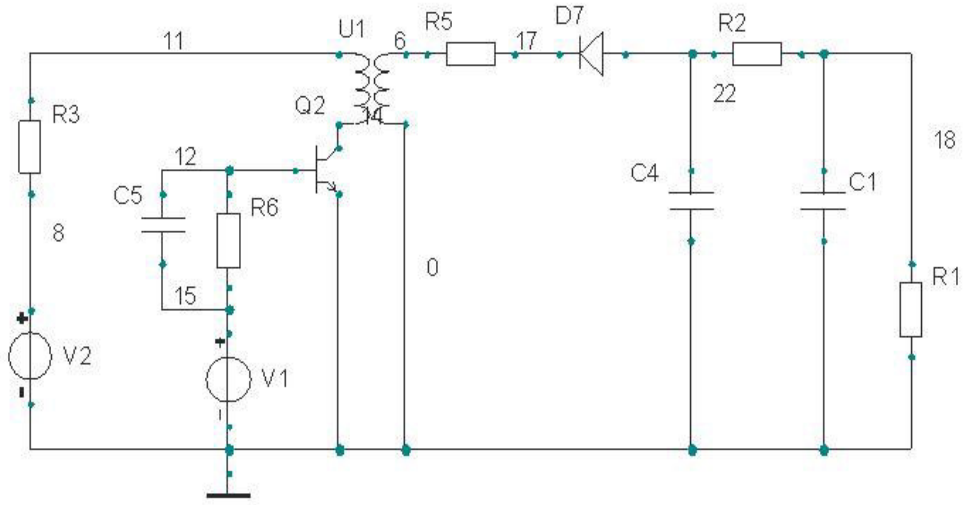


Рисунок 2.2 – Схема перетворювача на біполярному транзисторі

Симулятор дозволяє редагувати модель трансформатора. Як трансформатор обрано феритове кільце 20 × 12 × 6. Модель трансформатора має вигляд:

Modelprimary_lcouplelcouplenum_turns = 8

Modelcorecorearea = 0.35 length = 5.03

Modelsecondary_lcouplelcouplenum_turns = 800 »

Tutprimary_lcouplelcouplenum_turns – число витків первинної обмотки, corearea - площа перерізу кільця, length – довжина середньої лінії, secondary_lcouplelcouplenum_turns - число витків вторинної обмотки.

Таким чином, в модель трансформатора можна легко вводити потрібні параметри. Резистори R3 і R5 рівні активним опорам первинної і вторинної обмоток відповідно. Біполярний транзистор Q2 – 2N2219. Джерело V1 є генератором імпульсів. Джерело V2 – джерело живлення 12 В. Резистор R2 і конденсатори C1 і C4 виконують функцію фільтра.

Графік вихідної напруги перетворювача з біполярним транзистором приведена на рисунку 2.3.

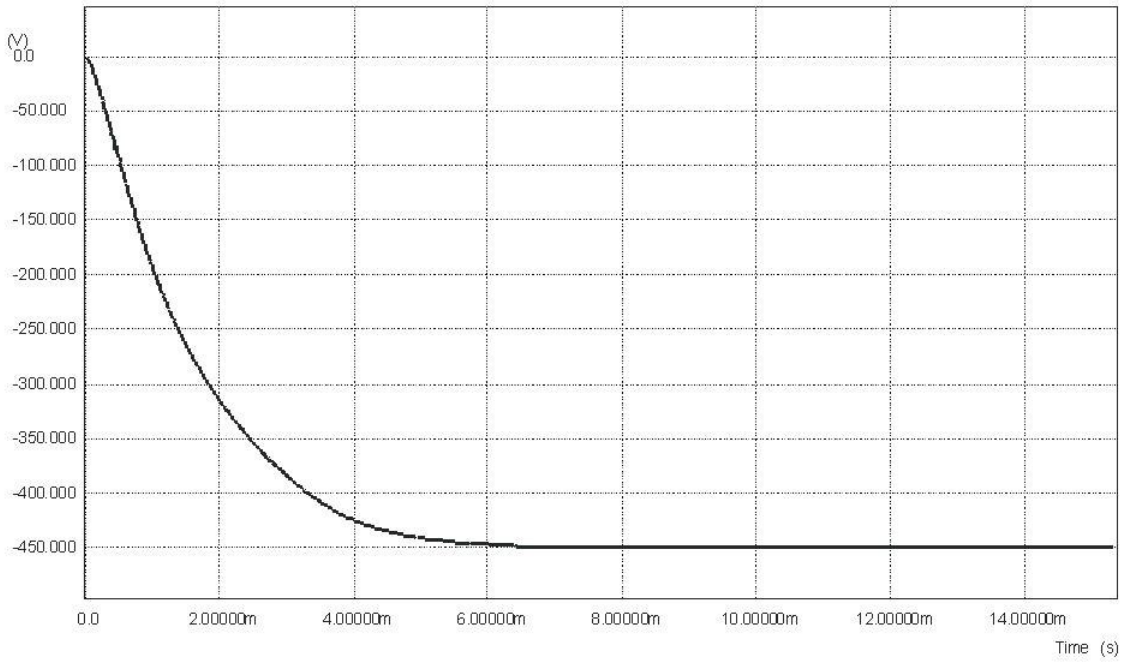


Рисунок 2.3 – Графік вихідної напруги схеми перетворювача на біполярному транзисторі

Для порівняння було проведено моделювання цієї ж схеми перетворювача з польовим транзистором IRF44ns (рис. 2.4).

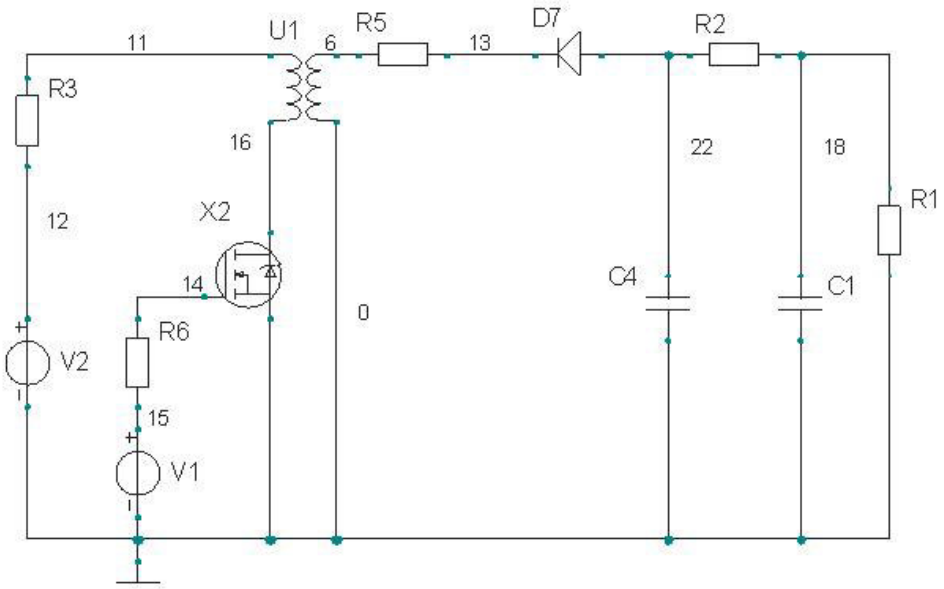


Рисунок 2.4 – Схема перетворювача на польовому транзисторі

Графік вихідної напруги схеми перетворювача на польовому транзисторі приведена на рисунку 2.5.

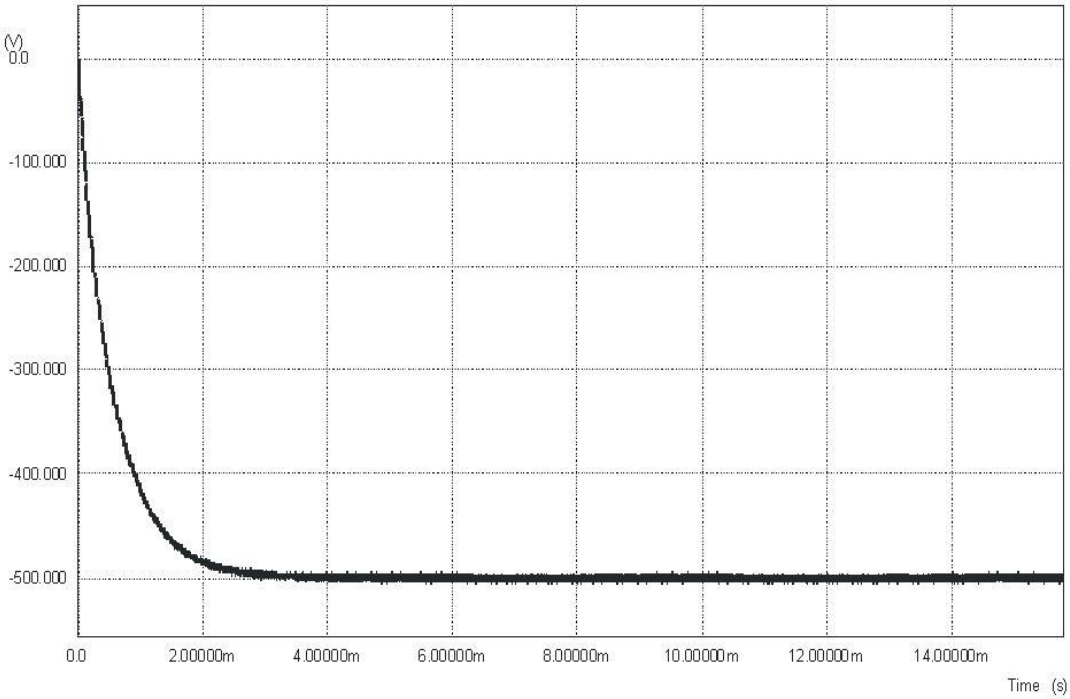


Рисунок 2.5 – Графік вихідної напруги схеми перетворювача на польовому транзисторі

На основі отриманих результатів була обрана остаточна схема перетворювача з таймером 555 як генератор імпульсів [25] і помножувачем напруги на діодах D1-D3 і конденсаторах C4, C7, C8 (рис. 2.6).

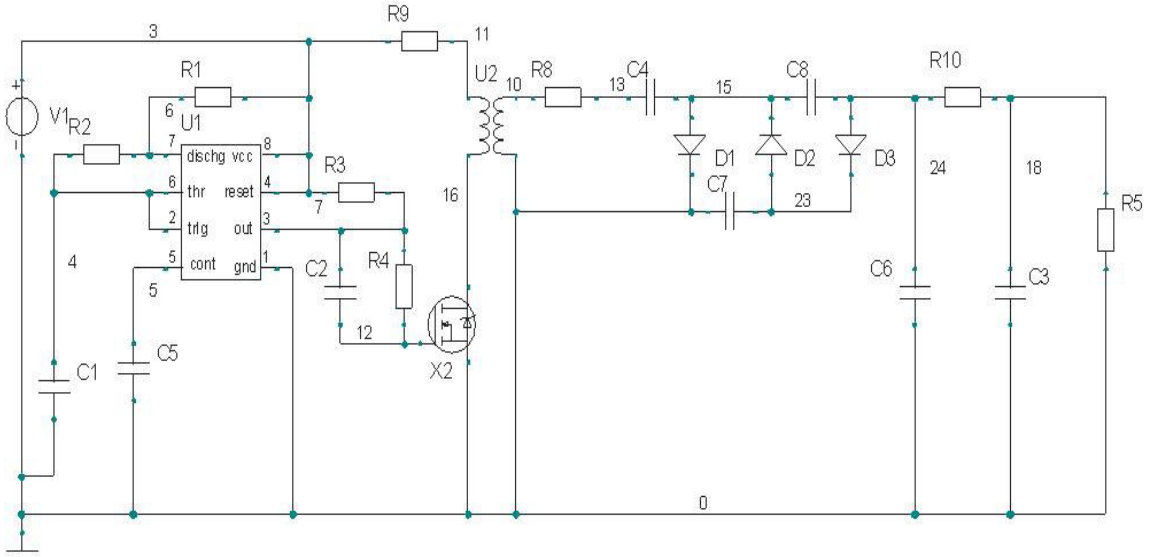


Рисунок 2.6 – Остаточна схема перетворювача високої напруги

Графік вихідної напруги обраної схеми перетворювача для живлення ФЕП приведена на рисунку 2.7.

