

УДК 53.072:537.632

https://doi.org/10.33619/2414-2948/57/01

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ И МАГНИТООПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ ОТРАЖЕНИИ СВЕТА**

©Мусаев З. С., ORCID: 0000-0002-4813-6105, канд. физ.-мат. наук, Университет Бозок,
г. Йозгат, Турция, zabit.musayev@bozok.edu.tr

©Искендеров И. А., ORCID: 0000-0002-5292-7954, канд. техн. наук, Национальная академия
авиации Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан, islam.nus@mail.ru

©Эмин Б. Э., ORCID: 0000-0002-9554-3280, Университет Хитит, Профессиональная школа,
г. Чорум, Турция, berkayemin@hitit.edu.tr

**AUTOMATED UNIVERSAL INSTALLATION FOR MEASURING OPTICAL
AND MAGNETO-OPTICAL PARAMETERS OF FERROMAGNETIC METALS
AND ALLOYS IN REFLECTION OF LIGHT**

©Musayev Z., ORCID: 0000-0002-4813-6105, Ph.D., Yozgat Bozok University,
Yozgat, Turkey, zabit.musayev@bozok.edu.tr

©Isgandarov I., ORCID: 0000-0002-5292-7954, Ph.D., National Academy Aviation of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan, islam.nus@mail.ru

©Emin B., ORCID: 0000-0002-9554-3280, Hitit University, Vocational school,
Corum, Turkey, berkayemin@hitit.edu.tr

Аннотация. В связи с тем, что оптические и магнитооптические параметры при отражении определяются в разных экспериментальных установках, каждый раз приходится проводить юстировку изученного образца. Это приводит к возникновению различных ошибок и затратам времени. Поэтому было решено объединить две установки в одно целое и автоматизируя процессы определить параметры при одной и той же юстировке. Для автоматизации разработан и внедрен в состав экспериментальной установки блок автоматизации режимов измерений и устройства управления шаговым двигателем.

Abstract. Due to the fact that the optical and magneto-optical parameters during reflection are determined in different experimental installations, each time it is necessary to adjust the studied sample. This leads to various errors and wastes time. Therefore, it was decided to combine the two installations into one whole and by automating the processes to determine the parameters with the same adjustment. For automation, a unit for automation of measurement modes and a stepper motor control device were developed and introduced into the experimental setup.

Ключевые слова: оптика, магнитооптический эффект Керра, автоматизация эксперимента, тензор диэлектрической проницаемости.

Keywords: optics, magneto-optical Kerr effect, experiment automation, dielectric tensor.

Введение. Теоретическая часть эксперимента и выбор метода измерений

Для автоматизации измерений оптических и магнитооптических параметров при одной и той же юстировке образца выбраны оптический метод Битти-Кона [1] и экваториальный эффект Керра [2]. Существуют разные автоматизированные установки для оптических и магнитооптических измерений [3–6]. Однако эти системы являются более громоздкими в инженерном исполнении. Для системы *поляризатор – образец – анализатор (ПОА)* интенсивность отраженного света определяется формулой:

$$I(\Psi_P, \Psi_A) = I_0 (\sin^2\Psi_P \sin^2\Psi_A + \rho^2 \cos^2\Psi_P \cdot \cos^2\Psi_A + 1/2\rho \sin 2\Psi_P \cdot \sin 2\Psi_A \cdot \cos \delta) \quad (1)$$

Здесь Ψ_P и Ψ_A — азимуты поляризатора и анализатора соответственно, ρ — азимут восстановленной поляризации, δ — фазовый сдвиг между s и p компонентами света. Измерения интенсивностей отраженного света проводятся в соответствующих положениях поляризатора и анализатора. В первом случае $\Psi_P = (+\frac{\pi}{4})$ и $\Psi_A = +\frac{\pi}{2}, 0, +\frac{\pi}{4}$ и $-\frac{\pi}{4}$, и во втором случае $\Psi_P = (-\frac{\pi}{4})$ и $\Psi_A = +\frac{\pi}{2}, 0, +\frac{\pi}{4}$ и $-\frac{\pi}{4}$. В этих положениях поляризатора и анализатора получены интенсивности отраженного от образца света.

