



МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКЕ

О. О. Маматкаримов, Б. Х. Кучкаров, Х. Х. Иззатиллаев
Наманганский инженерно-технологический институт

Д. Ж. Холбаев, Д. А. Юсупов
Наманганский государственный университет

Аннотация: *Цель.* В статье описано развитие конструкции устройств и методов измерений, позволяющих детально изучить характеристики когерентности, которые часто используются при работе лазерных устройств.

Методы. *Основная отличительная черта* лазерных лучей состоит в том, что они описывают исследовательский прибор с высокой степенью когерентности.

Результат. *Разработано устройство, позволяющее изучать все параметры и свойства* лазерных лучей.

Заключение. *Учащиеся получают представление о важности когерентности в голографии, системах связи, высокоточном измерении расстояний и многих других практических приложениях.*

Ключевые слова: *Когерентность, пространственной, временной, функция когерентности, длина когерентности, время когерентности, интерференция, контрастность, интерферометр.*

Введение.

Сегодня использование лазеров настолько широко распространено, что без них порой трудно найти технологии. Безусловно, лазеры используются на каком-то этапе изготовления высокотехнологичной продукции из всех промышленных устройств. Действительно, если мы посмотрим на горизонты применения лазеров в жизни человека, то увидим, насколько обширны и разнообразны возможности. К ним относятся: современные компьютерные технологии, запись и чтение CD и DVD, лазерные принтеры, голография, современное медицинское диагностическое и лечебное оборудование, спутниковая и оптоволоконная связь, автопилоты, высокоточные дальнометры, очистка и диагностика материалов, сварка и лазер. устройства успешно используются в резке, чипировании, термоядерных реакциях, космических исследованиях, военной технике и многих других областях. Следует отметить, что несмотря на то, что лазеры столь популярны и широко используются, методика обучения с ними основам работы на научной основе разработана недостаточно. Словом, современный технический прогресс сильно отстает от создания учебников и пособий, лабораторных разработок, помогающих понять суть своей работы. В результате, хотя каждый новый технологический продукт широко используется на практике, в некоторых случаях даже физикам трудно понять принцип действия. Например, чтобы понять и понять физическую основу принципа работы многих потребительских товаров, таких как трехмерные изображения, записи на лазерных дисках, память, разнообразие систем связи, чтобы помочь молодым людям в современном техническом мышлении в этой области. очень важно в



образовании прозвища. Один из самых верных и необходимых способов добиться этого — внимательно изучить эксперименты в лаборатории и сделать практические выводы.

Актуальность темы. Из вышеизложенного мы видим, что проверка теоретических знаний студентов на практике и выявление областей практического применения для развития у студентов понимания того, как создавать высокотехнологичные продукты на физической основе и развивать у них восприятие практических достижений в науке, очень важны для нашей страны. Подчеркивая значение эксперимента, великий ученый Николай Алексеевич Умов в своей реформе образования сказал: «Если эксперимент не является фундаментальной основой всего физического процесса, то такое утверждение следует признать не только бесполезным, но и вредным». Следует отметить, что если не относиться к этой проблеме серьезно, то признание высокотехнологичных и научных достижений профессионалами отрасли будет по-прежнему очень низким. Студенты должны иметь навыки проведения физических экспериментов, чтобы иметь возможность быстрее применять научные достижения на практике. Для этого особое внимание следует уделить обеспечению учебных заведений необходимыми инструментами и оборудованием для проведения лабораторных работ. Как правило, лабораторные экспериментальные установки создаются как общестандартный тип или как конкретная индивидуальная методика в зависимости от цели эксперимента, и это может меняться в процессе исследования. В основе всех перечисленных выше практических достижений лазерных лучей лежат уникальные свойства лазерных лучей. Только если мы сможем полностью изучить эти особенности со всеми их параметрами, мы сможем полностью понять принципы работы технологического зрения в их практическом применении и сделать смелый шаг навстречу техническому прогрессу. Однако следует отметить, что на сегодняшний день не хватает приборов, позволяющих комплексно изучать лазеры. Вот почему очень важно создавать лабораторные установки, позволяющие изучать параметры и свойства лазерных лучей, проводить с ними эксперименты и определять различные параметры.