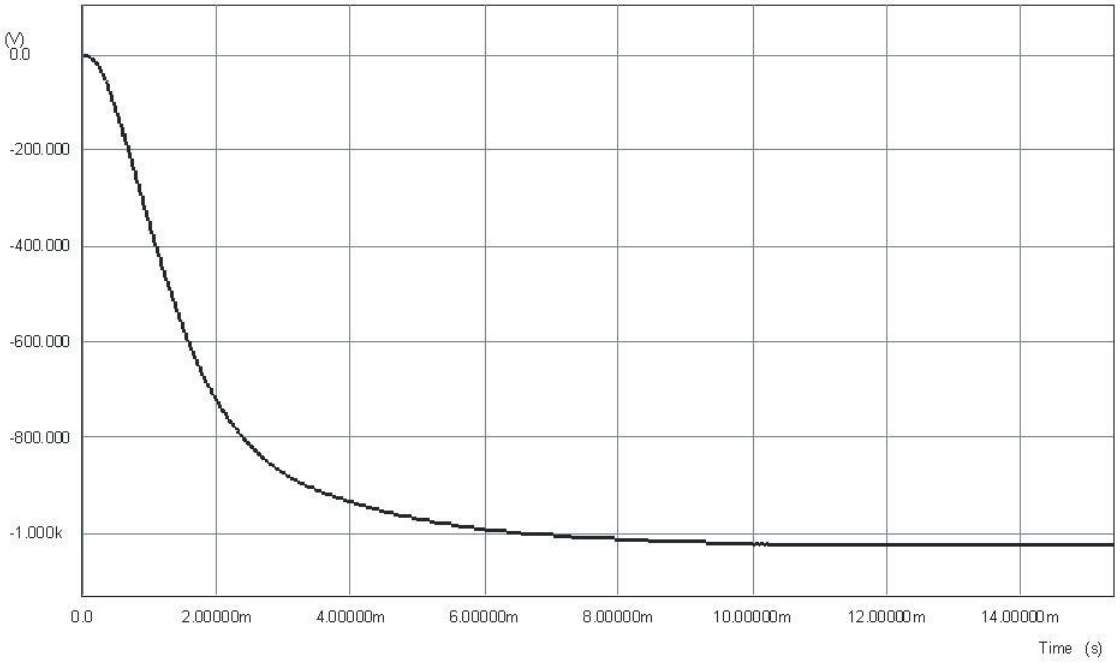


Рисунок 2.7 – Графік вихідної напруги перетворювача для живлення фотоелектронного помножувача

Як видно з графіка на рисунку 2.7, є навіть деякий запас по вихідній напрузі перетворювача.

У результаті моделювання з невеликими часовими і апаратними витратами була відпрацьована схема високовольтного перетворювача з готовими номіналами компонентів [26], яка при безпомилковому складанні вимагає тільки невеликого доведення.

2.3 Spice-моделювання та дослідження схеми підсилювача-формувача

На рисунку 2.8 приведена принципова схема підсилювача-формувача [27].

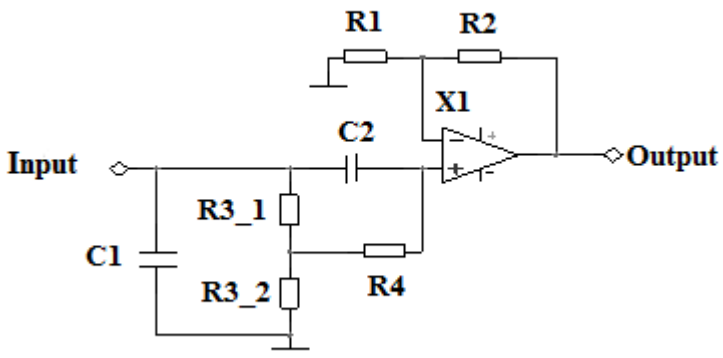


Рисунок 2.8 – Схема підсилювача-формувача

На вхід моделі перетворювача (Input) поданий сигнал фотоелектронного помножувача. Резисторами R3_1 і R3_2 моделюється потенціометр (R3), за допомогою якого настроюється компенсація полюса нулем. Така компенсація покращує відношення сигнал-шум і вкорочує спади сцинтиляційних імпульсів, тим самим, зменшуючи ймовірність їх накладення. Потенціометр R3 і конденсатор C1 є анодним навантаженням фотоелектронного помножувача.

Коефіцієнт підсилення цієї схеми встановлюється резистором R2 (який може бути змінним) і визначається виразом:

$$K = R2 / R1 + 1 \qquad (2.1)$$

Робота підсилювача-формувача ілюструється зображенням на рисунку 2.9.

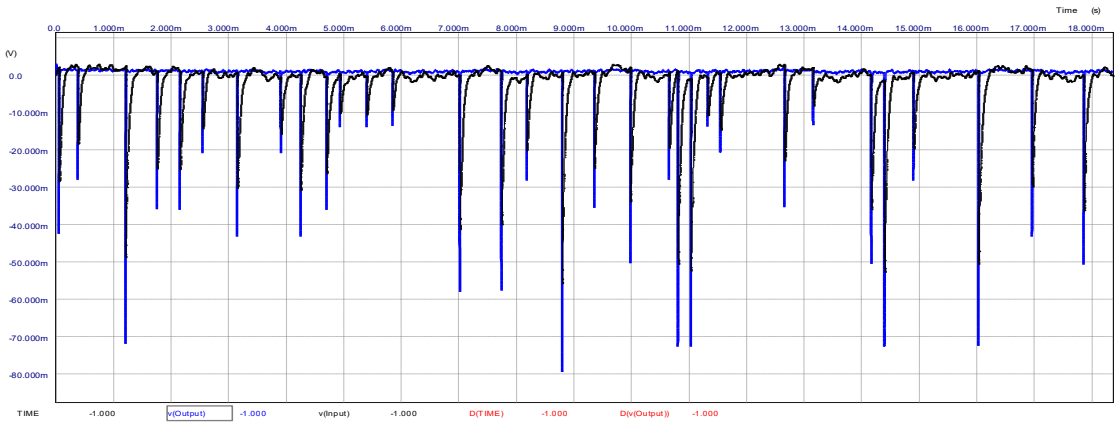


Рисунок 2.9 – Вхідний і вихідний сигнали підсилювача-формувача

Фрагмент цих сигналів показано на рисунку 2.10.

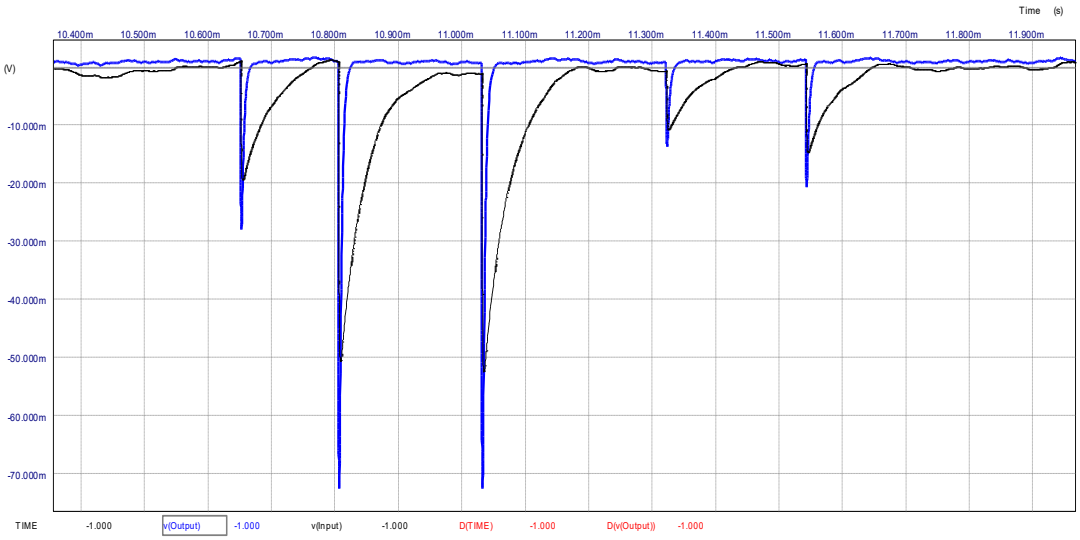


Рисунок 2.10 – Фрагмент – 1 попереднього рисунку

На цьому рисунку видно, що третій імпульс вхідного сигналу, накладений на спад другого сцинтиляційного імпульсу (накладення в хвіст), а на виході підсилювача-формувача накладання відсутнє, так само видно, що вихідний сигнал має менше відхилення від нульового рівня, ніж вхідний (менше шум). На рисунку 2.11 наведено ще один фрагмент вхідного (контрольна точка (V5)) і вихідного (контрольна точка (Vn2)) сигналів підсилювача-формувача.

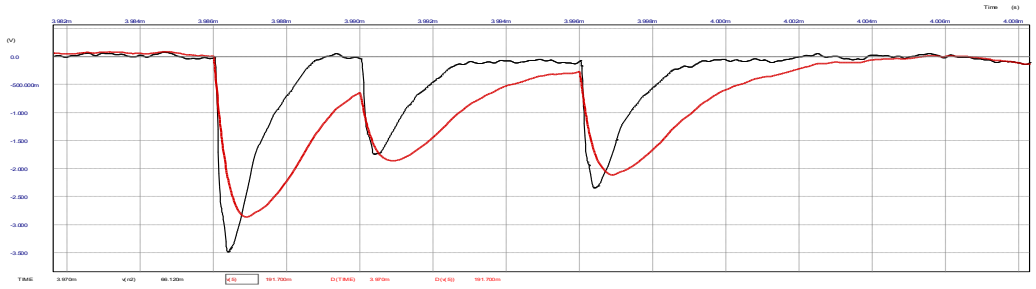


Рисунок 2.11 – Фрагмент – 2 вхідного і вихідного сигналів підсилювача-формувача

У цьому фрагменті присутнє подвійне накладення імпульсів.

Таким чином, запропонована методика моделювання апаратного тракту приладу оглядового контролю з використанням програмного симулятора Spice та застосування програмного пакета Geant дають можливість отримати такі параметри, що найбільше відповідають реальним сигналам детекторів іонізуючих випромінювань.

Таке програмне моделювання на етапі проектування виключає макетування вузлів, що прискорює розробку нової техніки і знижує її вартість при постановці на виробництво.

2.4 Spice-моделювання і дослідження схеми аналогового процесора

Одним з основних методів дослідження властивостей іонізуючих випромінювань є метод спектрометрії. Спектрометри іонізуючих

випромінювань застосовують для вирішення двох основних завдань - ідентифікації речовини і вимірювання її кількісних характеристик [28].

Поява аналогових процесорів (АП) – центральних пристроїв електронних трактів спектрометрів іонізуючого випромінювання, дозволяють виконувати заданий комплекс перетворень аналогової інформації про енергетичний склад і інтенсивність вимірюваного випромінення, що надходить у вигляді електричних імпульсів від блоку детектування, – закономірний етап у розвитку спектрометричної апаратури.

В основу цього процесора покладено спектрометричний тимчасовий формувач, що має вагому функцію, подібну так звану обмежену CUSP-форму.

АП повинен задовольняти критеріям, сформульованим в [29]:

– функціональна повнота при мінімальній структурної надлишковості, конструктивної єдності та вищих або екстремальних характеристиках точності в порівнянні з спектрометричними підсилювачами з тим же видом формування;

– централізоване управління оперативно-змінними параметрами;

– розподіл функцій між окремими елементами структури і сполучення їх з окремими елементами;

– наявність додаткових сервісних пристроїв, зазвичай відсутніх в спектрометричних підсилювачах.

Моделювання роботи пропонованого аналогового процесора здійсненоза допомогою програмного симулятора Spice.

Запропонована концепція побудови АП показана на структурній схемі рисунку 2.12 [28].

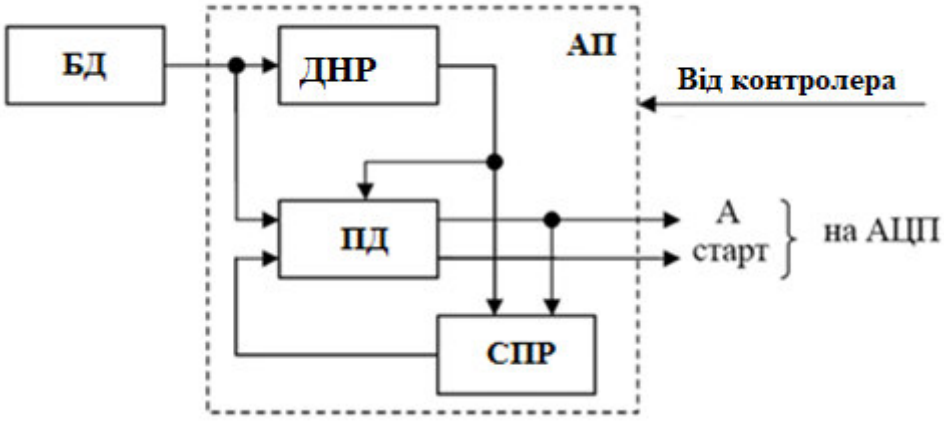
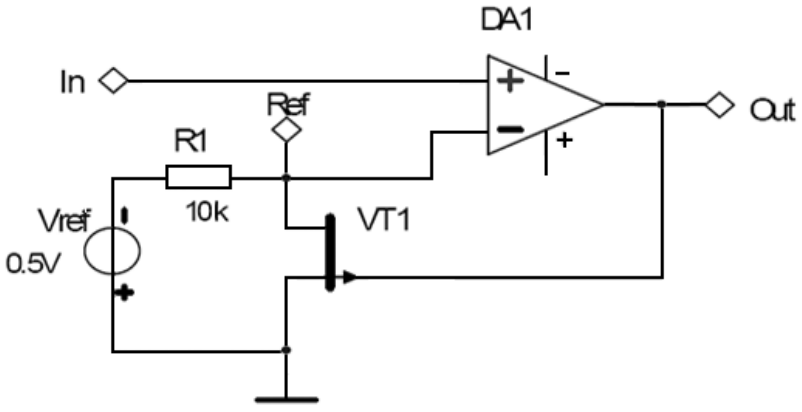


Рисунок 2.12 – Структурна схема аналогового процесора

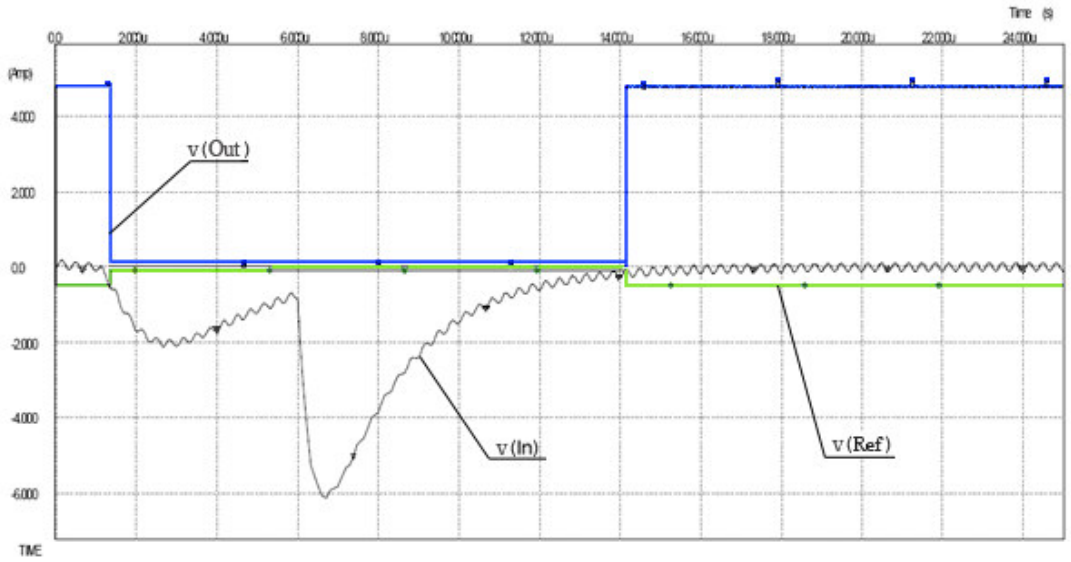
Сигнал на АП подається з блоку детектування БД, що зібраний з сцинтилятора – фотоелектронного помножувача і підсилювача-формувача.

