

УДК 622.5

Н.В. Глухова, канд. техн. наук

Украина, Днепропетровск, ГВУЗ «Национальный горный университет»

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНОГО СВЕЧЕНИЯ ШАХТНЫХ ВОД

Актуальность. В процессе разработки месторождений полезных ископаемых происходит образование шахтных сточных вод. Основной причиной их появления является наличие воды, проникающей в результате притока подземных вод в горные выработки при добыче полезных ископаемых. Загрязнение шахтных и карьерных вод происходит преимущественно за счет проникновения в них мелкодисперсных взвешенных частиц добываемого полезного ископаемого и вмещающих пород, что обусловлено необходимостью ведения таких технологических операций как дробление пород взрывным способом, бурение взрывных скважин и шпуров, использование проходческих и очистных комбайнов, а также практически при всех видах погрузочно-транспортных работ.

Согласно действующим санитарным нормам и правилам шахтная вода подлежит обязательной очистке до момента сброса в открытые водоемы. Физико-химический состав шахтных и карьерных вод очень разнообразен, поэтому комплексный анализ классическими методами определения точных значений компонентов химического состава и физических свойств оказывается дорогостоящим и трудоемким.

В качестве методов экспресс-анализа интегральных характеристик жидкофазных объектов в последнее время все большее распространение получил метод, основанный на исследовании газоразрядного свечения объекта, использующий эффект Кирлиан [1].

Цель и постановка задачи. Эффект Кирлиан представляет собой принужденное свечение газового промежутка вокруг исследуемого объекта, который помещается в высокочастотное электрическое поле с напряженностью порядка 15÷35 кВ/см. В рамках данного исследования изучение характеристик жидкофазных объектов проводилось путем фиксации отраженного излучения от свободной поверхности раствора в поле высоковольтного разряда. Данный способ включает фиксацию структуры газоразрядного свечения вокруг жидкофазного объекта в электромагнитном поле, визуализацию изображения газоразрядного свечения в зоне контакта жидкости с фотоматериалом и одновременной оценки изображения газоразрядного свечения вокруг и в зоне контакта жидкофазного объекта с фотоматериалом.

Проходящий через каплю воды электрический ток приводит к порождению некоторых процессов самоорганизации и изменения структуры жидкости. Эти процессы влияют на дальнейшее распространение электромагнитного поля и, в целом, на картину газоразрядного свечения. За счет проникновения в газовый промежуток электрический ток ионизирует его и возникает видимое свечение. Оценка характеристик водного раствора базируется на фотографировании газового разряда от жидкофазных объектов в

электромагнитном поле, содержащем плоский высоковольтный электрод для размещения на нем фотоматериала, электрод для формирования неоднородного электрического поля, который имеет расположенный над плоским электродом фиксатор, выполненный в виде проводника в диэлектрической пластине со сквозным отверстием в центре и соединенный с источником, к которому подключен и плоский электрод. Электрод для формирования неоднородного электрического поля, выполненный в виде полый иглы из токопроводящего материала, размещен в центральной отверстии фиксатора, с зазором относительно плоского электрода.

Разряд в узком зазоре между двумя диэлектрическими обкладками существует в виде отдельных лавин, которые распространяются в случайных точках диэлектрической поверхности. Лавины имеют направление от диэлектрика, который покрывает катод, до анода. Существование лавинного разряда приводит к возрастанию заряда диэлектрика со стороны анода и появлению электрического поля, которое направлено противоположно внешнему электрическому полю. Разряд гаснет, когда суммарная напряженность электрического поля выходит за край нижней границы пробивного значения. Для возникновения следующего разряда необходимо изменение полярности напряжения или окончание истечения заряда из диэлектрика.

Форма и геометрические параметры возникающего свечения зависят от распространения плотности тока, которая обусловлена предыдущими процессами в жидкофазном объекте, в том числе и от распределения тока по его объему. В конечном итоге благодаря большому сопротивлению изоляции газовой разряд переходит в завершающую стадию, которая называется «скользящий разряд». В процессе именно этой стадии становится возможной фиксация картины газоразрядного свечения на фотоматериале.