Цель работы. Лабораторное оборудование и методы измерения пространственной когерентности лазерных лучей., цель работы - создание комплексной конструкции лабораторного прибора, включающей в себя такие работы, как оценка степени пространственной когерентности, реферальные задания, тестовые и контрольные вопросы, содержание отчета.

Для достижения цели были определены следующие задачи.

Краткое введение в теорию лазеров.

Типы когерентности и условия формирования интерференционных изображений.

Определить методы измерения пространственной когерентности.

Объясните устройство экспериментальной установки и порядок выполнения работ.

Исследовательское оборудование и методы измерения.

Одной из основных отличительных особенностей лазерных лучей является их высокая степень когерентности. Оптическая когерентность характеризуется амплитудой, поляризованностью, частотой и фазовой постоянной электромагнитных волн или наличием между ними закономерной связи. Таким образом, когерентность относится к взаимодействию нескольких колебательных или волнообразных процессов в пространстве и времени. Поэтому когерентность делится на пространственную и временную когерентность. Пространственная когерентность — это когда несколько колебательных или волновых процессов происходят в разных точках пространства одновременно. Когерентность во времени — это совпадение нескольких колебаний или волновых процессов в разные



моменты времени в одной и той же точке пространства. Широкое использование высокоуровневых источников когерентного света в системах связи, интерферометрии, измерительных и управляющих системах, как правило, требует количественной оценки уровней когерентности и, во многих случаях, определения функций когерентности. Они связывают понятие оптической когерентности с интерференцией, что объясняется тем, что в случае интерференции происходит взаимное выравнивание потоков света, что приводит к пространственно-неоднородному распределению интенсивности в области их возникают зоны пересечения, которые усиливают или ослабляют друг друга. Это рассматривается как интерференционная картина. Пространственная когерентность показана на рисунке 1. Это легче понять, взглянув на интерферометр шерсти.

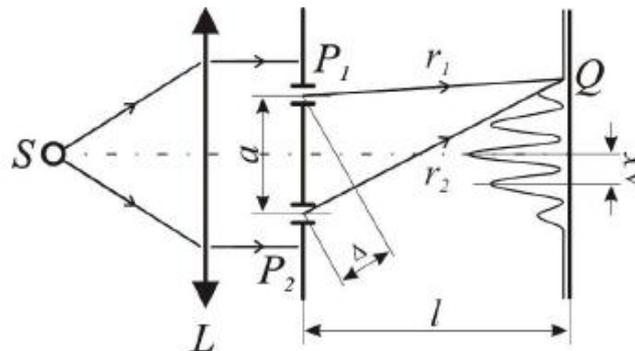


Схема 1. Пространственная согласованность

Здесь квазимонохроматический источник света, расположенный в фокусе линзы L , принимает свет от экрана меньшего размера, чем S , имеет щель P_1 и P_2 разделяет его пополам. Затем они сходятся в точке Q экрана на расстоянии $l \cdot \left(\frac{\partial \nu}{\nu_0} \ll 1 \Delta \nu\right)$. - ширина

спектральной линии излучения, ν_0 -центральная частота излучения r_1 и r_2 задерживается P_1 время от времени от точки к точке Q светового пути и $\tau = \Delta/c$ изменяется. Здесь геометрическая разность путей $\Delta = (r_1 - r_2)$, скорость S -света. Интерференционные коридоры образуются в местах дифракции двух щелей и в направлении P_1 и P_2 , перпендикулярном линии, соединяющей щели.

В этом случае пространственная когерентность достигается в данной точке, потому что свет поступает к ним одновременно. Следующие условия должны быть выполнены для наблюдения коридоров помех $l \gg a > \lambda$. Кроме того, если угол между мешающими токами мал, то ширина мешающих коридоров Δx (т. е. расстояние между соседними минимумами или максимумами в интерференционном потоке) определяется следующим выражением.

