

Ткаченко В. В., заведующий лабораторией; Днепровский Е. В., старший научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси; Страцевский В.Н., начальник отдела ОАО «Пеленг»

## СИСТЕМЫ ЗАПИСИ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ФОТОФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДНЫХ МАТРИЧНЫХ МОДУЛЕЙ (LED-ГОЛОВОК)

The mastering procedure and construction design for recording system for computer to film prepress technology based on photoplotter with some LED-printheads are considered. The hard and soft control means for maintenance of necessary accuracy of an optic-mechanical design and for faultless joining of image recording fragments on-stream are offered taking into account temperature fluctuations and features design.

**Введение.** Исследования и опыт разработок в области лазерных регистрирующих устройств, проведенных в ОИПИ НАН Беларуси, привели к разработке оригинальных технических решений, использующих технологию регистрации с помощью светодиодных матриц (СДМ) (или LED-технологии) [1]. Следует привести следующие аргументы в пользу выбора для фоторегистрации матричных светодиодных излучателей в противовес лазерному источнику световой энергии:

- чрезвычайно высокие линейные (угловые) скорости строчной развертки лазерного пучка, получение которых требует применения уникальных приводов и датчиков положения;

- чрезвычайно высокие частоты модуляции лазерного луча, затрудняющие реализацию полутоновой записи.

При использовании СДМ становится возможным существенно упростить оптикомеханическую часть конструкции фоторегистрирующего устройства (или фотоплоттера) за счет организации нескольких параллельно работающих и модулируемых световых каналов для одновременной регистрации нескольких строк изображения. При этом удается, сохраняя производительность, снизить частоты модуляции в каждом из каналов, угловые или линейные скорости движения элементов развертки.

Практическое обоснование этот подход получил в ходе промышленной эксплуатации бюджетных фотоплоттеров, базовым элементом которых является унифицированный светодиодноматричный модуль (LED-головка), созданный в ОИПИ НАН Беларуси [2]. Разработка семейства растровых фотоплоттеров проводилась совместно с ведущими предприятиями электронной промышленности Беларуси. Предложенные варианты конструкций позволили реализовать их в виде компактных устройств, которые способны принимать данные растровых описаний, подготовленных программами цветоделения и растрирования универсального назначения. На базе экспонирующего модуля (МЭС) с однокристалльной матрицей из линейки 256 светодиодов разработаны совместно с ОАО «Пеленг» планшетный фотоплоттер ФП-2 и барабанный растровый фотоплоттер РФП «Политон-ИП». Дос-

тигнуты следующие характеристики: разрешение – 2540 (1270) dpi, шаг адресации (дискретность) – 1 мкм, предельная погрешность – 15 мкм, время экспонирования полного кадра – 12 (6) мин, размер поля для планшетного устройства – 380×270 мм, ширина рулона для барабанного – 656 мм, – которые удовлетворяют требованиям к качеству фотооригиналов и фотоформ полиграфической печати, а также позволяют выводить полутоновые изображения, соответствующие качеству аэро- и космоснимков.

**Основная часть.** Методические основы юстирования модулей экспонирования РФП и построения алгоритмов управления пофрагментным выводом растровых изображений. В конструкции фотоплоттера РФП использован блок из четырех модулей МЭС (рис. 1), перемещения которого в процессе сканирования контролируются с помощью прецизионного датчика. Особенности конструкции РФП определяются режимом развертки и экспонирования изображения по полосам. Полоса изображения – фрагмент изображения из 256 (или менее) строк растрового изображения максимальной для РФП длины (655,36 мм). Ширина полосы: 2,56 мм или 5,12 мм при размерах пикселей 10×10 мкм и 20×20 мкм, соответственно.

Полоса изображения экспонируется четырьмя модулями МЭС с объективами, оптические оси которых параллельны, находятся в одной плоскости, перпендикулярной поверхности фотопленки в зоне экспонирования, и отстоят друг от друга на 164 мм (163,84). Модули вместе с объективами закреплены на подвижной относительно фотопленки каретке, электропривод которой обеспечивает их перемещение вдоль той же плоскости и поверхности фотопленки на отрезке 170–180 мм (больше 164 мм).

