

УДК 681.883.7

О.В. Максимова, С.В. Мойсеенко, С.М. Максимов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИНДИКАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Максимова Оксана Вадимовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и технология электронных средств» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи, монографии в области оптоэлектроники и СВЧ-техники. [e-mail: first32007@yandex.ru].

Мойсеенко Сергей Владимирович, окончил Российский университет дружбы народов, аспирант кафедры «Кибернетика и мехатроника» РУДН. Имеет статьи в области автоматизации измерений параметров жидкокристаллических структур. [e-mail: cormorant.xiii@gmail.com].

Максимов Сергей Михайлович, окончил УлГТУ по специальности «Проектирование и технология электронных средств», аспирант кафедры «Проектирование и технология электронных средств» УлГТУ. Имеет статьи в области оптоэлектроники. [e-mail: maximovsm@yandex.ru].

Аннотация

В настоящее время уже невозможно представить электронное устройство без эргономичного средства отображения информации. Для разработки современных и перспективных средств отображения информации необходимо постоянно исследовать новые материалы и конструкции индикаторов, а также их параметры. Изучение таких структур является комплексной задачей и требует значительного труда исследователей и разработчиков. Поэтому развитие автоматизированных способов измерения параметров дисплеев является актуальной задачей, так как позволяет ускорить процесс поиска новых материалов и конструкций с оптимальными параметрами. Сотрудниками Ульяновского государственного технического университета совместно с учеными Российского университета дружбы народов были проведены исследования методов и средств измерения основных параметров жидкокристаллических структур и тонкопленочных электролюминесцентных излучателей. Результатом совместной работы стали идеи формирования концептуальных подходов к разработке автоматизированных систем измерения светотехнических параметров наноструктурированных индикаторных элементов.

Ключевые слова: тонкопленочный индикатор, яркость, светоотдача, жидкие кристаллы, автоматизация, формализация, измерения, электролюминесценция.

MEASUREMENT PROCESS OF AUTOMATION OF NANOSTRUCTURED INDICATORS LIGHTNING CHARACTERISTICS

Oksana Vadimovna Maksimova, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Electronic Instrumentation Design and Technology of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles and monographs in the field of optoelectronic and microwave engineering. e-mail: first32007@yandex.ru.

Sergei Vladimirovich Moiseenko, graduated from Peoples' Friendship University of Russia; a post-graduate student at the Department of Cybernetics and Mechatronics of Peoples' Friendship University of Russia; an author of articles in the field of liquid-crystal characteristics measurement. e-mail: cormorant.xiii@gmail.com.

Sergei Mikhailovich Maksimov, graduated from Ulyanovsk State Technical University with the specialty in Design and Technology of Electronic Instrumentation; a post-graduate student at the Department of Design and Technology of Electronic Instrumentation of Ulyanovsk State Technical University; an author of articles in the field of optoelectronics. e-mail: maximovsm@yandex.ru.

Abstract

It is now impossible to imagine an electronic device without the ergonomic display. For the development of modern and advanced display products need to constantly explore new materials and construction of indicators, as well as their parameters. The study of such structures is a complex task and requires significant research and development work. Therefore, the development of automated methods for measuring the parameters of the displays is an important task as it allows to accelerate the search for new materials and structures with the optimal settings. Employees of Ulyanovsk State Technical

University together with scientists from the Russian Peoples' Friendship University were investigated methods of measuring devices basic parameters of liquid crystal structures and thin-film electroluminescent emitters. The joint work began forming ideas of conceptual approaches to the development of automated systems for measuring parameters of nanostructured lighting indicator elements.

Key words: thin-film indicator, brightness, luminous efficiency, liquid crystals, automation, formalization, measurements, electroluminescence.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с развитием современных средств отображения информации интерес представляют индикаторные устройства с параметрами и характеристиками, удовлетворяющими как общим требованиям, так и специфическим. Индикаторами оснащено почти все современное оборудование. Оптимизация качества изображения и увеличение быстродействия дисплея необходимо нам в быту для сохранения зрения, а повышение показателей надежности и постоянное усовершенствование функциональных параметров дисплеев является неотъемлемым условием при разработке индикаторных устройств специального назначения. Конечные пользователи индикаторной техники особый интерес проявляют к качеству изображения, формируемому дисплеем, а основной задачей разработчиков индикаторной техники представляется сохранение баланса между эффективными конструкциями индикаторов с оптимальными характеристиками и показателями надежности средств отображения информации, что не всегда удается достичь в одной излучательной структуре. В настоящий момент все средства отображения информации можно разделить на два крупных класса: устройства специального назначения и массового пользования. На современных рыночных площадках сформировался крупный сектор бытовых и специальных жидкокристаллических дисплеев, но европейские и азиатские исследователи проводят работы по получению конструкций индикаторов с более жесткими требованиями к их эксплуатационным характеристикам. На рынке в этом сегменте особый интерес представляют тонкопленочные электролюминесцентные индикаторы, исследованиями и разработками которых активно занимаются европейская компания Planar и азиатская корпорация BenQ. На сегодняшний день определены основные параметры как жидкокристаллических индикаторов, так и тонкопленочных электролюминесцентных структур [1–3], но актуальными остаются вопросы оптимизации светотехнических характеристик, повышения надежности устройств, увеличения угла обзора, уменьшения массогабаритных размеров и обеспечения радиационной стойкости современных дисплеев. В связи с этим исследование вышеуказанных аспектов является перспективным и значимым в современной оптоэлектронике.