До складу АП входять: дискримінатор нижнього рівня – ДНР; піковий детектор – ПД; стабілізатор початкового рівня СПР.

ДНР формує логічні імпульси, початок і кінець яких збігаються за часом з початком і кінцем відповідних сцинтиляційних сигналів. Його спрощена схема і часові діаграми приведені на рисунку 2.13.



а)



б)

а) спрощена схема ДНР; б) часові діаграми роботи ДНР

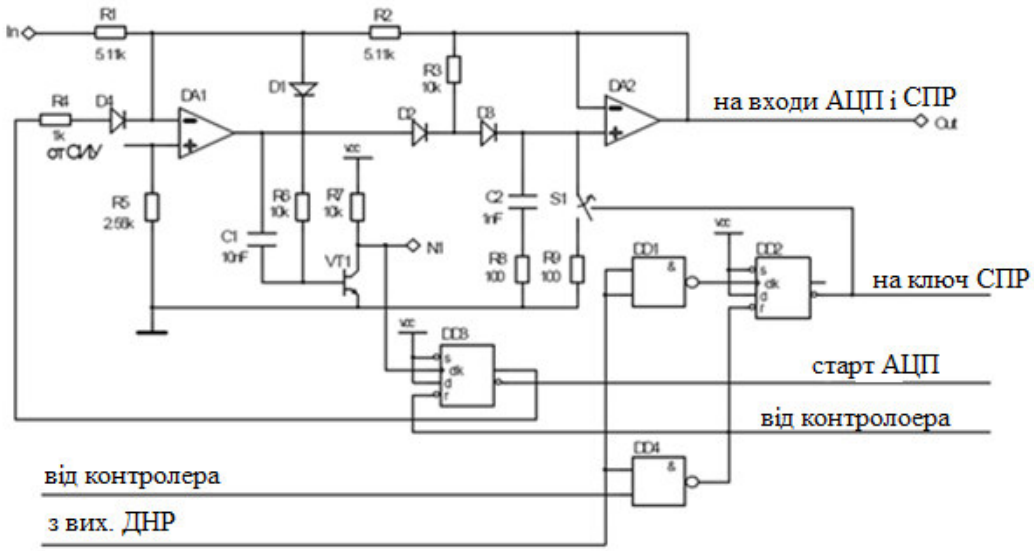
Рисунок 2.13 – Схема ДНР і часові діаграми його роботи

Вхідний сигнал v (In) на рисунку 2.13 був представлений у вигляді двох накладених імпульсів і шуму, умовно показаного синусоїдальним.

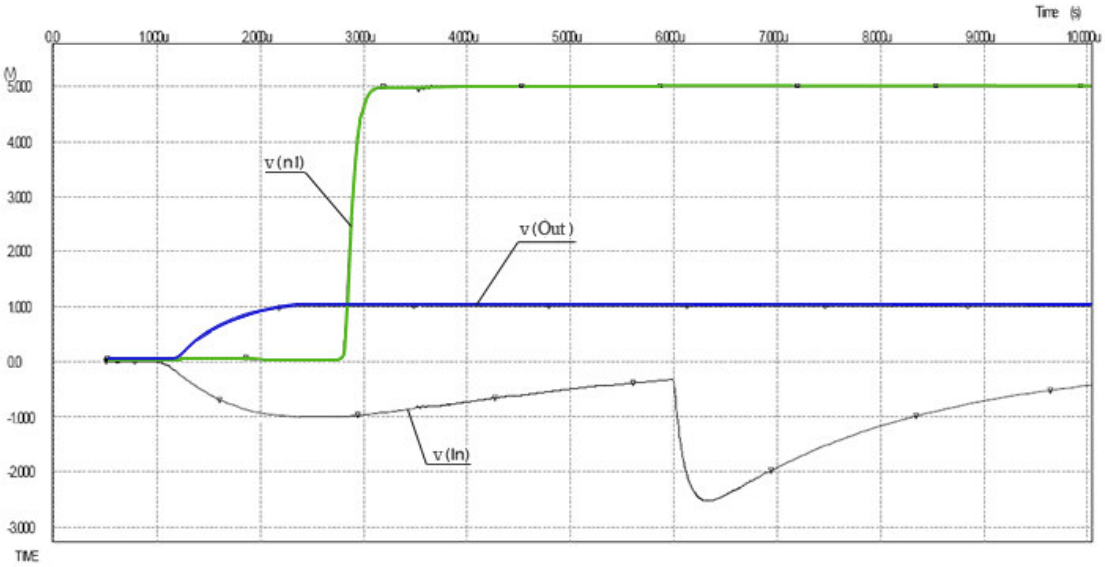
ДНР працює наступним чином: при спрацьовуванні компаратора DA1 його вихідний сигнал v (Out) переходить з високого в низький логічний рівень, який подається на затвор польового транзистора VT1 і відкриває його канал. При цьому транзистор шунтує джерело опорної напруги V (ref) (див. v (ref) на рис. 2.13 б.)

Опорна напруга в контрольній точці Ref виставляється так, щоб дискримінувати шуми блоку детектування і, при необхідності, низькоенергетичні сигнали випромінювання. Таке схемотехнічне рішення дозволяє отримати гістерезис, необхідний для нормальної роботи компаратора, і реалізувати режекцію накладених імпульсів, механізм якої буде розглянуто нижче.

Схема пікового детектора і його часові діаграми показані на рисунку 2.14. Він є пристроєм з багатопетлевим зворотним зв'язком [28].



а)



б)

а) схема пікового детектора; б) часові діаграми пікового детектора

Рисунок 2.14 – Схема пікового детектора і його часові діаграми

У початковому стані електронний ключ S1 замкнений, і піковий детектор працює як інвертор напруги з коефіцієнтом передачі:

$$K_1 = -R2 / R1 \qquad (2.2)$$

Вихідний сигнал ДНР подається через інвертор DD1 на тактовий вхід clk тригера DD2. Сигнал з інверсного виходу цього тригера розмикає електронні ключі у СПР і S1 в піковому детекторі. З цього моменту ПД

переходить в режим запису, а потім в режим зберігання. У проміжках часу між вхідними імпульсами, а так само в режимі запису, перший операційний підсилювач DA1 генерує напругу, достатню для відкривання двох послідовно включених діодів D2 і D3. Падіння напруги на двох відкритих p-n переходах цих діодів забезпечує надійне відкривання транзистора VT1, а резистор R4 обмежує струм бази відкритого транзистора.

У момент переходу пікового детектора з режиму запису в режим зберігання DA1 змінює полярність вихідного сигналу, при цьому відкривається діод D1, який запобігає глибокого насичення DA1, і обмежує зворотну напругу переходу база-емітер транзистора VT1, захищаючи його від пробою. Падіння напруги на відкритому діоді D1 сприяє швидкому замиканню транзистора VT1 і, як наслідок, формуванню фронту сигналу, що сигналізує про момент переходу пікового детектора з режиму запису в режим зберігання (сигнал v (n1) у контрольній точці N1 на рисунку 2.14. Цей сигнал подається на тактовий вхід clk тригера DD3. З інверсного виходу цього тригера знімається сигнал "старт", що запускає АЦП, а з прямого виходу подається сигнал в точку DA1 замикаючи коло R4, D4. При цьому, діод D4 усуває вплив низького логічного рівня на вихідний сигнал ПД. Номінал резистора R4 вибирається з умови $K1 < K2$, де $K1$ - коефіцієнт передачі, а $K2$ розраховується за виразом:

$$K_2 = -R2 / R4 \qquad (2.3)$$

Таким чином, накладені імпульси (навіть більшої амплітуди, ніж у попереднього зареєстрованого імпульсу) не змінюють вихідну напругу ПД на момент обробки першого імпульсу. Цим досягається ефект режекції накладених імпульсів (дивіться сигнали v (in) і v (out) на рисунку 2.14 б.

Резистор R3 забезпечує еквіпотенціальність виходів діода D3 і, отже, усуває струм витоку накопичувальної ємності C2 через цей діод у режимі зберігання.

На момент оцифрування вхідної інформації АЦП генерує сигнал «зайнятий», який аналізується контролером і по його закінченню знімаються

дані з АЦП. Після чого контролер формує сигнал «скидання», який подається на перший вхід елемента 2І-НЕ (DD4), а на його другий вхід подається вихідний сигнал ДНР. При відсутності вхідного імпульсу на виході DD4 генерується сигнал низького логічного рівня, який скидається тригерами DD2 і DD3, а контролер, прийнявши цей сигнал, знімає сигнал «скидання» і весь пристрій повертається в початковий стан.

Стабілізатор початкового рівня є інвертуючим активним інтегратором на операційному підсилювачі з електронним ключем на вході. Вхідним сигналом СПР є вихід пікового детектора, а вихід інтегратора підключений до неінвертуючого входу ПД. Таким чином, СПР створює зворотний негативний зв'язок для пікового детектора, забезпечуючи стабілізацію початкового рівня і пригнічує високочастотну складову шуму вхідного сигналу. Як зазначалося вище, на час обробки спектрометричного імпульсу вхідний ключ СПР розімкнутий і тому СПР не вносить помилку у вихідний сигнал ПД.

Запропонований аналоговий процесор забезпечує всі мінімально необхідні функції для спектрометра іонізуючих випромінювань, а саме [30]:

– зберігання максимального значення спектрометричного імпульсу на час оцифрування;

– дискримінацію шумів блоку детектування;

– режекцію накладених імпульсів;

– стабілізацію початкового рівня.

Простота схемотехнічних рішень дозволяє реалізувати на аналоговому процесорі засіб оцінювання спектру з малими масогабаритними параметрами і малим енергоспоживанням.

2.5 Дослідження і оптимізація схеми модуля попередньої обробки аналогової інформації

Для попередньої обробки аналогової інформації для приладів, що працюють на основі реєстрації гама-випромінювання, пропонується застосовувати уніфікований модуль.

Уніфікація цього модуля гарантується тим, що до нього можна підключати газонаповнені, твердотільні або сцинтиляційні детектори.

Весь модуль попередньої обробки аналогової інформації живиться від напруги +12 В, що дозволяє використання його в приладах, які працюють в польових умовах і живляться від акумуляторів або підключені до бортового кола автомобіля. Його принципова схема представлена на рисунку 2.15.

Цей модуль містить два основних компоненти – DA1 (A203) і DA2 (A206), що являють собою гібридні мікросхеми. A203 містить зарядочутливий підсилювач і підсилювач-формувач з функцією компенсації полюса нулем. Ця схема розроблена для застосування в апаратурі з прецизійним вимірюванням висоти вхідних імпульсів [29]. A206 є масштабний лінійний підсилювач з фіксованим неінвертуючим коефіцієнтом передачі (10x) і дискримінатором нижнього рівня [30]. У модулі використані вихідні сигнали з DA2: Out – аналоговий імпульс і Disc – логічний імпульс.

Сигнал від блоку детектування (наприклад, сцинтиляційного, рис. 2.16), що складається з сцинтилятора, джерела живлення U1 1.5V12-N0.5-WS [31] і ФЕП U2 9112B з резистивним дільником R2 ... R12) подається на вхід зарядочутливого підсилювача (вивід 1 мікросхеми DA1) через роздільчу ємність C1 (див. рис. 2.15). Точна компенсація полюс-нуль здійснюється потенціометром R3.