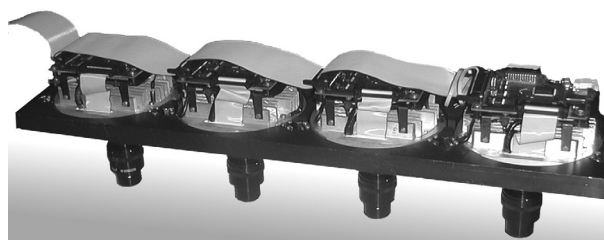


Рис. 1. Блок светодиодноматричных модулей

Светодиоды каждого МЭС составляют ряды (линейки), ориентированные поперек направления движения и при сканировании образуют четыре фрагмента из отрезков 256 строк, стыкующихся вдоль полосы. Для точного совмещения этих фрагментов в полосе их длина должна быть  $(163\ 840 \pm 2)$  мкм, изображения соответствующих по номеру светодиодов разных МЭС – находиться на одной линии, параллельной направлению строк с допуском 2 мкм, а линейки светодиодов – быть развернутыми к этой линии под прямым углом (неперпендикулярность не более 1 : 2000).

Модули в конструкции объединяющего их блока требуют (без учета характеристик оптически сопряженных с ними объективов и поверхности фото пленки) три степени свободы для выставки их взаимного положения (1, 4 и 5, как показано на рис. 2 для двух модулей) и две степени свободы (3 и 2 на том же рис.) для настройки каждого из них вместе с объективом на необходимую кратность оптического уменьшения и резкость изображения линеек СДМ на фото пленке.

Настройка пространственного положения МЭС вместе с системой управления выводом изображения выполняется поэтапно:

– этап монтажа с *грубой регулировкой* и визуальным контролем положения изображений СДМ и их размеров в плоскости экспонирования (возможно выполнение как на РФП, так и на стенде);

– этап *точной регулировки* и настройки с оценкой результатов регистрации тестовых изображений на фото пленке с применением РФП;

– этап *автоматической регулировки* с программной компенсацией температурных деформаций в процессе эксплуатации РФП.

Порядок выполнения «ручных» регулировок по первым двум этапам следующий (номер пункта соответствует обозначению степени свободы на рис. 2):

1. Разворот линеек в их общей плоскости под углом  $90^\circ$  к соединяющей их линии.

2. Выставление положения МЭС и объективов на заданное уменьшение (до 10 или 20 мкм).

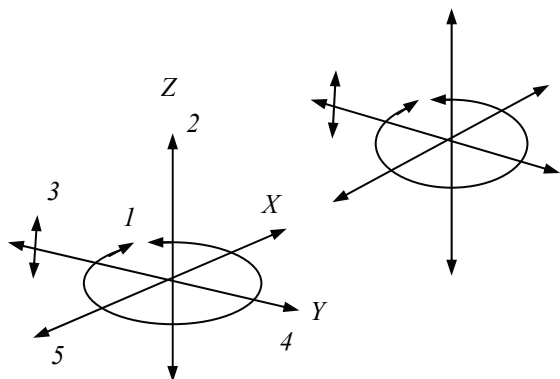


Рис. 2. Системы координат юстирования МЭС

3. Установка резкости вдоль линейки (на практике работы по 1, 2 и 3 пунктам могут выполняться одновременно).

4. Совмещение центров (краев) светодиодных линеек МЭС с линией, параллельной направляющим приводом.

5. Размещение и установка МЭС относительно друг друга вдоль X-координаты. На первом этапе выполняется в первую очередь. На этапе точной настройки может выполняться одновременно с предыдущим. При этом определяется степень несовмещения четырех фрагментов изображения полосы и обрабатывается система электронной (программно управляемой) подгонки-стыковки фрагментов полосы при стабильных температурных условиях.

