

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУРЬЕ-ГОЛОГРАММ СПЕКЛ-ПОЛЕМ

*Токонов Акиналы Тургуналиевич* - старший преподаватель кафедры «Радиоэлектроника», Институт электроники и телекоммуникации при КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: att2002@mail.ru

*Бримкулов Улан Нургазиевич* – д.т.н. член корр. НАН КР, профессор кафедры компьютерной инженерии Кыргызско-Турецкого Университета Манас, Кыргызская Республика, 720038, г. Бишкек проспект Ч. Айтматова 56 Кампус им. Ч. Айтматова, Джал, e-mail: unbrim@gmail.com

*Аспердиева Назгуль Мирзалиевна* - преподаватель кафедры «Радиоэлектроника», Институт электроники и телекоммуникации при КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: aspierdiiva74@mail.ru

В статье приводится автоматизированный способ измерения зависимости дифракционной эффективности голограмм от плотности энергии экспонирования в схеме с точной Фурье голограмм и в схеме с использованием диффузора а также зависимости отношения интенсивностей сигнал шум от соотношения интенсивностей опорной и предметной волн при записи точной Фурье голограммы и с использованием спекл-волн. Предложен структурная схема автоматизированного измерения и алгоритм измерения информационных характеристик.

**Ключевые слова:** фурье - голограмма, спекл - поле, объектный пучок, опорный пучок, дифракционная эффективность, сигнал, шум, энергия экспонирования, маска для измерения шума, маска для измерения сигнальной волны, цифровой блок.

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED METHOD FOR MEASURING THE INFORMATION CHARACTERISTICS OF FOURIER HOLOGRAMS SPECKLE FIELD

*Tokonov Akinaly Turgunalievich* – Senior Lecturer of “Radio Electronics” Department, Electronics and Telecommunication Institute under the Kyrgyz State Technical University named I.Razzakov, 66, Ch.Aitmatov Prospect, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic. E-mail: att2002@mail.ru

*Brimkulov Ulan Nurgalievich* - D. T. S. corresponding member. NAS KR, Professor of computer engineering department of Kyrgyz-Turkish University Manas, Kyrgyz Republic, 720038, Bishkek, Ch. Aitmatov Ave. 56 campuses of Ch. Aitmatov, JAL,

*Asperdieva Nazgul Mirzalievna* –Lecturer of “Radio Electronics” Department, Electronics and Telecommunication Institute under the Kyrgyz State Technical University named I.Razzakov, 66, Ch.Aitmatov Prospect, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic. E-mail: aspierdiiva74@mail.ru

The article presents an automated method for measuring the dependence of the diffraction efficiency of holograms on the energy density of the exposure in the scheme c of the exact Fourier holograms and in the scheme using a diffuser as well as the dependence of the intensity ratio of the signal noise from the ratio of the intensity of the reference and subject waves when recording accurate Fourier holograms and using speckle waves. A block diagram of automated measurement and an algorithm for measuring information characteristics are proposed.

**Keywords:** Fourier - hologram of the speckle field, the object beam, reference beam, diffraction efficiency, signal, noise, energy exposure mask to measure noise, the mask for measuring the signal wave, the digital block.

Введение.

Для изучения качества восстановленного изображения и отношения сигнал/шум в нем, а также выбора оптимального режима записи, необходимы экспозиционные характеристики, или характеристические кривые, обычно получаемые экспериментальным путем. Экспозиционная  $\tau$ - $E$ - характеристика применяется к плоским амплитудным голограммам.

Для фазовых голограмм аналогичной характеристикой является зависимость фазы  $\varphi(E)$ , которая может быть конкретизирована в виде зависимостей  $n = n(E)$  или  $T = T(E)$ , где  $T$ -толщина материала. Эти характеристики обычно получают экспериментальным или расчетным путем. Например, рассмотренной в работе [1], экспозиционные характеристики могут быть получены с помощью экспериментальной характеристики  $\eta = \eta(E)$  путем численного решения уравнения  $\eta(E) = \eta(n)$  или  $\eta(E) = \eta(T)$ . Однако это возможно только в том случае, когда известна аналитическая зависимость  $\eta = \eta(n)$  или  $\eta = \eta(T)$ .

