

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ УГЛА НАКЛОНА И АЗИМУТАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

В.В. Беляев, С.В. Мойсеенко (Российский университет дружбы народов)

Разработана модель автоматизированной системы измерения угла преднаклона и азимутальной энергии сцепления в ЖК ячейках. Создана автоматизированная система с возможностью внешнего управления параметрами измерения. Разработано программное обеспечение для управления системой, сбора, преобразования и анализа данных измерений и сопоставления экспериментальных и теоретических результатов¹.

Ключевые слова: автоматизированный комплекс, жидкий кристалл, ЖК, угол преднаклона, азимутальная энергия сцепления.

Введение и постановка задачи

Для повышения качества изображения новых жидкокристаллических (ЖК) дисплеев необходимо знать физические свойства ЖК и их зависимость от управляющих воздействий и термодинамических параметров. Измерение этих характеристик с высокой точностью требует разработки новых методик с учетом анизотропии практически всех свойств ЖК. Для объемных свойств ЖК (упругость, вязкость, диэлектрические и оптические параметры и др.) эти методики разработаны [1–2]. Процесс измерения параметров взаимодействия жидких кристаллов с поверхностью ориентирующего слоя ЖК ячейки является более трудоемким, так как результаты измерений зависят не только от свойств ЖК, но и структуры, и метода подготовки ориентирующего слоя. К этим характеристикам можно отнести поверхностное натяжение с полярной и дисперсионной компонентами, энергию сцепления ЖК с подложкой (полярная и азимутальная составляющие), угол преднаклона ЖК на поверхности подложки, поверхностную вязкость [3].

Наиболее важными для практического применения из них являются полярная и азимутальная энергия сцепления ЖК с подложкой (W_θ и W_ϕ , соответственно) и θ — угол преднаклона ЖК. Их измерение осуществляется рядом способов, описанных в [4–7]. Для измерения угла наклона в [4–6] используется метод поворота ЖК элемента. При этом измеряется средний угол наклона ЖК. В [7] разработаны методы измерения полярной энергии сцепления по изменению емкости ячейки или разности фазовой задержки между необыкновенным и обыкновенным лучами, распространяющимися в ячейке, при значительной деформации слоя ЖК под действием приложенного напряжения. В этих измерениях используются ЖК элементы, в которых деформация директора ЖК (преимущественное направление ориентации ЖК) во всем объеме слоя ЖК происходит в одной плоскости. Это изменение ориентации ЖК внутри ячейки соответствует де-

формации поперечного или продольного изгиба (splay или S и bend или B соответственно). Методы измерения азимутальной энергии сцепления, основанные на измерении угла поворота поляризации света, проходящего через твист-ячейку, предложены в [7]. Теоретические основы этого метода заложены в [8]. Методы и установки, в которых комбинируется измерение различных перечисленных параметров, описаны в [7].

В [9] показано, что в ячейках с неоднородным распределением директора ЖК и произвольными углами преднаклона наблюдается более сложная связь между величиной разности фазовой задержки и углом преднаклона, чем в однородно ориентированных ячейках. Поэтому измерения, выполняемые по методам [4–7], могут не давать полной информации по углу преднаклона на поверхности ориентирующего слоя. Это существенно при разработке новых ориентирующих ЖК покрытий с углом преднаклона в большом диапазоне, например, на основе кремнийорганических соединений [10].

Поэтому актуальной проблемой является разработка методов, обеспечивающих как точность и воспроизводимость результатов измерений, так и их физическую обоснованность. Технологической задачей разработки метода исследований является скорость и простота измерений, что может обеспечиваться автоматизацией управления параметрами измерительного процесса и регистрацией результатов измерений. При этом может использоваться комбинация

