

Содержание никеля в воде после регенерации составляет до 0.08 г/м^3 , что меньше допустимого и разбавление хозяйственным стоком обеспечивает снижение концентрации никеля до ПДК_{Ni}.

В результате обследования сточных вод, образующихся на котельной АО «Брестгазоаппарат» на предмет наличия ионов тяжелых металлов, установлено, что в процессе умягчения воды происходит задержание ионов цинка, железа, никеля ионообменными фильтрами, которые в процессе регенерации поступают в сточные воды. При сбросе этих стоков в хозяйственную канализацию происходит их разбавление хозяйственными сточными водами, при этом все показатели находятся в пределах ПДК за исключением содержания ионов цинка, которое превышает ПДК в результате залпового сброса при отмывке катионита. Поскольку, наибольшее содержание ионов цинка наблюдается в начале отмывки, а затем резко уменьшается, то снижение пиковой концентрации можно достигнуть усреднением.

Для предотвращения сброса со сточными водами котельной концентраций превышающих ПДК: установленные Брестским горисполкомом возможны следующие решения:

1. Вариант (рисунок 7).

На котельной монтируется усреднитель объемом 18 м^3 . В процессе регенерации в усреднитель направляются регенерационный раствор и сточная вода образующаяся при отмывке. При этом происходит усреднение концентраций загрязнений. Усредненный сток через приоткрытую задвижку выпускается в хозяйственную канализацию в течении межрегенерационного периода. Поскольку расход при этом маленький, то достигается высокая степень разбавления, что гарантирует ПДК по ионам тяжелых металлов.

Вариант 2 (рисунок 8.).

На котельной монтируется усреднитель объемом 18 м^3 . Кроме того, предусматривается установка насоса, подающего воду из усреднителя на ионообменный фильтр. В процессе регенерации в усреднитель направляется сточная вода, обра-

зующаяся при отмывке. При этом происходит усреднение концентраций загрязнений. При очередной регенерации эта вода при помощи насоса подается на взрыхление и используется повторно. В результате это приносит экономический эффект, поскольку на одной регенерации экономится 12 м^3 свежей технической воды и количество стоков снижается на 12 м^3 .

ВЫВОДЫ

1. Проведено около 220 анализов сточных вод котельной на содержание ионов тяжелых металлов, установлено, что содержание в них ионов никеля, железа, хрома, после разбавления хозяйственным стоком завода находится в пределах ПДК, утвержденным решением Брестского горисполкома №242 от 19.03.1997 года. Лимитирующим показателем является содержание ионов цинка, поскольку разбавление не обеспечивает гарантированного снижения концентрации этого металла до требований ПДК.

2. Предложено два варианта по рациональному использованию воды на котельной завода и снижению концентрации ионов тяжелых металлов в сточной воде путем усреднения стока.

3. Регенерацию катионитовых фильтров первой ступени целесообразно проводить при наибольших расходах хозяйственных сточных вод:

- во время первой смены с 10-00 ч. до 12-00;

- во время второй смены с 22-00 ч. до 24 - 00.

4. Регенерацию катионитовых фильтров второй ступени целесообразно проводить во время первой смены с 10-00 ч. до 12-00.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения./ Госстрой СССР.- М: Стройиздат, 1985.- 136 с.
2. Костриков М.М. и др. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 254 с.

УДК 771.537.644

Басов С.В., Константинова Е.В.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГАЛОГЕНСЕРЕБРЯНЫХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С середины семидесятых годов XX века значительная часть научных и прикладных задач обработки информации и анализа данных связана с изображениями. Этот процесс отражает как появление новых технологий и технических средств получения информации, обеспечивающих представление накопленных данных в виде изображений, так и рост практической методологии математической обработки и анализа информации при помощи стремительно развивающихся средств вычислительной техники.

Изображение является специфической формой хранения и передачи информации, издавна играющей большую роль в повседневной жизни человека.