Экспозиционные характеристики вида  $\tau = \tau(E)$  и  $\varphi = \varphi(E)$  удобны и совершенно необходимы при теоретическом анализе структуры и качества восстановленного изображения. С их помощью можно легко оценить параметры записи голограммы-экспозицию смещения и допустимую глубину модуляции. Оптимизацией режима записи на тонких амплитудных и амплитудно-фазовых голограммах и методикой ее решения можно ознакомиться по работам [2,3]

Универсальная экспозиционная характеристика, пригодная для описания и сравнения любых регистрирующих материалов, амплитудных или фазовых, толстых или тонких, пропускающих или отражающих, была предложена Л. Лином [4] эта характеристика имеет вид

$$\sqrt{\eta} = SE_0 V, \quad (1)$$

где  $E_0$ - средняя экспозиция;  $V$ - видимость полос [4]. Коэффициент  $S$  был назван голографической чувствительностью. Для идеального материала, позволяющего восстанавливать точное изображение,  $S$  не зависит  $E_0$ ,  $V$  и несущей частоты интерференционной картины  $\nu_R$  по всей площади голограммы. средняя экспозиции  $E_0$  по существу представляет собой экспозицию смещения  $E_{см}$ . нетрудно также показать, что видность полос  $V$  по величине равна максимальному значению глубины модуляции  $m$ . Поэтому экспозиционную характеристику (1) можно представить в виде

$$\sqrt{\eta} = SE_{см} m. \quad (2)$$

Глубина модуляции  $m$  в свою очередь выражается через экспозиционное отношение  $\varepsilon$

$$m \approx 2.6\sqrt{\varepsilon_s}. \quad (3)$$

В ГЗУ обычно экспозиция смещения изменяется плавно по всей площади голограммы, а в большей ее части почти постоянна, поэтому наибольший интерес представляет зависимость  $\sqrt{\eta}$  от глубины модуляции  $m$  при фиксированном значении  $E_{см}$  графически эта зависимость будет представлена в виде семейства прямых, каждая из которых соответствует определенному значению экспозиции  $E_{см}$ . Такие характеристики могут служить основой для сравнительной оценки свойства реальных материалов независимо от типа голограмм, регистрируемых на них. Для реальных материалов голографическая чувствительность  $S$  не является постоянной, а зависит от изменения  $E_{см}$ , глубины модуляции  $m$  и несущей частоты  $\nu_R$ , но все же имеется некоторая область изменения переменных  $E_{см}$ ,  $m$  и  $\nu_R$ , в пределах которой  $S$ , близка к постоянной. Из этой области и выбираются параметры записи голограммы. Отклонение  $S$  от постоянного значения, т.е. нелинейность  $S$ , приводит к амплитудным искажениям восстановленного волнового фронта и является одним из наиболее сильных источников шума. Шум, обусловленный нелинейностью  $S$ , т.е. нелинейностью регистрации, можно уменьшить только за счет уменьшения дифракционной эффективности.

Экспозиционные характеристики типа  $\sqrt{\eta} = f(m, E_{cm} = \text{const})$  для реальных материалов получают следующим образом. На интересующем материале записывается серия голограмм, каждая из которых соответствует определенному сочетанию экспозиции смещения и экспозиционному отношению  $\varepsilon$ . Для каждого  $\varepsilon$  рассчитывается соответствующая глубина модуляции  $m$ . После регистрации и фиксации голограмм измеряются их дифракционная эффективность. Далее строят совокупность кривых  $\sqrt{\eta} = f(m)$  для различных значений  $E_{cm}$ . Полученные таким образом характеристические кривые позволяют непосредственно установить важные параметры, определяющие режим записи голограммы:

1. Диапазон значений глубины модуляции (или экспозиционного отношения), в котором осуществляется линейная регистрация. Этот диапазон определяется по прямолинейному участку характеристической кривой.

2. Максимально достижимую дифракционную эффективность.

3. Величину экспозиции смещения, необходимую для получения заданной дифракционной эффективности (т.е. меру чувствительности материала).

4. Оптимальные значения  $E_{cm}$  и  $m$ , позволяющие достичь наилучшего компромисса между линейностью и дифракционной эффективностью голограммы.