Хотя в настоящее время значительную часть производства занимают жидкокристаллические индикаторы, достигнутые успехи в исследованиях сделали вполне реальными перспективы создания высокоэффективных, стабильных, многоцветных излучателей на основе тонкопленочных структур [4].

Популярность разработки дисплеев на основе жидких кристаллов обусловлена тем, что экраны данной технологии имеют большую разрешающую способность.

Жидкокристаллические дисплеи смогли вытеснить с рынка плазменные панели благодаря разработке технологии производства индикаторов высокого разрешения с малым энергопотреблением. Несмотря на высокие электрические и светотехнические показатели, низкая разрешающая способность электролюминесцентных индикаторов не позволяет им занять лидирующее место на рынке современных информационных дисплеев.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что, несмотря на широкое распространение жидкокристаллических дисплеев, они не удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к индикаторной технике специального назначения, уступают по светотехническим и конструкторско-технологическим параметрам тонкопленочным электролюминесцентным индикаторам. Перспективы же развития пленочных источников излучения связаны прежде всего с решением проблемы низкой разрешающей способности устройств.

Существенным недостатком тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов является необходимость управления переменным напряжением высокой амплитуды, однако в настоящее время разработаны высокоэффективные конвертеры напряжения, позволяющие преобразовывать низковольтное постоянное напряжение в переменное с высоким амплитудным значением [5, 6].

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что существуют проблемы создания средств отображения информации на основе жидкокристаллических структур и тонкопленочных электролюминесцентных элементов. Анализ современной ситуации в данной области привел к совместным исследованиям сотрудников Ульяновского государственного технического университета и Российского университета дружбы народов.

Процесс исследования основных параметров индикаторных устройств является комбинаторным, следовательно, трудоемким. Интересными являются задачи поиска универсальных алгоритмов исследования различных характеристик индикаторных устройств, в целях разработки методик для создания в дальнейшем аппаратно-программного автоматизированного исследовательского комплекса для измерения параметров и построения моделей наноструктурированных средств отображения информации.

1 РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К ФОРМИРОВАНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПАРАМЕТРОВ ИНДИКАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Общим термином, охватывающим процессы разработки индикаторных устройств от первичных этапов исследования до их массового производства, можно считать комплексный подход к задаче автоматизации.

При разработке автоматизированной системы измерения параметров индикаторных элементов преследуется достижение ряда основных целей:

1. Создание эффективных и полных моделей элементов индикаторных устройств;
2. Обеспечение качества эксперимента и точности измерения;
3. Определение формализуемых процессов измерения;
4. Формирование научных результатов, достижение которых невозможно без использования средств автоматизации;
5. Снижение сроков и трудоемкости научных исследований;
6. Разработка универсальных подходов к созданию методик и средств измерения основных функциональных параметров индикаторных элементов независимо от их структуры и конструкции.

На ранних этапах исследования были разработаны системы автоматизации проектирования средств отображения информации, программы расчета различных параметров индикаторов и сформулированы требования к автоматизированным системам управления технологическими процессами производства [1, 2, 4, 5].

В ходе проведенных исследовательских работ в области проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств [7–10] были выделены следующие этапы их проектирования:

1. Составление технического задания на проектирование тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов;
2. Определение структуры и организации тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов;
3. Определение электрических и конструктивных параметров элементов, komponующих устройство;
4. Коррекция структуры и оценка спроектированного индикатора.

Приведенные обобщенные этапы проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов можно отнести и к процессам разработки жидкокристаллических систем.

Исходя из этих аналогий, был сделан вывод о том, что является возможным разработать такую концептуальную методику автоматизации измерения параметров индикаторных устройств, которая позволит сформировать алгоритмы автоматизации исследования как жидкокристаллических, так тонкопленочных электролюминесцентных элементов.