Наряду с традиционными фотографическими процессами регистрации информации в виде изображений на основе гало-

генидов серебра, и разнообразными несеребряными процессами на основе композиций красителей, фотополимеров, фотохромных сред и т.п., в настоящее время активно развиваются электронные и цифровые технологии формирования, хранения и обработки изображений.

Научные принципы создания, технологии производства, хранения, обработки, преобразования и воспроизведения информации в виде изображений положили начало новой отрасли знаний *Imaging Science* - науке изображений, в которой не проводятся разделения между аналоговой и цифровой фотографией.

Общее развитие современной фотографической науки и технологии поставило вопрос о предельных возможностях регистрирующих изображений систем при регистрации малых

Басов Сергей Владимирович. К.т.н., доцент каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Константинова Елена Владимировна. К.т.н., доцент каф. фотографии и технологии обработки светочувствительных материалов Санкт-Петербургского государственного университета кино и телевидения

Россия, 192102, г. С.Петербург, ул. Бухарестская, 22.

деталей фотографируемых объектов. Особенно актуальна эта проблема связана с задачами космической и аэрофотосъемки, а также применением фотографии в криминалистике, медицине и многих других областях науки и техники.

Пригодность фотографического материала или цифрового метода (или их сочетания) для применения в конкретных практических условиях и качество получаемого при этом изображения, а, следовательно, и объем зарегистрированной информации определяется совокупностью всех характеристик регистрирующей системы - сенситометрических, спектросенситометрических, структурометрических оптических и др.

Изучение информационных свойств регистрирующих систем привело к возникновению и широкому использованию в исследованиях и на практике таких характеристик, описывающих свойства регистрирующей среды и оптических фотографических систем, как ФПМ - функция передачи модуляции, гранулярность и спектр фотографических шумов, отношение сигнал/шум, информационная емкость и информационная чувствительность и т.п.

Эти характеристики, рассматриваемые в рамках как традиционной фотографической науки, так и современной теории информации применительно к фотографическому процессу принято называть информационными свойствами регистрирующих изображений систем [1].

Согласно современным представлениям фотографическое изображение подходит под категорию информационного сообщения, объем которого P , условный «алфавит» m и число единиц передаваемой информации n объединяются известной формулой [2]:

$$P = n \log_2 m. \quad (1)$$

В знаменитой работе К.Шеннона «Математическая теория связи» вышедшей в свет в 1948 году и ставшей основой современной теории информации впервые были введены понятия количества информации и, связанной с ним, теоретико-информационной меры степени неопределенности случайных величин или их распределения получившей название информационной энтропии.

Основные положения теории информации были получены Шенноном применительно к общей теории связи, в которой важную роль играют статистические закономерности.

Согласно этим положениям работу линии связи принято характеризовать параметрами, выражающимися мерой неопределенности, которая существует при передаче сообщений. Для характеристики неопределенности при выборе события из набора m событий, вероятности появления которых равны $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$, Шеннон ввел величину $H(P_1, P_2, P_3, \dots, P_m)$ равную

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i, \quad (2)$$

которую он назвал энтропией совокупности $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$. Точно таким же образом определяется величина энтропии в статистической физике и термодинамике, где она имеет фундаментальное значение. В этом случае p_i есть вероятность нахождения системы в i -й ячейке фазового пространства.

Если представить процесс воспроизведения в виде опыта, в результате которого создается выходное изображение, позволяющее в какой-то мере судить о входном изображении, то целесообразно оценить значение энтропии до начала опыта ($H_{исх}$) и после его окончания ($H_{кон}$). Тогда количество информации I , полученное в ходе опыта, определяется разностью исходной и конечной энтропий:

$$I = H_{исх} - H_{кон} \quad (3)$$

Если в результате опыта полностью устранена неопределенность исхода, то конечная энтропия уменьшается до нуля.

В этом случае количество информации численно равно исходной энтропии.

Предположим, что до воспроизведения имеется некоторая неопределенность выбора входного изображения и ее величина оценивается исходной энтропией $H_{исх}$, численно равной количеству информации, которое зарегистрировало бы окончное регистрирующее устройство при отсутствии потерь информации.

