

Е. В. ГОРБУНОВА, В. В. КОРОТАЕВ, А. Н. ТИМОФЕЕВ

*Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики*

А. И. ЛЕВИТИН, А. Н. ЧЕРТОВ

*Научно-производственное предприятие „Буревестник“, ОАО
Санкт-Петербург*

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ В ФОТОМЕТРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО СЕПАРАТОРА АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Рассматриваются особенности построения фотометрического канала рентгенолюминесцентного сепаратора алмазосодержащего сырья. Предлагается использовать в фотометрическом канале матричный фотоприемник с зарядовой связью. Исследуется влияние условий процесса сепарации материала на выбор параметров оптической системы.

В автоматизированных комплексах рентгенолюминесцентных сепараторов алмазосодержащего сырья предложено использовать в фотометрическом канале матричный приемник с зарядовой связью для повышения эффективности обогащения руды путем локализации зон регистрации свечения [1].

Принцип действия сепаратора заключается в следующем. Поток руды, движущийся по транспортеру или наклонному лотку, подвергается рентгеновскому излучению, под действием которого алмазы и некоторые сопутствующие им минералы начинают светиться. Импульсы люминесценции попадают в поле зрения оптической системы фотометрического канала сепаратора и регистрируются фотоприемным устройством на основе матрицы ФПЗС. В ходе анализа полученного изображения определяется вид и местоположение частиц минералов: алмазы, попадая в область отсечки, „выдуваются“ струями сжатого воздуха в концентратный отсек, а „пустая“ порода выводится из сепаратора.

При использовании матрицы ФПЗС в качестве приемника излучения возникает проблема выбора параметров оптической системы: диаметра входного зрачка и требуемой разрешающей способности, достаточных для точного определения местоположения частиц руды в потоке. Необходимо также оценить влияние условий процесса сепарации руды на величину диаметра входного зрачка оптической системы.

Представленные в настоящей статье формулы выведены на основании методики расчета параметров телевизионной системы, приведенной в работах [2—4]. При расчете учитываются скорость движения материала и размер частиц руды, а в качестве ключевых исходных данных используются характеристики люминесценции объекта (сила излучения, спектральный диапазон и время свечения).

Диаметр входного зрачка оптической системы, при котором обеспечивается регистрация матрицей ФПЗС рентгенолюминесценции алмаза, определяется следующим образом:

$$D = f' \sqrt{\frac{4AH_0(1+V)^2}{\pi\tau_0 \cdot 0,86t_3 I_{\max} \cdot 683\kappa^{\text{II}}}}, \quad (1)$$

где f' — фокусное расстояние оптической системы, A — площадь излучения объекта, H_0 — требуемая экспозиция матрицы, V — линейное увеличение оптической системы, τ_0 — интегральный коэффициент пропускания оптической системы, t_3 — время экспонирования матрицы, $I_{\max}$ — сила излучения объекта, κ^{II} — коэффициент использования матрицей ПЗС излучения заданного источника.

Как показали предварительные расчеты, такая оптическая система физически нереализуема (полученный диаметр входного зрачка приемного объектива равен 55 м), поскольку матрица ФПЗС в качестве приемника излучения не может зафиксировать рентгенолюминесценцию алмаза без применения дополнительного устройства повышения чувствительности.

В качестве такого дополнительного устройства могут быть использованы электронно-оптический преобразователь (ЭОП) или микроканальные пластины, которые увеличивают освещенность матрицы ФПЗС.

Особенности предлагаемого варианта построения фотометрического канала рентгенолюминесцентного сепаратора заключаются в следующем:

- высокая чувствительность сочлененного фотопреобразователя;
- возможность регулировки (изменения) энергетической чувствительности системы в широких пределах, т.е. создание адаптивной системы, работающей в широком диапазоне яркостей;
- возможность, в случае необходимости, использования ЭОП в качестве электрооптического затвора.

Характеристики и параметры сочлененного прибора во многом зависят от вида оптической связи между ЭОП и матрицей ФПЗС. Обычно применяются следующие виды оптической связи: проекционный объектив, цилиндрическая стекловолоконная планшайба или фокон.

Технологически наиболее простым видом оптической связи является проекционный объектив. Однако такая связь, помимо существенного увеличения размеров сочлененного прибора, приводит к большим потерям света, излучаемого люминофором ЭОП. С помощью цилиндрической планшайбы сочленяются обе части прибора, имеющие одинаковые по размеру рабочие поверхности люминофора и внутреннего фоточувствительного слоя. Если эти размеры разные, причем большей обычно является рабочая поверхность люминофора, то используется фокон. В рассматриваемой системе для сочленения матрицы ФПЗС с ЭОП предлагается применять фокон.