В результате анализа современных систем измерений были сформулированы подходы к созданию измеритель-

ной системы, способной обеспечить:

- проведение физического эксперимента с использованием натуральных образцов индикаторных элементов;
- высокую достоверность, наглядность и информативность измерительных данных;
- надежность хранения и передачи измерительной информации;
- высокую скорость обработки результатов измерений и представления отчетов;
- простоту в эксплуатации и обучении персонала;
- масштабируемость и возможность расширения функциональности системы в целях обеспечения работы с перспективными образцами индикаторных элементов.

Анализ вышеназванных требований к измерительной системе позволил выделить общие для жидкокристаллических и тонкопленочных электролюминесцентных элементов формализуемые этапы исследовательских процессов:

1. Определение конструкции и параметра индикаторного элемента для проведения измерений (определение объекта и предмета исследования);
2. Выбор методики исследования параметров индикаторов;
3. Формирование аппаратного решения для проведения физического эксперимента;
4. Обеспечение передачи данных на персональный компьютер;
5. Обработка и хранение результатов измерений.

Учитывая приведенные формализуемые этапы проведения измерений, при наличии банка данных конструкций, параметров индикаторных элементов, методов измерения и перечня измерительных инструментов можно разработать автоматизированную систему подготовки эксперимента. Модули, входящие в программный комплекс передачи, обработки и хранения результатов измерений, разрабатываются в зависимости от вида выходных экспериментальных данных (графики, числовые массивы данных, численные значения параметров индикаторов).

Технологической задачей разработки любого метода исследований является скорость и простота измерений, что может обеспечиваться автоматизацией управления параметрами измерительного процесса и автоматизацией регистрации результатов измерений. При этом может использоваться комбинация различных методик измерения в одной установке.

2 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯ СВОТТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Для анализа методов и средств автоматизации измерения параметров индикаторных устройств был предложен аппаратно-программный комплекс для исследования пропускания света жидкокристаллической ячейкой в зависимости от угла преднаклона.

Измерение угла преднаклона проводилось методом вращения жидкокристаллической ячейки относительно оси перпендикулярной оптической оси системы.

На рисунке 1 представлена схема установки. Ячейка, состоящая из двух стеклянных подложек, натертых антипараллельно друг относительно друга, располагается на оси вращения, поверхностью перпендикулярно световому лучу, между скрещенными поляризаторами, которые составляют углы с осью вращения по 45° . Ячейка может вращаться вокруг оси, параллельной поверхности и перпендикулярной направлению натирания. Луч лазера и ось вращения пересекаются. Поворачивая ячейку на различные углы, измеряется пропускание света. Основы метода разработаны в [11–14].



Рис. 1. Схема установки с вращением ячейки по оси, параллельной лучу лазера

Фазовая задержка светового луча, прошедшего через ячейку при угле поворота ячейки ψ может быть представлена как:

$$\delta(\alpha, \psi) = \frac{2\pi}{\lambda} * d * f(\alpha, \psi), \quad (1)$$

где d – толщина зазора, жидкокристаллического слоя;

λ – длина волны света;

$f(\alpha, \psi)$ – функция угла преднаклона жидкокристаллической ячейки $\alpha = 90^\circ - \theta$ и угла поворота ячейки ψ , определяемого как угол между падающим световым лучом и направлением нормали к поверхности ячейки, $f(\alpha, \psi)$ выражается как:

$$f(\alpha, \psi) = \frac{1}{c^2} (a^2 - b^2) * \sin \alpha * \cos \alpha * \sin \psi + \frac{1}{c} \sqrt{\left(1 - \frac{a^2 b^2}{c^2} * \sin^2 \psi\right)} - \frac{1}{b} \sqrt{\left(1 - b^2 * \sin^2 \psi\right)}, \quad (2)$$

$$a = \frac{1}{n_1}; \quad b = \frac{1}{n_2};$$

$$c^2 = a^2 * \cos^2 \alpha + b^2 * \sin^2 \alpha,$$

где n_1 – показатель преломления жидкого кристалла для необыкновенного луча;

n_2 – показатель преломления жидкого кристалла для обыкновенного луча.

Система поляризаторов позволяет выявлять различия в фазовой задержке, регистрируя различные значения пропускания. Для приведенной системы пропускание можно найти по формуле:

$$T(\psi) = \frac{1}{2} \sin^2 \left\{ \frac{1}{2} * \delta(\psi) \right\}. \quad (3)$$

Чтобы измерить угол подвеса, необходимо:

- экспериментально получить кривую зависимости

пропускания T от угла поворота жидкокристаллической ячейки;

- построить теоретическую кривую по формулам (1), (2), (3);

- варьированием значений угла преднаклона и толщины совместить теоретическую кривую с экспериментальной кривой.

