

ПРИМЕНЕНИЕ БЕТАТРОНОВ В РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ДОСМОТРОВЫХ СИСТЕМАХ*С.В. Касьянов*

Произведен анализ результатов применения бетатронов в радиографическом досмотровом контроле крупногабаритных объектов. Приведены сравнительные характеристики досмотровых комплексов.

Современная экономика характеризуется возрастанием потока товаров между государствами, который усиливается особым географическим положением Российской Федерации. Важной задачей государственных органов является контроль за перемещением грузов. Особое внимание уделяется выявлению незадекларированных товаров и запрещенных к перемещению, без наличия особых разрешительных документов, через границу веществ – наркотиков, взрывчатых веществ, ядовитых веществ, радиоактивных веществ. Одно из важнейших мест среди технических средств досмотрового контроля занимают комплексы цифровой рентгенографии и радиографии. Метод цифровой рентгенографии отличает высокая информативность, основанная на возможности визуализации структуры объекта контроля, выявления, идентификации веществ недопустимых локальных вложений и определения их геометрического положения. В комплексах цифровой радиографии крупногабаритных объектов в качестве источника фотонов используют линейные ускорители и бетатроны.

Наиболее сложная в техническом плане и дорогостоящая аппаратура используется для досмотра крупногабаритных транспортных средств, контейнеров и грузов на пограничных контрольно-пропускных пунктах и таможенных терминалах. Для осуществления указанного досмотра применяются стационарные и мобильные цифровые радиографические комплексы [1–8].

Стационарные комплексы размещаются в спроектированных специально под них зданиях, имеющих необходимую биологическую защиту. В качестве источника излучения здесь обычно используются линейные ускорители электронов на энергию от 8 МэВ и выше, их применение позволяет достичь максимальной пропускной способности контролируемых грузов, большой досягаемости по толщине контролируемого объекта и высокого пространственного разрешения получаемых рентгеновских изображений. Часто используется несколько источников излучения для получения изображения объекта в нескольких ракурсах [1,3]. При своих выдающихся технических характеристиках такие системы имеют очевидные недостатки – это большие финансовые затраты на создание таких комплексов и всей соответствующей инфраструктуры, и, собственно, их стационарность, что ограничивает их область применения.

Мобильные досмотровые комплексы при более скромных характеристиках лишены недостатков стационарных. Для их размещения необходимо обеспечить лишь соответствующую площадь и подъездные пути для контролируемого транспорта. Эти комплексы перемещаются на автомобилях, и в связи с этим необходимо проектировать их таким образом, чтобы параметры источника тормозного рентгеновского излучения позволяли использовать для него биологическую защиту, допускающую мобильность системы. Также для нормального функционирования подобной досмотровой системы нужно обеспечить выполнение множества других условий, таких, например, как устойчивая работа всех блоков этой системы, удобство при работе и настройке данной системы, быстрота развертывания комплекса, надежное электропитание, работа в различных эксплуатационных условиях.

Все эти требования в первую очередь выдвигаются к источнику излучения [9]. Линейный ускоритель дает большую интенсивность излучения, что позволяет дос-

тичь хорошего пространственного разрешения при высокой скорости сканирования объекта. В то же время, работа линейного ускорителя при малых токах инжекции нестабильна. Работа же на номинальных, больших токах ведет к большому энергопотреблению, что сильно снижает мобильность досмотрового комплекса. Помимо этого, большая интенсивность излучения предполагает использование сложной по конструкции биологической защиты и принятие мер для уменьшения отраженного объектом излучения (несколько коллиматоров, увеличение санитарной зоны вокруг комплекса и пр.) Бетатрон лишен этих недостатков, при той же энергии излучения энергопотребление бетатрона в несколько раз меньше, к тому же, благодаря относительной простоте конструкции цена его на порядок ниже по сравнению с линейным ускорителем. Единственный минус – малая интенсивность излучения, что приходится компенсировать увеличением размеров детектора в среднем в 2 раза (и, как следствие, уменьшением пространственного разрешения в 2 раза) и уменьшением скорости сканирования объекта в среднем в 2–3 раза [10,11] (что сказывается на потоковой производительности комплекса, при прочих равных условиях). Однако, современные математические методы обработки изображений позволяют улучшить пространственное разрешение для досматриваемых объектов до приемлемых значений. В то же время потоковая производительность комплекса имеет относительно малый вклад в общую производительность комплекса, поскольку фактически полное время досмотра грузового автомобиля 5–10 минут, включая заезд – выезд в зону контроля, оформление документов, непосредственно сканирование, анализ изображения оператором комплекса, возможно и повторное сканирование подозрительных областей объекта. Для получения качественного теневого изображения объекта длиной порядка 20 м время сканирования варьируется в пределах 1–2 минуты для линейного ускорителя и 2–3 минуты для бетатрона. Исходя из всего вышесказанного, напрашивается вывод, что бетатрон является одним из наиболее предпочтительных источников излучения для применения в мобильных и передвижных досмотровых комплексах.