$$I_1=I(+\pi/4, \pi/2); I_2=I(+\pi/4, 0); I_3=I(+\pi/4, \pi/4); I_4=I(+\pi/4, -\pi/4) \quad (2)$$

$$I_5=I(-\pi/4, \pi/2); I_6=I(-\pi/4, 0); I_7=I(-\pi/4, \pi/4); I_8=I(-\pi/4, -\pi/4) \quad (3)$$

В результате получаем 8 значений I_1, I_2 и т. д. I_8 интенсивностей отраженного света. Так как линейно поляризованный свет после отражения от образца превращается в эллиптически поляризованный, рассчитываются параметры поляризационного эллипса ρ и δ .

$$\rho = \operatorname{tg}\Psi_P \cdot \sqrt{I_2/I_1}, \quad \cos\delta = \frac{1}{2}(\rho+1/\rho) \times (I_3-I_4) / (I_3+I_4) \quad (4)$$

После определения параметров поляризационного эллипса определяются оптические постоянные n и k .

$$\begin{aligned} (n^2-k^2-\sin^2\varphi)/(\operatorname{tg}^2\varphi \times \sin^2\varphi) &= (1+y)/(1-y) \\ 2nk/(\operatorname{tg}^2\varphi \times \sin^2\varphi) &= (1+y)/(1-y) \times (2x/(1+x^2)) \\ y &= 2\rho \cos\delta / (1+\rho^2), \quad x = 2\rho \sin\delta / (1-\rho^2) \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь φ — угол падения света.

Экваториальный эффект Керра определяется как относительное изменение интенсивности линейно поляризованного света при отражении от образца в магнитном поле.

Для вычисления недиагональных компонент тензора диэлектрической проницаемости экваториальный эффект Керра измеряется при двух разных углах падающего света.

$$\delta p_1 = a_1 \times \epsilon_1 + b_1 \times \epsilon_2; \quad \delta p_2 = a_2 \times \epsilon_1 + b_2 \times \epsilon_2;$$

a_1, b_1 и a_2, b_2 определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 2\sin\varphi_1 \times [A_1 / (A_1^2 + B_1^2)]; & a_2 &= 2\sin\varphi_2 \times [A_2 / (A_2^2 + B_2^2)]; \\
 b_1 &= 2\sin\varphi_1 \times [B_1 / (A_1^2 + B_1^2)]; & b_2 &= 2\sin\varphi_2 \times [B_2 / (A_2^2 + B_2^2)]; \\
 A_1 &= \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cos^2\varphi_1 - 1); & B_1 &= (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cos\varphi_1 + \varepsilon_1 - \sin^2\varphi_1; \\
 A_2 &= \varepsilon_2 (2\varepsilon_1 \cos^2\varphi_2 - 1); & B_2 &= (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2) \cos\varphi_2 + \varepsilon_1 - \sin^2\varphi_2; \\
 \varepsilon_1 &= n^2 - k^2; & \varepsilon_2 &= 2nk
 \end{aligned}$$

(6)

Измерения оптических и магнитооптических параметров

Разработанный блок автоматизации режимов измерений состоит из следующих узлов: управляемого таймера, триггеров режимов, генератора тактовых импульсов, двоично-десятичного счетчика и дешифратора. Управляет режимами работы устройств управления шаговым двигателем [7–8] и контроля угла поворота [9]. Возможности устройства управления шаговым двигателем которое обеспечивает автоматическую развертку монохроматического луча и устройства контроля угла поворота обеспечивающий автоматический поворот анализатора.