Подготовка и выполнение работ на третьем этапе (*автоматической регулировки*) заключается в проверке влияния климатических условий на точность фоторегистрации, определении коэффициентов температурной деформации (может выполняться одновременно с работами предыдущих этапов) и отработке алгоритмов программной компенсации последних.

*Общее описание и обоснование цифровой системы записи.* Действие системы электронного (программно управляемого) обеспечения стыковки четырех фрагментов полосы изображения поясняется на рис. 3. Точная стыковка четырех фрагментов вдоль X-координаты при неточном расположении МЭС относительно друг друга (расстояние отличается больше чем на 2 мкм от 163 840 мкм) и при фиксированной температуре обеспечивается:

1) использованием оптоэлектронного датчика (ОЭД) перемещений каретки, дающего импульсы синхронизации для экспонирования через каждые 0,5 мкм;

2) программной установкой начала экспонирования фрагмента для каждого МЭС перед выводом полосы (полос изображения) и независимого относительно друг друга формирования сигналов экспонирования в каждом МЭС;

3) увеличением зоны перемещений каретки с выдачей синхроимпульсов ОЭД по сравнению с длиной каждого из четырех фрагментов. Увеличение больше, чем разница между наибольшим и наименьшим смещением двух модулей относительно точного их положения (с учетом знака смещения). При возможном повышении температуры среды или самого блока модулей к этой разнице необходимо добавить величину наибольших температурных деформаций. Практически длина рабочей зоны каретки без учета участков разгона-торможения может быть 165–170 мм и более.

Выбор точки отсчета (нуля координаты X) и положения базового репера линейки ОЭД не важен, если температурные условия стабильны (доли градуса). В противном случае (температура

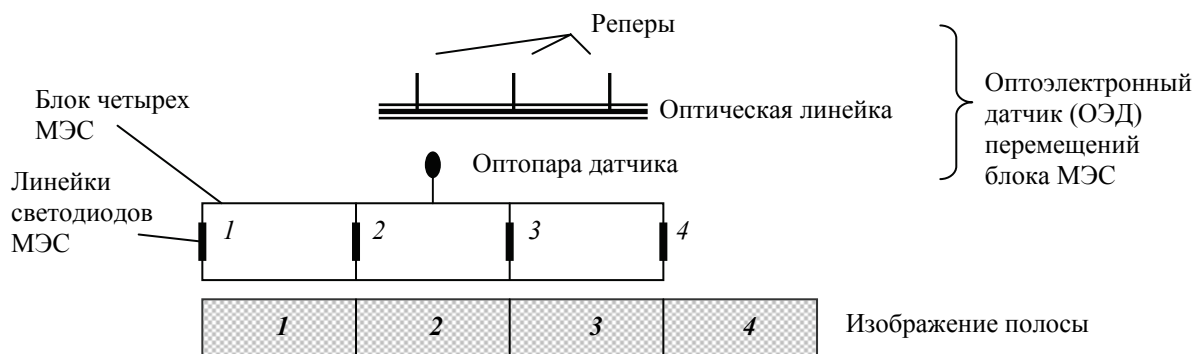


Рис. 3. Схема установки датчика перемещений блока МЭС

всей конструкции блока меняется) она должна быть выбрана из условий закрепления и положения элементов датчика.

В общем случае изменения температуры сопровождаются двумя эффектами:

1. Вариация начальной координаты каждого фрагмента (за счет температурной деформации платформы, на которой установлены МЭС, и их сдвига относительно оптопары датчика) и всех фрагментов одновременно (или всей полосы) на одинаковый отрезок (при сдвиге условно «неподвижной» линейки с репером относительно пленки). Величина сдвига между крайними МЭС для платформы, выполненной из алюминиевого сплава, оценивается величиной около 12 мкм/град., для соседних – 4 мкм/град. (для стали в два раза меньше).

2. Вариация длины каждого фрагмента за счет температурной деформации линейки ОЭД. Для стеклянной линейки длиной 164 мм удлинение составит 0,8–1,5 мкм/град.