Таким образом, экспозиционная характеристика типа  $\sqrt{\eta} = f(m, E_{cm})$  более удобна для выбора режима записи голограмм в конкретных условиях. Кроме того, сравнения характеристические кривые реальных материалов с соответствующими прямыми для идеального материала, можно оценить степень их пригодности для использования в ГЗУ.

Экспозиционная характеристика типа  $\sqrt{\eta} = f(m, E_{cm} = \text{const})$  весьма точно описывает свойства голограммы в том случае, когда средняя экспозиция и глубина модуляции постоянны или близки к постоянной по всей площади голограммы. Практически же, как средняя экспозиция, так и глубина модуляции, обычно меняются в пределах голограммы. Поэтому значение дифракционной эффективности, найденное экспериментальным путем, представляет собой усредненную величину. Более точной характеристикой в этом отношении может служить экспозиционная характеристика вида

$$\sqrt{\eta} = f(m, E_{IH} E_{cm} = \text{const}), \quad (4)$$

предложенная в работе [5]. Здесь  $E_{IH}$  - экспозиция информационного светового пучка. Особенностью этой характеристики является то, что она отражает связь амплитуды восстановленного волнового фронта с амплитудой того же волнового фронта при его регистрации. Однако характеристики такого вида обладают одним существенным недостатком: по ним трудно сравнивать свойства различных регистрирующих материалов между собой, а также со свойствами идеального материала. Исходя из выше сказанного следует что необходимо автоматизированное устройство позволяющий измерять информационные характеристики Фурье – голограмм на любую регистрирующую среду.

#### **Разработка автоматизированного способа измерения информационных характеристик Фурье-голограмм спекл-полем.**

В работе [6] приведена автоматизированный способ записи и восстановления голограмм, а автоматизированное измерения информационных характеристик предложена ниже.

Для разрабатываемой структурной схемы автоматизированного способа измерения информационных характеристик Фурье-голограмм спекл полем необходимо следующие блоки: персональный компьютер - предназначен для выдачи управляющих сигналов с LPT порта на цифровой блок и для обработки данных поступающих от приборов им2-1, им2-2, им2-

3, им2-4, измеряющих интенсивность излучения; цифровой блок – управляющий всеми узлами автоматизированного устройства; лазер ЛГН-503 ( $\text{Ar}^+$ ,  $\lambda = 488 \text{ нм}$ ) с мощностью непрерывного излучения до 1 Вт используется в качестве источника света для записи и восстановления голограмм; светоделитель -используется для разделения светового пучка на два эквивалентных компонента; диффузор с диафрагмой, диффузор служит для пространственной модуляции светового пучка. Диафрагма служит для ограничения диаметра волны; электромагнитные прерыватели - служат для прерывание световых излучений; линзы - используются для направления световых лучей в нужное русло; регистрирующая среда используются для записи информации; маска - для измерения шума; маска- для измерения сигнала; экран - необходим для наблюдения восстановленного изображения транспаранта; зеркала - используются для отражения светового потока. Структурная схема предложенного автоматизированного устройства позволяющий измерять информационные характеристики приведена на рис. 1. В начальный момент времени все элементы автоматизированного устройства находятся в пассивном состоянии, т. е. они не задействованы.

По предложенному алгоритму автоматизированное устройства позволяет измерять энергии экспонирования в схеме с точной Фурье-голограммой и с использованием диффузора с диафрагмой. Для этого с помощью измерителей мощности им2-1 и им2-2 измеряем интенсивности световых лучей  $I_{\text{оп}}$  и  $I_{\text{пр}}$  соответственно и их сумму умножаем на время экспонирования, получаем энергию экспонирования голограммы ( $E = (I_{\text{оп}} + I_{\text{пр}})t_{\text{эк}}$ ). Для получения разных энергий экспонирования изменяется время экспонирования.

Для измерения дифракционная эффективность голограмм используется им2-1 и им2-3. А также электромагнитным прерывателем 5 предметный пучок лазера прерываем. С помощью им2-1 измеряем интенсивность восстанавливающей волны, а с помощью им2-3 измеряем интенсивность дифрагированной волны. Отношение дифрагированной волны к восстанавливающей волне дает дифракционную эффективность голограммы.