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot l}{a} \quad (1)$$

Контрастность или видимость коридоров помех определяется как:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2)$$

Здесь I_{\max} и I_{\min} интенсивность интерференционных коридоров, примыкающих к свету. Для площади света в точке Q в момент времени t выражение можно записать так:

$$I(Q) = \langle E_1 \cdot E_1^* \rangle + \langle E_2 \cdot E_2^* \rangle + 2\text{Re} \langle E_1(t + \tau) \cdot E_2^*(t) \rangle \quad (3)$$



Здесь E — напряженность поля, E_1^* и E_1 — комплексная составная функция, τ — время задержки между токами из точек (3) называется функцией соотношения величин $\Gamma_{12}(\tau) = \langle E_1(t+\tau) \cdot E_2^*(t) \rangle$ и величин $E_1(t)$ и $E_2(t)$, входящих в формулу. Его можно записать в виде интегральной суммы двух медленно меняющихся комплексных амплитуд.

$$\Gamma_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(t+\tau) E_2^*(t) dt \quad (4)$$

Если P_1 и P_2 совпадают, но свет приходит в наблюдаемую точку Q двумя неравными путями, то это следует из формулы (4) $\Gamma_{11}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_1(t+\tau) E_1^*(t) dt$ $\Gamma(\tau) \equiv \Gamma_{11}(\tau)$ Величины называются автокорреляционными функциями. Это зависит только от относительной латентности τ , следовательно, от когерентности времени. По-видимому $\tau = 0$, автокорреляционная функция дает нормальную интенсивность соответствующего источника $\Gamma_{11}(0) = I_1$.

С другой стороны, кроме задержки лучей от двух разных источников, тогда величина $\Gamma_{12} \equiv \Gamma_{12}(0)$ зависит только от их расположения и характеризует пространственную когерентность.

Включен $\gamma_{12}(\tau) = \frac{\Gamma_{12}(\tau)}{\sqrt{\Gamma_{11}(0)}\sqrt{\Gamma_{22}(0)}} = \frac{\Gamma_{11}(\tau)}{\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}}$ параметр нормировки, который обычно определяется

соотношением и называется комплексным уровнем когерентности световых волн $\gamma_{12}(\tau)$. Тогда Q формула (3), представляющая собой экранное наблюдение за распределением интенсивности в точке, принимает следующий вид.

$$I(Q) = I_1(Q) + I_2(Q) + 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$$

Здесь $I_1(Q)$ и $I_2(Q)$ напряженности в точке Q интерферирующих токов, $\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$ действительная часть комплексного уровня когерентности. Q Максимальная и минимальная интенсивности интерференционной картины вблизи точки с хорошей точностью определяются следующими выражениями

$$I(Q)_{\max} = I_1(Q) + I_2(Q) + 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$$

$$I(Q)_{\min} = I_1(Q) + I_2(Q) - 2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$$

Следующая формула используется для связи интенсивности двух токов и степени их когерентности с контрастностью интерференционных коридоров.

$$V(Q) = \frac{I(Q)_{\max} - I(Q)_{\min}}{I(Q)_{\max} + I(Q)_{\min}} = \frac{2\sqrt{I_1(Q)}\sqrt{I_2(Q)}}{I_1(Q) + I_2(Q)} \cdot \gamma_{12}^{(r)}(\tau) \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что если две силы тока равны, $I_1(Q) = I_2(Q)$ то $V = \gamma_{12}^{(r)}(\tau)$ контраст коридора равен модулю комплексного уровня когерентности. $\gamma_{12}^{(r)}(\tau)$ допустимые значения находятся в диапазоне от 0 до 1.



Если $\gamma_{12}^{(r)}(\tau) = 0$, то Q два тока вокруг точки совершенно не когерентны. Коридоры без помех.

Если $\gamma_{12}^{(r)}(\tau) = 1$, то два потока полностью когерентны. Коридоры интерференции наблюдаются с максимально возможным контрастом.

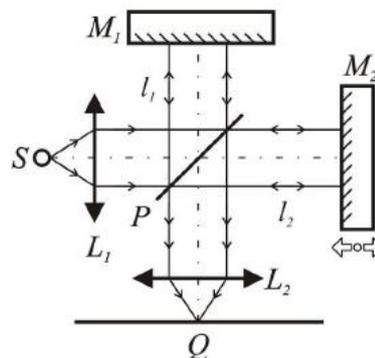
Если $0 < \gamma_{12}^{(r)}(\tau) < 1$, то два потока частично когерентны. Таким образом, из вышеизложенного следует, что для определения степени пространственной когерентности необходимо действовать в следующей последовательности.