В последнее время производители досмотровых комплексов все чаще используют бетатроны в мобильных системах.

В НИИ интроскопии имеется большой опыт по созданию источников тормозного излучения для радиометрических и дефектоскопических систем. В НИИ разработаны и производятся различные бетатроны для досмотровых систем, основные характеристики которых показаны в табл. 1.

К настоящему времени НИИ интроскопии изготовил и поставил фирме «Smith Heimann» более 100 малогабаритных бетатронов на энергию 3 МэВ. Мобильные досмотровые системы Silhouette Scan Mobile CaB 2000 с этим источником излучения, производство которых было начато в 2002 году, успешно работают во многих странах мира [3].

Американская фирма SAIC (Science Applications International Corporation) разработала досмотровую систему VACIS® P 7500 [5], в которой в качестве излучения используется бетатрон на энергию 7,5 МэВ.

Помимо разработки источников излучения, В НИИ интроскопии ведутся работы по созданию досмотровых комплексов. Совместно с Московским государственным институтом радиоэлектроники и автоматики (МИРЭА) сформулированы технические требования к источнику излучения [12] и детекторной линейке, создан опытный образец системы [13] для досмотра транспортных средств, на котором проведен комплекс работ по определению технических характеристик досмотрового комплекса, получены изображения объекта – грузового автомобиля. Разработанная МИРЭА и НИИ интроскопии система имеет технические характеристики на уровне лучших зарубежных аналогов. Сравнительная таблица характеристик досмотровых комплексов приведена в табл. 2.

Таблица 1

*Характеристики бетатронов,
предназначенных для применения в досмотровых комплексах*

Технические характеристики	МИБ-3 (Heimann)	МИБ-5	МИБ-7,5	МИБ-9
Максимальная энергия ускоренных электронов, МэВ, не менее	3	5	7,5	9
Диапазон регулировки энергии ускоренных электронов, МэВ	1–3	2–5	2–7,5	2–9
Мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишени при максимальной энергии не менее, Р/мин	2	4	5	20
Частота следования импульсов излучения, Гц	400	400	200	400
Максимальные размеры фокусного пятна, мм	0,25×2	0,25×2	0,25×2	0,25×2
Максимальная потребляемая мощность из сети переменного тока частотой 50 Гц при напряжении 220 В, кВт	2	3	3	5
Масса блоков бетатрона, не более, кг:				
– Излучатель	57	100	107	150
– Блок питания и управления	54	56	62	88+13
– Пульт управления	0,36	0,36	0,36	0,5

Таблица 2

Сравнительные характеристики досмотровых комплексов

Тип	VACIS® P 7500 Inspection System	Silhouette Scan Mobile CaB 2000	HCV- Mobile	DRS CargoScan 5000 M	Опытный образец
Производитель	Science Applications International Corp. (США)	Smith Heimann (Германия)	Smith Heimann (Германия)	Адани, Белоруссия	НИИ ИН, МИРЭА, Россия
Максимальная толщина про- никновения по стали, мм	270	110	180(270)	300	200
Разрешение, мм	12,7	3	3	2,5	4,5
Чувствитель- ность, %	3	нет данных	нет дан- ных	3	2
Скорость скани- рования, м/с	3	1	0,2	0,4	0,3
Источник излу- чения	7,5 МэВ бета- трон	3 МэВ бе- татрон	3(4) МэВ линейный ускоритель	5 МэВ бе- татрон	5 МэВ бетатрон
Доза, получаемая объектом за вре- мя контроля, mR	0,2	0,15	5(10)	нет данных	менее 0,4
Исполнение	Стационарный / Передвижной	Мобиль- ный	Мобиль- ный	Мобиль- ный	Стационар- ный / пере- движной

В таблице выборочно представлены технические характеристики мобильных и передвижных досмотровых комплексов. Передвижной досмотровый комплекс по своей сути является стационарным, но спроектирован таким образом, что все его компоненты можно перемещать посредством автомобильного транспорта, т. е. по своим характеристикам он идентичен мобильным. Как видно из таблицы, системы, использующие в качестве источника излучения бетатроны, мало чем уступают досмотровому комплексу, использующему линейный ускоритель. Существует также много разновидностей мобильных досмотровых комплексов, где в роли источника выступают радиоактивные изотопы Co^{60} и Cs^{137} , но они имеют гораздо худшие технические характеристики, к тому же наблюдается общая тенденция к отказу от использования изотопов, и в этом случае бетатрон является хорошей альтернативой.

Еще одной отличительной особенностью бетатрона является возможность регулировки энергии ускоренных электронов, что позволяет создавать системы с дуальной энергией.