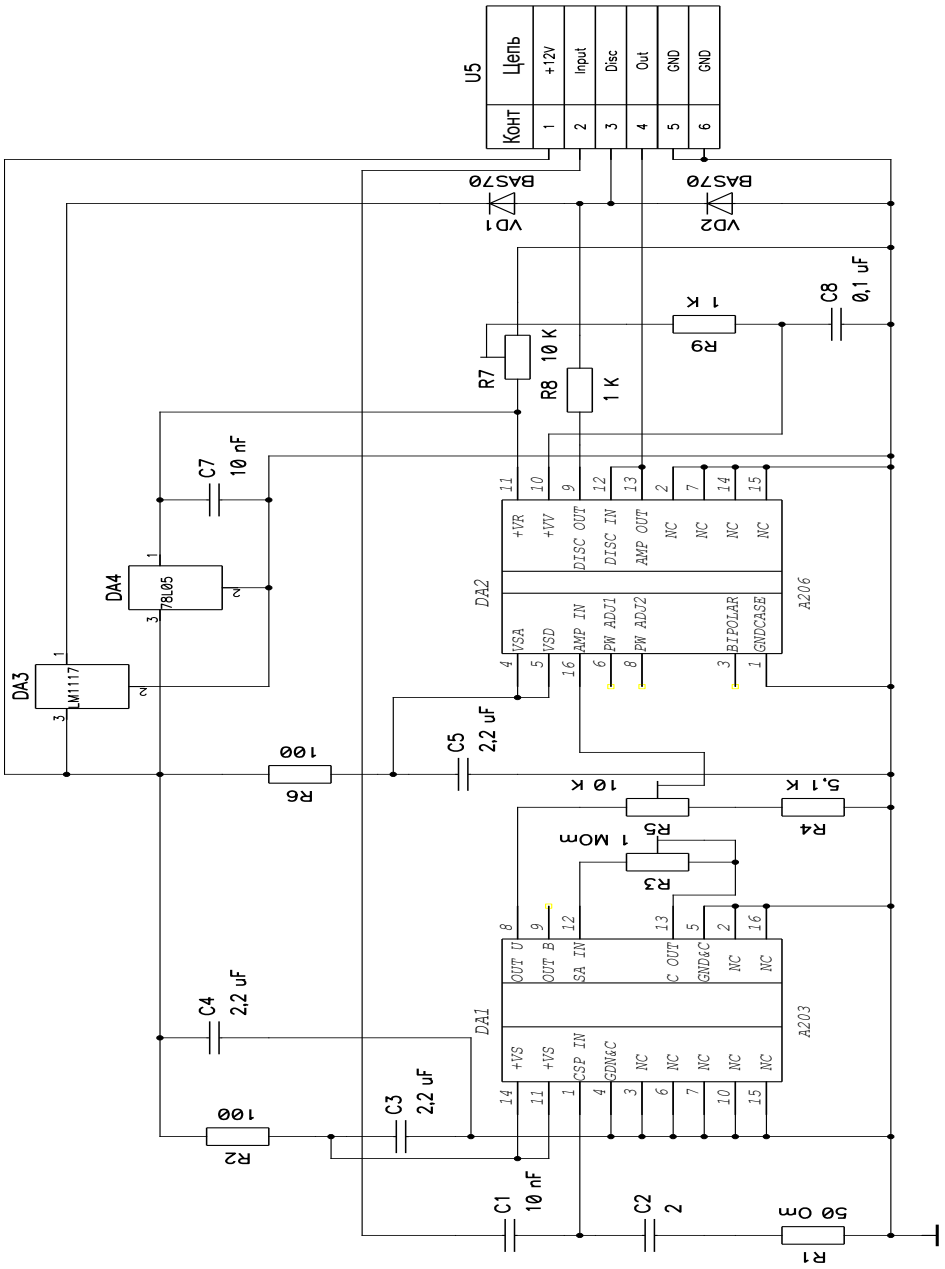


Рисунок 2.15 – Схема електрична модуля попередньої аналогової обробки

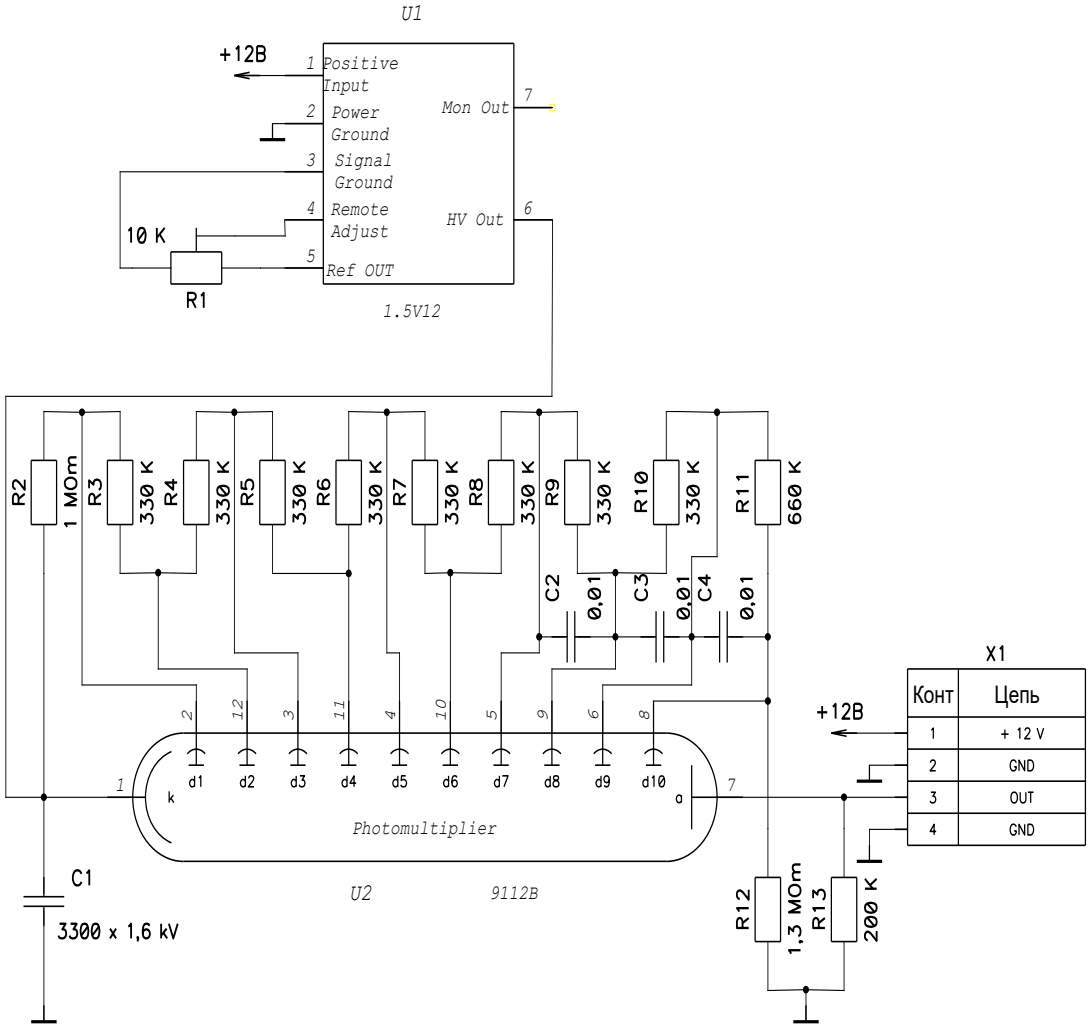


Рисунок 2.16–Схема електрична сцинтиляційного блока детектування

Після попереднього підсилення і формування необхідної форми імпульсу сигнал надходить через масштабний потенціометр R5 на вхід 16 мікросхеми DA2, де відбувається його остаточне підсилення (масштабування) і формується логічний сигнал, що дозволяє дискримінувати шуми. Рівень дискримінації шуму задається потенціометром R7.

Аналоговий сигнал Out подається на вхід швидкодіючого 12-розрядного АЦП, вбудованого в цифровий сигнальний процесор (далі – ЦСП) TMS320F28335. Сигнал Disc надходить на логічний вхід і вхід лічильника цього процесора.

Для узгодження логічних рівнів між DA2 (вивід 9, вихідна напруга ≈ 12V) і входом контролера (3.3 V) застосовано коло R8, VD1 і VD2, яке живиться від перетворювача DA3 (12V-3.3 V).

Працездатність запропонованого модуля перевірена за допомогою програмного симулятора Spice. Результати моделювання представлені на рисунку 2.17.

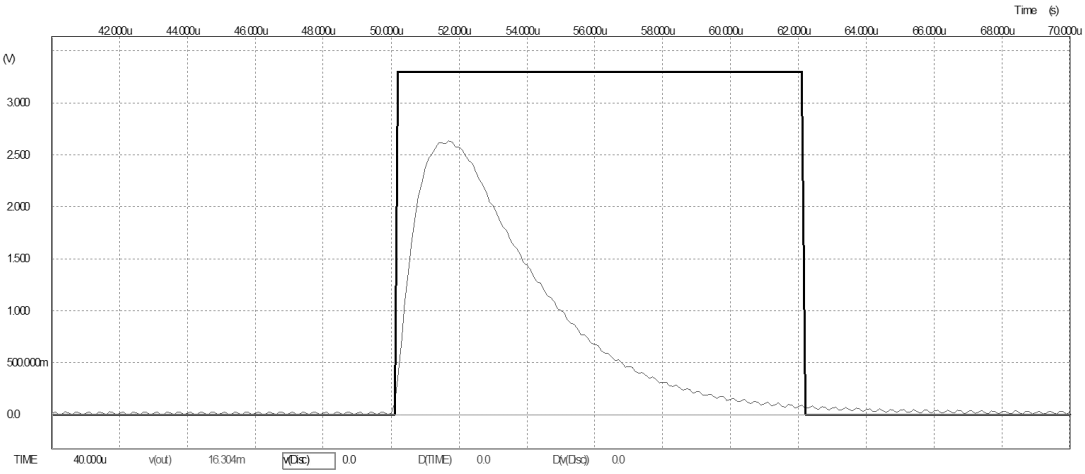


Рисунок 2.17 – Результати моделювання роботи модуля попередньої обробки аналогової інформації в симуляторі Spice

Обробка вихідних сигналів запропонованого модуля здійснюється ЦСП, який працює в двох основних режимах – лічильному і спектрометричному. Лічильний режим роботи містить і функцію калібрування. Перемикання режимів роботи приладу здійснюється шляхом натискання відповідної кнопки на функціональній клавіатурі, стан якої аналізується програмою ЦСП.

При калібруванні приладу для лічильного режиму процесор підраховує середню кількість імпульсів Disc за певний період часу при нерухомому приладі відносно об'єкта контролю. Після чого програма розраховує пороги спрацьовування.

При скануванні досліджуваного об’єкта в лічильному режимі програма визначає відхилення швидкості підрахунку імпульсів Disc від заданих порогів і видає звукову та візуальну інформацію як у критичних випадках [30].

При виявленні особливо підозрілих аномалій прилад можна перевести в спектрометричний режим. У цьому режимі програма ЦСП очікує перехід сигналу Disc, поданого на логічний вхід, з нуля в одиницю. Після чого запускає АЦП, який здійснює задану кількість вибірок і заносить їх значення в буфер форми імпульсу. Потім за цими даними визначає енергію отриманого імпульсу і формує спектр в буфері спектра. Після чого накопичений спектр виводиться на графічний дисплей, і досвідчений оператор може виконати більш детальний аналіз підозрілого об'єкту [30].

Запропоноване схемотехнічне рішення відповідає вимогам, що висуваються до електронних трактів обробки сигналу детектора іонізуючого випромінювання, і є оптимальним за масогабаритними характеристиками і енергоспоживанню і може слугувати основою для створення сучасного портативного засобу для виявлення прихованих предметів.

2.6 Методика обробки даних і порядок роботи з приладом

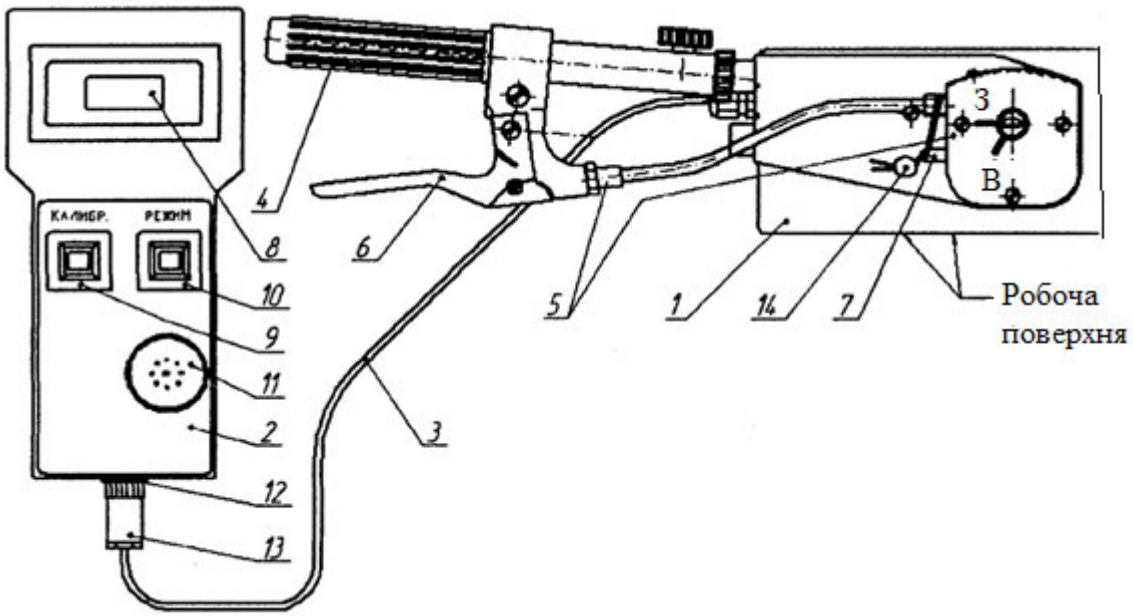
2.6.1. Режими роботи приладу

Як вже було вказано у попередніх пунктах розділу, спосіб відображення інформації – цифровий, безрозмірний, на рідкокристалічному індикаторі. Рішення про наявність контрабанди в обстежуваній порожнині приймається зі зміни реєстрованого значення, яке відображається чотиризначним числом на індикаторі виробу. При цьому, за ймовірності існування закладки у порожнині, в нижньому правому куті індикатора з'являється від 1 до 3 символів ζ.