Проводя эксперимент, был использован электронный осциллограф, с возможностью сохранения полученных данных в файлах, совместимых с программным пакетом MatLAB, а также другими программными пакетами. Для обработки данных был выбран программный пакет MatLAB, исходя из особенностей необходимых преобразований и удобства использования данного программного пакета. Осциллограф при этом сохраняет массивы данных в файлах с расширением *.txt

Были рассмотрены выходные данные, полученные при проведении опыта, который показывает пропускание света жидкокристаллической ячейкой в зависимости от угла преднаклона. Опыт проводился на примере жидкокристаллической твист-ячейки № 2727. На рисунке 2 показан экспериментальный стенд, который представляет собой программно-аппаратный комплекс.

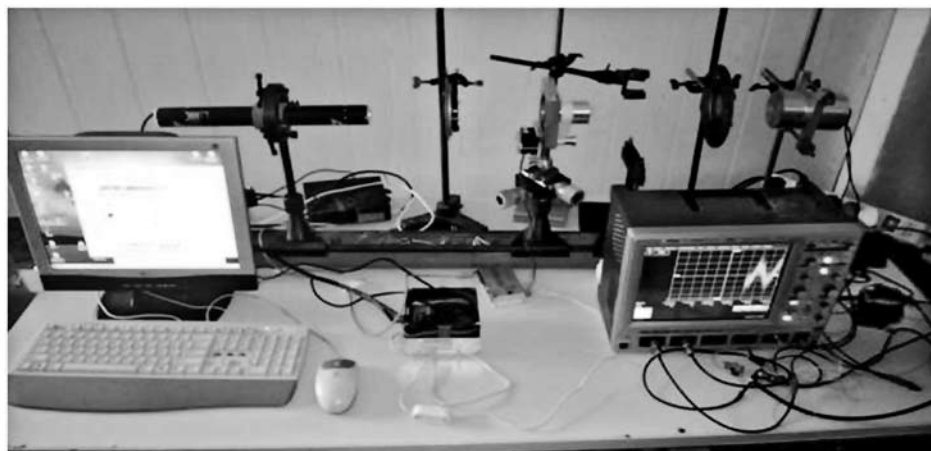


Рис. 2. Экспериментальный стенд

На рисунке 3 показано пропускание света в зависимости от времени, график построен из массива 100 000 значений, на нем изображено примерно 2,5 полных оборота ячейки на 360°. Стоит отметить, что опыт проводился на протяжении 3,3 минут для получения наилучших результатов.

Используя программный пакет MatLAB, происходит преобразование массива входных данных. Из общего массива данных был выделен один оборот ячейки на 360°, при этом отмечено, что массив данных сокращается со 100000 значений до 37500 значений на один полный оборот. Таким образом, график полного оборота на 360° будет состоять из двух локальных максимумов и двух локальных минимумов, что свойственно жидкокристаллическим твист-ячейкам. Фотоприемник регистрирует изменение интенсивности светового пучка, проходящего через твистованный жидкий кристалл, данная величина в эксперименте динамически изменяется от 0 до 0,18 мВ, что также видно на рисунке 4.

Массивы данных, из которых строится график, изображенный на рисунке 4, сохранены в файлах «TN1.txt» (ось X) и «TN2.txt» (ось Y). В программном пакете MatLAB был создан M-файл, который строит график функции из полученных значений. Название M-файла «Opyt_1.m», содержимое M-файла приведено ниже.

```
X = dlmread ('TYR1.txt', ',');% Присваиваем, координате X
данные из файла TYR1.txt
Y = dlmread ('TYR2.txt', ',');% Присваиваем, координате Y
данные из файла TYR2.txt
XY = axes;%Определяем оси
plot(X, Y, 'DisplayName', 'Y vs X', 'XDataSource', 'X',
'YDataSource', 'Y'); figure(gcf);%Строим график
set(XY, 'XTick', [7.5 25.374 43.248 62.874 82.5]);%Присваиваем,
к каким строкам будет привязываться разбивка оси X
set(XY, 'YTick', [0 0.08512 0.15]);%Привязываем, к каким
строкам будет привязываться разбивка на оси Y
set(XY, 'XTickLabel', {'0°'; '90°'; '180°'; '270°'; '360°';});%значение
разбивки оси X
set(XY, 'YTickLabel', {'min=0 mV'; 'middle=0,075 mV';
'max=0,15 mV';});%Значение разбивки оси Y
set(XY, 'XGrid', 'on')%Строить разбивку оси X
set(XY, 'YGrid', 'on')%Строить разбивку оси Y
xlabel('Угол поворота')
ylabel('Интенсивность')
title ('Пропускание света в опыте с вращением ячейки по
оси, параллельной лучу лазера')
```

В результате исполнения файла мы получаем представленный на рисунке 5 график пропускания света жидкокристаллической твист-ячейкой № 2727 в зависимости от угла поворота по оси вращения, симметричной лучу лазера.