В результате проведения такого опыта получается некоторая информация о входном изображении, за счет которой неопределенность выбора входного изображения уменьшится до величины $H_{кон}$, определяемой как энтропия входного изображения после получения выходного. Очевидно, что количество информации о входном изображении I_b , полученное в результате воспроизведения, может быть определено, в соответствии с выражением (3), как:

$$H_{кон} = H_{исх} - I_b \quad (4)$$

т.е. энтропия входного изображения после получения выходного равна количеству информации о входном изображении, потерянной воспроизводящей системой вследствие ее несовершенства. В частном случае, когда $H_{кон} = 0$, что соответствует получению на выходе системы количества информации равного $H_{исх}$, процесс воспроизведения может считаться наиболее совершенным. Таким образом, процесс воспроизведения может быть охарактеризован величинами I_b и $H_{кон}$.

Для светоинформационных систем (таких как традиционная и цифровая фотография) характерно наличие множества каналов, по которым одновременно передается информация, в сумме составляющая информацию об изображении. При разбивке (дискретизации) входного изображения или объекта фотографирования на n минимальных элементов - пикселей (как правило, одинаковых по размеру, в которых нельзя различить деталей), то в процессе воспроизведения получается как бы n опытов, в каждом из которых конечным результатом является по крайней мере одна величина, например, оптическая плотность полученного изображения. Если считать, что при заданном количестве входной энергии можно различить m градаций оптической плотности в каждом элементе изображения и появления каждой из градаций равновероятно ($p_i = 1/m$), то для максимального количества информации ($H_{кон} = 0$), передаваемого системой, можно получить выражение, аналогичное уравнению (1):

$$I = H_{исх} = n \log_2 m, \quad (5)$$

где под m понимается число возможных градаций оптической плотности отличных от нулевого значения, плюс нулевое значение.

Аналогичными рассуждениями руководствовался профессор Ляликов К.С. при оценке энтропии аэрофотоснимка [4], отмечая при этом, что для нахождения объема информации изображения I необходимо из измеренной энтропии изображения H_1 вычесть энтропию шума H_2 . В этой же работе рассмотрены результаты экспериментального исследования энтропии шума, которые показали, что она зависит от оптической плотности изображения и следовательно от уровня экспонирования при фотосъемке. Кроме того, К.С. Ляликов подчеркивает, что энтропия изображения, давая меру объема информации, не определяет качество изображения поскольку, например, при изучении аэрофотоснимка неизвестно сколько деталей содержит снимаемый объект.

В настоящей работе, являющейся частью исследований, связанных с разработкой новых подходов к оценке качества фотографического изображения и его информационных ха-

рактических в различных регистрирующих системах и областях практического применения, были проанализированы результаты оценки качества фотографического изображения при решении задач черно-белой фоторепродукции, как наиболее простого и вместе с тем часто встречающегося на практике случая применения фотографии. При этом результаты расчетов энтропии полученных изображений сопоставлялись с количественными характеристиками тоновоспроизведения, а также с результатами экспертных оценок полученных изображений и оригиналов.

В качестве регистрирующих сред в работе исследовались современные «химические» фотографические материалы и процессы на основе галогенидов серебра и цифровые фотографические системы.

В традиционном фотопроцессе исследовались 35-мм цветные негативные фотопленки (ЦНФ) *Fuji New Superia 400* (ЦНФ-1), *Fuji Super G ACE 400* (ЦНФ-2) и *Kodak Gold 400* (ЦНФ-3), химико-фотографическая обработка которых проводилась по стандартному процессу С-41. В качестве цифровых систем регистрации изображения применялись цифровые фотокамеры (ЦФК) *Minolta RD-175* (ЦФК-1) с устройством формирования изображения ПЗС-матрицей размером 1528x1146 элементов изображения ($1.75 \cdot 10^6$ пикселей), *Nikon CoolPix 950* (ЦФК-2 - $2.1 \cdot 10^6$ пикселей) и *Canon EOS-1D* (ЦФК-3 - $4.15 \cdot 10^6$ пикселей). При работе с цифровыми камерами светочувствительность устройств формирования изображения - ПЗС-матриц устанавливалась эквивалентной 400 ISO.