Детектор прихованих порожнин виконано у блочному виконанні, у вигляді двох самостійних блоків: блоку детектування і блоку індикації.

Електричне з'єднання блоків проводиться за допомогою кабелю блоку детектування. Для розширення можливостей при огляді важкодоступних місць детектор комплектується знімною подовжує штангою-ручкою.

Детектор має встановлену подовжувальну штангу-ручку. Зовнішній вигляд детектора показаний на рисунку 2.18.

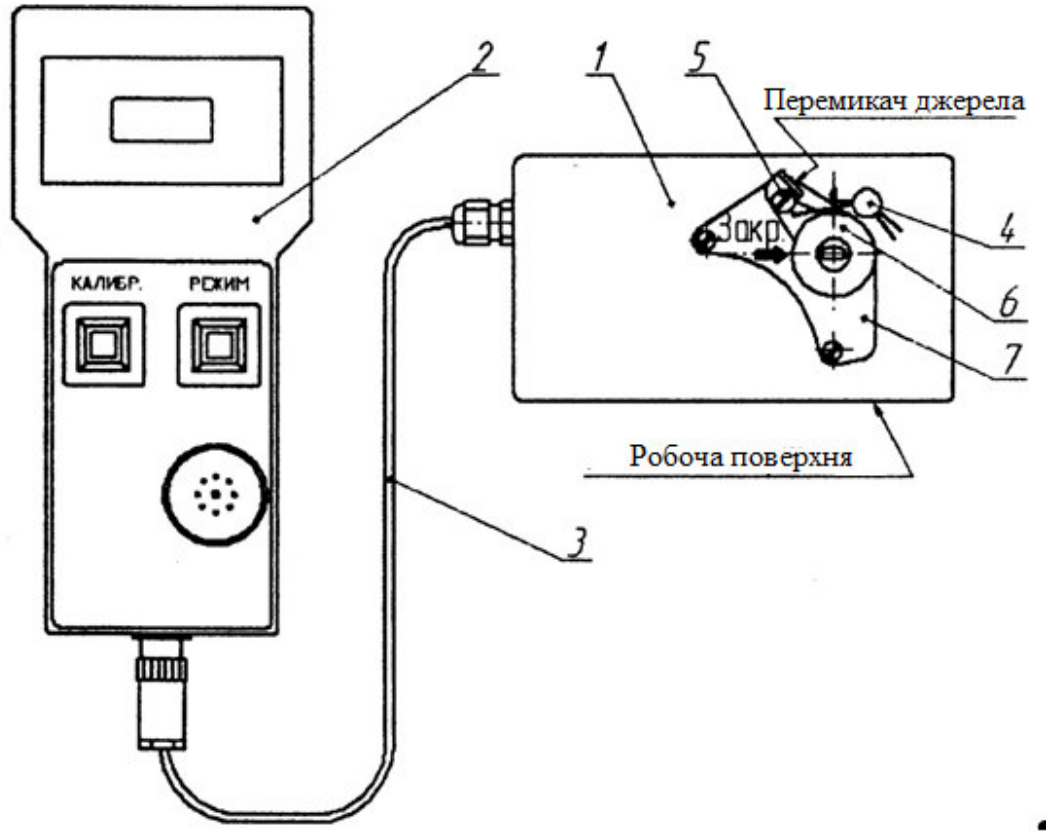


1 – блок детектування; 2 – блок індикації; 3 – з'єднувальний кабель; 4 – подовжувальна штанга-ручка; 5 – механізм включення приладу; 6 – важіль; 7 – фіксатор; 8 – індикатор; 9 – кнопка "Калібрування"; 10 – кнопка "Режим"; 11 – звуковий випромінювач; 12 – вилка блоку індикації; 13 – розетка для кабелю детектування; 14 – пломба для запобігання несанкціонованих включень; З – джерело іонізуючого випромінювання в положення "Закрито"; В – джерела іонізуючого випромінювання в положення "Відкрито"

Рисунок 2.18 – Детектор прихованих порожнин зі встановленою подовжувальною штангою-ручкою

При необхідності (в стаціонарних умовах або при налагодженні) можлива робота з детектором без подовжувальної штанги-ручки (рис. 2.19). В цьому випадку включення детектора здійснюється важелем включення 6,

який встановлюється замість подовжувальної штанги-ручки з механізмом включення. При цьому фіксація важеля в положенні зберігання проводиться за допомогою гвинта 5.



1 – блок детектування; 2 – блок індикації; 3 – з'єднувальний кабель; 4 – пломба для запобігання несанкціонованого включення; 5 – гвинт фіксації положення зберігання; 6 – перемикач включення джерела

Рисунок 2.19 –Детектор прихованих порожнин

Детектор працює наступним чином. При переведенні джерела іонізуючого випромінювання в положення "Відкрито" потік гамма квантів з джерела спрямовується на обстежуваний об'єкт. При цьому частина гама-квантів, відбившись від стінок і конструктивних елементів об'єкта, потрапляє на сцинтиляційний детектор блоку детектування і реєструється їм у вигляді імпульсів. Кількість реєстрованих гама-квантів залежить від матеріалу і

товщини стінки, наявності конструктивних елементів об'єкта, від їх розташування, розмірів і матеріалу.

Блок детектування реєструє відбиті від обстежуваної ділянки гама-кванти і передає дані по з'єднувальному кабелю в блок індикації. У блоці індикації отримані імпульси аналізуються і, якщо вони відповідають обраному енергетичному вікну, підсумовуються протягом необхідного для даного режиму роботи проміжку часу. Результат аналізується і відображається у відносних одиницях на індикаторі блоку індикації. Якщо аналіз показує ймовірність несанкціонованого вкладення в місці сканування, на індикаторі в правому нижньому кутку з'являється від 1 до 3 символів ζ. Кількість символів пропорційна прогнозованої ймовірності існування вкладення.

Поява 2 і більше символів ζ супроводжується звуковим сигналом.

Детектор працює в наступних режимах:

а) «Калібрування»;

б) Сканування в основному режимі «Робота»;

в) Сканування у додатковому режимі «Точно».

Режим «Калібрування».

Режим «Калібрування» призначений для визначення контрольної швидкості лічби імпульсів для аналізованого об'єкта.

Час калібрування 5с.

Порядок роботи в режимі «Калібрування» наступний:

Блок детектування розташувати на поверхні об'єкту в точці з вихідною густиною речовини (рекомендується розташовувати на поверхні стінки, аналогічній стінці обстежуваного об'єкта з порожниною свідомо не заповненої сторонніми предметами). Натисканням до упору важеля 6 на рукоятці блоку детектування (див. рис. 2.18) перевести джерело іонізуючого випромінювання в положення «Відкрито» (В). На індикаторі з'явиться напис «Калібрування», «Точно» або «Робота» (в залежності від останнього

робочого режиму). Протягом всього часу калібрування важіль повинен знаходитися в натиснутому стані.

Натиснути кнопку «Калібрування» на блоці індикації. На індикаторі з'явиться напис «Калібр» і біжать цифри в форматі □□□□□.

Після закінчення калібрування на індикаторі з'явиться напис «Готово» і цифри в форматі □□□□□, що відповідають кількості зареєстрованих імпульсів. [27]

Кількість зареєстрованих імпульсів варіюється в широких межах і залежить від матеріалу і товщини стінки, наявності конструктивних елементів об'єкта, від їх розташування, розмірів і матеріалу, параметрів джерела іонізуючого випромінювання та радіаційної обстановки на місці роботи.

У випадку якщо зареєстроване число вище порогового для даного детектора, на індикаторі з'явиться напис «Шум».

У випадку якщо зареєстроване число нижче порогового для даного детектора, на індикаторі з'явиться напис «Немає сигналу».

Режим «Робота».

Режим "Робота" призначений для швидкої оцінки ситуації і прийняття рішення в явних випадках з високою ймовірністю несанкціонованого вкладення в місці сканування.

Час накопичення в режимі «Робота» 0,5 с.

Порядок роботи в режимі «Робота» наступний:

Піднести блок детектування робочою поверхнею впритул до досліджуваного об'єкта.

Натисканням до упору перемикача на рукоятці блоку детектування перевести джерело іонізуючого випромінювання в положення "Відкрито". На індикаторі з'явиться напис «Калібрування», «Точно» або «Робота» (в залежності від останнього робочого режиму). Протягом всього часу сканування перемикач повинен знаходитися в натиснутому стані.

Провести калібрування, натиснувши кнопку «Калібрування».

Перейти в режим «Робота» натиснувши кнопку «Режим» на блоці індикації. На індикаторі з'явиться напис «Робота» і цифри в форматі□□.□□.

Значення показу на цифровому індикаторі в режимі «Робота» дорівнюватиме:

$$N_t = \frac{N_r}{N_k} \cdot k, \tag{2.4}$$

де: N_t – покази на цифровому індикаторі; N_r – поточне значення зареєстрованих при скануванні імпульсів за час 0,5 с; N_k – коефіцієнт перерахунку часу для даного режиму.

Критерій *n* появи символу виявлення на індикаторі і появи звукового сигналу визначається за формулою:

$$n = \frac{N_r \pm 3\sqrt{N_r}}{N_k} \cdot k, \tag{2.5}$$

Характерно для режиму «Робота» 0,4 ≥*n*≥1,6

Режим «Точно».

Режим «Точно» призначений для уточненої оцінки ситуації та прийняття рішення в складних випадках з неявною ймовірністю несанкціонованого вкладення в місці сканування.

Піднести блок детектування робочою поверхнею до досліджуваного об'єкта. Натисканням до упору важеля на рукоятці блоку детектування перевести джерело іонізуючого випромінювання в положення «Відкрито» (В). На індикаторі з'явиться напис «Калібрування», «Точно» або «Робота» (в залежності від останнього робочого режиму). Протягом всього часу калібрування важіль повинен знаходиться в натиснутому стані.

Провести калібрування, натиснувши кнопку «Калібрування».

Перейти в режим «Точно» натиснувши кнопку «Режим» на блоці індикації. На індикаторі з'явиться напис «Точно» і цифри в форматі□□.□□.Значення показів на цифровому індикаторі в режимі «Робота» дорівнюватиме:

$$N_t = \frac{N_r}{N_k} \cdot k, \tag{2.6}$$

де: N_t – покази на цифровому індикаторі; N_r – поточне значення зареєстрованих при скануванні імпульсів за час 0,5 с; N_k – коефіцієнт перерахунку часу для даного режиму.

Критерій n появи символу виявлення на індикаторі і появи звукового сигналу визначається за формулою (2.5).

Характерно для режиму «Робота» 0,75≥*n*≥1,35

2.6.2 Опис і робота складових частин детектора

Блок детектування. Конструкцію блоку детектування показано на рисунку 2.20.

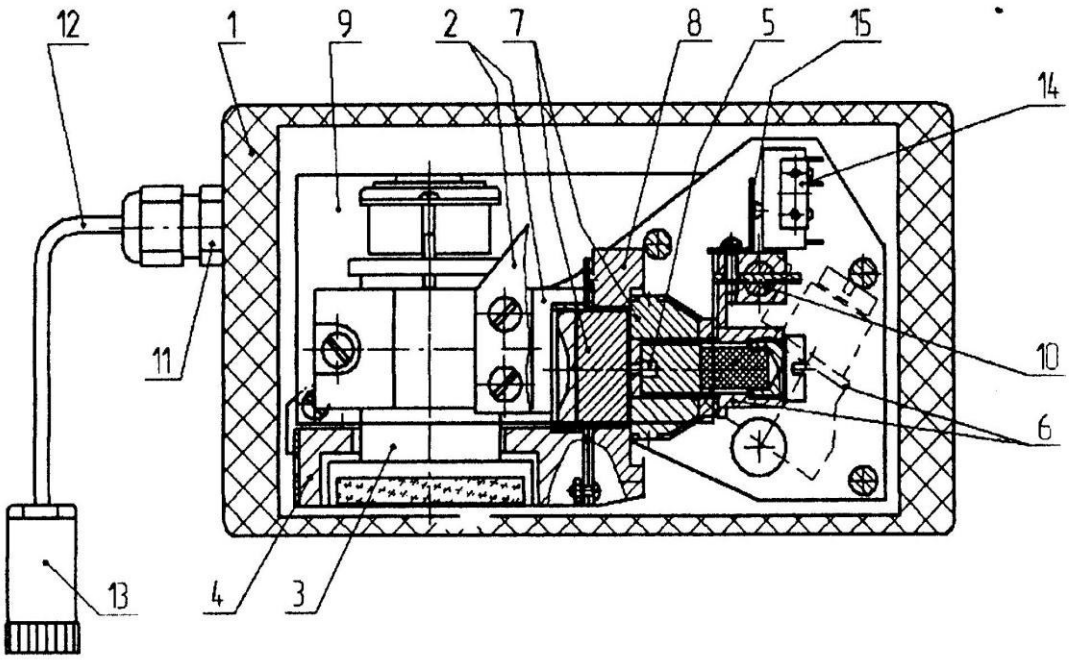


Рисунок 2.20 – Конструкція блоку детектування

Основними складовими частинами блоку детектування є: корпус 1, виготовлений з полістиролу; металоконструкція 2, за допомогою якої здійснюється механічний зв'язок частин детектора; сцинтиляційний детектор 3; складається з кристала і фотоелектронного помножувача; захист кристалу

детектора 4; джерело спрямованого гама-випромінювання 5 (^{133}Ba), встановлений у поворотну захисну капсулу 6; захист джерела 7; екран, призначений для захисту кристалу 8; помножувач 9; мікровимикач 14; гвинт герметизування 11; з'єднувальний кабель 12 з роз'ємом 13; вал 10, кінець якого служить для установки механізму включення приладу, вал повертається із закріпленою на ньому капсулою, джерелом гамма-випромінювання і натискною планкою 15, яка звільняє контакт кінцевого вимикача, що вмикає прилад. Таким чином, джерело переводиться в положення «відкрито».