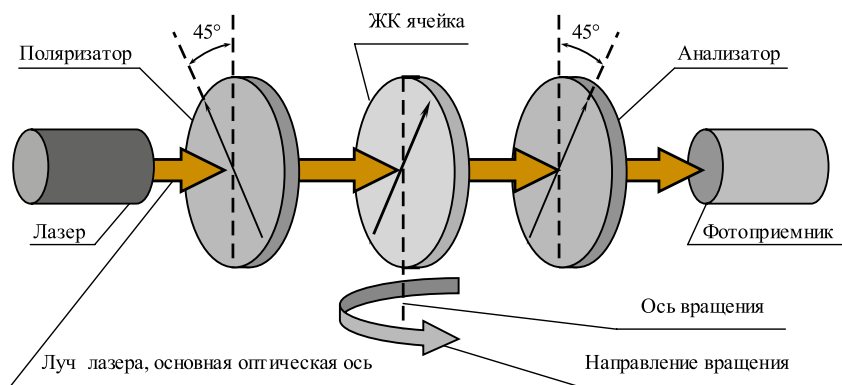


Рис. 1. Схема определения величины поверхностного угла наклона

¹ Работа выполнена при поддержке организации "Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" грант (УМНИК Московская область №9640ГУ/2015 (код 0021118) от 01.02.2016).

различных методик измерения в одной установке. В конечном счете это позволяет ускорить процесс поиска новых материалов для ЖК дисплеев, достичь более точного измерения их характеристик и снижения стоимости конечных изделий.

Целью работы является создание автоматизированного комплекса исследований элементов ЖК дисплеев, включая:

1) разработку модели автоматизированной системы измерения угла преднаклона и азимутальной энергии сцепления в ЖК ячейках;

2) реализацию автоматизированной системы с возможностью внешнего управления параметрами измерения;

3) разработку ПО для управления системой, сбора, преобразования и анализа данных измерений и сопоставления экспериментальных и теоретических результатов.

Физическая модель измерения поверхностного угла наклона

Для определения величины поверхностного угла наклона используют метод измерения пропускания света в зависимости от угла поворота ЖК ячейки вокруг оси, перпендикулярной к направлению распространения светового пучка. Основы метода разработаны в [1–2].

Схема измерения показана на рис. 1. Ячейка, состоящая из двух стеклянных подложек с ориентирующими покрытиями на внутренних сторонах, натертыми антипараллельно друг относительно друга, располагается на оси вращения. Поверхность ячейки перпендикулярна световому лучу между скрещенными поляризаторами, которые составляют углы с осью вращения по 45° . Ячейка может вращаться вокруг оси, параллельной поверхности, перпендикулярной направлениям натирания и луча света. Измеряется пропускание света при повороте ячейки на различные углы вокруг этой оси.

Интенсивность света I , прошедшего через систему на рис. 2 и зарегистрированного фотоприемником, связана с фазовой задержкой δ между необыкновенным и обыкновенным лучами, распространяющимися в ячейке, соотношением:

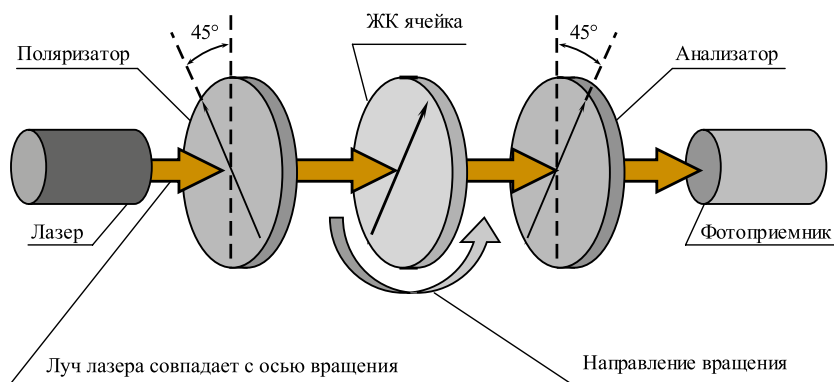


Рис. 2. Схема определения величины поверхностного угла наклона

$$I = I_0 \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (1)$$

где I — интенсивность светового пучка, проходящего через оба поляризатора с параллельными осями, с учетом поглощения ячейки.