- 1) Отделите излучение от сечения пучка в двух точках интереса.
- 2) Измерьте контраст интерференционной картины и интенсивность ее световых волн.
- 3) По формуле (5).

Следует также отметить, что если необходимо измерить временную корреляционную функцию площади, не возмущенной пространственной статистикой, то используется другая интерференционная схема, а именно интерферометр Майкельсона (рис. 2).

Здесь световая волна от источника S падает на полупрозрачную наклонную пластину P , которая образует два потока. Оно возвращается из M_1 и M_2 ручьев и зеркал. Затем один из них P_1 снова прошел через тарелку, а другой Q вернулся

Схема 2. Принципиальная схема интерферометра Майкельсона



оба мешают на экране. При равенстве интерферометра l_1 и l_2 наблюдаемое изображение характеризует когерентность колебаний, излучаемых в один момент времени. Когда интерферометр вытянут на одно плечо, сравниваются колебания временного интервала Δt .

$$\Delta t = \frac{2 \cdot (l_1 - l_2)}{c} = \frac{2 \cdot \Delta l}{c}$$

Здесь c — скорость света. Интерференция, наблюдаемая от комбинации таких токов, может рассматриваться как проявление когерентности во времени. Зависимость степени когерентности от временного интервала называется функцией временной когерентности. Интервал времени, в течение которого колебание является когерентным, называется временем когерентности. При когерентности вибрация проходит определенное расстояние в пространстве, которое называется длиной когерентности. Следует отметить, что разделение когерентности на пространственную и временную можно провести только в простейших случаях. В общем, эти два типа когерентности не являются несвязанными.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Перед выполнением данной лабораторной работы необходимо ознакомиться с литературой по основным теоретическим случаям.

Принципиальная схема экспериментального устройства, используемого в данной лабораторной работе, представлена на рисунке 3.

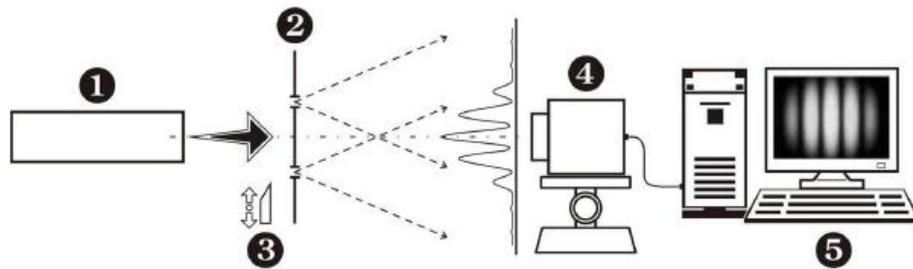


Схема 3. Схема экспериментального устройства

Это первый источник лазерного излучения. Экран с 2 прорезями. Передвижной барьер 3. 4 Камера. Устройство, преобразующее сигнал 5 в режим мониторинга. В качестве источника лазерного луча используется гелий-неоновый лазер. В непрерывном режиме $\gamma = 632.8 \text{ nm}$ генерируется свет с длиной волны в нм. При работе с видеокамерой, если свет выбран слишком ярким, будет сложно увидеть максимум того, что можно увидеть. Поэтому светофильтр, ослабляющий свет, следует размещать в направлении лазерного луча.

Оценка степени пространственной когерентности лазерных лучей.

- При выключенном 1-м лазере 4-й фон с видеокамерой регистрирует существующий фон и сохраняет его в файл. Эта работа повторяется не менее 5 раз.
- Лазерный луч 1 направляется на выбранную пару щелей на экране 2. Когда выбранная пара отверстий полностью открыта, переместите экран 2 или источник 1, чтобы добиться максимального контраста наблюдаемого сигнала, т.е. интерференционной картины (рис. 4а).

1 ситуация. Обе трещины открыты

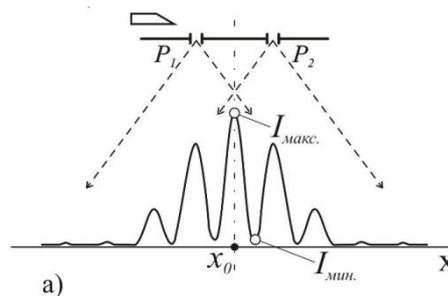


Рисунок 4а. Вид помех устройств.