Подовжувальна штанга-ручка з механізмом включення приєднується до корпусу блоку детектування за допомогою двох гвинтів, стійки і двох гвинтів-саморізів.

Блок індикації. Блок індикації складається з: корпусу, що містить кришку верхню і нижню; відсіку акумуляторного; акумуляторів. У корпусі розміщена плата індикації. На верхній кришці блоку індикації розміщені (див. рис. 2.19) кнопки управління "Режим" 10 і "Калібрування" 9, звуковий випромінювач 11 і вікно індикатора 8. У нижню кришку вмонтовано роз'єм для підключення блоку детектування. В акумуляторний відсік вставляються чотири акумулятора.

Індикатор являє собою РКІ, в якому можна розмістити два ряди по вісім знаків. Нижче описано призначення кожного знаку. Елементи індикації на РКІ в робочих режимах (рис. 2.21) мають наступні призначення:

– верхнє поле – назва режиму;

– п'ять знаків нижнього лівого поля – контрастність.

– три знаки нижнього правого поля – пороги.

В аварійних режимах призначення полів змінюються.

Існує чотири аварійні повідомлення:

«Розряд» (розряд акумулятора) – необхідно зарядити акумулятори;

«Глибокий розряд!» (Глибокий розряд акумулятора), при цьому прилад перестає функціонувати;

«Немає сигналу» (відсутність сигналу з блоку детектування);

«Шум» – сигнал з блоку детектування не відповідає нормі.

При першому аварійному повідомленні верхнє поле використовується власне для виведення повідомлення, призначення нижніх полів залишається тими ж, що і в робочих режимах.

У другому випадку на екрані з'являється повідомлення «Глибокий розряд!».

У третьому випадку на екрані з'являється повідомлення «Немає сигналу».

У четвертому випадку на екрані в нижньому полі виводиться повідомлення «Шум».

а) сканування однорідного об’єкта

б) виявлення неоднорідності в об’єкті

Рисунок 2.21 – Індикація на рідкокристалічному індикаторі у режимі «Робота»

3 МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МИТНОГО КОНТРОЛЮ

3.1 Організація метрологічного забезпечення митних органів

Метрологічне забезпечення митних органів належить до сфер поширення державного метрологічного контролю і нагляду [31], є складовою частиною метрологічного забезпечення безпеки держави, і здійснюється метрологічною службою Митних органів України, Державної метрологічною службою та іншими державними службами забезпечення єдності вимірювань, метрологічне забезпечення поширюється на всі види діяльності митних органів, пов'язаних з проведенням вимірювань і досягненням достовірних результатів кількісного і якісного показника товару при здійсненні митних операцій.

Головна мета метрологічного забезпечення митних органів – досягнення необхідної об'єктивності і достовірності операцій митного контролю, підтримання необхідної точності, надійності й готовності до застосування ТЗМК. Отримання достовірних результатів вимірювань кількісних і якісних показників товарів, що переміщуються через митний кордон, досягається [32]:

1) використанням при вимірюванні атестованих встановленим порядком методик виконання вимірювань;

2) використанням похибки методу вимірювань, зазначеної в методиці виконання вимірювань з метою достовірного запису результатів вимірювань;

3) необхідними умовами отримання достовірних результатів вимірювань: а) застосування тільки тих засобів вимірювань, які дозволені до застосування в Україні згідно з Державним реєстром ЗВТ; б) застосування повірених ЗВ, у яких клейма (при їх наявності) не порушені; в) застосування ЗВ, термін дії повірочного тавра (свідоцтва про повірку) яких не закінчився

відповідно до міжповірочного інтервалу; г) атестація випробувального устаткування, яке застосовується в митних органах;

4) ефективним метрологічним контролем і наглядом за станом і застосуванням засобів вимірювання (далі – ЗВ) і методики виконання вимірювань (далі – МВВ), дотриманням митними органами метрологічних правил і норм;

5) метрологічною підготовкою фахівців, що визначають кількісні та якісні показники товарів.

Основними завданнями метрологічного забезпечення митних органів є [31]:

– забезпечення єдності, необхідної точності вимірювань та достовірності вимірювального контролю в митних органах;

– метрологічна експертиза проєктів зразків технічного засобу, визначення їх відповідності метрологічним правилам і нормам;

– метрологічне супровід розробки і виробництва технічного засобу;

– забезпечення якості метрологічного обслуговування технічних засобів митних органів;

– формування парку ЗВ вимірювального контролю митних органів, організація їх ефективної експлуатації та ремонту;

– метрологічна підготовка посадових осіб митних органів, які експлуатують технічні засоби, ЗВ і робочі еталони (далі – РЕ);

– вдосконалення нормативних і методичних основ метрологічного забезпечення митних органів;

– організація і здійснення метрологічного нагляду в митних органах;

– організація взаємодії Метрологічної служби Митної служби України з метрологічними службами територіальних органів виконавчої влади в сфері оборони і безпеки України.

Метрологічний аналіз та метрологічний супровід технічного засобу має вирішувати наступні завдання [33]:

– аналіз і оцінка технічних рішень з метрологічного забезпечення при розробці, випробуваннях, виробництві та експлуатації технічних засобів, що розробляються на замовлення Управління митної служби України і застосовуються митними органами;

– проведення метрологічної експертизи технічних завдань (далі – ТЗ) на виконання науково-дослідної роботи (далі – НДР), зразків технічного засобу, їх конструкторської, технологічної документації та експлуатаційних документів.

Метрологічне обслуговування технічного засобу і заходи щодо забезпечення його якості виконуються посадовими особами митних органів відповідно до експлуатаційної документації на технічний засіб. Вимірювання параметрів технічного засобу повинно здійснюватися придатними до застосування ЗВ (термін повірки яких не закінчився, з непошкодженими клеймами (пломбами), справними і працездатними) [34].

Якість метрологічного обслуговування технічного засобу досягається:

– своєчасною та якісною повіркою і ремонтом ЗВ;

– метрологічною підготовкою фахівців, що експлуатують технічний засіб;

– організацією правильної і ефективної експлуатації технічного засобу;

– участю фахівців-метрологів та посадових осіб митних органів, що експлуатують технічний засіб, в його проведенні;

– атестацією МВВ;

– метрологічним наглядом за своєчасністю та повнотою метрологічного обслуговування технічного засобу, включаючи при необхідності контрольні вимірювання їх параметрів.

Формування парку ЗВ здійснюється посадовими особами митних органів відповідно до законодавства України і відповідними правовими актами.

Засоби вимірювання можуть не підлягати періодичній повірці:

– якщо вони застосовуються для спостереження за наявністю або зміною параметрів об'єкта вимірювань або вироблення сигналів, що впливають на об'єкт, без оцінки їх значень з нормованою похибкою (індикатори);

– якщо вони є об'єктом вивчення (піддаються розбиранню з метою вивчення пристрою і принципу дії) або демонстрації в навчальному процесі (навчальні ЗВ) і не застосовуються при вимірюваннях з нормованою похибкою;

– при знаходженні на тривалому зберіганні, якщо є акт про їх консервацію.

Метрологічне забезпечення технічних засобів митного контролю (далі – ТЗМК) включає в себе [31]:

1) оцінку стану метрологічного забезпечення ТЗМК;

2) аналіз метрологічного забезпечення технічних засобів, причини наявних недоліків в стані метрологічного забезпечення ТЗМК;

3) метрологічне забезпечення виконання технічного обслуговування і регламентних робіт;

4) роботу фахівців-метрологів з контролю за метрологічним забезпеченням технічного обслуговування і регламентних робіт;

5) аналіз технічного стану засобів вимірювальної техніки;

6) заходи, що проводяться керівництвом митних органів щодо усунення та попередження недоліків в метрологічному забезпеченні технічних засобів митного контролю.

3.2. Особливості метрологічного забезпечення детекторів-індикаторів

Детектори, індикатори – засоби вимірювань (ЗВ) з ненормованими метрологічними характеристиками, які використовуються для спостереження за зміною фізичних величин без оцінки їх значень в одиницях виміру з

нормованою точністю. Індикатори, а часто і детектори, не підлягають повірці або калібруванню.

Згідно з [38] використовувані для спостереження за зміною величин без оцінки їх значення індикатори не підлягають повірці. Порядок контролю справності таких технічних засобів встановлювало саме підприємство. На даний момент не існує нормативних документів щодо індикаторів.

У деяких галузях для детекторів-індикаторів сформульовані відомчі нормативні вимоги (як, наприклад, у військовій промисловості). Якщо в галузі немає обов'язкових вимог, то підприємство має право скористатися їхнім досвідом у себе на добровільній основі.

У загальному випадку ЗВ, які за умовами застосування можна віднести до індикаторів, визначаються розпорядженням (наказом) керівництва підприємства. На сьогоднішній день немає роз’яснення термінів «нерегламентований ЗВ», «ненормовані метрологічні характеристики» і т. ін.

В останніх міжнародних нормативних документах термін «індикатор» визначається як речовина або технічний засіб для встановлення наявності або перевищення рівня порогового значення будь-якої фізичної величини, а термін «детектор» – як технічний засіб або речовина, що вказує на наявність певної властивості об’єкта вимірювання при перевищенні порогового значення відповідної величини. Факт відсутності визначень для таких термінів у сучасних законодавчих і нормативно-правових актах (НПА) пояснюється тим, що дані пристрої не є об’єктами державного регулювання у сфері забезпечення єдності вимірювань, оскільки це ненормовані ЗВ. Але питання пов’язані з будовою даного типу засобів, періодично піднімають у метрологічному співтоваристві. Об’єктами обговорень стають відомчі нормативні документи, що визначають порядок віднесення і застосування індикаторів [34].

Термін «індикатор» може застосовуватися на розсуд кожної організації або підприємства, якщо він є для неї зручним. Але його використання допустимо лише поза сферою законодавчо регульованої метрології.

Нормативний документ, який регулює застосування індикатора, може включати наступні розділи:

– галузь застосування. Рекомендації нормативного документа поширюються на індикатори, що застосовуються на підприємстві (в дочірніх товариствах і організаціях, якщо мова йде про корпорації);

– терміни та визначення. Рекомендовано сформулювати визначення термінів «контрольне обладнання» і «індикатор».

– позначення індикаторів. Може бути сформульована вимога нанесення на індикатори розпізнавального знаку, що визначає його призначення – літери «І». Допускається на шкалу індикаторів (додатково до літері «І») нанести позначки порогових контрольованих значень величин. Слід встановити також осіб, зобов'язаних наносити цей відмітний знак (при обов'язкових вимогах). Це можуть бути фахівці з експлуатації або фахівці метрологічної служби підрозділів;

– порядок реєстрації та складання переліку індикаторів. Необхідно покласти на метрологічні (або експлуатаційні) служби підприємства обов'язок складання та підтримки в актуальному стані (що вимагає також система якості підприємства гідно з ISO 9001) документів «Перелік індикаторів» підрозділів. Вони в сукупності складуть загальний (зведений) список І підприємства (корпорації);

– повинні бути визначені відповідальні особи за твердженням переліків, і їх контролю; особи, які встановлюють правильність віднесення ЗВ в розряд індикаторів. Складання Переліку індикаторів має контролювати головна метрологічна служба корпорації при здійсненні метрологічного контролю;

– при формуванні переліку також визначаються і фіксуються види технічного обслуговування (ТО) і ремонту з підтримки індикаторів в справному стані, періодичність робіт та їх виконавці (відповідно до нормативної, технічної, технологічної та іншої документації);

– порядок експлуатації і ТО індикаторів. Зазвичай І експлуатують і виконують перевірку їх технічного стану на основі вимог експлуатаційної документації відповідно до графіків ремонту устаткування, де вони встановлені;

– якщо немає експлуатаційних документів, то може бути розроблена інструкція з перевірки їх технічного стану (тоді слід відобразити порядок її погодження та затвердження. Наприклад, узгоджується з метрологічною службою підрозділу, затверджується головним інженером підрозділу (чи іншою посадовою особою враховуючи посади і звання службовців безпосередньо у підрозділах митних органів), передається службі підрозділу, що їх експлуатує);

– якщо виявлена несправність І, то служба експлуатації формує заявку на ремонт у підрозділ, який виконує дані види робіт. Виконавці ремонтних робіт, робіт з перевірки технічного стану І визначаються керівником підрозділу. У підрозділі повинен вестися Журнал обліку ремонтних робіт і перевірки технічного стану І, де фіксують результати всіх видів робіт;

– контроль за своєчасним і якісним виконанням ремонту і перевірки технічного стану І покладається на метрологічну службу підрозділу, який експлуатує індикатори або на вищу структуру.