Для сравнительной оценки информационных свойств изображений, формируемых различными системами нами, согласно [3], было принято следующее определение энтропии изображения:

$$H(P,K) = \log_2 PK = \log_2 P + \log_2 K, \quad (6)$$

где $H(P,K)$, P и K соответственно обозначают энтропию изображения, количество минимальных элементов изображения (пикселей) и количество регистрирующих уровней (эквивалентное числу оттенков яркости, которое способен зарегистрировать пиксел), соответствующее данному изображению.

Для вычисления общего количества пикселей в изображении, полученном ЦНФ, необходимо определить размер одного пиксела ЦНФ.

Известно, что микрокристалл (МК) AgHal позволяет осуществлять только бинарную запись - *проявлено-непроявлено*. Согласно [5] для полутоновой записи высокого качества требуется регистрация не менее 64 градаций интенсивности света, что составляет 6 битов ($64=2^6$). Это количество градаций интенсивности может обеспечить группировка, состоящая из ~ 250 МК, в которой запись различных градаций осуществляется различным соотношением проявленных и непроявленных МК. Такая группировка имеет определенную длину «границ» и в данном случае представляет собой один пиксел.

Если принять (по аналогии с ЦФК) форму пиксела как квадратную, то длину стороны («границ») пиксела a можно определить при помощи следующей формулы [3]:

$$a = 1/(2f),$$

где f - частота, соответствующая значению функции передачи модуляции (ФПМ) равному 0,5.

Чтобы согласовать различия, заключающиеся в том, что ЦНФ является многослойной регистрирующей системой, а ПЗС ЦФК - однослойной, количество пикселей ЦНФ необходимо увеличить, т.е.

$$P = 3 * (A / a^2),$$

где A - представляет собой эффективную площадь кадра; 3 - число зональных светочувствительных слоев ЦНФ.

Поскольку при ФПМ(f) = 0.5 разрешаемая частота исследованных в работе фотопленок составляет соответственно для ЦНФ-1 - 60 мм^{-1} , ЦНФ-2 - 50 мм^{-1} (по данным фирмы Fuji), и

для ЦНФ-3 - 55 мм^{-1} (по данным фирмы Kodak), то количество пикселей для размера кадра 24x36 мм равняется:

$$P = 3 * (24 * 36) / (0,0083)^2 = 37,35 * 10^6 \text{ (для ЦНФ-1);}$$

$$P = 3 * (24 * 36) / (0,01)^2 = 25,92 * 10^6 \text{ (для ЦНФ-2);}$$

$$P = 3 * (24 * 36) / (0,0091)^2 = 31,30 * 10^6 \text{ (для ЦНФ-3).}$$

Далее вычислялось количество регистрирующих уровней K (эквивалентное числу оттенков яркости или цвета, которое способен зарегистрировать пиксел), которое согласно [3] определяется по формуле:

$$K = \Delta D / 2\sigma,$$

где ΔD - обозначает интервал эффективных оптических плотностей ЦНФ, σ - гранулярность.

Интервал эффективных оптических плотностей большинства ЦНФ равен 2 т.е. $\Delta D = 2$. Величина σ , измеренная в области оптической плотности $D=1,0$ согласно данным [3], для ЦНФ-1 составляет 0,020, для ЦНФ-2 составляет 0,023; для ЦНФ-3 - 0,021.

