ВЫБОР РЕНТГЕНОТЕЛЕВИЗИОННЫХ ДОСМОТРОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА

Алефиренко Виктор Михайлович,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: alefirenko@bsuir.by

Денскевич Артем Дмитриевич,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: a.denskevich@bsuir.by

Зубрицкий Евгений Димитриевич,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: zzubritski@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты сравнительной оценки технических характеристик рентгенотелевизионных досмотровых установок (интроскопов). Рассчитаны средневзвешенные арифметические показатели качества рассматриваемых моделей установок. Представлена диаграмма распределения показателей качества, позволяющая ранжировать установки и выбирать наиболее эффективные модели для обеспечения безопасности и досмотра различных грузов.

Ключевые слова: безопасность, объекты инфраструктуры, интроскопы, технические параметры, сравнительный анализ, арифметический показатель качества, ранжирование.

С учётом сохраняющихся и актуальных в наше время угроз терроризма и контрабанды на объектах транспортной, таможенной, почтовой и другой инфраструктуры увеличивается необходимость в эффективном досмотровом оборудовании для выявления запрещённых к проносу и провозу предметов и

веществ. Рентгенотелевизионные досмотровые установки, которые чаще называют интроскопами, предназначены для обеспечения безопасности на различных объектах инфраструктуры и обнаружения запрещённых к проносу или провозу вещей, а также потенциально опасных предметов. Различают установки для проверки багажа, ручной клади, корреспонденции и посылок, а также крупногабаритных грузов. Их устанавливают в аэропортах, на вокзалах, на атомных станциях и в других местах, где необходимо соблюдение повышенных мер безопасности [1].

Принцип работы интроскопа основан на просвечивании объекта рентгеновским излучением, которое регистрируется многодетекторными линейками с последующим преобразованием сигналов в изображение внутренней структуры объекта контроля [2]. Досматриваемый объект перемещается транспортёрной лентой в туннель, где облучается рентгеновской трубкой. При прохождении через предметы различной толщины и плотности часть энергии излучения теряется, а остаточная энергия преобразуется в электрические сигналы, которые обрабатываются процессорным блоком и выводятся на экран оператора в виде рентгеновского изображения [1].

В настоящее время на рынке технических средств обеспечения безопасности жизнедеятельности человека и эксплуатации различных объектов представлено большое разнообразие моделей интроскопов, которые производятся разными производителями [3]. Поэтому, выбор наиболее оптимальной по своим техническим параметрам модели составляет определенную трудность, так как требует анализа большой базы таких параметров, отличающихся своими количественными значениями.

Для решения этой проблемы можно использовать комплексный метод определения качества изделий, который позволяет учитывать все принятые во внимание технические параметры и их числовые значения [4, 5]. Комплексный метод оценки качества изделий предполагает использование комплексных показателей, в качестве одного из которых может использоваться средневзвешенный арифметический показатель, который определяется по формуле

$$K_{\text{ариф}} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_{\text{H}i} \cdot k_{\text{H}i}, \qquad (1)$$

где $k_{\text{H}i}$ – нормированный i-й единичный показатель; $\alpha_{\text{H}i}$ – нормированный коэффициент, характеризующий вес (значимость, важность) i-го единичного показателя; m – количество единичных показателей, принятых во внимание.

Поскольку технические параметры интроскопов имеют различные размерности, то для использования формулы (1) необходимо преобразовать их и провести нормировку, чтобы получить безразмерные значения. Нормировка может быть проведена с помощью выражения

$$K_{\text{H}i} = \frac{k_i - k_{\text{кр}\,i}}{k_{\text{опт}\,i} - k_{\text{кр}\,i}}, \qquad (2)$$

где k_i – исходное значение i-го единичного показателя; $k_{\text{кр}\,i}$ – критическое значение i-го единичного показателя; $k_{\text{опт}\ i}$ – оптимальное значение i-го показателя.

Исходные значения k_i должны лежать в пределах $k_{\text{кр}\,i} < k_i < k_{\text{опт}\,i}$ или $k_{\text{опт}\,i} < k_i < k_{\text{кр}\,i}$. Коэффициенты значимости $\alpha_{\text{H}i}$ для формулы (1) должны выбираться таким образом, чтобы обеспечивалось условие

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_{\text{H}i} = 1 , \qquad (3)$$

тогда нормированные значения $K_{\text{H}i}$ будут лежать в пределах $0 < K_{\text{H}i} < 1$.

Для сравнения было выбрано 12 моделей интроскопов, выпускаемых различными производителями [3, 6–8], а в качестве параметров (единичных показателей) – их основные технические характеристики:

– проникающая способность;
– разрешающая способность;
– размеры туннеля (высота и ширина);
– высота транспортера над уровнем пола;
– грузоподъемность транспортера;
– скорость конвейера;
– пропускная способность;
– вес и габаритные размеры (длина, ширина, высота);
– рабочая температура (максимальная и минимальная);
– гарантийный срок службы;
– стоимость.

Результаты расчетов, проведенные по формуле (1) с учетом выражений (2) и (3), в виде столбиковой диаграммы представлены на рисунке 1.