Щодо порядку переведення ЗВ у розряд індикаторів, то він відбувається на основі наказу керівника підприємства. Такий наказ означає, що дані пристрої та їхні покази виключаються з процесу прийняття рішень: посилання на покази індикаторів, що призвели до травм персоналу, до поломки технічного обладнання, до випуску неякісної або небезпечної продукції не може бути використана в якості доказової бази, тому що не має юридичної сили. Тому при переводі ЗВ в індикатори рекомендується враховувати можливість впливу такої процедури на техніку безпеки і якість продукції, особливо це стосується засобу, що розглянуто у даній роботі, оскільки в ньому застосовується радіоактивне джерело іонізаційного

випромінювання. Цим же наказом може бути встановлений графік технічного обслуговування ЗВ, що переводяться в індикатори.

Окремо ще раз слідує розглянути, у яких випадках засоби вимірювань можуть бути віднесені до категорії індикаторів, а саме:

– якщо вони використовуються для спостереження за зміною параметрів технічних засобів без оцінки їх значення з нормованою точністю;

– якщо для вимірювання одного і того ж параметра використовується більш одного вбудованого ЗВ. Одне з них залишають як повіряємий, а інші можуть бути переведені в розряд індикаторів (рекомендується переводити менш точні ЗВ). В цьому випадку справність ЗВ, переведених в індикатори, визначається технічним експлуатаційним персоналом шляхом звірення показів нормованого ЗВ з показами повіряємого індикатора;

– якщо ЗВ не має поділів і цифрових позначок, а лише фіксується наявність контрольованої величини;

– якщо ЗВ має градуювання, що не відбиває значень контрольованої величини;

– якщо ЗВ має зазначений сектор, в межах якого повинні знаходитися покази;

– якщо позначку або знак, що означають перевищення (або не перевищення) контрольованої величиною фіксованого значення, за умови, що ЗВ при цьому лише фіксує наявність величини (не проводиться її відлік з нормованою точністю);

– якщо щитові електровимірювальні прилади класу 1,5 і нижче (2; 2,5) не використовуються для забезпечення заходів безпеки при роботах або для прийняття рішення про готовність технічного засобу до застосування;

– також в інших обґрунтованих випадках (за погодженням з метрологічною службою відповідного відомства - при наявності такої відомчої вимоги).

Забороняється до категорії індикаторів відносити ЗВ якщо хоча б на одній межі вимірювання або для вимірювання одного з параметрів з їх допомогою виконується вимірювання величини з нормованою точністю.

Документ, згідно до вимог котрого ЗВ переводять до категорії І, має містити і положення щодо процедури контролю функціонування індикаторів.

Перевірку індикаторів може проводити обізнаний персонал (часто це працівники експлуатаційної служби), уповноважений наказом керівника або посадовою інструкцією. Головному метрологу рекомендовано курирувати це питання.

Якщо на підприємстві не введені в дію нормативні документи щодо індикаторів або в них не включені вимоги щодо контролю їх працездатності, то головному метрологу рекомендується скласти інструкції з перевірки конкретного виду індикаторів (на основі існуючих методик повірки) [34].

В силу того, що проаналізовані і запропонований засоби працюють у режимі індикаторів і не мають контрольованих метрологічних характеристик, то подальші пункти розділу буде присвячено контролю їх функціонування і заходам із забезпечення надійної роботи.

3.3Контроль функціонування детектора (індикатора) контрабанди і заходи із забезпечення його надійної роботи

3.3.1Оцінювання невизначеності при вимірюванні параметрів гамма-випромінювача

Для визначення параметрів детектора контрабанди в рамках контролю його функціонування необхідно виміряти і оцінити невизначеність результату вимірювання потужності експозиційної дози (ПЕД) іонізуючого випромінювання. Для цього необхідно застосувати прилад – дозиметр. Для вказаної мети можна застосувати широко вживаний прилад – дозиметр ДРГ – 01Т. Загальний вигляд приладу зображено на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Дозиметр ДРГ – 01Т

У приладі працюють чотири лічильника СБМ-20 (чутливий канал) і два лічильника СИ-34Г (грубий канал). Діапазон вимірювання від 10 мкР/год до 10 Р/год у діапазоні енергій від 50 КеВ до 3 МеВ. Основна відносна похибка у режимі «Вимірювання» дорівнює: $\pm [15 + 0{,}05(y/x\text{-}1)]$ %, де y – границя вимірювання в одиницях відповідного піддіапазону вимірювання (мР/год або Р/год); x – виміряне значення потужності експозиційної дози (далі – ПЕД) в одиницях відповідного піддіапазону вимірювання (мР/год або Р/год).

Для вимірювання необхідно дотримуватися всіх вимог наведених у документації методики вимірювань та інструкції з техніки безпеки. Вимірювання проводять у наступній послідовності.

Увімкнути дозиметр і виставити нульові значення порогових рівнів спрацьовування звукової сигналізації по кожному каналу, після чого увімкнути режим вимірювання потужності експозиційної дози – ПЕД іонізуючого випромінювання і розташувати дозиметр поруч з джерелом гамма-випромінювання. На цифровому індикаторі дозиметра спостерігати

зростання над рівнем фону відліків ПЕД та сигналізацію при реєстрації гамма-квантів детектором.

Для дозиметрів згідно з [39] нормується основна відносна похибка, яка включає в себе таки складові:

– похибка калібрування дозиметра;

і похибки дозиметра, що пов’язані з:

– залежністю чутливості дозиметра від енергій гамма-випромінювань;

– залежністю чутливості дозиметра від кута падіння гамма-квантів;

– не лінійністю чутливості при різних потужностях дози;

– статистичними флуктуаціями при малих значеннях потужностей дози;

– зміною чутливості при розрядці батарей живлення,

а також похибки, що обумовлені зовнішніми умовами вимірювань:

– зміною чутливості від температури, вологості і тиску;

– зміною чутливості через вплив електромагнітних полів;

– зміною чутливості через вібрації і механічні удари.

Виробник не може в документації на прилад навести дані про основну відносну похибку згідно вищевказаної трактовки, оскільки не знає умов вимірювань, наприклад, не знає:

– енергію гамма-випромінювання в реальних умовах вимірювань;

– не знає як розташований дозиметр в напрямку падаючих гамма-квантів;

– не знає зовнішніх умов вимірювань.

Такі міркування привели вчених Мартинюка Ю.Н. і Нурлібаєва К. (НВП «Доза»), що вимоги до основної відносної похибки не можуть бути виконані [35]. Для цього проаналізовано широко вживаний дозиметр ДРГ-01Т.

Розглянемо наступні джерела основної відносної похибки приладу:

– залежність чутливості дозиметра від енергій гамма-випромінювання;

– залежність чутливості дозиметра від кута падіння гамма-квантів.

Для вирівнювання залежності чутливості дозиметра від енергій випромінювання застосовують корегуючи фільтри з свинцю і зміна чутливості дозиметра в залежності від енергій випромінювання в діапазоні енергій 50 кеВ – 3 МеВ при нормальному робочому положенні дозиметра не відрізняється більше ніж на ±25% від значення, одержаного від джерела цезій – 137 (Cs) (662 кеВ).

Нормальне робоче положення дозиметра – напрям випромінювання перпендикулярний до площини розташування детекторів (детектори розташовано в одній площині паралельно задній кришці).

Що стосується залежності чутливості приладу від кута падіння випромінювання у нормативній документації записано: «Анізотропія чутливості дозиметра при зміні кута падіння випромінювання від 0^o до 180^o відносно площини розташування детекторів не повинна перевищувати $\pm 80^o$ відносно вимірюваного значення при куті 90^o (нормальне положення)» і це природно, оскільки можна порахувати, що площа опромінення при падінні випромінювання у торець лічильника у 12,5 разів менше ніж при нормальному положенні.

Таким чином тільки з цих двох джерел при несприятливих обставинах ми можемо одержати 84% похибки результатів вимірювання.

У дозиметрі використовується чотири лічильника СБМ-20, чутливість кожного з яких складає 0,2 імп/с на мкР/год. Таким чином за час вимірювання у 30 секунд (у приладі фіксується час вимірювання) фонового значення 10 мкР/год ми одержуємо 24 імпульсу. Таким чином при потужності дози 20 мкР/год похибка дорівнює 29%.

Далі розрахуємо основну відносну похибку за формулою, що наведена в документації на прилад $\pm [15 + 0{,}05(y/x-1)]\%$. При потужності дози 10 мкР/год одержуємо 65%, а при 20 мкР/год – 40%.

З цього можна зробити висновок, що відносна похибка дозиметра ДРГ-01Т1 не відповідає вимогам [39], а приведене виготовлювачем значення

основної відносної похибки некоректно використовується як значення похибки результату вимірювання [35].

З вищенаведеного слідує, що при вимірюваннях ми повинні визначати не тільки похибку результату вимірювання, а й вводити поправки на результат вимірювання, тому перехід до невизначеності вимірювання є необхідним.

Аналіз стандарту [40] доводить, що похибка дозиметра відноситься не до похибки результату вимірювання, а тільки похибки показів приладу при стандартних умовах випробувань при стандартній орієнтації дозиметра відносно напряму падаючого випромінювання протягом калібрування, що вказано виробником.

Відносна похибка дозиметра при такому трактуванні обумовлена двома факторами: нелінійністю чутливості і статистичною невизначеністю значень вимірюваної величини.

Тому у чинному стандарті [40] поняття відносної похибки відсутнє і висунуті вимоги до лінійності чутливості і статистичним флуктуаціям показів дозиметра:

– до лінійності чутливості: від 15% до +22% у діапазоні трьох порядків величини, включаючи значення 100 мкЗв/год;

– до статистичним флуктуаціям показів:

15% при $H=H_o$;

$(16 – H/H_o)$% при $H_o< H <11H$;

5% при $H \geq H_o$,

де H_o – нижня границя діапазону вимірювань потужності еквівалентної дози.

Зовсім забрати поняття відносної похибки дозиметра не зовсім доцільно, оскільки визначати не лінійність чутливості і статистичну невизначеність при кожній повірці буде складно.

Для обчислення поправок і сумарної похибки результату вимірювання дозиметром ПЕД введемо дані для вимірювань.

Нехай вимірювання ПЕД виконано у точці досліджуваного об’єкту (наприклад, транспортний засіб) із застосуванням вказаного дозиметра. Визначено наступні умови вимірювань:

– гамма-поле у точці досліджуваного об’єкту являє собою в основному розсіяні при проходженні крізь захисні матеріали гамма-кванти із середньою енергією спектра біля 0,2 МеВ;

– кутове розподілення гамма-поля при опроміненні дозиметра близько ізотропному (за результатами експериментального оцінювання гамма-поля і виконанні спостережень з різною орієнтацією дозиметра);

– температура у приміщенні біля 30^{o}C;

– решта умови (тиск, вологість, рівень електромагнітного поля та ін.) відповідають передбаченим для приладу нормальним умовам.

Виміряне за показами приладу значення ПЕД рівне H=0,85 мкЗв/год із статистичною стандартною невизначеністю σ_H = 3% за результатами обробки ряду з 10 спостережень).

Основна похибка дозиметра $U_{осн}$= 15% *(P = 0,95).*

Тепер проведемо оцінювання поправок.

Поправка на енергію гамма-квантів (врахування відмінності від стандартних умов 662 КеВ) визначається енергетичною залежністю відносної чутливості для реальної середньої енергії біля 0,2 МеВ. Поправка k_E є зворотною величиною до відносної чутливості і за оцінкою може приймати значення від 1,0 до 1,1 з середнім значенням k_E = 1,05 і максимальною невизначеністю $U_E = \pm 5\%$.

Поправка на анізотропність опромінення дозиметра повинна зменшити покази дозиметра при ізотропному опроміненні у порівнянні з стандартними умовами калібрування (паралельний вузький пучок гамма-квантів) [35]. Використовуючи дані про варіації показів дозиметра для різних кутів падіння фотонів і застосувавши кутове інтегрування, одержимо для ізотропного опромінювання з енергією 200 КеВ наступне значення поправки $k_{кут}$ = 1,56. Максимальна невизначеність поправки оцінена значенням $U_{кут} = \pm 9\%$.

Температура при вимірюваннях є такою, що відповідає дозволеним умовам експлуатації, і не вимагає введення відповідної поправки ($k_T = 1$). У той же час температура відрізняється від нормальних умов на 10°С, що викликає додаткову максимальну невизначеність $U_T = \pm 3\%$.

Складемо бюджет невизначеності результату вимірювання ПЕД.

У табл. 3.1 зведено дані аналізу і представлені у вигляді бюджету невизначеності результату вимірювання обраним дозиметром.