В двух положениях поляризатора (призма Глана с воздушным зазором) и в четырех положениях анализатора (также призма Глана) измеряются интенсивности света отраженного от поверхности образца для дальнейшего вычисления оптических параметров. Выделенный монохроматором луч направляется на поверхность образца установленный между полюсами не включенного электромагнита. Отраженный свет от поверхности образца превращается в эллиптически поляризованный и проходя через анализатор регистрируется с помощью фото приемного устройства. Сигнал, уровень которого соответствует этой интенсивности поступает на вход цифрового вольтметра В7-46 с внутренним программированием. Данные измерения записываются в память вольтметра для дальнейшего расчета оптических параметров. Промежуток между измерениями при разных азимутах анализатора составляет порядка 20 секунд. Остановка анализатора происходит через каждый 45°. После измерения этих интенсивностей включается электромагнит и анализатор автоматически отклоняется в сторону, т. к. при измерении магнитооптического эффекта Керра необходимо увеличить интенсивность света подающего на фотоприемник. После этого измеряется относительное изменение интенсивности отраженного света при воздействии электромагнита с переменным магнитном полем на образец. Свет проходя через поляризатор попадает на образец который находится в переменном магнитном поле направленном перпендикулярно плоскости падения света и параллельно отражающей поверхности образца. Частота переменного тока в электромагните задается генератором звуковой частоты ГЗ-48 с частотой 70 Гц через усилитель мощности 100У-101. Магнитное поле в зазоре электромагнита составляет 2,5–3,0 кЭ, которое достаточно для полного намагничивание образца. Перемагничивание образца приводит к модуляции интенсивности отраженного света с той же частотой, с которой изменяется магнитное поле. Для фиксации отраженного от образца света используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-106 в интервале 1,3–4,5 эВ. В области энергий падающего света 0,5–1,7 эВ в качестве фотоприемника используется фотосопротивление PbS. При измерениях с помощью PbS пучок света модулируется механическим прерывателем с частотой 70 Гц. Регистрация интенсивности отраженного света проводится с использованием селективного усилителя преобразователя УПИ-2, опорный сигнал подается с фотодиода расположенного перед входной щелью монохроматора. Питание лампы осуществляется от стабилизированного выпрямителя. ТЭС. ФЭУ питается от источника постоянного тока В5-24, а PbS от источника постоянного тока В5-49. На выходе фотоприемника формируются две

составляющие сигнала постоянная и переменная. Постоянная составляющая $I_{\text{постоян}}$ фиксируется с помощью вольтметра В7-21. Переменная составляющая подается на предварительный усилитель, затем на селективный усилитель и преобразуется в постоянный уровень напряжения, величина которого пропорциональна амплитуде $I_{\text{переменное}}$. Измерение значения преобразованного сигнала производится вольтметром В7-21. Величина ЭЭК вычисляется как отношение переменной и постоянной составляющих умноженной на обратное значение коэффициента усиления $\delta = (I_{\text{перем}} / I_{\text{пост}}) \times 10^{-k}$.

Полная автоматизация режимов измерений и анализ инженерных результатов

До полной автоматизации режимов измерений были автоматизированы отдельные узлы установки в том числе разработано устройство управления шаговым двигателем, созданы системы управления, а также контроль угла поворота анализатора и в результате был разработан блок автоматизации.

Блок автоматизации режимов измерений включаемый в состав экспериментальной установки и разработанный алгоритм измерений и взаимосвязи между функциональными узлами установки позволил автоматизировать полностью цикл измерения оптических и магнитооптических измерений при применении персонального компьютера. Для этого были разработаны алгоритм и программа для расчета оптических и магнитооптических параметров, а также построение энергетических зависимостей этих параметров в зависимости от энергии падающего света. Для этого после полного оборота анализатора с остановками через каждый 45° после восстановления интенсивностей для конкретной длины волны это значение автоматически записывается в память компьютера и по известным формулам рассчитываются диагональные компоненты тензора диэлектрической проницаемости. Потом при двух углах падающего света также рассчитывается магнитооптические параметры экваториального эффекта Керра и определяются недиагональные компоненты тензора диэлектрической проницаемости. Блок автоматизации режимов измерений состоит из управляемого таймера, триггеров режимов, генератора тактовых импульсов, двоично-десятичного счетчика и дешифратора. Блок управляет режимами работы устройства управления шаговым двигателем и обеспечивает контроль угла поворота анализатора. Существуют различные устройства управления шаговым двигателем. Как правило они имеют сложную структуру и относительно низкую помехозащищенность. Возможности устройства управления шаговым двигателем [7–8], которое обеспечивает автоматическую развертку монохроматического луча (т. е. после измерения интенсивности отраженного света одной длины волны барабан монохроматора автоматически переходит на другое положение) и устройства контроля угла поворота [9], обеспечивающего автоматического поворота анализатора, позволил построить простой блок автоматизации. Порядок автоматизации режимов измерений оптических и магнитооптических параметров определяется блоком автоматизации шаговым двигателем. Упрощение структуры устройства управления шаговым двигателем и автоматизированной системы управления является трудно реализуемой задачей. Однако это удалось реализовать введением оптронного блока гальванической развязки генератора тактовых импульсов, и при помощи оптронного однопереходного фототранзистора. Был построен кольцевой счетчик управления на Д-триггерах. В состав устройства управления шаговым двигателем входят: блок формирования шагов, который состоит из генератора тактовых импульсов, кольцевого счетчика, и блока гальванической развязки, а также коммутатора.

