

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ДОСМОТРОВОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ГРУЗОВ

*Ю.Н. Гавриш¹, И.Ю. Вахрушин¹, А.В. Павленко¹, Я.А. Бердников², М.Б. Лебедев³,
Е.Ю. Усачев³, А.Н. Передерий⁴, М.В. Сафонов⁴, И.В. Романов⁴*

¹*ФГУП «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры
им. Д.В. Ефремова», Санкт-Петербург, Россия, E-mail: npkluts@niiefa.spb.su;*

²*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
Санкт-Петербург, Россия, E-mail: imor@imor.spbstu.ru;*

³*Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики
(технический университет), Москва, Россия, E-mail: mirea@mirea.ru;*

⁴*ГУ Войсковая часть, Железнодорожный, Россия, E-mail: vilage@dol.ru*

Представлены результаты испытаний радиометрического досмотрового комплекса для контроля крупногабаритных автотранспортных средств и грузов на наличие запрещенных к перевозке веществ и предметов. Определены основные параметры комплекса, такие как разрешающая способность, максимальная толщина исследуемого объекта в эквиваленте по стали и полученное при этом разрешение, контрастная чувствительность и т.д. Подробно исследованы радиационные характеристики ускорителей, входящих в досмотровый комплекс, а также систем детектирования.

Комплексные испытания радиометрического комплекса условно можно разбить на два этапа: испытания основных составных частей технологического оборудования и испытания всего оборудования комплекса на соответствие ТТХ, определенным техническим заданиям.

На первом этапе объектом испытаний стали: линейный ускоритель электронов; бетатрон; модульные линейки детектирования ионизирующего излучения, прошедшего исследуемый объект; механика комплекса – работа откатных ворот и перемещение портала вдоль исследуемого объекта.

ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ

В результате испытаний были определены следующие основные характеристики ускорителя: граничная энергия гамма-квантов; максимальная мощность дозы; стабильность мощности дозы; длительность импульсов тормозного излучения; частота следования импульсов; время установления стабильных параметров пучка после включения; энергия ускоренных электронов.

Место проведения испытаний – испытательная база ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова».

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Измерение граничной энергии гамма-квантов тормозного излучения осуществлялось по стандартной методике измерения слоя половинного ослабления излучения в следующей последовательности. На расстоянии 200 мм от края выходного коллиматора устанавливался блок детектирования в виде линейки твердотельных сцинтилляционных детекторов, производилось включение ускорителя и выведение его в рабочий режим излучения, далее измерялся поток гамма-квантов с помощью блока детектирования. Между блоком детектирования и выходным коллиматором устанавливался слой из железа толщиной 100 мм и производилось повторное измерение потока гамма-квантов.

При облучении гомогенного объекта толщиной t из материала с атомным номером Z пучком тормозного излучения с граничной энергией E_0 выражение для радиоскопической прозрачности имеет вид:

$$T(E_0, t, Z) = \frac{\int_0^{E_0} S(E_0, E) \exp(-\mu(E, Z) \cdot t) dE}{\int_0^{E_0} S(E_0, E) dE},$$

где $\mu(E, Z)$ — массовый коэффициент ослабления излучения с энергией квантов E ; $S(E_0, E)$ — произведение спектральной плотности интенсивности излучения и функции отклика детектора. Спектральная плотность интенсивности излучения описывается с помощью формулы Шиффа [1]. Толщина ослабляющего слоя и его материал нам известны. С помощью табличных данных имеется возможность с достаточной точностью восстановить граничную энергию тормозного излучения.

Измерение мощности эквивалентной дозы излучения на расстоянии 1 м от тормозной мишени ускорителя осуществлялось прямыми измерениями мощности эквивалентной дозы гамма-излучения клиническим дозиметром «KEITHLEY» с ионизационной камерой IC 70 в сухом фантоме.

Проверка стабильности мощности эквивалентной дозы излучения на расстоянии 1 м от тормозной мишени ускорителя осуществлялась путем последовательных измерений мощности эквивалентной дозы за 1 мин с интервалом 3 мин в течение 1 часа.

Длительность импульса тормозного излучения ускорителя определялась прямыми измерениями длительности импульса электронного пучка на изолированной мишени осциллографическим методом с использованием осциллографа PHILLIPS 3082.

Частота следования импульсов тормозного излучения ускорителя была определена аналогично. Время установления рабочего режима ускорителя

определялось по времени стабилизации мощности дозы на выходе ускорителя. Эта процедура осуществлялась путем прямого измерения времени стабилизации мощности дозы с помощью клинического дозиметра "KEITHLEY" с ионизационной камерой IC 70 в сухом фантоме.