Для получения наименьших искажений изображения и наименьшей погрешности фоторегистрации целесообразно строить систему управления с базовым репером, размещенным посередине полосы, как показано на рис. 3. Тогда некомпенсируемые деформации полос проявятся относительно средней линии изображения по абсолютной величине в два раза меньше, чем в случае, если бы репер располагался рядом с краем сканируемой зоны (рис. 4).

Таким образом, если конструкцией РФП обеспечиваются стабильные температурные условия для элементов ОЭД (1–3 град.), то погрешностями датчика можно пренебречь (сдвиг фрагментов полосы на 2–3 мкм будет мало заметен). При существенном влиянии температуры на ОЭД с целью обеспечения точного размера изображения может быть использована электронная компенсация (пересчет импульсов ОЭД) и другие способы, основанные на контроле температуры линейки ОЭД. Тогда при эквивалентных деформациях, вызванных первым и вторым эффектами, искажения могут быть устранены за счет некоторого изменения

ширины изображения (длины полосы) на величину, равную 3–5 мкм/град., т. е. в пределах допустимой накопленной погрешности.

В условиях изменения температуры порядка 5°C и более указанные эффекты с разными коэффициентами линейного расширения дают зрительно ощутимый повторяющийся сдвиг между фрагментами от полосы к полосе, который проявляется артефактом в виде тонкой линии. Наиболее эффективным способом его устранения является цифровая коррекция кодов программной установки начала экспонирования фрагмента для каждого МЭС. Перед выводом полосы каждый из кодов смещения должен уменьшаться на величину температурной деформации с учетом ее знака.

*Точная механическая настройка и тестовое обеспечение для настройки блока МЭС.* При выполнении монтажа и первичной настройке блока МЭС могут использоваться оптические и механические контрольно-измерительные инструменты. Точная настройка и юстировка осуществляется с одновременной обработкой результатов фоторегистрации тестовых изображений как разделенных, так и совмещенных по каждому из видов настроек,

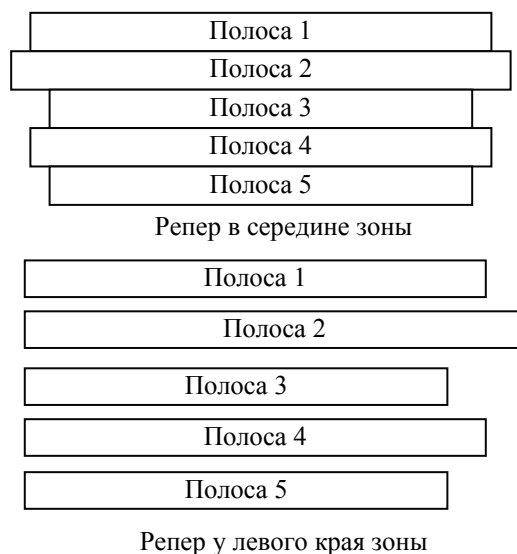


Рис. 4. Влияние погрешностей ОЭД и погрешности позиционирования на искажения изображений полос

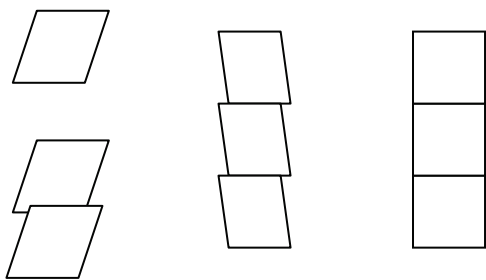


Рис. 5. Тест-изображения при контроле положения отдельных МЭС

соответствующих степеням свободы МЭС. Тестовые изображения генерируются микропроцессорными средствами РФП или выводятся из компьютера на РФП как файлы изображений, созданных с помощью графического редактора.