Генератор тактовых импульсов представляет собой релаксационный генератор, построенный на однопереходной фототранзисторной оптронной паре АОТ 102Б. Кольцевой счетчик построен на микросхеме К555ТМ8 в состав которой входят четыре Д-триггера. Блок

гальванической развязки состоит из транзисторных оптронных пар АОТ 110А. Частота следования импульсов на выходе генератора тактовых импульсов регулируется в широком диапазоне путем изменения входного тока оптронной пары. Длительность импульсов определяется задающей RC-цепью. Оptrонные пары АОТ 102Б позволили построить релаксационный генератор. Применение оптронных пар АОТ 102Б и АОТ 110А обеспечивает двойную гальваническую развязку и повышенную помехозащищенность. Устройства управления шаговым двигателем работает следующим образом. С поступлением тактовых импульсов с генератора на счетный вход кольцевого счетчика на его выходах поочередно появляются прямоугольные импульсы. Эти импульсы по четырем каналам с выхода блока формирования подаются на входы оптронных пар блока гальванической развязки и импульсы, снимаемые с выходов оптронных пар блока в соответствующей последовательности, передаются на вход коммутатора. Коммутатор в свою очередь обеспечивает последовательное питание обмоток шагового двигателя. Построение блока формирования шагов устройства на генераторе тактовых импульсов и кольцевом счетчике, выполненных на одной микросхеме позволило упростить общую схему. Выполнение генератора тактовых импульсов на однопереходной фототранзисторной оптронной паре обеспечивает стабильность в широком диапазоне регулирования частоты генератора и скорости шагового двигателя. Эти параметры в основном определяются входным током оптронной пары. Тем самым использование оптронной пары обеспечивают гальваническую развязку между генератором и кольцевым счетчиком. С другой стороны исключает влияние помех на режим работы генератора тактовых импульсов. Использование оптронных транзисторных ключей на АОТ 110А обеспечивают гальваническую развязку между блоком формирования шагов и коммутатором. В результате этого исключается попадание импульсных помех возникающих в коммутаторе при коммутации соответствующих обмоток шагового двигателя. Это особенно важно так как через обмоток шагового двигателя протекают большие импульсные токи. Эти особенности позволили построить систему управления шаговым двигателем. В состав этой системы входит устройство управления шаговым двигателем, регистрирующее устройство, блок обратной связи.

Максимальному входному току оптронного генератора соответствует максимальная частота и так как при помощи этой установки изучается отражательная поверхность образца, в состав блока обратной связи внесли инверсный усилитель. Напряжение снимаемое с регистрирующего устройства через инверсный усилитель поступает на вход оптронного генератора и обеспечивает максимальную скорость двигателя при отсутствии регистрируемого сигнала и минимальную при максимальном значении этого сигнала. Это позволяет повысить темп развертки и повышает скорость контроля эксперимента.

Для проведения температурных зависимостей оптических и магнитооптических измерений часто сталкиваемся проблемой регулирования температуры в широком диапазоне в заданном объеме. Поэтому было решено создать автоматический регулятор температуры. Этот регулятор температуры позволил осуществлять плавную регулировку температуры в широком пределе. Регулятор температуры построен на базе преобразователя «температура-частота» [10], за счет чего обеспечивается регулировка температуры с частотно-импульсной модуляцией. Автоматический регулятор имеет простую структуру благодаря простоте преобразователя. Подобные преобразователи «температура-частота» разработанные другими авторами [11], является довольно простым, однако имеет ряд недостатков обусловленные параметрами однопереходного транзистора. Структурная схема разработанного преобразователя «температура-частота» показана на Рисунке 1.