Для автоматизации процессов передачи и хранения результатов измерения было разработано программное обеспечение, позволяющее передавать и сохранять полученные данные в файлах, совместимых с программным макетом MatLAB, и графически моделировать зависимость

пропускания света от угла поворота ячейки, исходя из основных параметров кристалла для систем с различной ориентацией ячейки.

Для образцов жидкокристаллических ячеек различного типа ориентации смоделировано пропускание света в зависимости от угла поворота ячейки; эти данные сопоставлены с экспериментальными результатами и на их основе определены значения параметров взаимодействия жидких кристаллов с поверхностью ориентирующего слоя.

Была проведена апробация разработанной программы, которая позволила сделать вывод о том, что теоретически полученная кривая пропускания света количественно и качественно соответствует экспериментальной кривой.

3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для создания аппаратно-программного измерительного комплекса светотехнических параметров тонкопленочных электролюминесцентных элементов индикаторных устройств необходимо разработать подходы к формированию методов, средств и систем передачи, обработки и хранения результатов измерения.

Был проведен анализ методики исследования светотехнических параметров жидкокристаллических ячеек и выделены следующие процедуры автоматизации измерений:

- разработка схемы с автоматическим управлением параметрами исследования (автоматическое изменение направления поворота жидкокристаллической ячейки);
- применение инструмента измерения (осциллографа) с возможностью передачи результатов исследования в автоматизированном режиме на персональный компьютер;
- создание программного обеспечения передачи и регистрации результатов экспериментов;
- получение графиков, необходимых для определения светотехнических параметров жидкокристаллических ячеек различных типов ориентации.

Вышеуказанные подходы и процедуры применимы для создания аппаратно-программного комплекса измерения светотехнических параметров тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных элементов. В результате анализа методов и средств исследования светотехнических параметров для измерения яркости тонкопленочных электролюминесцентных структур были выполнены следующие процедуры:

- разработана схема с автоматическим управлением амплитудным напряжением и частотой для измерения яркости при различных формах управляющего напряжения;
- определены приборы для измерения яркости – спектрометры, колориметры с интерфейсами для современных персональных компьютеров;
- разработано программное обеспечение «Автоматизированная система научных исследований тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств