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

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

где d — толщина слоя ЖК, λ — длина волны света, $f(\alpha, \psi)$ — функция угла преднаклона ЖК $\alpha = 90^\circ - \theta$ и угла поворота ячейки ψ , определяемого как угол между падающим световым лучом и направлением нормали к поверхности ячейки.

Функция $f(\alpha, \psi)$ выражается как:

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

$$a = \frac{1}{n_1}, b = \frac{1}{n_2} c^2 = a^2 \cdot \cos^2 \alpha + b^2 \cdot \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где n_1 — показатель преломления ЖК для необыкновенного луча, n_2 — показатель преломления ЖК для обыкновенного луча.

Для определения интенсивности света, прошедшего через ЖК ячейку в опыте с вращением ячейки вдоль оси, параллельной оси распространения света, была применена следующая формула:

$$T(\psi) = \frac{1}{2} \sin^2 \left\{ \frac{1}{2} \cdot \delta(\psi) \right\}. \quad (4)$$

Для исследования азимутальной энергии сцепления W_φ определяется длина волны λ , для которой угол поворота линейно-поляризованного света определяется только углом закрутки нематической твист-ячейки, регистрируется поворот плоскости поляризации φ_t при прохождении света с длиной волны λ через ЖК ячейку. Азимутальная энергия сцепления определяется параметрами ЖК и геометрией ячейки следующим образом:

$$W = \frac{2 \cdot K_{22}}{d \cdot \sin 2\Delta\varphi}, \quad (5)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_t - \varphi_0$, φ — угол закрутки ячейки, заданный условиями обработки ориентирующего слоя, φ_t — реальный угол закрутки жидкого кристалла в ячейке, d — зазор ячейки, K_{22} — константа упругости ЖК для деформации кручения. Для определения величины φ_t измеряют пропускание твист ячейки при ее вращении вокруг оси, нормальной к поверхности под-

ложки. Пропускание света длины волны λ_c ЖК ячейкой определяется формулой:

$$T = \cos^2 \{ \phi_i + \beta_{P-A} \}, \quad (6)$$

где β_{P-A} — угол между оптическими осями поляризатора и анализатора.

Принципиальная схема установки для измерения поверхностного угла наклона и азимутальной энергии сцепления представлена на рис. 2.

На рис. 3 приведена блок-схема установки, показана последовательность действий при выполнении измерения и управление этими действиями.

Физическая модель системы

Физическая модель системы представляет интерес с точки зрения объединения разных методик исследования ЖК элементов в одном автоматизированном комплексе. В данном устройстве реализованы четыре методики исследования ЖК элементов по стандартам ГСССД. Конструкция прибора спроектирована таким образом, чтобы объединить методики измерений, используя минимальный набор оборудования, что позитивно сказалось на сложности сборки и обслуживания устройства, а также на его массогабаритных характеристиках. Таким образом, имея лишь один шаговый двигатель, удалось реализовать вращение ЖК элемента в разных плоскостях без потери точности измерений.

По разработанной документации было проведено 3D моделирование, результаты которого приведены на рис. 3 а и 3 б.

Точность проведения измерений с помощью разработанного устройства находится на уровне $0,05625^\circ/\text{шаг}$, что позволяет работать в автоматическом режиме с высокой скоростью и точностью. Устройство отличается модульной структурой, удобством эксплуатации, простотой сборки, а также заделом для расширения спектра измеряемых параметров путем добавления дополнительных средств измерения. Разработка устройства в строгом соответствии стандартам ГСССД позволяет применять его для получения научных данных имеющихся образцов ЖК, моделировать поведение ЖК для перспективных задач, применять устройство в системах контроля качества выпускаемой продукции. Пользователями данного аппаратно-программного комплекса могут быть научно-исследовательские институты и научно-промышленные объединения, занимающиеся тематикой ЖК и электронных средств отображения информации.