Описанный метод измерений является достаточно специфическим и имеет ряд преимуществ и недостатков. Основным достоинством данного метода является возможность получения интегрального экспресс-анализа свойств и состояний жидкофазного объекта, на базе которого могут строиться дальнейшие качественные выводы и количественные оценки [2]. К числу недостатков можно отнести высокую чувствительность к внешним влияющим параметрам неинформативных по отношению к данному эксперименту; отсутствие стандартизированных методик обработки результатов измерений; сравнительный характер получаемых результатов, что требует наличия эталонной базы. На решение перечисленных проблем и направлены рассматриваемые далее методы.

Основная часть. При качественном анализе экспертом учитываются следующие основные признаки газоразрядного свечения жидкофазного объекта (рис. 1-4, а): внутреннее кольцо с выходящими из него радиально направленными стримерами, которые образуют среднее кольцо и тонкие люминесценции, что в совокупности дает параметр – ширину внешней засветки; структуры свечения в зоне контакта образца воды с рентгеновской пленкой (внутренний круг изображения) на предмет зернистых включений и затемнения.

На первом этапе предлагаемый способ оценки состояния жидкофазного объекта включает в себя получение изображений газоразрядного свечения для исследуемого образца. На втором этапе с целью обоснованного анализа параметров структур свечения выполняется компьютерная обработка полученных изображений [3].

В результате сканирования фотографий газоразрядного свечения исследуемых образцов жидкофазных объектов получаем полутоновое растровое изображение. Градации серого цвета, которые характеризуют яркость свечения отдельных пикселей хранятся в виде двумерного массива. Для исходных изображений структуры газоразрядного свечения формируют гистограмму яркости пикселей.

Гистограмма представляет собой график, который состоит из 256 столбцов, соответствующих градациям яркости цвета для полутонового изображения структуры свечения (оттенки серого цвета). По оси абсцисс выводится шкала яркости, по оси ординат – количество пикселей определенной яркости.

С целью повышения достоверности исследования жидкофазных объектов за счет исключения случайных влияющих величин в ходе измерительного эксперимента для каждого исследуемого образца проводится серия опытов (обычно 50-150). В результате для каждого образца получаем серию фотографий, которую можно рассматривать как выборку результатов измерений, содержащую полезную информативную составляющую специфических характеристик данного образца жидкости, а также вероятностную компоненту, обусловленную влиянием случайных внешних факторов. Для получения окончательного результата для выборки в целом необходимо вычислить точечные характеристики с возможностью их усреднения в пределах имеющейся реализации.

Поскольку рассматриваемый метод предполагает получение фотографии на рентгеновской пленке, то в зависимости от собственных свойств пленки и условий проведения эксперимента яркость изображения в целом может варьироваться в некоторых пределах. Для того, чтобы выполнять обоснованный анализ полученных экспериментальных данных, необходимо привести исследуемые изображения к стандартной яркости. Алгоритм программной реализации состоит из следующих шагов.

Преобразуем исходную фотографию в полутоновое растровое изображение, которое с целью компьютерной обработки представляем в виде матрицы яркости пикселей. Классически при компьютерной

обработке изображений используется определение изображения в виде двумерной функции $f(x,y)$, где x и y – координаты в пространстве. Значения f в любой точке, которая определяется парой координат (x,y) , называется интенсивностью или яркостью изображения.

Для аналоговой формы представления величины x, y, f принимают бесконечное множество значений в пределах какого-либо интервала, т.е. являются непрерывными величинами. Цифровое изображение характеризуется тем, что x, y, f могут принимать только конечное множество дискретных значений. В этом случае значение функции f в точках с известными пространственными координатами является положительной скалярной величиной.

При регистрации газоразрядного излучения на фотопленке или рентгеновской пленке изображения представляются как полутоновые – в оттенках серого. Физический смысл функции f определяется источником формирования изображения. Поскольку картина свечения исследуемого объекта генерируется в результате протекания определенного физического процесса при воздействии электромагнитного поля, то значения функции $f(x,y)$ пропорциональны энергии излучения физического источника. Конкретный физический смысл функции $f(x,y)$ определяет, что она всегда будет ненулевой и конечной, т.е. $0 < f(x,y) < \infty$.