Для измерения интенсивности сигнальной волны используем маску 14, линзу 15, им2-4. Интенсивность луча информационной единицы, проходя через маску попадает к собирающей линзе, а потом через им2-4 к LPT порту компьютера. Для измерения интенсивности шума используется соответствующая маска 13, линза 15 и им2-4 к LPT порту компьютера. Затем компьютер проводит обработку данных по заданной программе. Автоматизированная система позволяет измерять интенсивность опорной и предметной волны одновременно. Для измерения интенсивности опорной волны используется им2-1, а для измерения интенсивности предметной волны используется им2-2. С выходов им2 сигналы поступают на LPT порт компьютера и обрабатываются по заданной программе. Таким образом, осуществляем четыре измерения и по поступившим данным компьютер построит нам график зависимостей, что показана на рис. 3 и на рис 4.

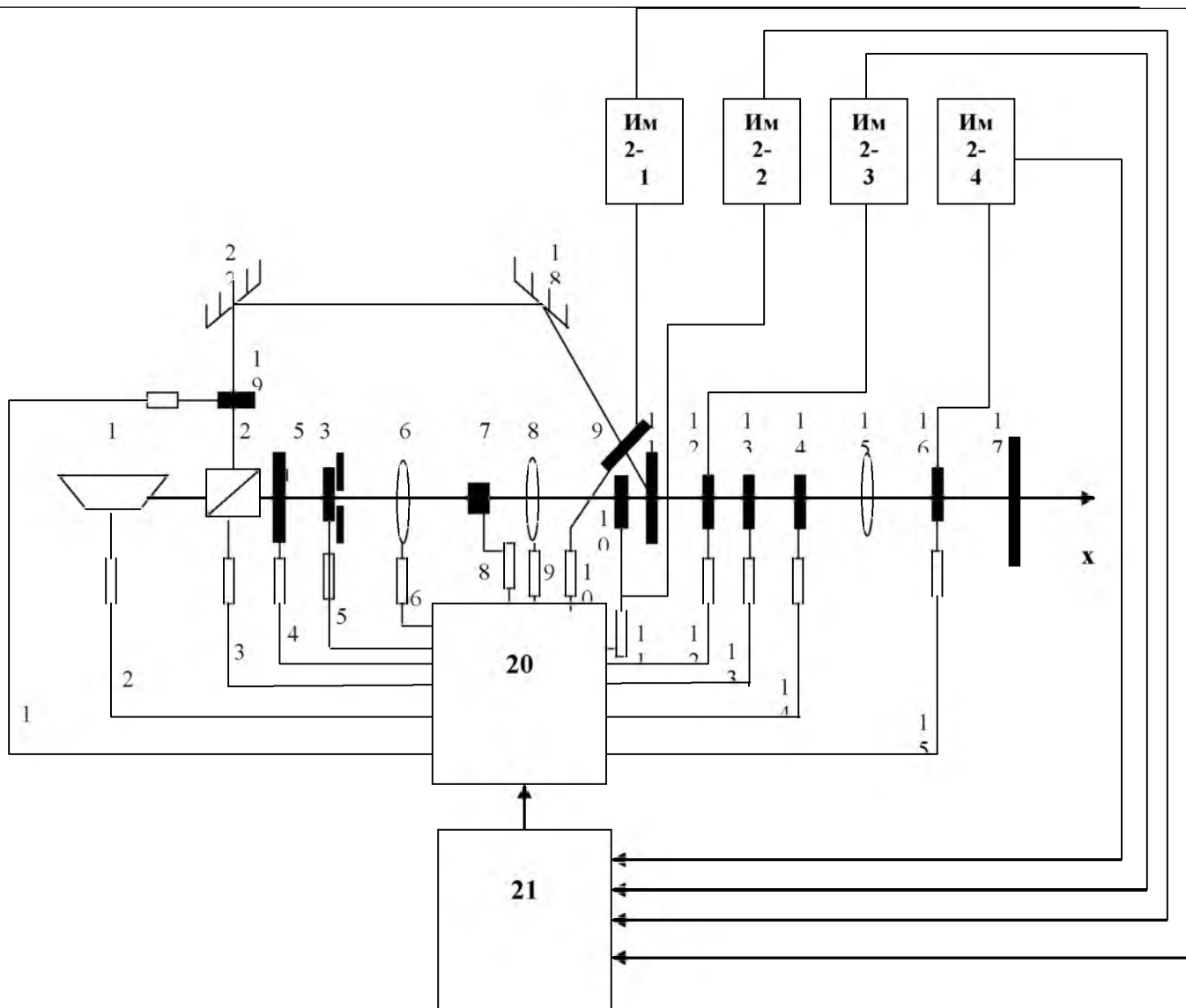


Рис. 1. Автоматизированная система измерения информационных характеристик голограмм спекл-полем: 1-лазер; 2- светоделитель; 3 – диффузор с диафрагмой; 5 и 19 – электромагнитный прерыватель; 6,8 и 15 – линзы; 7 – транспарант; 9,10,12 и 16 им2; 11 – регистрирующая среда; 13 – маска для измерения шума; 17 – экран; 14 – маска для измерения сигнала; 18 и 22 – зеркала; 20 – цифровой блок; 21 – компьютер.



Рис.2. а- маска для измерения сигнала, б- маска для измерения шума.

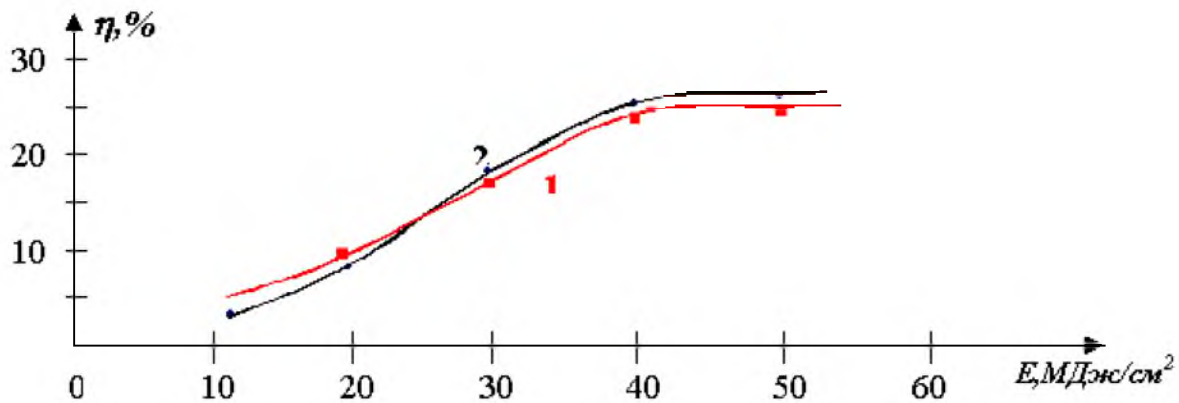


Рис.3. Зависимости ДЭ голограмм от плотности энергии экспонирования в схеме с точной Фурье голограмм (кривая 1) и в схеме с использованием диффузора (2) для ФПН Omni Dex® 352