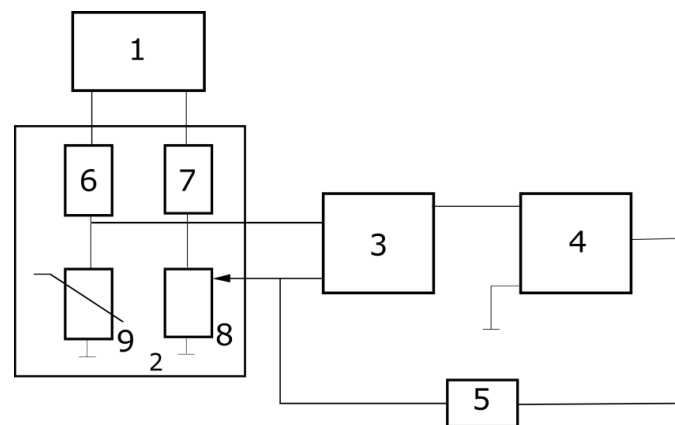


Рисунок 1. Структурная схема преобразователя «температура–частота»: 1 — генератор двух токов, 2 — резистивный мост, 3 — интегратор, 4 — компаратор, 5 — элемент линеаризации, 6, 7 — резисторы, 8 — термистор, 9 — переменный резистор.

Преобразователь содержит генератор двух токов 1, резистивный мост 2, интегратор 3, компаратор 4 и элемент линеаризации 5. Причем выход интегратора соединен с общей шиной. Элемент линеаризации включен в обратную связь преобразователя и связывает первый вход интегратора и выход компаратора. Резистивный мост содержит резисторы 6, 7, термистор 8 и переменный резистор 9, с помощью которого устанавливается порог нуля. Диагональ резистивного моста подключена к входам интегратора. Интегратор и компаратор построены на маломощных и быстродействующих операционных усилителях. Эта дает возможность подбором элементов связи повысить стабильность параметров устройства и улучшить электрические параметры в целом. Применение прецизионных операционных усилителей значительно улучшает точность и линейность преобразователя.

Использование элемента линеаризации в обратной связи обеспечивает хорошую линейность функции преобразования в широком диапазоне.

Разработанный преобразователь «температура-частота» работает следующим образом: С помощью переменного резистора 9 устанавливается порог срабатывания преобразователя т. е. порог нуля. При увеличении температуры сопротивление термистора уменьшается и в результате чего на входах интегратора образуется приращение напряжения, пропорциональное изменению сопротивления термистора. По истечении интервала времени интегрирования, напряжение на выходе интегратора достигает порога переключения компаратора. Вследствие чего переключается компаратор. В момент перехода компаратора из логического состояния «1» в логическое состояние «0» через цепь обратной связи в которую входит элемент линеаризации, сбрасывается интегратор. При этом на выходе интегратора напряжение за время разряда конденсатора достигает порога переключения компаратора и компаратор переходит из состояния «0» в состояние «1». Далее цикл повторяется и на выходе интегратора появляется линейно изменяющееся напряжение, амплитуда которого определяется пороговым напряжением срабатывания компаратора. А на выходе компаратора вырабатываются короткие прямоугольные импульсы большой скважности и отрицательной полярности. Частота следования этих импульсов прямо пропорционально приращению напряжения на входе интегратора точнее приращению сопротивления термистора. Построение интегратора на операционном усилителе позволило в $(k+1)$ раз увеличить точность преобразования, а применение элемента линеаризации расширяет диапазон линейности. Здесь k - коэффициент усиления операционного усилителя. Подключение пороговой шины к входу интегратора и выбор оптимальной постоянной времени интегратора дает возможность получить на выходе прямоугольные импульсы с резкими фронтами и исключить

дополнительные функциональные узлы. Принцип работы преобразователя температуры приведены на Рисунке 2.