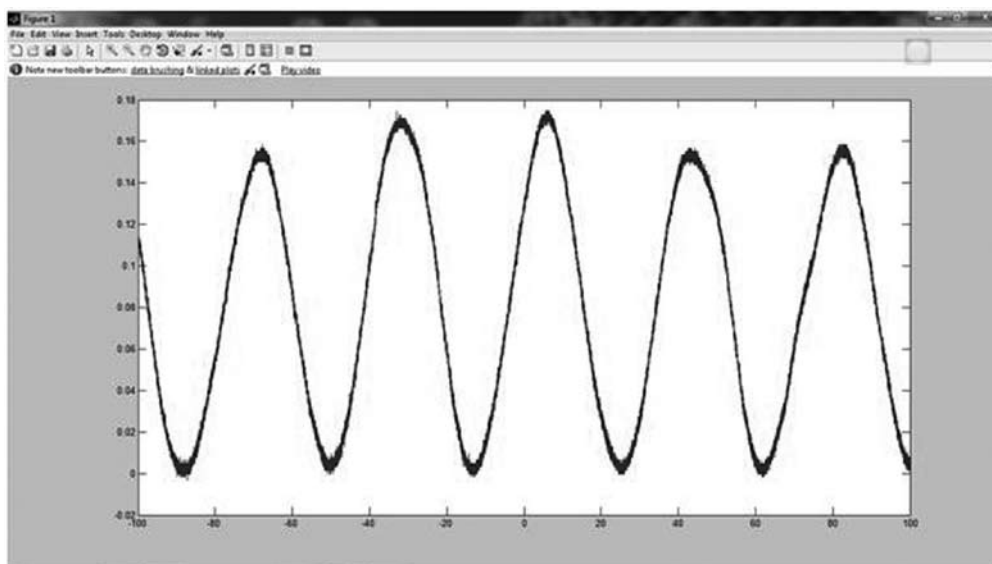


Рис. 3. График зависимости пропускания света от времени

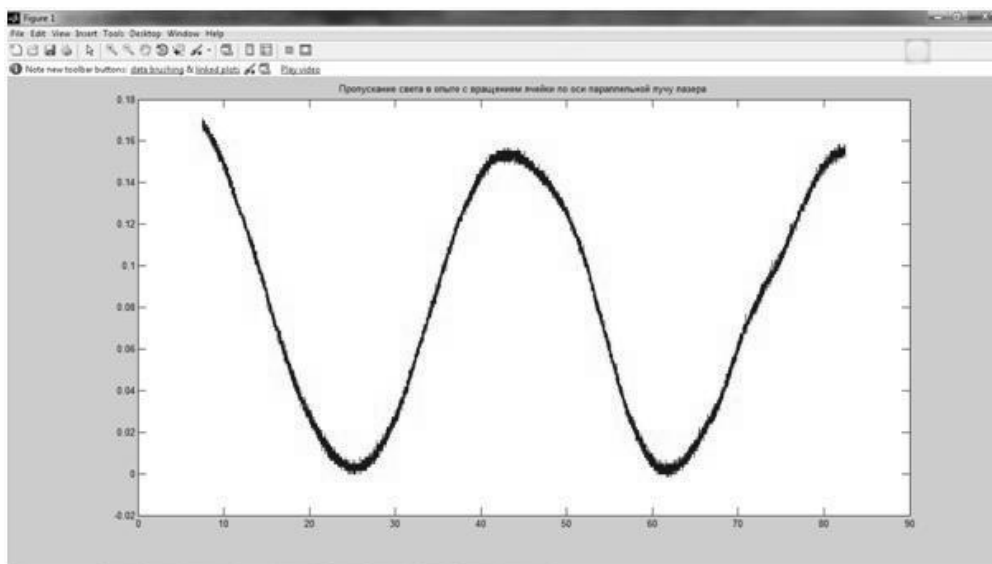


Рис. 4. График зависимости пропускания света твист-ячейкой от времени. Оборот 360°

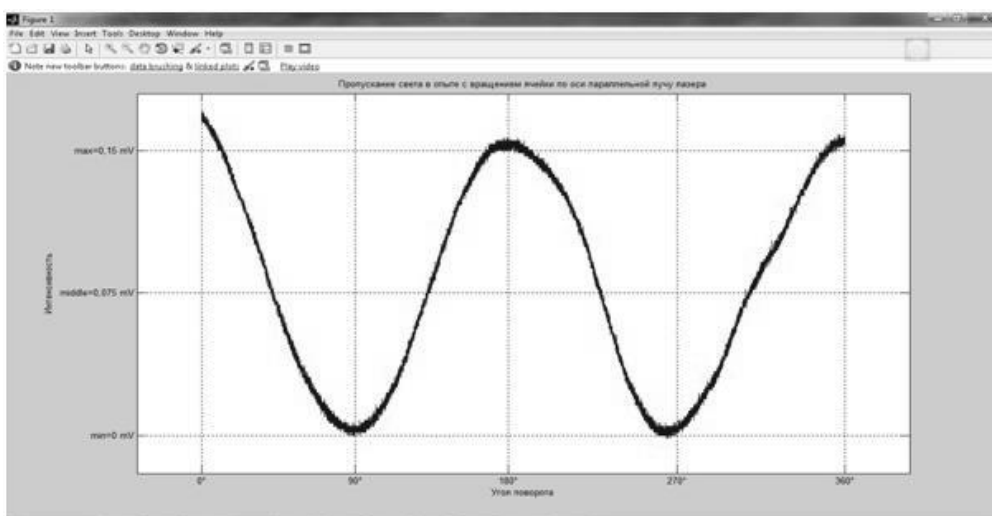


Рис. 5. Практический результат опыта с вращением кристалла по оси, параллельной оси луча лазера

(АСНИ ТПЭЛИ)» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610067 10.01.2012 г.), которая позволяет обрабатывать результаты эксперимента и хранить их в пополняемой базе данных. В случае применения математических автоматизированных систем (MathCAD, MatLAB) достоинством является их универсальность и гибкость расчета, так как позволяет вносить коррективы в системы уравнений, участвующих в расчете, в то время как готовый программный модуль может быть изменен только программистом с большими затратами времени и недоступен исследователю для внесения коррективов в процесс моделирования. Математические автоматизированные системы имеют ряд ограничений: они обусловлены заложенными алгоритмами решения, имеют пределы по сложности решаемых уравнений. Однако ввиду их гибкости и скорости, они являются наиболее оптимальным вариантом для решения уравнений. В случае, когда решение не может быть найдено существующими программами или не является объективным, возникает необходимость в специальном программном обеспечении [10];

- разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать зависимость яркости от напряжения и формировать вольт-яркостную характеристику тонкопленочных электролюминесцентных элементов «Автоматизированная система анализа вольт-яркостной характеристики тонкопленочных электролюминесцентных структур» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610262 12.01.2015 г.).