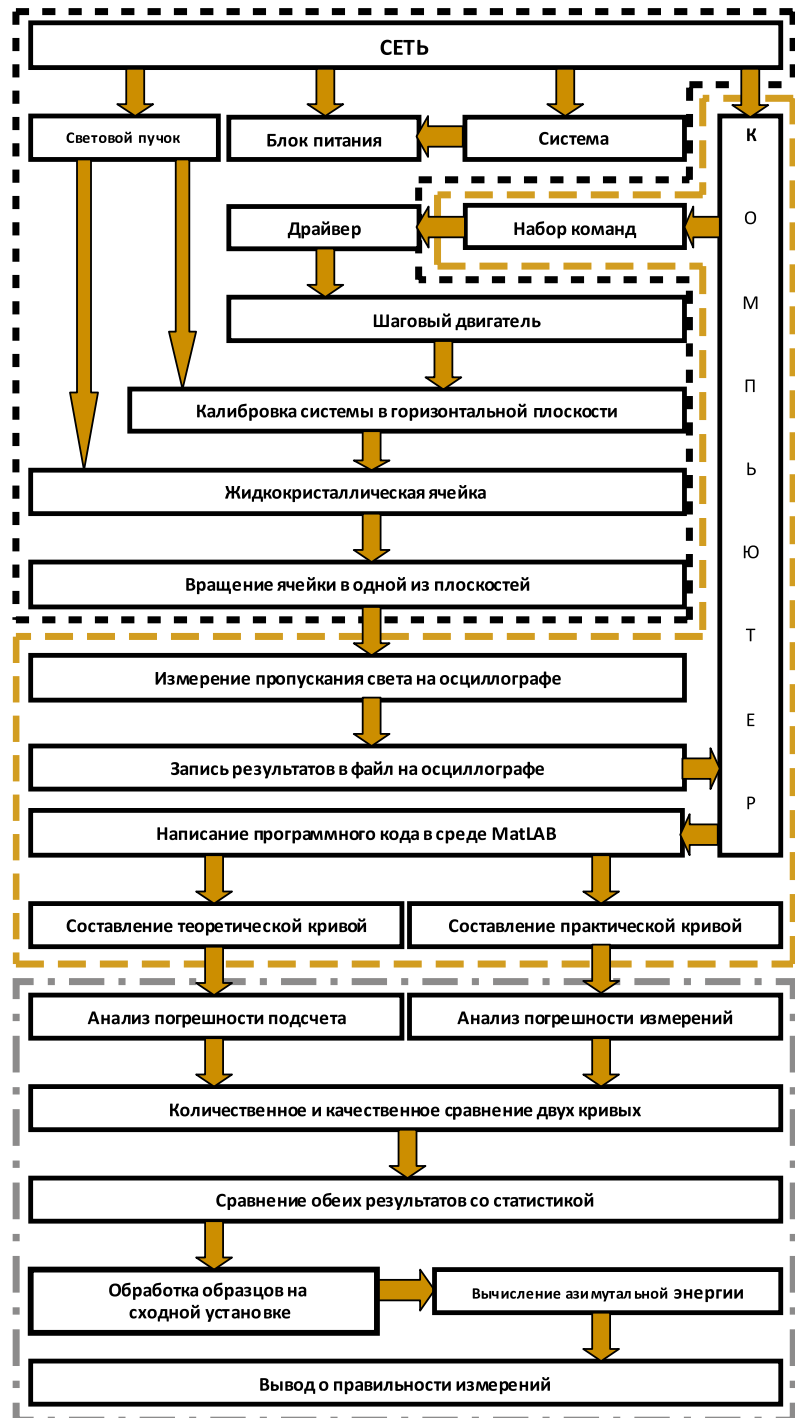


Рис. 3. Блок-схема установки, описывающая последовательность действий при проведении эксперимента. На схеме обозначены:

- физическое звено,
- программное звено,
- аналитическое звено

Система управления, сбора, преобразования и анализа данных измерений

Рассмотрим процесс измерения. Излучение лазера проходит через поляризатор и падает на ЖК ячейку, находящуюся в движении. Далее луч проходит через анализатор и попадает в фотоприемник. Вал, вращающий ячейку, приводится