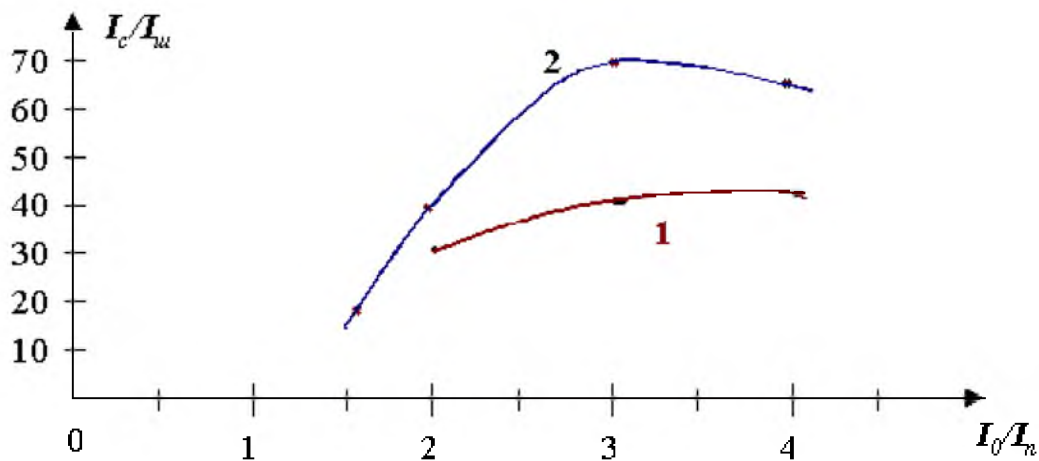