Все вышеуказанные инструменты для автоматизированного измерения яркости в настоящий момент являются отдельными компонентами измерительной системы. Для создания аппаратно-программного комплекса исследования светотехнических характеристик необходимо разработать интегрированные программные модули, позволяющие в автоматизированном режиме обеспечивать непрерывную передачу результатов эксперимента от одного компонента измерительного комплекса к другому.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования в области автоматизации процессов измерения светотехнических характеристик наноструктурированных индикаторных устройств позволили выделить следующие результаты:

1. Сформулированы требования к измерительным системам индикаторных элементов;
2. Определены формализуемые этапы исследования параметров индикаторов;
3. Разработаны методы проведения измерений светотехнических параметров жидкокристаллических и тонкопленочных электролюминесцентных элементов;
4. Выявлены общие подходы к процедурам измерения светотехнических характеристик жидкокристаллических и тонкопленочных электролюминесцентных элементов.

Также было отмечено, что во второй части статьи представлены средства автоматизации только третьего, четвертого и пятого формализуемых этапов исследователь-

ских процессов, которые выделены в первой части данной статьи. Этот аспект позволяет продолжить разработки в области создания аппаратно-программных комплексов и автоматизированных систем научных исследований наноструктурированных средств отображения информации на основе жидкокристаллических элементов и тонкопленочных электролюминесцентных излучателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова О.В., Самохвалов М.К. Разработка методов анализа и синтеза тонкопленочных электролюминесцентных элементов в индикаторных устройствах. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 101 с.
2. Самохвалов М.К., Максимова О.В. Разработка алгоритмов проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2008. – № 1 (21). – С. 99–106.
3. Максимова О.В., Максимов С.М., Самохвалов М.К. Анализ процессов проектирования и технологии наноструктурированных тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств // Вестник МГОУ. Сер. Физика – Математика. – 2013. – № 3. – С. 74–77.
4. Максимова О.В., Самохвалов М.К. Математическое обеспечение САПР тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов при решении задач синтеза конструкций // Вестник МГОУ. Сер. Физика – Математика. – 2012. – № 1. – С. 77–85.
5. Максимова О.В., Самохвалов М.К. Исследование процессов проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов для автоматизации расчетов их функциональных характеристик // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2011. – № 10 (36). – С. 99–104.
6. Максимова О.В., Самохвалов М.К. Исследование влияния конструктивных параметров тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов на режимы их работы для формирования математического обеспечения // Вестник МГОУ. Сер. Физика – Математика. – 2012. – № 1. – С. 85–92.
7. Евсевичев Д.А., Максимова О.В., Самохвалов М.К. Автоматизированная система технологической подготовки производства тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств TFEL DDS // Автоматизация в промышленности. – 2013. – № 9. – С. 39–42.
8. Максимова О.В., Евсевичев Д.А. САПР тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов // Вестник МГОУ. Сер. Физика – Математика. – 2012. – № 2. – С. 131–135.
9. Евсевичев Д.А., Максимова О.В., Самохвалов М.К. Решение задач автоматизированного проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3 (33). – С. 69–75.
10. Максимова О.В., Максимов С.М., Самохвалов М.К. Задачи автоматизации моделирования яркости и свето-

отдачи тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 2 (36). – С. 98–105.

11. Physical Properties of Liquid Crystals, Editors: G.W. Gray, V. Vill, H.W. Spiess, D. Demus, J.W. Goodby, Wiley-VCH, New-York, 2009. 522 p.

12. Physical Properties of Liquid Crystals, EMIS Data Review Series, vol. 1, Nematics, ed. D.A. Dunmur, A. Fukuda and G. R. Luckhurst, 2000.

13. Belyaev V.V. Viscosity of Nematic Liquid Crystals. // Hardcover, Cambridge International Science Publishing Ltd. (2009), 238 p.

14. Belyaev V.V. Physical methods for measuring the viscosity coefficients of nematic liquid crystals, Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences, V. 44, pp.255–284 (2001).

15. J. Cognard Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures, Molecular Crystals and Liquid Crystals. Suppl. 1. – London : (Gordon and Breach, 1982) – 78p.