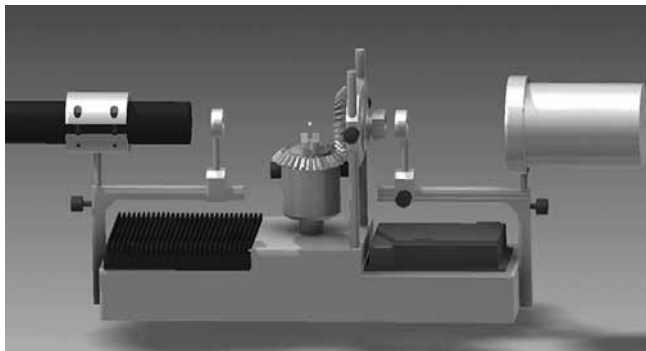


Рис. 3а. Общий вид прибора в 3D

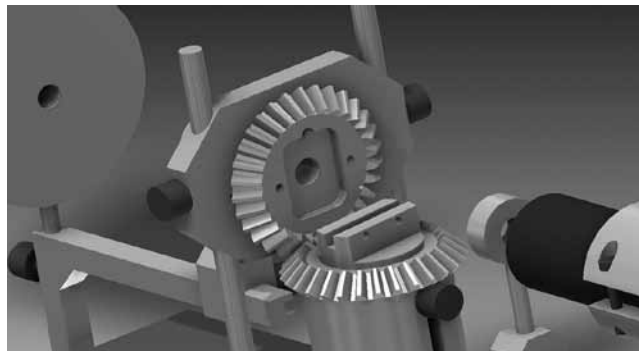


Рис. 3б. Основной подвижный блок

в движение ременной передачей от шагового мотора по заданной программе, установленной в блоке управления мотором. Скорость вращения ячейки оптимально подобрана для своевременного снятия показаний с фотоприемника. Данные с фотоприемника попадают на осциллограф, где обрабатываются в специальной программе с возможностью записи массива данных в файл. Для обработки данных был выбран программный пакет Matlab. Данные записываются в файл, совместимый по формату с этим программным пакетом. Формируется график пропускания света ЖК твист ячейкой в зависимости от угла поворота по оси вращения симметричной лучу лазера (рис 4).

Для определения измеряемых параметров взаимодействия ЖК с ориентирующей подложкой, например,

азимутальной энергии сцепления, необходимо совместить кривую пропускания света, полученную экспериментально, с кривой, рассчитанной по формуле (4) для некоторого значения угла недозакрутки $\Delta\varphi$.

Для определения измеряемых параметров взаимодействия ЖК с ориентирующей подложкой, например, угол преднаклона, необходимо совместить аналогичную кривую пропускания света, полученную экспериментально по схеме на рис. 1, с кривой, рассчитанной по формулам (2–4), рис. 4. Высота локальных максимумов пропускания при увеличении угла поворота уменьшается на экспериментальных графиках из-за отражения света от внешних поверхностей подложек ЖК ячейки. Этот эффект в формулах (2–4) не учтен.

Разработано программное обеспечение в среде Matlab, способное на базе предложенного матема-

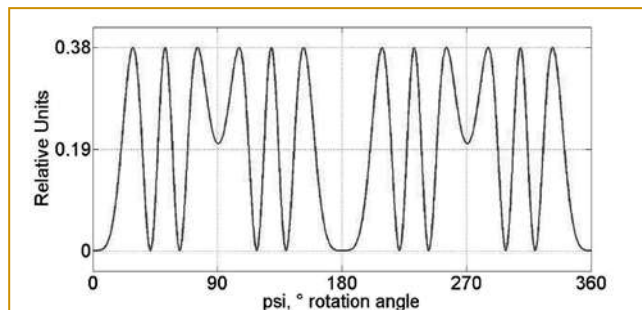
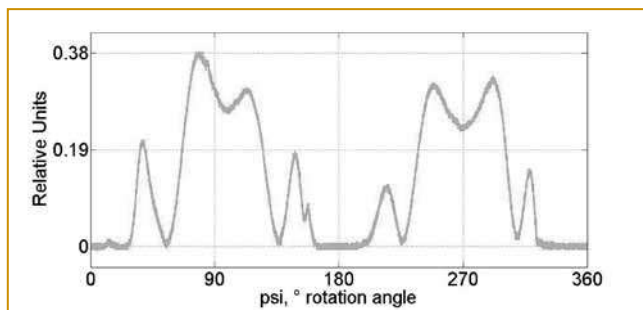