Разворот светодиодных линеек МЭС проверяется на изображении тестов (рис. 5) по величине ступенек, образованных по краям фрагментов на стыке соседних полос. Точность поправки по углу разворота вокруг оптической оси определяется шириной различной ступеньки, отнесенной к длине изображения СДМ. Одновременно проводится настройка кратности уменьшения изображения линеек по точности стыковки соседних полос (по каждому фрагменту или каждому МЭС). При этом должна быть гарантирована точность позиционирования барабана 1–2 мкм.

Для быстрой оценки степени разворота и нестыковки линеек, а также для оценки резкости изображения на фотопленке удобно использовать изображение шахматного рисунка (ч/б клеток размером 10 или 20 мкм). Изображение шахматного поля при правильной фокусировке должно быть однотонным и иметь наименьшую интегральную оптическую плотность.

После настройки разворота и выставления модулей и объективов на резкое изображение задаются тесты для определения кодов настройки системы электронной компенсации смещений МЭС относительно их точного положения вдоль X-координаты (сдвига фрагментов полосы).

При этом возможно выявление зависимости этого сдвига от температуры.

По известному размеру фрагментов (количеству синхроимпульсов датчика) и величине перекрытий или зазоров между соседними фрагментами определяются коды смещения для каждого МЭС, задающие количество импульсов от датчика, которые в рабочем режиме в соответствующем МЭС не используются перед началом экспонирования своего фрагмента (пропускаются). Чтобы избежать многократного прогона тестовых изображений при определении кодов методом проб, могут быть использованы расчеты этих кодов, опирающиеся на измерения зон перекрытия фрагментов (для непосредственных измерений на фотопленке удобен шахматный рисунок теста). Варианты тест-изображений с перекрытием и точным совмещением фрагментов приведены на рис. 6.

Тест представляет собой изображение четырех фрагментов полосы, длина которых 163,84 мм. Коды смещений для первой пробы равны 0. При этом фрагменты полосы не состыкованы. Выбирается фрагмент, начало которого наиболее удалено от соседнего (в примере четвертый фрагмент). Для него выбирается код смещения  $S_4 = 0,3-0,5$  мм. Для соседних (второй и третий фрагменты) код смещения равен  $S_{i-1} = S_i +$  «величина зазора». Для первого фрагмента  $S_1 = S_2 -$  «величина перекрытия». Полученные значения используются при повторной прогонке теста для проверки правильности измерений и расчетов.

Тест-изображение четырех фрагментов полосы, длина которых превышает 163,84 мм, представляется более удобной для проведения измерений и одновременно позволяет проводить подгонку по положению общих строк. При этом фрагменты полосы должны наложиться краями друг на друга. Зона перекрытия должна составить не менее 0,5 мм.

Для генерации теста с перекрытием расширенных фрагментов (см. рис. 6) необходимо обеспечить включение светодиодов за пределами



Рис. 6. Тест-изображения при контроле взаимного положения МЭС вдоль X-координаты

зоны 163,84 мм, что достигается программированием служебных регистров МЭС на прием синхросигналов ОЭД в расширенном диапазоне (без ограничения на длину 163,84 мм). При известной длине фрагментов записанного изображения полосы коды смещений для программирования МЭС определяются следующим образом. На изображении теста выбирается участок наиболее узкого из трех перекрытий. Примерно половина перекрытого участка (больше или меньше можно выбирать с учетом предполагаемых температурных деформаций) определяет смещение  $S^i$  для МЭС, имеющего в этой зоне начало. Деформациями при этом можно пренебречь, если зона перекрытия существенно больше удлинения блока МЭС при нагреве. Смещение для соседних МЭС определяется по описанному выше правилу для теста без перекрытий или по формулам, в которые подставляются значения в соответствующих единицах измерения (мкм или ед. отсчета датчика):

$S^i$  – рассчитанное (или вначале выбранное) смещение для соседнего (базового) МЭС;

$S^{i-1} = (X_M - X_F) - P_{i, i-1} + S^i$  – смещение для фрагмента, стыкующегося своим окончанием с началом базового фрагмента;

$S^{i+1} = P_{i+1, i} - (X_M - X_F) + S^i$  – смещение для фрагмента, стыкующегося своим началом с окончанием базового фрагмента;

$X_M - X_F$  – превышение длины фрагмента в тесте ( $X_M$ ) над точным значением ( $X_F = 163\,840$  мкм). При  $X_M - X_F = 0$  эти выражения сводятся к приведенному выше правилу;

$P_{i, i-1}$  – длина перекрытия анализируемого фрагмента с началом соседнего (базового);

$P_{i+1, i}$  – длина перекрытия анализируемого фрагмента с окончанием соседнего (базового).