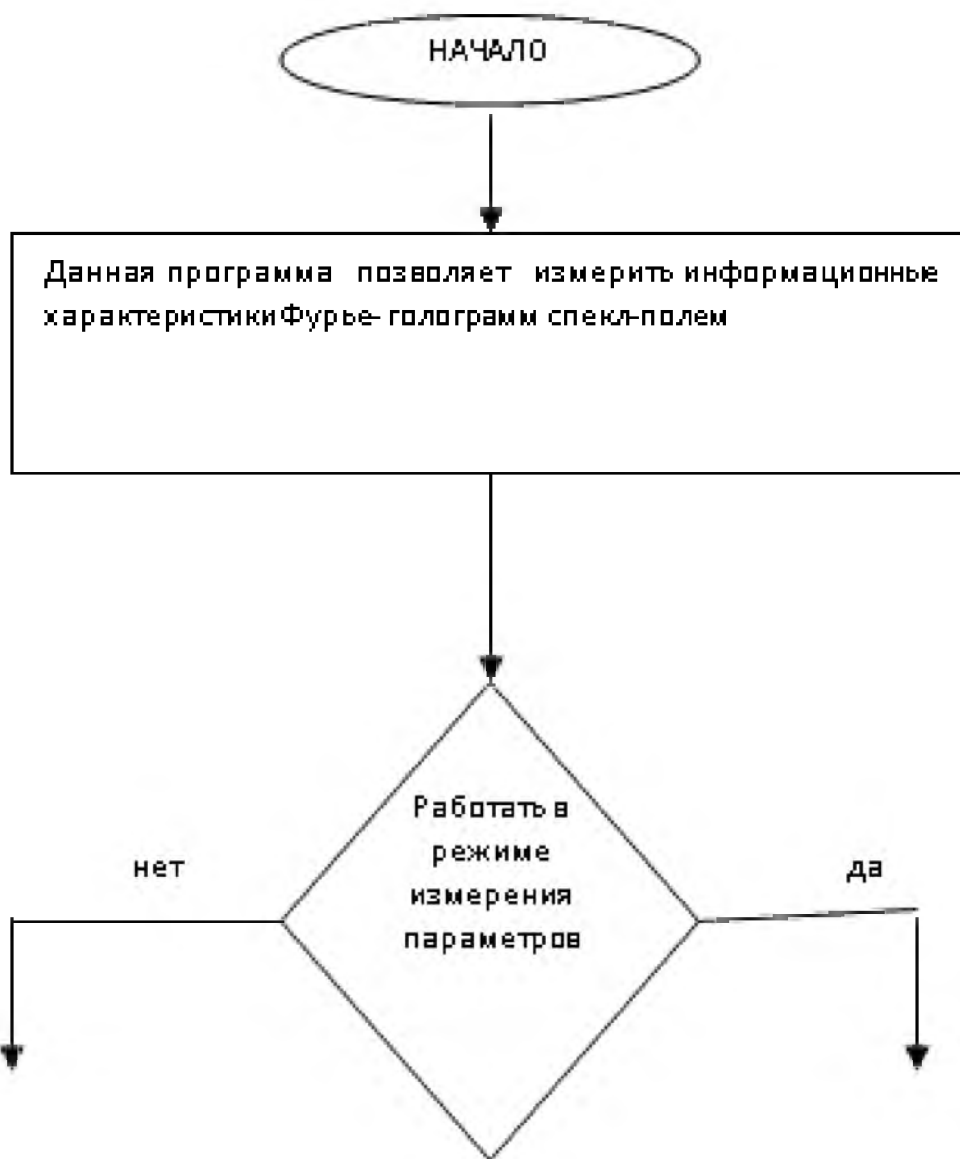
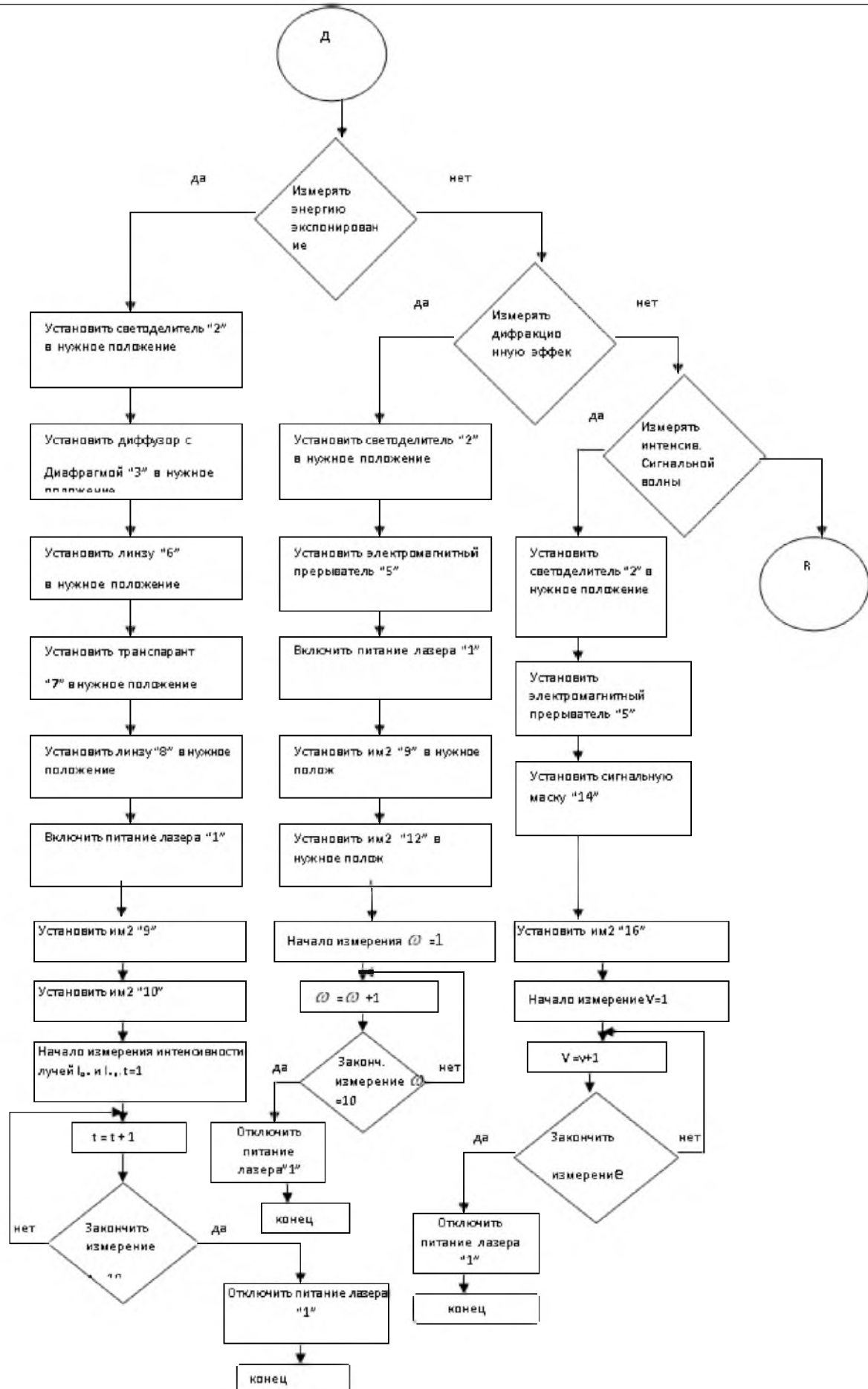