Как показали результаты расчетов, наилучшие значения комплексных показателей качества были у модели Rapiscan 922 CX (0,52), на втором месте – ZKX10080 (0,51) и на третьем месте – ZKX6550 (0,50), технические характеристики которых приведены в таблице 1, а внешний вид показан на рисунке 2 [6–8].

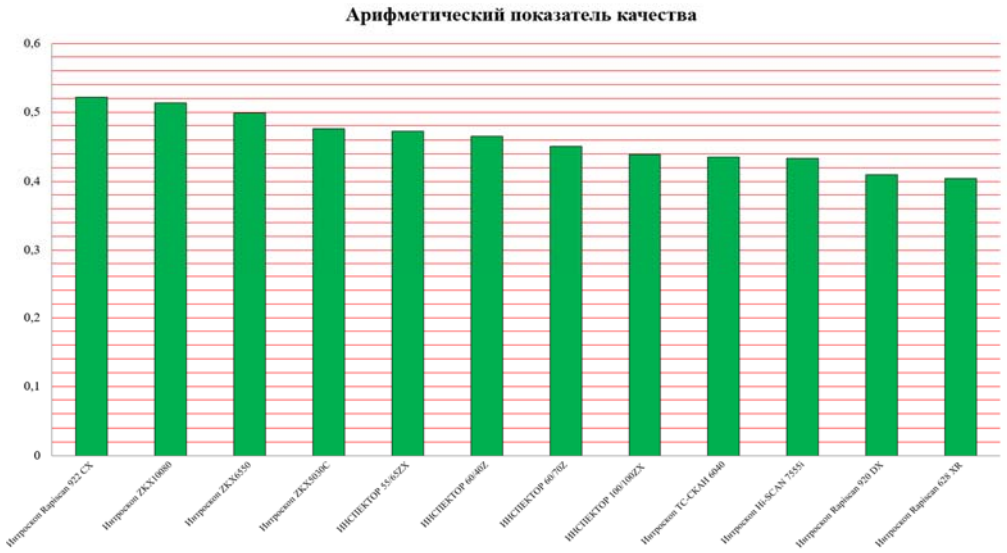


Рис. 1 Распределение комплексных арифметических показателей качества интроскопов

Таблица 1

Технические характеристики наилучших из рассмотренных интроскопов

Технические характеристики	Модели		
	Rapiscan 922 CX	ZKX10080	ZKX6550
1. Проникающая способность, мм	38	34	38
2. Разрешающая способность, мм	0,080	0,101	0,080
3. Высота туннеля, мм	750	803	505
4. Ширина туннеля, мм	750	1006	655
5. Высота транспортера над уровнем пола, мм	785	385	700
6. Грузоподъемность транспортера, кг	165	200	180
7. Скорость конвейера, м/сек	0,35	0,40	0,20
8. Пропускная способность, ед/ч	700	1200	650
9. Вес установки, кг	628	1150	680
10. Длина установки, мм	2282	2984	2120
11. Ширина установки, мм	1049	1405	980
12. Высота установки, мм	1489	1666	1381
13. Максимальная рабочая температура, t_{max} °C	40	45	45
14. Минимальная рабочая температура, t_{min} °C	5	5	5
15. Гарантийный срок службы, мес	12	12	12
16. Цена, USD	55426	42575	35375



а б в

Рис. 2 Модели рентгенотелевизионных досмотровых установок, занявшие первые три места по комплексным арифметическим показателям качества: а – Rapiscan 922 CX; б – ZKX10080; в – ZKX6550

Таким образом, определение качественных характеристик интроскопов, выраженных относительными численными значениями и комплексно учитывающих количественные значения технических параметров, позволило провести их анализ и определить лучшую модель по выбранным для сравнения техническим параметрам.

Литература:

1. Рентгенотелевизионный интроскоп: что это такое и как работает? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://1cpbo.ru/stati/kak-rabotayut-introskopy.html. – Дата доступа: 15.10.2026.

2. Рентгеновское излучение против контрабанды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.alta.ru/articles/13703/. – Дата доступа: 16.10.2026.

3. Интроскопы (РТУ). Каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://1cpbo.ru/rtu/. – Дата доступа: 16.10.2026.

4. Алефиренко, В. М. Выбор состава технических средств для систем безопасности = Choice of the technical devices structure for safety systems / В. М. Алефиренко // Доклады БГУИР. – 2017. – № 2 (104). – С. 39–44.

5. Алефиренко, В. М. Анализ технических характеристик нелинейных локаторов с помощью комплексного арифметического показателя качества / В. М. Алефиренко, А. Д. Денскевич, Е. Д. Зубрицкий // Science Time. – 2024. – № 12 (131). – С. 82–86.

6. Rapiscan 922CX – рентгеновская система для досмотра ручной клади и крупногабаритных посылок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.htds.fr/en/security/x-ray-scanner/conventionnal-x-ray-scanner/orion-922cx-x-ray-scanner/. – Дата доступа: 16.10.2026.

7. ZKX10080 X-ray inspection system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zkteco.com/en/XRayScanner/ZKX10080/. – Дата доступа: 16.10.2026.

8. ZKX6550 X-ray inspection system [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zkteco-online.com/catalog/dosmotrovoe-oborudovanie/rentgenovskie-introskopy/zkx6550/. – Дата доступа: 16.10.2026.