При дискретизации и квантовании изображений газоразрядного свечения благодаря сканированию фотоматериала или при использовании цифровой камеры, обеспечивается его представление в компьютере в виде матрицы чисел, т.е. реализуется преобразование $f(x,y) \rightarrow A_{M \times N}$, где M – количество строк, N – количество столбцов.

При компьютерном представлении полутоновых растровых изображений в качестве начала координат $(x,y) = (0,0)$ используется левый верхний угол изображения. Таким образом, функция яркости пикселей приобретает следующий вид:

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

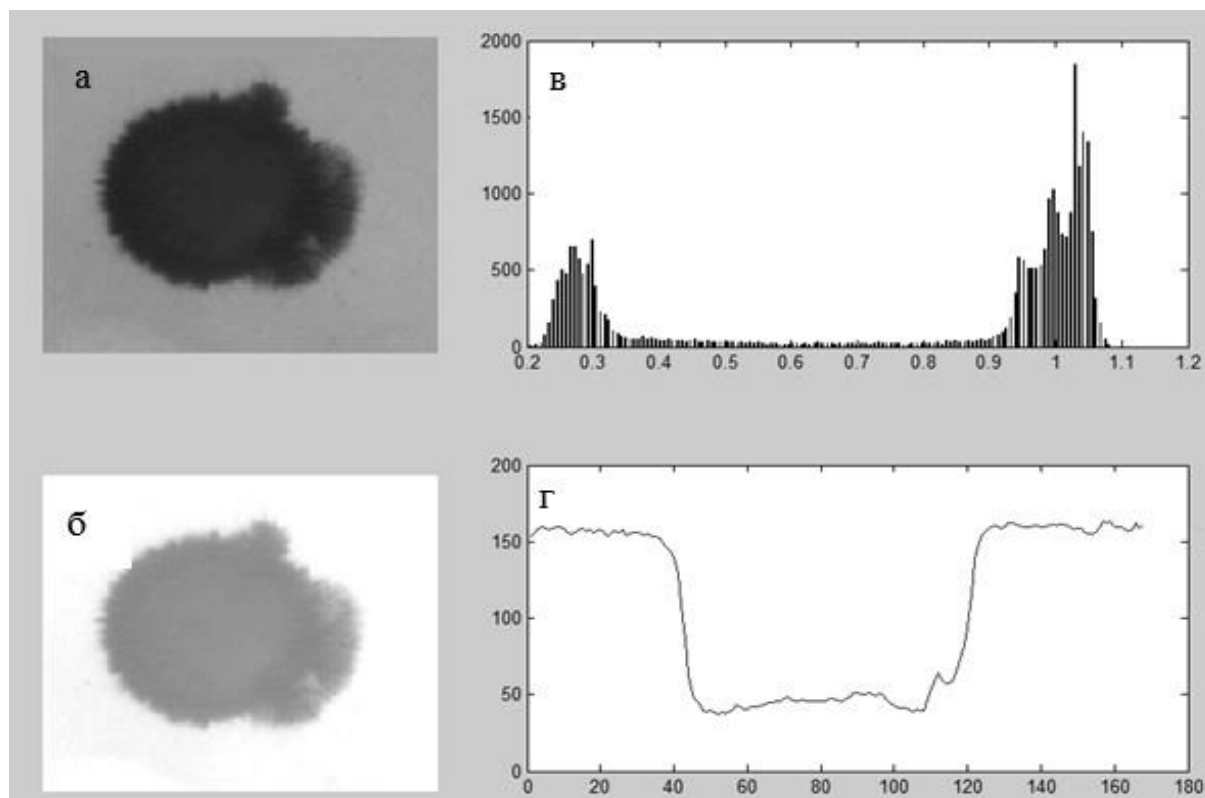


Рис. 1. Изображение газоразрядного свечения образца шахтных сточных вод

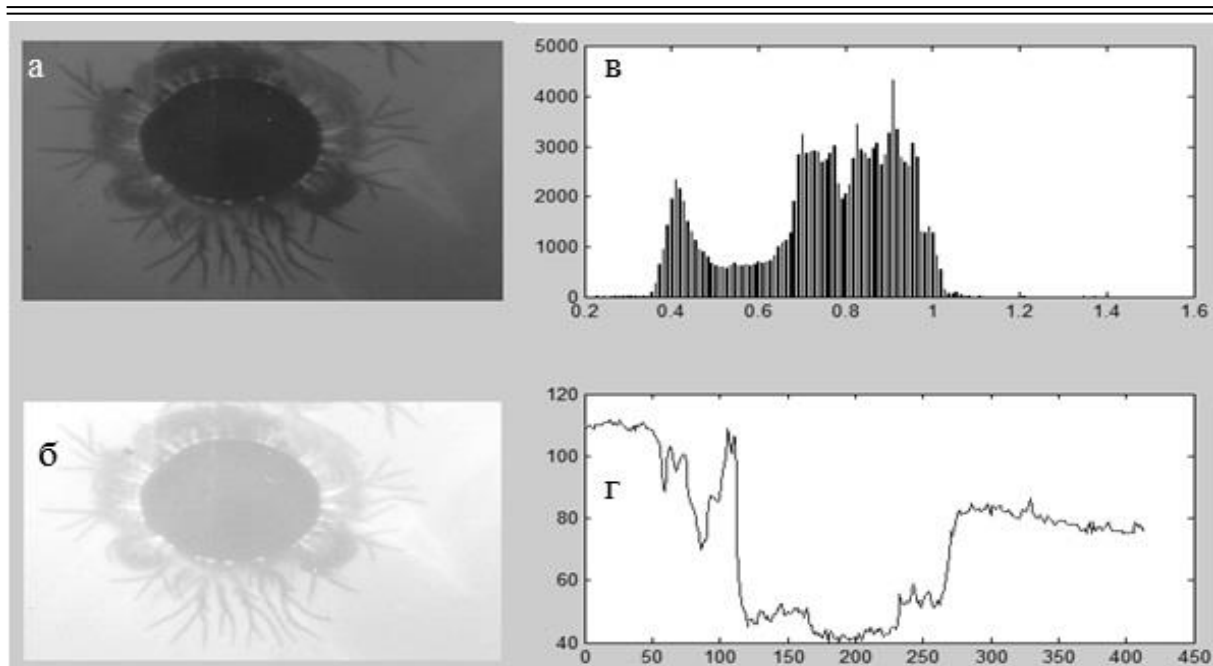


Рис. 2. Изображение газоразрядного свечения образца воды с повышенным содержанием щелочи