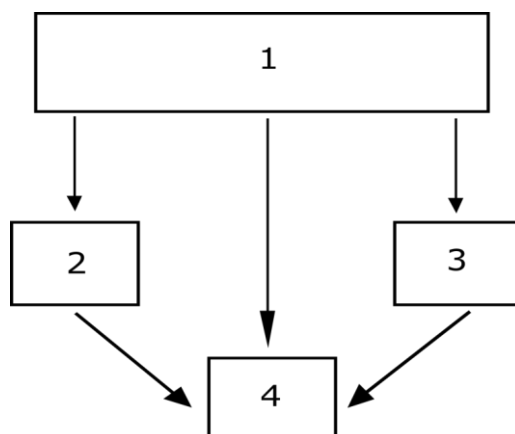


Рисунок 2. Структурная схема автоматического регулятора температуры: 1 — источник питания, 2 — преобразователь «температура–частота», 3 — силовой блок, 4 — нагревательный элемент.

Как видно из схемы частота импульсов кроме приращения напряжения на выходе интегратора определяется постоянной времени интегрирующей цепи интегратора, сопротивлением цепи обратной связи и пороговыми напряжениями компаратора. Для устойчивой работы преобразователя в качестве компаратора целесообразно использовать триггер Шмитта построенный на операционном усилителе, который должен иметь нижний и верхний пороги срабатывания, соответственно. Построение автоматического регулятора температуры на базе преобразователя «температура–частота» с применением прецизионных операционных усилителей является одним из лучших вариантов и обеспечивает требуемые характеристики при несложной структуре системы. В состав регулятора входят: источник питания 1, преобразователь «температура–частота» 2, силовой блок 3 и нагревательный элемент 4.

Регулятор температуры работает следующим образом: при изменении температуры в заданном объеме изменяется сопротивление термистора в рабочем объеме и, соответственно, напряжение на термисторе. При этом изменяется приращение напряжения на входе интегратора. В случае отклонения температуры от заданной изменяется приращение напряжения и, соответственно частота импульсов на выходе преобразователя, которые определяют режим работы силового блока. Увеличение частоты приводит к росту среднего тока, протекающего через нагревательный элемент и наоборот. Таким образом, осуществляется частотно-импульсная модуляция тока нагревательного элемента. Для автоматической компенсации изменения температуры к инверсному входу интегратора был подключен терморезистор.

**Написанная программа для расчета оптических и магнитооптических параметров находится по адресу <https://github.com/berkayemin>*

Выводы

1. Блок автоматизации режимов измерений, включаемый в состав экспериментальной установки и разработанный алгоритм измерений и взаимосвязи между функциональными узлами установки, позволил автоматизировать полностью цикл измерения оптических и магнитооптических измерений при применении персонального компьютера.

2. Составлена программа для расчета оптических и магнитооптических параметров и построены энергетические зависимости оптической проводимости, экваториального эффекта Керра, диагональных и недиагональных компонент тензора диэлектрической проницаемости, а также зависимость ЭЭЖ от напряженности магнитного поля.

Список литературы:

1. Аззам Р. М. А., Башара Н. М. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 583 с.
2. Кринчик Г. С. Физика магнитных явлений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 367 с.
3. Макара В. А., Одарич В. А., Кепич Т. Ю., Преображенская Т. Д., Руденко О. В. Прибор и методы измерения параметров и степени однородности пленочных структур // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2009. №3. С. 40-46.
4. Лагунов И. М., Лагунов С. И., Фадеева Т. А., Лагунов И. М. Багатоцільова автоматизована система для оптичних та магнітооптичних досліджень // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Фізико-математичні науки. 2011. Т. 24 (63), №2. С. 175-186.
5. Садыков М. Ф. Комплексный метод и автоматизированная многофункциональная установка для исследования ряда физических свойств перспективных материалов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 20. №11-12. С. 118-126. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-118-126>
6. Белоус И. А., Доценко В. А. Автоматизированная установка для исследования магнитооптических свойств тонких пленок металлов *in situ* // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. 2016. №2 (33). С. 63-69. <https://doi.org/10.15688/jvolsu1.2016.2.7>
7. Искендеров И. А., Мусаев З. С. и др. Система управления шаговым двигателем с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками // Труды Одесского политехнического университета. 2001. №3 (15). С. 59-62.
8. Искендеров И. А., Мусаев З. С. и др. Устройство управления шаговым двигателем // Официальный бюллетень «Промышленной собственности» Патентно-лицензионного управления Государственного Комитета по науке и технике Азербайджанской Республики. Патент I200030085. Баку, 2003.
9. Искендеров И. А., Мусаев З. С. и др. Устройства контроля угла поворота // Официальный бюллетень «Промышленной собственности» Патентно-лицензионного управления Государственного Комитета по науке и технике Азербайджанской Республики. Патент I20000069. Баку, 2000.
10. Искендеров И. А., Мусаев З. С. и др. Преобразователь «температура-частота» // Официальный бюллетень «Промышленной собственности» Патентно-лицензионного управления Государственного Комитета по науке и технике Азербайджанской Республики. Патент I20000141. Баку, 2000.
11. Демидов Л. А. Автор. свидетельство 1222613. Устройство для линейного преобразования температуры в частоту // Бюлл. 1986. №14. С.186.