Основные характеристики линейного ускорителя представлены в Табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Основные параметры линейного ускорителя	Значения параметров
1	Граничная энергия гамма-квантов, МэВ	6±0.1
2	Максимальная мощность дозы, Гр/мин	5.6±0.1
3	Стабильность мощности дозы в течение 1 ч, %	≥1.5
4	Длительность импульсов тормозного излучения, мкс	3.5
5	Частота следования импульсов, Гц	50 и 200
6	Время установления стабильных параметров пучка после включения, с	не более 10

Бетатрон

В результате испытаний бетатрона определялись характеристики, идентичные линейному ускорителю (граничная энергия гамма-квантов, максимальная мощность дозы, стабильность мощности дозы, частота следования импульсов, длительность импульсов тормозного излучения, время установления стабильных параметров пучка после включения), по методикам, описанным выше.

Место проведения испытаний – испытательная база Томского государственного политехнического университета (г.Томск).

Основные характеристики бетатрона представлены в Табл.2.

Таблица 2

№ п/п	Основные параметры бетатрона	Значения параметров
1	Граничная энергия гамма-квантов, МэВ	4.5±0.2 9±0.2
2	Максимальная мощность дозы, Гр/мин	0.30±0.0 15
3	Стабильность мощности дозы в течение 1 ч, %	≥ 5
4	Длительность импульсов тормозного излучения, мкс	3.0
5	Частота следования импульсов, Гц	400*
6	Время установления стабильных параметров пучка после включения, с	не более 5

*Бетатрон работает в режиме дуальной энергии со сменой энергий через импульс.

Модульные линейки детектирования ионизирующего излучения

На первом этапе испытаний были определены следующие основные характеристики:

- равномерность регистрации гамма-излучения вдоль длины модульной линейки с учетом углов падения основного излучения;
- стабильность регистрации гамма-излучения во времени;
- время установления стабильных параметров регистрации после включения.

Место проведения испытаний – испытательная база лаборатории неразрушающих методов контроля Московского института радиотехники, радиоэлектроники и автоматизации (г.Москва).

Определение равномерности регистрации гамма-излучения вдоль длины модульной линейки производилось путем прямых измерений потока гамма-квантов от изотопных источников ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs, которые равномерно перемещались со скоростью не более 10 см/с на расстоянии 250 мм от чувствительной области.

Проверка величины стабильности регистрации гамма-излучения осуществлялась методом прямых измерений потока гамма-излучения от изотопных источников ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs, расположенных на расстоянии 500 мм от центра чувствительной области модульной линейки, путем последовательных измерений потока за 1 мин с интервалом 3 мин в течение 1 часа.

Время установления стабильных параметров регистрации после включения модульной линейки было определено при следующих условиях. На расстоянии 500 мм от центра чувствительной области модульной линейки были установлены изотопные источники ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs, а далее прямыми измерениями потока гамма-квантов было определено время установления постоянного значения потока. Основные характеристики модульной линейки представлены в Табл.3.

Таблица 3

№ п/п	Основные параметры линейного ускорителя	Значения параметров
1	Равномерность регистрации гамма-излучения вдоль длины модульной линейки	не хуже 0.2%
2	Стабильность регистрации гамма-излучения во времени	не хуже 0.1%
3	Время установления стабильных параметров регистрации после включения	не более 10 с

Работа механики комплекса проверялась непосредственно на месте инсталляции основного оборудования ДРК. Откатные ворота, представляющие собой металлоконструкцию, залитую внутри бетоном и имеющую массу около 32 тонн, приводят в движение электродвигатель мощностью 4.5 кВт через систему специальных редукторов. Управление движением ворот осуществлено с помощью специализированного контроллера, что позволило существенно сократить время их закрытия и открытия (порядка 12...13 с) и повысить безопасность.

Портал, на котором смонтировано все основное оборудование ДРК: линейный ускоритель электронов и бетатрон, модульные линейки для регистрации прошедшего через исследуемый объект излучения, а также вспомогательное оборудование – системы кондиционирования, стабилизатор напряжения и т.д. (общая масса около 15 тонн), приводится в движение с помощью двух двигателей мощностью по 2,5 кВт. На этапе проверки проведены испытания на равномерность движения, а также параллельность перемещения правого и левого плечей портала относительно друг друга. Ход испытаний показал

правильность выбранных решений и дал следующие результаты:

- равномерность движения при скоростях от 0,05 до 0,8 м/с была не хуже 0,5%, при этом она не зависела от скорости перемещения;
- параллельность движения определялась путем последовательного измерения положения правого и левого плечей портала относительно друг друга в произвольных точках пути после экстренной остановки с помощью теодолита. При этом разбег не превышал 1 мм.