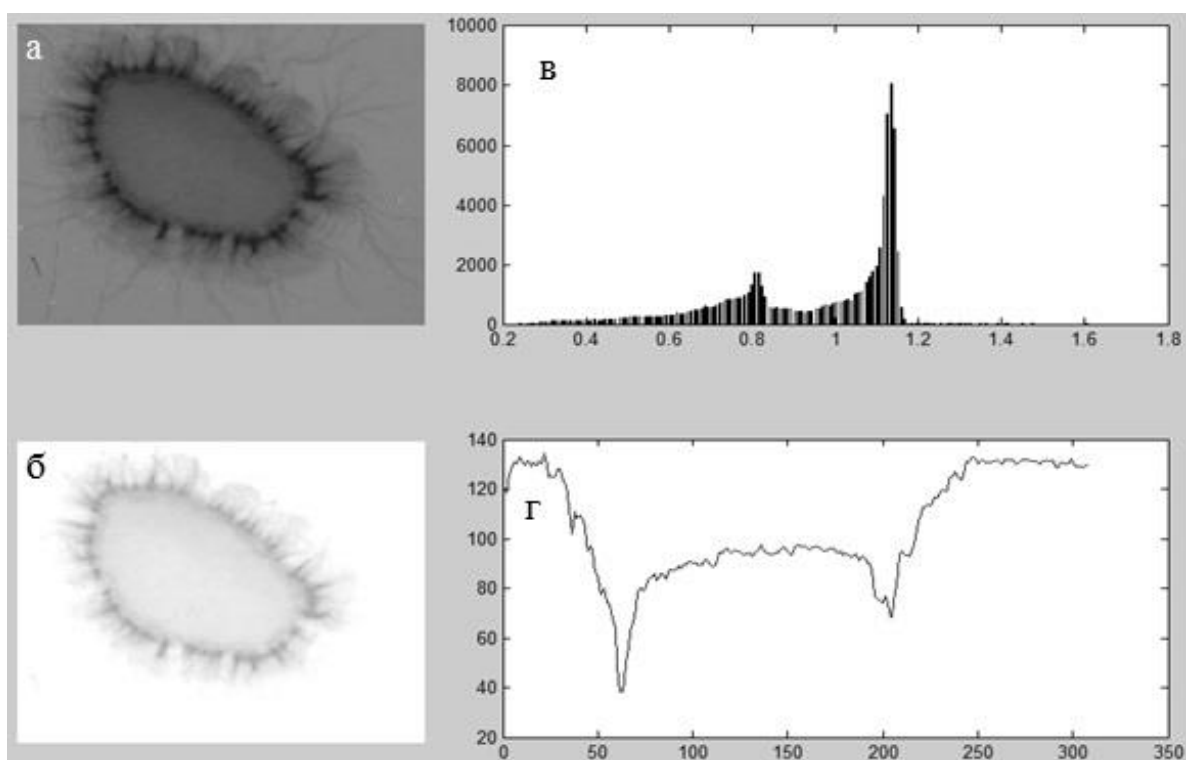


Рис. 3. Изображение газоразрядного свечения образца водопроводной воды

Правой частью последнего равенства является цифровое изображение, которое состоит из отдельных элементов – пикселей. При программной цифровой обработке изображений используется матричная форма их представления:

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}.$$

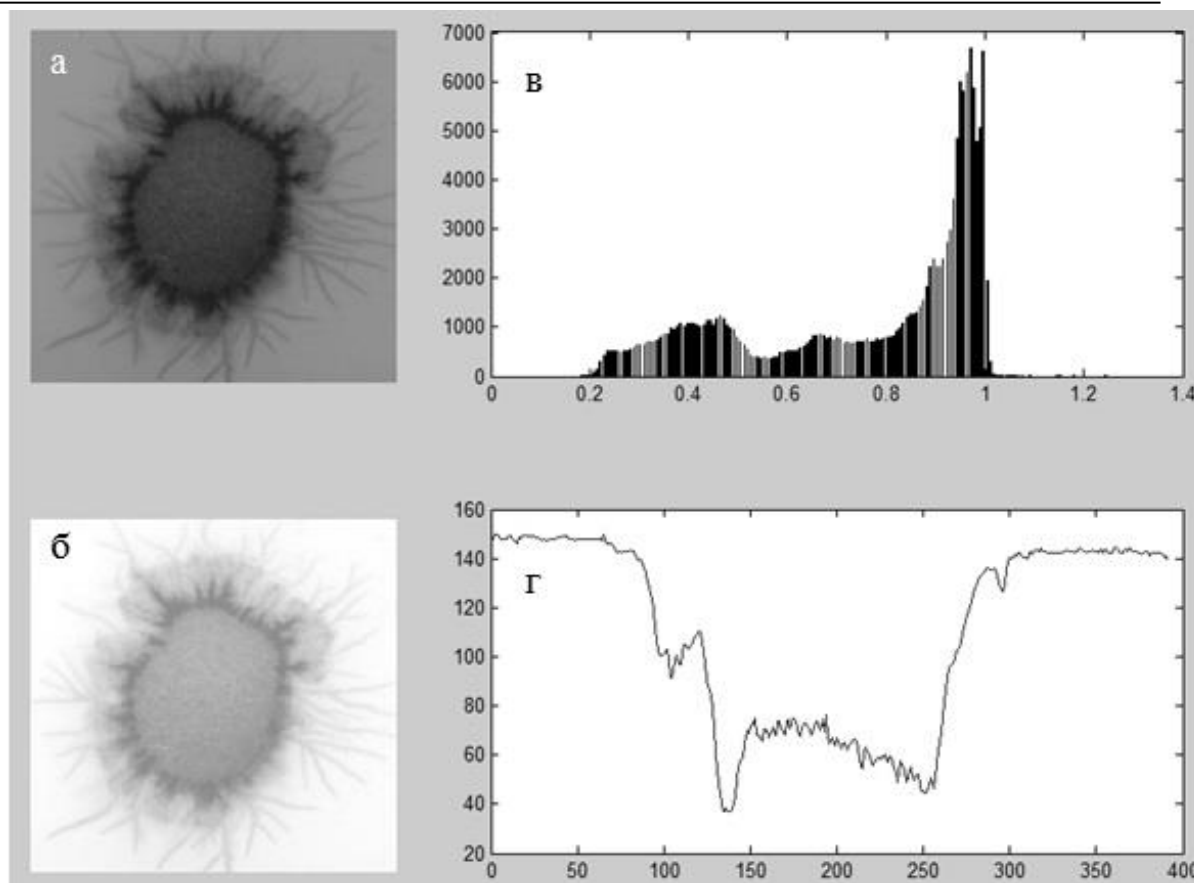


Рис. 4. Изображение газоразрядного свечения образца природной воды

Поскольку фон (цвет пленки) фотографии не идеально равномерный, то вычисляем усредненную оценку яркости пикселей фона путем оценки среднего арифметического значения для некоторой ограниченной области фона.

В матрице яркости исходного изображения все числовые значения делим на полученную усредненную оценку яркости пикселей фона (рис. 1-4, б). В результате на гистограмме яркости для преобразованного изображения пик яркости фона соответствует единице. Таким образом, по шкале абсцисс получаем относительные единицы отображения, связанные с усредненной оценкой яркости фона (рис. 1-4, в).

На основе анализа график гистограмм представленных на рисунках типов воды можно сделать следующие выводы:

1) Наличие больших амплитуд (500 и более), соответствующих грациям яркости, в диапазоне от 0 до 0.5 по оси абсцисс указывает на большие геометрические размеры затемненного внутреннего круга свечения с существенными зернистыми включениями. Данный признак напрямую связан с повышенным содержанием в воде различных примесей.

2) Монотонный либо с малым количеством экстремумов график гистограммы указывает на незначительное содержание примесей в воде, т.е. структура воды менее связанная.

Для выявления детальных информационных признаков (паттернов) в автоматизированной обработке изображений газоразрядного свечения используется построение профиля яркости (рис. 1-4, г). Профиль яркости представляет собой кривую, полученную путем отображения значений яркости пикселей вдоль некоторого заранее заданного направления - в данном случае вдоль диагонали кирлианограммы. Основным анализируемым параметром профиля яркости является наличие высокочастотной составляющей на данном графике, поскольку ее наличие свидетельствует о равномерно широкой короне свечения, что указывает на упорядоченную незагрязненную структуру жидкофазного объекта.