Рис. 4. Теоретическая кривая пропускания света в зависимости от угла поворота вокруг оси, перпендикулярной пучку света (справа) и экспериментальная кривая измерения этого же параметра на примере 5 ячейки №2046 (слева)

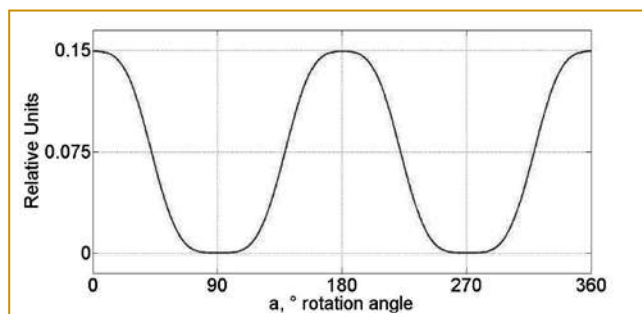
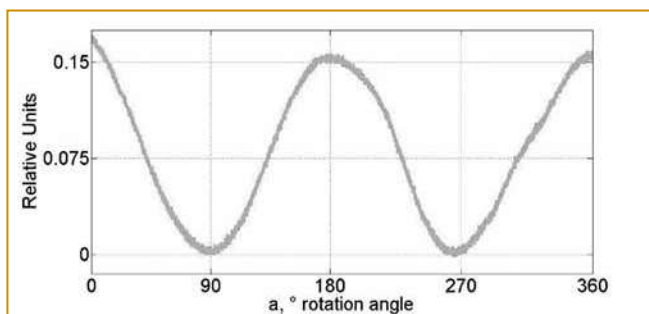


Рис. 5. Теоретическая кривая пропускания света в зависимости от угла поворота вокруг оси, параллельной пучку света (справа) и экспериментальная кривая измерения этого же параметра на примере твист ячейки №2727 (слева).

Твист-ячейка заполнена ЖК-807. Показатели преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей: $n_o=1,5$ и $n_e=1,7$. Кривая пропускания рассчитана для угла недозакрутки ячейки $\Delta\varphi=4^\circ$.

Толщина ячейки $d=23$ мкм, константы упругости $K_{22}=3 \cdot 10^{-12}$ Н

Все идеи извлечены из опыта, они - отражения действительности, верные или искаженные.

Фридрих Энгельс

тического аппарата строить теоретические графики пропускания света в зависимости от параметров каждой конкретной ЖК ячейки и необходимого для измерения диапазона.

Выводы и заключение

1) Для двух методов измерения свойств ЖК элементов разработаны и физически смоделированы макеты устройства и системы автоматического поворота подвижных элементов и их кинематические схемы управления при различных направлениях поворота ячейки в одной установке.

2) Разработанные системы обеспечивают диапазон изменения углов поворота в заданном сегменте с точностью, достаточной для правильного определения измеряемых физических характеристик, а также высокую скорость измерения.

3) Разработано программное обеспечение, позволяющее сохранять полученные данные в файлах, совместимых с программным макетом Matlab, и моделировать зависимости пропускания света от угла поворота ячейки, исходя из основных параметров кристалла для систем с различными направлениями поворота ячейки.

4) Для образцов ЖК 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 взаимодей-

ствия жидких кристаллов с поверхностью ориентирующего слоя.