References:

1. Azzam, R. M. A., & Bashara, N. M. (1981). Ellipsometriya i polyarizovannyi svet. Moscow, Mir, 583. (in Russian).
2. Krinchik, G. S. (1976). Fizika magnitnykh yavlenii. Moscow, MGU, 367. (in Russian).

3. Makara, V. A., Odarich, V. A., Kepich, T. Yu., Preobrazhenskaya, T. D., & Rudenko, O. V. (2009). Apparatus and methods for measuring of the film structures homogeneity degree. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, (3), 40-46. (in Russian).
4. Lagunov, I. M., Lagunov, S. I., & Fadeyeva, T. A. (2011). Multipurpose automated system for optical and magneto-optical researches. *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. Series: Physics and Mathematics Sciences*, 24(2), 175-186. (in Russian).
5. Sadykov, M. F. (2018). Complex method and automated multifunctional installation for research the physical properties of perspective materials. Proceedings of the higher educational institutions. *Energy sector problems*, 20(11-12), 118-126. (in Russian). <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-118-126>
6. Belaus, I. A., & Dotsenko, V. A. (2016). Automated system for studying magneto-optical properties of thin films of metals in situ. *Mathematical Physics and Computer Simulation*, (2), 63-69. (in Russian). <https://doi.org/10.15688/jvolsu1.2016.2.7>
7. Iskenderov, I. A., Musaev, Z. S., & al. (2001). Sistema upravleniya shagovym dvigatelem s uluchshennymi ekspluatatsionno-tekhnicheskimi kharakteristikami. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta*, (3), 59-62. (in Russian).
8. Iskenderov, I. A., Musaev, Z. S., & al. (2003). Stepper motor control device. Official Bulletin "Industrial Property" of the Patent and Licensing Department of the State Committee on Science and Technology of the Republic of Azerbaijan. Patent I200030085. Baku.
9. Iskenderov, I. A., Musaev, Z. S., & al. (2000). Rotation angle control devices. Official Bulletin "Industrial Property" of the Patent and License Department of the State Committee on Science and Technology of the Republic of Azerbaijan. Patent I20000069. Baku.
10. Iskenderov, I. A., Musaev, Z. S., & al. (2000). Converter "temperature-frequency". Official Bulletin "Industrial Property" of the Patent and License Department of the State Committee on Science and Technology of the Republic of Azerbaijan. Patent I20000141. Baku.
11. Demidov, L. A. (1986). Author. certificate 1222613. Device for linear conversion of temperature into frequency. *Byull.*, (14), 186.

Работа поступила
в редакцию 18.07.2020 г.

Принята к публикации
23.07.2020 г.

Ссылка для цитирования:

Мусаев З. С., Искендеров И. А., Эмин Б. Э. Автоматизированная универсальная установка для измерения оптических и магнитооптических параметров ферромагнитных металлов и сплавов при отражении света // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №8. С. 10-18. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/57/01>

Cite as (APA):

Musayev, Z., Isgandarov, I., & Emin, B. (2020). Automated Universal Installation for Measuring Optical and Magneto-Optical Parameters of Ferromagnetic Metals and Alloys in Reflection of Light. *Bulletin of Science and Practice*, 6(8), 10-18. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/57/01>