Выводы. 1. Метод измерений, предусматривающий получение изображений газоразрядного свечения жидкофазных объектов, позволяет получить интегральную оценку свойств и состояния воды, которая в дальнейшем может служить основой для выполнения качественного анализа, так и для количественной оценки характеристик воды.

2. Предложенный в работе автоматизированная методика обработки изображений газоразрядного свечения воды и позволяет в существенной степени устранить недостатки метода измерений, заключаю-

щиеся в чувствительности метода к неинформативным влияющим параметрам окружающей среды и в сложности получения количественных оценок.

3. Полученная в результате экспериментальных исследований большого количества образцов разнообразных типов вод база кирлианограмм подтверждает воспроизводимость результатов измерений данным методом и позволяет выполнять количественный и качественный анализ экспериментальных образцов по сравнению с эталонами.

Список литературы

1. Коломієць Р.О. Виділення фрактального спектра кірліан-зображень / Коломієць Р.О. // Вісник ЖДТУ №1(52), 2010. – С. 109-114.
2. Патент на кор. модель. Пат. 86701 Україна: МПК G-1N 21/17. Спосіб експрес-оцінки стану рідинно-фазного об'єкта. / Н.В.Глухова, Л.А. Пісоцька, А.І. Горова; заявл. 25.06.2013; опубл. 10.01.2014.
3. Глухова Н.В. Автоматизация обработки изображений излучения жидкофазных объектов с использованием методологии фликкер-шумовой спектроскопии. / Н.В. Глухова, В.И. Корсун, Л.А. Песоцкая // Метрологія та прилади. – 2013. - №2 (40). – С.59-64.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Корсуном В.І.