Список литературы

1. *Belyaev V.V.* Viscosity of Nematic Liquid Crystals Hardcover. Cambridge International Science Publishing Ltd (2009), 238 p.
2. *Belyaev V.V.* Physical methods for measuring the viscosity coefficients of nematic liquid crystals. Physics-Uspekhi. Advances in Physical Sciences, V.44, p.255-284 (2001).
3. *Cognard J.* Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures, Molecular Crystals and Liquid Crystals, Suppl. 1 (Gordon and Breach, London, 1982).
4. *Marinov Y., Shonova N., Versace C., Petrov A.G.* Flexoelectric spectroscopy measurements of surface dissipation of energy and surface viscosity of weakly anchored homeotropic nematic // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 1999, 329, p. 533.
5. *Opata T., Baran J. W. and Zmija J.* Interferential method for determining the inclination angle of molecules in plane-parallel liquid crystalline layers, Cryst. Res. Technol. 22, 1073 (1988).
6. *Chen S.H., Kuo C.L., Wie J.G. and Hao C.W.* Implementation and assessment of a tilt-angle-measurement system for liquid-crystal cells, Proc. SPIE 1815, Display Technologies, 194 (1992).
7. *Han K.Y., Miyashita T. and Uchida T.* Accurate measurement of pretilt angle in the liquid crystal cell by an improved crystal rotation method, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 241, 147-157 (1994).
8. *Belyaev V.V., Chausov D.N., Solomatin A.S., Murauski An.A., Murauski Al.A., Mazaeva V.G.* The study of the interaction energy with LCD monomolecular films orienting // 6th Workshop "Metrology and Standardization in Nanotechnology and Nanoindustry", Proc., Ekaterinburg, 4-7 June 2013 г. Abstract, p.37-40.
9. *Kononov V.A., Muravski A.A., Yakovenko S.Ye., Pelzl J.* An Accurate Spectral Method for Measuring Twist Angle of Twisted Cells with Rubbed and Grooved Surfaces, SID Symp. Dig. Tech. Pap. 31, 1, pp. 620-623 (2000).
10. *Belyaev V.V. and Mazaeva V.G.* Green technologies of LC alignment on the base of organosilicon compounds, in SID'11 Digest (2011), pp.1412-1415.

Авторы благодарят В.Г. Мазаеву за предоставление образцов КОС, В.М. Шошина, Ю.П. Бобылева за изготовление образцов ЖК ячеек, А.В. Мойсеенко за помощь в изготовлении компонентов устройства, И.В. Попова за помощь в подготовке куострукторской документации.

Беляев Виктор Васильевич – д-р техн. наук, проф. департамента механики и мехатроники инженерной академии Российского университета дружбы народов, главный научный сотрудник Московского государственного областного университета,

Мойсеенко Сергей Владимирович – аспирант Российского университета дружбы народов.

Контактный телефон (495) 434-43-12.

E-mail: vv.belyaev@mgou.ru cormorant.xiii@gmail.com

Schneider Electric локализует ПЛК Modicon M340 в России

Компания Schneider Electric объявила о локализации производства ПЛК Modicon M340, а также платформы ввода/вывода Modicon X80 на своем заводе «ШЭЗЭМ» («Шнейдер Электрик Завод ЭлектроМоноблок») в г. Коммунар Ленинградской области.

Выпускаемые на предприятии продукты имеют отличный префикс RU на конце серийного номера, снабжены паспортом изделия и необходимыми сертификатами, а также маркировкой «Сделано в России». Технические и эксплуатационные характеристики локализованных модулей полностью

идентичны свойствам изделий, выпускаемых на заводе во Франции. Все гарантийные и сервисные обязательства, равно как и коммерческие условия приобретения изделий остались неизменными: время изготовления и поставки наиболее востребованных модулей ощутимо сократилось, при этом их цена не возросла.

Немаловажно, что платформа ввода/вывода Modicon X80 полностью совместима с самой высокотехнологичной серией ПЛК Modicon – M580. Это позволит отечественным пользователям создавать решения для АСУТП любой сложности, используя преимущественно российские компоненты.

<http://www.schneider-electric.ru>