*Микропрограммная компенсация ошибок в рабочем режиме.* Последний этап настройки блока МЭС заключается в определении коэффициентов температурной деформации, существенных для стабильной работы РФП, и отработке алгоритмов их программной компенсации.

Для компенсации сдвига МЭС вдоль координаты  $X$  используется та же система, которая предназначена для работы в условиях постоянной температуры, однако коды смещений, загружаемые в регистры МЭС, корректируются с учетом данных о текущей температуре, полученных от датчиков температуры. Реальная динамика и диапазон изменения температуры оцениваются в ходе настроек. Вышеописанные правила определения кодов смещения при фиксированной (условно) температуре необходимо применить при минимальной температуре  $t_{\min}$  блока МЭС, получить коды смещений для настройки МЭС  $S^i_{\min}$  и при максимальной  $t_{\max}$  – коды смещения для тех же МЭС  $S^i_{\max}$ . В процессе автоматической подстройки системы компенсации сдвига МЭС коды смещений  $S^i_t$

определяются с учетом текущей температуры ( $t$ ) блока МЭС линейной интерполяцией:

$$S^i_t = S^i_{\min} + (t_{\min} - t) (S^i_{\max} - S^i_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}).$$

Выдача команд обновления кодов смещения в регистрах МЭС определяется управляющей программой РФП и предшествует командам вывода следующих полос изображения, если изменение температуры во время вывода текущей полосы привело к изменению рассчитываемого значения  $S^i_t$ .

Использование последней формулы позволяет также провести вывод тестов для определения кодов смещения в нестабильных температурных условиях. С этой целью после измерения перекрытий или зазоров между фрагментами для двух тестов, полученных при разных температурах, вычисляется коэффициент

$$(S^i_{\max} - S^i_{\min}) / (t_{\max} - t_{\min}).$$

Причем используются только соседние фрагменты, один из которых является базовым. Расчетное значение сразу может быть использовано для подстановки в формулу при ее переменной составляющей и корректировки кодов смещения в каждом испытательном или контрольном тесте при разных температурах.

**Закключение.** Представлена система прецизионной развертки и записи с использованием LED-технологии растровых изображений, отвечающих качеству фотоформ цветной полиграфической печати. Разработаны алгоритмы цифрового управления и методики настройки системы, которыми обеспечивается высокая заданная точность вывода изображения при изменениях в широком диапазоне температур опто-механической конструкции устройства РФП на базе нескольких светодиодноматричных модулей МЭС. Достижимая при этом на изображениях формата А1 с разрешением 2540 dpi межэлементная погрешность менее 2 мкм обеспечивает стабильность размеров растровой точки и отсутствие градационных искажений.

## Литература

1. Днепро́вский, Е. В. LED-технологии для фоторегистрации изображений / Е. В. Днепро́вский, В. К. Еро́ховец, В. В. Ткаченко // Лазерная физика и оптические технологии: материалы VII Междунар. науч. конф., Минск, 17–19 июня 2008 г. – Минск, 2008. – Т. I. – С. 403–406.
2. Ткаченко, В. В. Физико-технологические особенности светодиодного модуля фоторегистрации изображений / В. В. Ткаченко, В. К. Еро́ховец // Лазерная физика и оптические технологии: материалы VI Междунар. конф., Гродно, 25–29 сент. 2006 г. – Гродно, 2006. – Ч. 2. – С. 321–323.

Поступила 22.12.2008.