Предварительные испытания основных частей ДРК показали готовность к проведению комплексных испытаний всего оборудования комплекса.

В ходе комплексных испытаний была исследована совместимость работы оборудования, получены основные радиометрические параметры и определены максимальные толщины, которые возможно контролировать с помощью данного оборудования.

Также проверялась эффективность математических программ обработки теневого изображения с помощью разработанного программного обеспечения.

Проверка разрешающей способности комплекса проводилась на тестовых объектах, расположенных на расстоянии 2 м (приблизительно центр исследуемого грузового автотранспортного средства) от чувствительной области модульной детекторной линейки. Тестовый объект представлял собой набор стальных пластин толщиной 20 мм, длиной 400 мм и шириной 250 мм, за которыми размещался набор стальных провололок диаметром от 1 до 20 мм. Измерения проводились как на линейках высокого разрешения (Табл.4), так и на линейках высокой чувствительности (Табл.5).

Последовательность измерений была следующей: составлялись стальные пластины определенной толщины, за которыми размещался полный набор стальных провололок. Затем портал с радиометрической аппаратурой, установленной на штатных местах, проезжал вдоль данного тестового объекта с номинальной скоростью. На полученных теневых изображениях после обработки соответствующими математическими программами определялся минимальный диа-

метр провололки. Толщина слоя стальных пластин варьировалась от 60 до 300 мм.

Таблица 4

№ п/п	Толщина слоя стальных пластин, мм	Минимальный диаметр видимой провололки, мм
1	60	1
2	100	1*, 2
3	140	2*, 3
4	200	4
5	240	6
6	260	8
7	280	10
8	300	16

*Данные значения указаны, если объект выделяли три независимых эксперта из пяти.

Таблица 5

№ п/п	Толщина слоя стальных пластин, мм	Минимальный диаметр видимой провололки, мм
1	60	4
2	100	4
3	140	6
4	200	10
5	240	15
6	260	20
7	280	-
8	300	-

Как видно из представленных данных в Табл. 4 и 5, чувствительность досмотрового радиометрического комплекса не уступает зарубежным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. L.I. Shiff. Energy-Angle Distribution of Thin Target Bremsstrahlung // *Physical Review*. 1951, v.83, №2, p.252-253.
2. Ю.Н. Гавриш и др. Досмотровый радиометрический комплекс для контроля крупногабаритных автотранспортных средств и грузов // *ВАНТ. Серия «Ядерно-физические исследования»* (53). 2010, №2, с.3-8.

Статья поступила в редакцию 07.09.2009 г.

TEST RESULTS OF THE RADIOMETRIC SYSTEM FOR INSPECTION OF LARGE-SCALE VEHICLES AND CARGOS

Yu.N. Gavrish, I.Yu. Vahrushin, A.V. Pavlenko, Ya.A. Berdnikov, M.B. Lebedev, E.Yu. Usachev, A.N. Peredery, M.V. Safonov, I.V. Romanov

Test results are given of the radiometric system for inspection of large-scale vehicles and cargos to detect contraband goods. The major technical characteristics of the system have been determined such as the resolution ability, maximum penetration depth in steel equivalent and the resolution obtained, contrast sensitivity, etc. Radiation characteristics of the accelerators of the inspection system and detection systems have been studied in details.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАННЯ ДОГЛЯДОВОГО РАДІОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КРУПНОГАБАРИТНИХ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ВАНТАЖІВ

Ю.Н. Гавриш, І.Ю. Вахрушин, А.В. Павленко, Я.А. Бердников, М.Б. Лебедев, Є.Ю. Усачов, А.Н. Передерій, М.В. Сафонов, І.В. Романов

Представлено результати випробувань доглядового радіометричного комплексу для контролю крупногабаритних автотранспортних засобів і вантажів на наявність заборонених до перевезення речовин та предметів. Визначено основні параметри комплексу, такі як роздільна здатність, максимальна товщина досліджуваного об'єкта в еквіваленті по сталі й отримане при цьому розділення, контрастна чутливість та інші. Докладно досліджено радіаційні характеристики прискорювачів, що входять до доглядового комплексу, а також систем детектування.