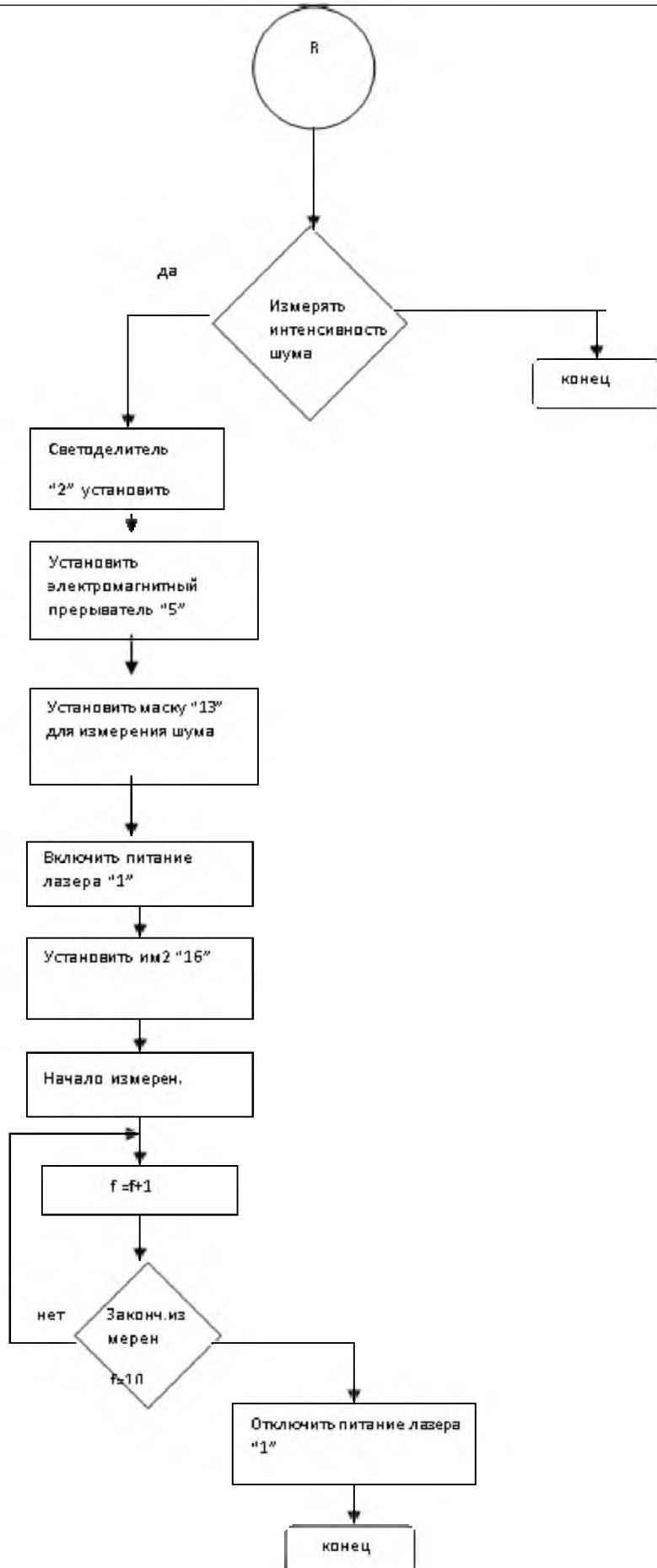