Таким образом, количество регистрирующих уровней ЦНФ-1, ЦНФ-2 и ЦНФ-3 соответственно равны

$$K = 2,0 / 2 * 0,02 = 50 \text{ (ЦНФ-1);}$$

$$K = 2,0 / 2 * 0,023 = 43,5 \approx 44 \text{ (ЦНФ-2);}$$

$$K = 2,0 / 2 * 0,021 = 47,6 \approx 48 \text{ (ЦНФ-3).}$$

Число регистрирующих уровней ЦФК зависит от размера, качества и уровня шумов ПЗС и аналого-цифрового преобразователя (АЦП), определить которые в рамках настоящей работы не представлялось возможным. Поэтому мы предположили, что число регистрирующих уровней ЦФК составляет $K = 256$ (2^8), что соответствует общепринятому интервалу дискретизации в компьютерных технологиях формирования изображения. Заметим, однако, что реально с учетом шумов ПЗС и АЦП $K < 256$.

Энтропия изображений, полученных ЦНФ и ЦФК представлена в таблице 1.

Таблица 1.

| Регистрирующее устройство | P | K | $\log_2 PK$ |
|---------------------------|--------------------|-----|-------------|
| ЦНФ-1 | $37,35 \cdot 10^6$ | 50 | 30,8 |
| ЦНФ-2 | $25,92 \cdot 10^6$ | 44 | 30,1 |
| ЦНФ-3 | $31,30 \cdot 10^6$ | 48 | 30,5 |
| ЦФК-1 | $1,75 \cdot 10^6$ | 256 | 28,7 |
| ЦФК-2 | $2,1 \cdot 10^6$ | 256 | 29,0 |
| ЦФК-3 | $4,15 \cdot 10^6$ | 256 | 29,9 |

Анализ полученных данных, основанный на понятии энтропии изображения, хорошо согласуется с количественными характеристиками тоновоспроизведения и с результатами экспертных методов оценки качества исследованных изображений, которые опубликованы в [7,8]. Кроме того, очевидно, что если путем оптимизации традиционного фотографического процесса (подбора экспозиции при фотосъемке и режима химико-фотографической обработки) увеличить разрешение ЦНФ всего на 5 мм^{-1} , что вполне достижимо на практике, то при прочих равных условиях величина энтропии, например для ЦНФ-1, повысится до значения 31,03.

Нетрудно рассчитать требуемое увеличение размеров ПЗС-матрицы (а точнее количества ее пикселей) для аналогового по значению приращения энтропии изображения, регистрируемого ЦФК. Однако практическая реализация такого увеличения требует значительных усовершенствований технологий производства ПЗС и как следствие существенных экономических затрат.

Таким образом, качество изображений (оценивавшееся в рамках нашей работы только по одному из критериев качества - разрешению), полученных с помощью различных ЦНФ и ЦФК, и исследованное с использованием элементов теории информации показало возможность применения такого подхода для сравнительного анализа различных по своей физической природе фотографических систем, что, в частности, подтверждается публикациями на эту тему специалистов ведущих мировых производителей традиционной и цифровой фототехники и материалов [3;14-16].

Рассчитанные в работе на основе информационного подхода количества пикселей ЦНФ хорошо согласуются с данными проф. Ю.А.Василевского, который считает, что по разным методам оценки на стандартной площади кадра (24x36 мм) 35-мм черно-белой фотопленки с одним зональным слоем, светочувствительностью 100 ед. ISO количество пикселей может достигать $15\text{-}20 \cdot 10^6$ [5], что позволяет сделать вывод о достоверности полученных результатов.

В заключение отметим, что согласно многочисленным исследованиям [19-20] ведущих специалистов в области традиционных и цифровых фотопроцессов эффективность образования, качество изображения и соответственно информационные характеристики, на обычной цветной фотопленке, зависящие от степени поглощения действующих на эмульсионные слои фотонов и конверсии поглощенных фотонов в центры скрытого изображения, будут увеличены в несколько раз. Уже в ближайшее время также предполагается, что несмотря на стремительный прогресс в развитии цифровых технологий, превосходство цветной фотопленки и «химической» фотографии в целом над цифровыми технологиями в отношении качества изображения и информационных характеристик сохранится и в будущем, т.к. процесс образования изображения на ПЗС основан на эффективности процесса поглощения падающих фотонов и конверсии фотонов в фотоэлектроны, который имеет малый потенциал для улучшения и в настоящее время находится почти на пределе теоретических возможностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранова В.П., Давыдкин И.М., Ломаченкова Т.А., Макушенко А.М. Исследование связей между информационными свойствами фотографических материалов // Труды ГОИ. Т.73, вып.207, 1991, с. 107-115.
2. Котов А.М., Мацеевич Л.В. Правильная тонопередача в черно-белой сюжетной фотографии: глава последняя и ... первая // Труды ГОИ. Книга VI, Т.79, вып.213, 1992, с. 126-131.
3. Noguchi T., Ikoma H., Ikenoue S. Comparing image qualities of silver halide films and digital still cameras / *IS&T's 1998 Conference* p.296-298.