Коэффициент преобразования подобного сочлененного фотопреобразователя, достаточный для обеспечения регистрации матрицей ФПЗС рентгенолюминесценции алмаза, рассчитывается по формуле

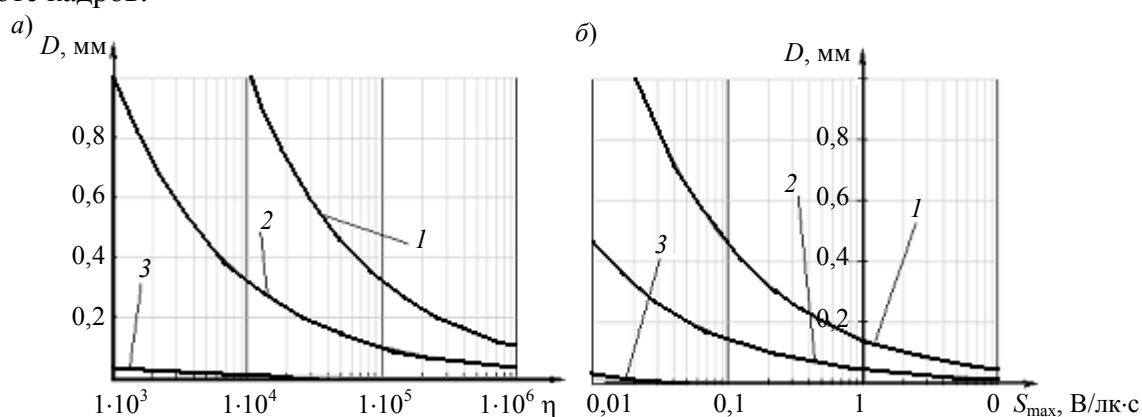
$$K = \frac{4H_0(1+V)^2 A\kappa^{\text{II}}}{\kappa^{\text{I}}\pi\tau_0 (D/f')^2 I_{\max} \cdot 683\kappa_{\Gamma}^{\text{II}} \cdot 0,86t_3}, \quad (2)$$

где D/f' — относительное отверстие оптической системы, κ^{I} — коэффициент использования матрицей ПЗС излучения эталонного источника, $\kappa_{\Gamma}^{\text{II}}$ — КПД глаза при излучении заданного источника.

Для оценки работоспособности предлагаемого варианта построения фотометрического канала был выбран ЭОП типа „Квант-Э“ с затвором и микроканальной пластиной. Значение его коэффициента преобразования (усиления) для $D/f' = 0,5$ близко к вычисленному по формуле (2).

В этом случае требования к сложности оптической системы снижаются, и для реализации схемы „оптическая система — ЭОП — матрица ФПЗС“ можно использовать серийный фотообъектив.

По результатам исследований математической модели системы составлены графики зависимостей величины диаметра входного зрачка оптической системы от коэффициента преобразования (η) ЭОП (см. рисунок, а) и от значения чувствительности ($S_{\max}$) матрицы ФПЗС (см. рисунок, б) при различных значениях силы излучения рентгенолюминесценции алмаза (кривые 1—3): 1 — $I_{\max} = 10^{-13}$ Вт/ср, 2 — $I_{\max} = 10^{-12}$ Вт/ср, 3 — $I_{\max} = 10^{-9}$ Вт/ср. Зависимость $D(\eta)$ при определенных значениях $I_{\max}$ имеет большую крутизну по сравнению с зависимостью $D(S_{\max})$ при тех же значениях $I_{\max}$. Поэтому характеристики излучения объекта (яркость, спектральный диапазон, время свечения) необходимо учитывать, в первую очередь, при выборе ЭОП. Матрица ФПЗС должна выбираться с учетом параметров ЭОП, а также в зависимости от предъявляемых к фотометрическому блоку требований по быстродействию и частоте кадров.



Кроме того, следует учитывать, что схема фотометрического канала с использованием матрицы ФПЗС является синхронной, т.е. требует жесткой привязки скорости движения материала к частоте кадров. Таким образом, в системе должно быть предусмотрено устройство авторегулирования скорости (частоты) работы подающего устройства (что и реализовано в конструкции большинства серийно выпускаемых матриц зарубежного производства): это позволит применять матрицу в режиме электронного затвора.

Проведенные исследования показали, что при современном техническом уровне реализация фотометрического канала с матрицей ФПЗС возможна только при использовании соединенного с ней ЭОП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бубырь Е. В., Казаков Л. В., Коротаев В. В. и др. Повышение технологической эффективности рентгенолюминесцентных сепараторов алмазосодержащего сырья // Сб. трудов VI Междунар. конф. „Прикладная оптика“, 18—21 окт. 2004., СПб. Т. 1. Оптическое приборостроение. СПб., 2004. С. 97—101.
2. Грязин Г. Н. Системы прикладного телевидения: Учеб. пособие. СПб.: Политехника, 2000.
3. Грязин Г. Н. Оптико-электронные системы для обзора пространства: Система телевидения. Л.: Машиностроение, 1988.
4. Грязин Г. Н. К расчету частотных характеристик приборов с зарядовой связью // Изв. вузов. Приборостроение. 2001. Т. 44, № 3. С. 22—23.

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов и систем

Поступила в редакцию
04.07.07 г.