Рис.4. Зависимости отношения  $I_c/I_m$  от соотношения интенсивностей опорной и предметной волн при записи точной Фурье голограммы (кривая 1) и с использованием спекл-волн (кривая 2) для ФПН Omni Dex® 352.









Как видно из вышесказанного, с помощью данного устройства можно измерять все параметры записанной голограммы. Отсюда следует, что данное устройство является универсальным и повышает качество записи и восстановления голограммы. А также большой точности можно измерять параметры записанных голограмм.

### Литература

1. Аникин А.А., Малиновский В.К. Характеристическая кривая и режимы записи голограмм. -“Квантовая электроника”, 1975, Т.2, №9, С. 2054-2057.
2. Барбанель И.С. Оптимизация записи амплитудно-фазовых голограмм. //ЖНиПФиК., 1975, Т.20, вып.6, С. 423-426.
3. Крупицкий Э.И., Барбанель И.С. Оптимизация режима записи тонких амплитудных голограмм методом нелинейного программирования. // ЖНиПФиК., 1973, Т. 18, вып.4, С. 268-273.
4. Lin L.N. Method of characterizing hologram-recording materials. // Journ. Opt. Soc. Amer. 1971, V. 61, №2, P.203.
5. Гибин И.С., Пен Е.Ф., Трубецкой А.В. Методика выбора условий записи голограмм. //Автометрия, 1975, №3, С. 26-31.
6. Токонов А.Т., Каримов Б.Т., Аспердиева Н.М., / Автоматизированный способ записи Фурье-голограмм с использованием пространственно-модулированных световых волн. / Известия КГТУ им И. Раззакова, №4, 2018, Бишкек.