4. Ляликов К.С., Ивкина Е.Г. Энтропия аэроснимка // Успехи научной фотографии. Том X.- Л.: Наука, 1964, с.94-101.
5. Василевский Ю.А. Применение цифровой фотографии. // Журнал научной и прикладной фотографии, 1996, Т.41, N 6, С.28-40.
6. Василевский Ю.А. Принципы цифровой фотографии. // Журнал научной и прикладной фотографии, 1996, Т.41, N 5, С.36-49.
7. Константинова Е.В. Влияние условий съемки и химико-фотографической обработки на тоновоспроизведение в сквозном фотографическом процессе. Автореферат дисс. канд. техн. наук. СПб.:СПбГУКиТ, 2000. - 24 с.
8. Басов С.В. Цифровая фотография. Учебное пособие. - СПб: РИО СПбГУКиТ, 1999.- 112 с.
9. Бётхер Х., Эпперляйн И., Ельцов А.В. Современные системы регистрации информации. / Пер. с нем., под ред. А.В.Ельцова.- СПб: Синтез, 1992.
10. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике М.Иностр.лит., 1963.
11. Gonzalez R.C., Wintz P. Digital image processing. Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
12. Лебедев Д.С., Цуккерман И.И. Телевидение и теория информации.- М.:Энергия, 1965.
13. Роуз А. Зрение человека и электронное зрение. Пер. с англ., под ред. В.С.Вавилова. М.:Мир, 1977.
14. Мирошников М.М., Нестерук В.Ф. Фотография, иконика и обработка изображений // Труды ГОИ, 1991, Т.73, Вып.207, С.17-42.
15. Hertel D. Image quality investigations of electronic and photographic image transforming system. // The Journal Photographic Science, 1996, V.44. N 1, P.27.
16. Ohta Y., Inai M. Digital printer for photographic paper using led arrays / *IS&T's 1998 Conference* p.29-32.
17. Ohno S., Takakura M., Kato N. Image quality of digital photography prints - dependence of print quality on pixel number of input camera / *IS&T's 1998 Conference* p.51-55.
18. Granger E. M. Image quality of digital cameras / *IS&T's 1998 Conference* p.188-191.
19. Geng Xioqiang. Predicting the Future of the Silver Halide and the Digital Photography through Comparing These Technology Characteristics// Information Recording Materials. – 2000. – Vol.1, No.3.- P. 35-39.
20. Miyake Y. Imaging Technology of 21st Century and SPSTJ//Journ.Soc.Photogr.Sci. and Technol. Jap. – 2001. – Vol.64, No.1. – P. 1-8
21. Гуревич С.Б. Эффективность и чувствительность телевизионных систем. - Л.: Энергия, 1964.- 344 с.
22. Абламейко С.В. Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Учебное пособие - Мн.: Амалфея, 2000.- 304 с.

УДК 574

Басов С.В., Халецкий В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН СТУДЕНТАМИ НЕХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Вопрос совершенствования форм и методов преподавания цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин в современной высшей школе, широком внедрении в учебный процесс средств вычислительной техники является одним из ключевых при реформировании системы образования.

Мнение об эффективности различных тестовых систем (в том числе, компьютерных) и необходимости их широкого применения в повседневной педагогической практике в высших учебных заведениях на сегодняшний день является общепринятым; публикуется большое количество работ по тем