REFERENCES

1. Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Razrabotka metodov analiza i sinteza tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh elementov v indikatornykh ustroystvakh* [Development of Methods for Analysis and Synthesis of Thin-Film Electroluminescence Element in Display Devices], Ulyanovsk, ULSTU Publ., 2010. 101 p.

2. Samokhvalov M.K., Maksimova O.V. *Razrabotka algoritmov proektirovaniia tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatornykh ustroystv* [Design of the Algorithm for Thin-Film Electroluminescence Display Devices Development]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Tekhnicheskie nauki* [Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series], 2008, no. 1 (21), pp. 99–106.

3. Maksimova O.V., Maksimov S.M., Samokhvalov M.K. *Analiz protsessov proektirovaniia i tekhnologii nanostrukturirovannykh tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatornykh ustroystv* [The Analysis of Processes of Design and Technology of Nanostructured Thin-Film Electroluminescence Display Devices]. *Vestnik MGOU. Ser. Fizika – Matematika* [Bulletin MSRU. Physics and Mathematics Series], 2013, no. 3, pp. 74–77.

4. Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Matematicheskoe obespechenie SAPR tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatorov pri reshenii zadach sinteza konstruksii*. [The Mathematical Tools for Solving the Synthesis Problem of CAD Thin-Film Electroluminescence Indicator] *Vestnik MGOU. Ser. Fizika – Matematika* [Bulletin MSRU. Physics and Mathematics Series], 2012, no. 1, pp. 77–85.

5. Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Issledovanie protsessov proektirovaniia tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatorov dlia avtomatizatsii raschetov ikh funktsionalnykh kharakteristik* [Research on the Processes of Design of Thin-Film Electroluminescent Indicators for the Calculi Automation of Performance Characteristics]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta*

(*tekhnicheskogo universiteta*) [Bulletin of the St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University)], 2011, no. 10 (36), pp. 99–104.

6. Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Issledovanie vliianiia konstruktivnykh parametrov tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatorov na rezhimy ikh raboty dlia formirovaniia matematicheskogo obespecheniia* [The Investigation of the Effect of Design Parameters of Thin-Film Electroluminescent Indicators of Modes of Operation for the Development of Software of the CAD System]. *Vestnik MGOU. Ser. Fizika – Matematika* [Bulletin MSRU. Physics and Mathematics Series], 2012, no. 1, pp. 85–92.

7. Evsevichev D.A., Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Avtomatizirovannaia sistema tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatornykh ustroystv TFEL DDS* [Automated Systems of the Preproduction Design of the Thin-Film Electroluminescent Indicators of TFEL DDS Units]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti* [Automation in Industry], 2013, no. 9, pp. 39–42.

8. Maksimova O.V., Evsevichev D.A. *SAPR tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatorov* [CAD for Thin-Film Electroluminescence Indicators]. *Vestnik MGOU. Ser. Fizika – Matematika* [Bulletin MSRU. Physics and Mathematics Series], 2012, no. 2, pp. 131–135.

9. Evsevichev D.A., Maksimova O.V., Samokhvalov M.K. *Reshenie zadach avtomatizirovannogo proektirovaniia tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh indikatorov* [A Solution of Computer-Aided Design of the Thin-Film Electroluminescent Indicators]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2013, no. 3 (33), pp. 69–75.

10. Maksimova O.V., Maksimov S.M., Samokhvalov M.K. *Zadachi avtomatizatsii modelirovaniia iarkosti i svetootdachi tonkoplenochnykh elektroluminescentnykh kondensatorov* [Tasks of Modeling Automation of Brightness and Luminous Efficiency of Thin-Film Electroluminescent Capacitors]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2014, no. 2 (36), pp. 98–105.

11. *Physical Properties of Liquid Crystals*. Editors: G.W. Gray, V. Vill, H.W. Spiess, D. Demus, J.W. Goodby, Wiley-VCH, New-York, 2009. 522 p.

12. Physical Properties of Liquid Crystals. *EMIS Data Review Series*, vol. 1, Nematics, ed. D.A. Dunmur, A. Fukuda and G. R. Luckhurst, 2000.

13. Belyaev V.V. *Viscosity of Nematic Liquid Crystals*. Hardcover, Cambridge International Science Publishing Ltd (2009), 238 p.

14. Belyaev V.V. *Physical Methods for Measuring the Viscosity Coefficients of Nematic Liquid Crystals*, Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences, Vol. 44, pp.255–284 (2001).

15. J. Cognard *Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures, Molecular Crystals and Liquid Crystals*. Suppl. 1 London, Gordon and Breach Publ. 1982. 78 p.