Таблиця 3.1 – Бюджет невизначеності результату вимірювання ПЕД

Величина	Значення величини	Відносна невизначеність величини	Відносна стандартна невизначеність
Покази дозиметра, H	0,85 мкЗв/год	Статистична стандартна $\sigma_H = 3\%$ Основна похибка $U_{осн}=15\%(P= 0,95)$	$\sigma_H = 3\%$ $u_{осн}=15/\sqrt{3}=8,7\%$
Поправка на енергію, k_E	1,05	Максимальна невизначеність $U_E = 5\%$.	$u_E=5/\sqrt{3}=2,9\%$
Поправка на ізотропність, $k_{кут}$	1,56	Максимальна невизначеність $U_{кут} = 9\%$.	$u_{кут}=9//\sqrt{3}=5,2\%$
Температурна поправка, k_T	1	Максимальна невизначеність $U_T = 3\%$.	$u_T=3/\sqrt{3}=1,7\%$

Добуток поправок:

$k_E \cdot k_{кут} = 1,05 \times 1,56 = 1,64$

Шукане значення ПЕД складає:

$H(10) = 0,85 \times 1,64 = 1,39$

Сумарна стандартна невизначеність ПЕД складає:

$u_{ПЕД} = (3^2 + 8,7^2 + 2,9^2 + 5,2^2 + 1,7^2)^{1/2} = 11\%$.

Для одержання невизначеності при P=0,95 використаємо коефіцієнт розширення рівний 2:

$U_{ПЕД} = 2\, u_{ПЕД} = 22\%$.

Результат вимірювання можна записати як

$H(10) = 1,39 \pm 22\%$.

3.3.2 Методика розрахунку терміну служби джерела γ -випромінювання

Для оцінки показників надійності запропоновано метод розрахунку, заснований на застосуванні математичних моделей, що описують процеси, які призводять до відмов об'єкту [36].

Визначальним параметром, що характеризує стан джерела γ-випромінювання, є його активність. Активність джерела не є постійною, вона зменшується в часі у відповідності до періоду напіврозпаду ізотопу, що використовують в ньому. Стан приладу вважається працездатним, якщо значення його параметрів відповідають встановленим вимогам. Показниками функціонування в даному випадку є ймовірність виявлення закладки, товщина перепони, глибина і швидкість сканування [37].

Критерієм відмови є зниження активності до мінімально допустимого рівня $A_{твідм}$, нижче якого використання джерела є неприпустимим у зв'язку з виходом технічних параметрів приладу за встановлені межі.

Процес деградації, що обумовлює зміну визначального параметра (активності) описується основним законом радіоактивного розпаду [36]:

$$N_t = N_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t), \tag{3.1}$$

де N_0, N_t – число наявних радіоактивних ядер N на початковий момент часу t_0 і момент часу t, що відповідає часу настання відмови; λ – стала розпаду.

Стала розпаду λ пов’язана з періодом піврозпаду $T_{\frac{1}{2}}$ співвідношенням

$$\lambda = \frac{In}{T_{\frac{1}{2}}}. \qquad (3/2)$$

Виходячи з формули (3.1) активність визначаються величиною

$$A = \left|\frac{dN}{dt}\right| = \lambda \cdot N_0 \cdot exp \cdot (-\lambda \cdot t) \qquad (3.3)$$

З врахуванням формул (3.1) і (3.2) значення активності $A_{твідм}$ на момент завершення терміну служби, що відповідає часу настання відмови :

$$A_{t_{отк}} = A_o \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} t_{отк}\right). \qquad (3.4)$$

Розв'язуючи рівняння (3.4), одержимо значення допустимого терміну служби джерела випромінювання

$$t_{отк} = -T_{\frac{1}{2}} \frac{\ln\left(\frac{A_{t_{отк}}}{A_0}\right)}{\ln 2}. \qquad (3.5)$$

Аналіз одержаного виразу (3.5) дозволяє визначити можливість збільшення допустимого терміну служби джерела γ - випромінювання при використанні його в портативних приладах оглядового контролю.

Всі існуючі прилади такого класу [21], виходячи з фізики їх роботи, оснащені джерелами гама-випромінювання з радіонуклідом ^{133}Ba. Таким чином, підвищити допустимий термін служби за рахунок використання джерела іонізаційного випромінювання з більш тривалим періодом напіврозпаду не є можливим. Це може бути досягнуто або шляхом підвищення початкової активності, або шляхом зниження мінімально допустимого рівня активності до величини, яка ще забезпечує роботу приладу.

Підвищення допустимої початкової активності обмежено необхідністю забезпечення вимог радіаційного захисту, основні принципи якої – виправданість, не перевищення та оптимізація лежать в основах існуючих норм радіаційної безпеки і санітарних правилах забезпечення радіаційної

безпеки. Відповідно до принципу оптимізації рівні індивідуальних доз та кількість осіб, що опромінюються, по відношенню до кожного джерела випромінювання повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з урахуванням економічних і соціальних факторів [37].

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі у результаті проведених теоретичних досліджень було розглянуто особливості сучасного стану у галузі забезпечення високопродуктивного, ефективного митного контролю вантажів і транспортних засобів, що перетинають державний кордон.

Важливе місце серед різноманітних антитерористичних засобів належить пошуково-оглядовій техніці, робота якої заснована на використанні зворотного іонізуючого гама-випромінювання. Такі засоби дозволяють за зміною інтенсивності прийнятого зворотного розсіяного гама-випромінювання, яке свідчить про зміну густини досліджуваного об`єкта, робити висновок про наявність схованки у порожнині транспортного засобу або іншого об’єкта, що перетинає кордон.

У результаті проведеного аналізу схемотехнічних рішень засобів оглядового контролю було розроблено схему високовольтного джерела живлення фотоелектронного помножувача та схему підсилювача-формувача імпульсів, а також аналогового процесора, як центрального пристрою електронного тракту спектрометра іонізуючих випромінювань, що дозволяє виконувати заданий комплекс перетворень аналогової інформації про енергетичний спад і інтенсивність вимірюваного випромінення, яке надходить у вигляді електричних імпульсів від блоку детектування.

Особливу увагу було приділено аналізу стану метрологічного забезпечення митних органів, які належать до сфер поширення державного метрологічного контролю і нагляду, а також розглянуто питання організації експлуатації технічних митних засобів, що є за своєю суттю індикаторами, до яких відносять і розглянутий у роботі засіб. Тому у роботі також був розроблений порядок контролю функціонування детектора і заходи із забезпечення його надійної роботи, як засобу, для котрого не нормуються метрологічні характеристики.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 23 с.

2. Прилади для неруйнівного контролю матеріалів і виробів: Довідник; в 2-х кн. / під ред. В.В. Клюєва.– М.: Машинобудування, 1986.– т.1– 486 с., т.2 – 352 с.

3. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2016. – 192 с.

4. Теплові методи неруйнівного контролю: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю» денної форми навчання / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. Г. Протасов, Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 73с.

5. Білокур І.П. Радіаційний контроль / І.П. Білокур, В.Г. Фірстов, Ф.Р. Соснін.– К.: НМК ВО, 1992.– 168 с

6. Електронні системи контролю якості та діагностики: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.Д. Писаренко, С.Р. Михайлов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 200 с.

7. Пасивний ручний журнал неруйнівного контролю – Борисов. Г. Д. Гамма-випромінювання, взаємодія з речовиною. [Електронний ресурс] – http://www.lanl.gov/orgs/n/n1/Борисов/00326397.pdf

8. Калюжний А.В. Дослідження методів контролю схованих порожнин різними методами. /"АСАУ" – 10(30) 2007 – 32-38 с.

9. Контроль автотранспортних засобів (технологічна інструкція)/НІПКІ “Іскра” – “Лугань” – Луганськ, 1998. – 71с.

10. 2. Контроль залізничного транспорту (технологічна інструкція) / НІПКІ “Іскра” – “Лугань” – Луганськ, 1998. – 72 с.

11. Контроль повітряних суден (технологічна інструкція)/ НІПКІ “Іскра” – “Лугань” – Луганськ, 1998. – 80 с.

12. Контроль морських і річних суден (технологічна інструкція) / НІПКІ “Іскра” – “Лугань” – Луганськ, 1998. – 88с.

13. Технічний регламент закритих джерел іонізуючого випромінювання. Загальні положення. Постанова КМУ від 5 грудня 2007 р. № 1382.

14. Булавін Л.А. Ядерна фізика [Текст] : підручник / Л.А. Булавін, В.К. Тартаковський. – 2.вид., перероб. і доп. – К. : Знання, 2005. – 439 с.

15. Воробьев В.А. Гамма-густинометрія. / Воробйов В.А., Горшков В.А., Шеломанов А.Е. – М.:, 1989. – 144 с.

16. Пат. US 5049744, США, МПК G01N 23/06, G01N 9/24. Radioactive particle densitometer apparatus employing modulation circuitry / Johnson, Herbert A.; опубл. 17.09.1991.

17. Пат. FR 2674958, Франция, МПК G01N 33/44, G01N 9/24. Method and installation for non destructive measurement of the density of a cellular (honeycombed) polymer article / Didier Klein, Alain Chambaudet; опубл. 09.10.1992.

18. Пат. DE 3906203, Німеччина, МПК G01N 23/06, G01N 23/12, G01N 33/44. Method and apparatus for detecting in conformity with process time mixing ratios in plastics and rubber compounding / Fritz Hans-Gerhard, Loeffel Rudi; опубл. 28.02.1989.

19. Інформаційний освітній портал: http://www.vevivi.ua/best/gamma-izluchenie-ref172717.html. 05.06.2016.

20. Дубровкіна М.В. Перспективи застосування детектора схованих порожнин на основі ефекту зворотного розсіяного гамма-випромінювання при контролі транспортних засобів // Дубровкіна М.В. Калюжний А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2010:

Збірка наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2010 – С.27-31.

21. Власова А.А. Особливості детекторів контрабанди, що застосовують зворотно розсіяне гамма-випромінювання /А.А. Власова // Вісник СумДУ. Технічні науки No 3 /2011 – с. 59-66.

22. Детектор зміни густини (Детектор «контрабанди») ДИП -А01М [Електронний ресурс].– Режим доступу: http://aspect.dubna.ua/new/page. php?page=381.

23. Polimaster Ghbcnhsq poiere неоднорідностей УПН –РМ 1401М-П (Детектор контрабанди) [Элект-ронный ресурс]. – Режим доступу: http://www.polimaster.ua/products/ contraband_detector/ pm1401t/.

24. НІПКІ «Іскра ». Детектор схованих порожнин «РОСЬ 4М ». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://iskra.lugansk.ua/index.php?lang

25. Кочергин А.В. Цифрова обробка сигналу детектора у сцинтиляційній спектрометрії іонізуючих випромінювань / А.В. Кочергин // Гідродинаміка і екологія: Збірка праць Міжнародного науково-практичного семінару (11-12 листопада 2009 г., м. Донецьк). – Донецьк: ДНУ, 2009.

26. Електроживлення електронних засобів: Практикум [Електронний ресурс] : навч. посібн. для студ. спеціальності 171 "Електроніка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ;укладачі В. В. Макаренко, В. В. Пілінський, В. Б. Швайченко. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,9 Мбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 110 с.

27. Севернс Рудольф П. Імпульсні перетворювачі постійної напруги для систем вторинного електроживлення. / Рудольф П. Севернс, Гордон Блоом. – М.: Енергоатоміздат, 1988. – 295 с.

28. Мороз Н. Г. Аналоговий процесор для спектрометру іонізуючих випромінювань / Н. Г. Мороз // Системні технології. Регіональна міжвузівська збірка наукових праць. – Випуск 4(69). – Дніпропетровськ, 2010. – с. 98 – 104.

29. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних датчиків нового покоління / Я. І. Лепіх, Ю. О. Гордієнко, С. В. Дзядевич; [та ін.]. – Одеса: Астропринт, 2011. – 351 с.

30. Воропай Н. В. Схемотехніка модуля обработки спектрометрической информации для макета прибора по обнаружению контрабанды [Електронний ресурс] / Н.В. Воропай, О.В. Малахов, Д.А. Мельничук. – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. - №4Е – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2012-5E/09bvaovp.htm.

31. Наказ державної митної служби України від 23.04.2012року №85 «Про затвердження положень про службу інформаційно-технічного забезпечення митних процедур та про відділи даної служби Департаменту митних інформаційних технологій та статистики Державної митної служби України»

32. Наказ державної фіскальної служби України від 28 липня 2015 року N541 «Про затвердження Порядку використання, забезпечення та обліку технічних засобів митного контролю в митницях ДФС»

33. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б. Метрологія, технічне регулювання та забезпечення якості: у п’яти томах. Том 2: Технічне регулювання. Підручник. – Одеса: ВМВ, 2014.- 509 с.

34. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 28, ст.116.

35. Мартинюк Ю.Н., Нурлибаєв К.Т. Похибка або невизначеність у дозиметрії НПП "ДОЗА".

36. Логунова Г.Л. Моделювання параметрів радіоизотопних приладів оглядового контролю/Штучний інтелект. №4/2 - – К.: НТУ.-2002. -С.50-56.

37. Техничний рівень і якість продукції. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://leg.co.ua/knigi/raznoe/tehniche-skiy-uroven-i-kachestvo-produkcii.html.

38. ДСТУ-2708-94 «Державна система забезпечення єдності вимірювань. Повірка засобів вимірювань. Організація і порядок проведення»

39. ДСТУ 7216:2011 «Прилади радіаційного контролю навколишнього середовища. Дозиметри та радіометри радіаційного контролю. Класифікація й загальні технічні вимоги».

40. ДСТУ EN 60846-1:2022 Прилади радіаційного захисту. Вимірювачі та/або монітори еквівалента (швидкості) дози навколишнього середовища та/або спрямованої дози для бета-, рентгенівського та гамма-випромінювання. Частина 1. Портативні вимірювачі та монітори на робочому місці та навколишньому середовищі (EN 60846-1:2014, IDT; IEC 60846-1:2009, IDT).