Совместными усилиями НИИ интроскопии и МИРЭА начата разработка системы досмотра с получением изображения в нескольких энергетических диапазонах, которая позволит идентифицировать материалы по их плотности и атомному весу, что существенно расширит возможности досмотрового комплекса по обнаружению наркотических и взрывчатых веществ.

Подводя итог, можно сказать, что применение бетатронов в качестве источника излучения в досмотровых комплексах дает отличные результаты и имеет немало перспектив, а при использовании в мобильных вариантах подобных систем бетатроны являются оптимальным выбором.

Список литературы

1. <http://niiefa.spb.su/res/stc/luts/indexr.html>
2. <http://www.eideticcorp.com/THScan/summary.htm>
3. <http://www.smith-heimann.de>
4. <http://www.rapiscansystems.com/>
5. <http://www.saic.com>
6. http://www.adani.by/prod_cargoscan.php
7. <http://www.dosmotr.ru>
8. <http://www.vividusa.com/products/cargoscreen.htm>
9. Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Выбор и оценка параметров систем досмотрового контроля крупногабаритных объектов // Материалы XVII Российской научно-технической конференции НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА (Электронный ресурс). – Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2005. Электрон. оптич. диск. Статья № Д 133.
10. Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Методика оценки производительности досмотрового комплекса для контроля крупногабаритных объектов // Контроль. Диагностика. – 2005. – № 12. – С. 75–83.
11. Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Особенности регистрации высокоэнергетического тормозного излучения в досмотровом контроле // Датчики и системы. – 2006. – № 3. – С. 10–13.
12. Чахлов С.В., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Чумаков Д.М., Андриянов М.В., Усачев Е.Ю., Лебедев М.Б. Макет установки для рентгеновского контроля крупногабаритных объектов // Труды 54 научно-технической конференции МИРЭА (Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технический университет). – Москва, 16–25 мая 2005 г. – М.: МИРЭА, 2005. – С. 46.

13. Лебедев М.Б., Усачев Е.Ю., Чумаков Д.М., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Сидуленко О.А., Штейн М.М., Чахлов С.В. Установка для рентгеновского контроля крупногабаритных объектов (грузовых и легковых автомобилей, контейнеров для морских и авиаперевозок) // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: материалы 6-й Международной конференции. – Москва, 15–17 мая 2007. – М.: Машиностроение, 2007. – С. 69–71.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ И НЕФТЕГАЗОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

*Ю.А. Волченко, О.Т. Нургалиев
г. Томск, Россия*

Описаны новые информационно-измерительные системы для экспрессного неразрушающего контроля процессов бурения и цементирования нефтегазопромисловых и нефтегазоразведочных скважин, по ряду параметров контроля превосходящие все известные отечественные и зарубежные аналоги. Приведены результаты их опытно-промышленной эксплуатации на территории Российской Федерации.

При строительстве эксплуатационных и разведочных скважин на нефть и газ на качество работ определяющее влияние оказывают свойства бурового раствора, на котором производится бурение скважин, качество подготовки и проверки обсадных труб перед спуском в скважину, а также качество цементирования обсадных колонн. Современные исследования показали, что когда контроль за параметрами бурового раствора осуществляет лаборант путем отбора проб и анализа их на существующих для полевых условий приборах отечественного или импортного производства, то в лучшем случае только 30 % времени от общего времени прокачивания бурового раствора через скважину параметры этого раствора находятся под контролем. Для успешного и качественного проведения процесса бурения скважины необходимо в течение всего времени прокачивания раствора через скважину экспрессно (через каждые 5–10 мин) измерять, а затем поддерживать в заданных пределах следующие параметры бурового раствора: плотность, водоотдачу, концентрацию твердых частиц в растворе, вязкость, степень засоленности раствора, температуру, расход раствора через скважину. Однако лучшие отечественные (Разрез-2, Геотек, Геофит) контрольно-измерительные комплексы решают эту задачу только частично, так как не измеряют водоотдачу, вязкость, концентрацию твердых частиц в растворе, а плотность раствора измеряют только в приемной емкости и с достаточно большой погрешностью. Лучшие зарубежные комплексы (Geoservices, Schlumberger, Martin-Deker) также не измеряют водоотдачу, вязкость и концентрацию твердых частиц в растворе, однако, в отличие от вышеупомянутых отечественных комплексов, позволяют оценить качество промывки скважины после спуска обсадной колонны за счет экспрессного контроля плотности бурового раствора в манифольде и желобе с помощью гамма-плотномеров [1, 2, 3].

Полностью задачу контроля параметров раствора в процессе бурения скважин решает информационно-измерительный комплекс КИБР, разработанный нами по техническому заданию ОАО «Томскгазпром» и успешно испытанный в 1998 г. на Мыльджинском газоконденсатонефтяном месторождении. Отличительной особенностью комплекса КИБР является измерение водоотдачи, вязкости и степени засоленности раствора в мерной емкости, а также измерение плотности и концентрации твердых частиц непосредственно в манифольде, же-