Эту сцену следует контролировать на мониторе компьютера.

- Сцена интерференции записывается и сохраняется в файл с помощью программного обеспечения, которое обслуживает видеокамеру.
- регистрируется распределение интенсивности от открытой трещины путем закрытия одной из трещин завесой (рис. 4б).

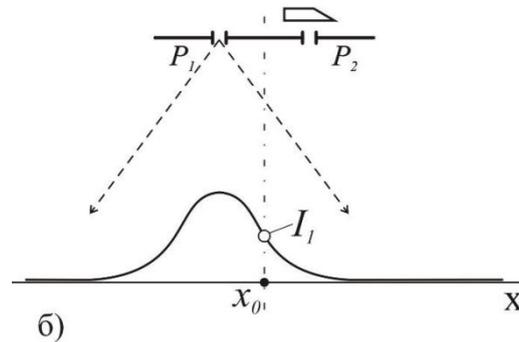
2 ситуация. P_1 трещина открыта

Рисунок 4 б. Распределение интенсивности

Такую же работу выполняют для второго отверстия, ожидая первого, и повторяют 5 раз (рис. 4в).

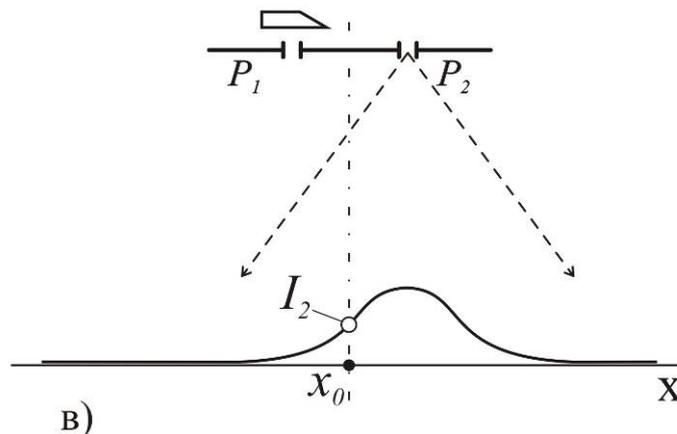
2 ситуация. P_2 трещина открыта

Рисунок 4в

Метод подсчета результатов. Гораздо проще использовать инструменты Microsoft Excel для подсчета результатов работы. Каждый файл данных имеет два столбца, один для значений координат, а другой для интенсивности сигнала в программных единицах.

При усреднении полученных значений фонового шума сумму значений файлов для тех же координат во всех вторых столбцах следует разделить на количество используемых файлов. В результате получается файл со значениями координат в первом столбце, и усредненными значениями интенсивности фонового шума во втором столбце. Аналогичная интерференционная картина усредняется по всем сигналам, принятым для однопарных пар. При вычитании шумового фона из результатов измерений необходимо отделить усредненные шумовые сигналы от усредненных сигналов от всех отдельных отверстий и интерференционной картины для тех же значений координат. Вся эта работа выполняется в отношении файлов второго столбца. В результате в первом столбце получается файл со значениями координат, а во втором остаются фоновые сигналы.

Для каждой пары усредненных и единообразно названных трещин следует оценить центральный максимум интенсивности бесшумной интерференционной рисунка 4 I_{\max} и соседний минимум интенсивности I_{\min} . На основе анализа необходимо определить



местонахождение точки P_1 и P_2 , то есть координаты корпуса, без учета $r = 0$ задержки их и лучей, идущих от X_0 щелей.

Это определяется по точке, где находится максимум центральной интерференционной картины (рис. 4а). Затем необходимо оценить интенсивности сигналов и точек в точке из анализа скорректированной интерференционной картины X_0 усредненных распределений с учетом шума для каждой из пар I_1 и I_2 одноименных отверстий (рис. 4.б и 4. в).

Для каждой пары одноименных отверстий требуется видимость интерференционных коридоров по формуле (2). На основании видимости и интенсивности сигналов в точке оценивается уровень пространственной когерентности и X_0 для каждой из одноименных пар по формуле (5).

Выводы. Вышеуказанное лабораторное устройство создается непосредственно обучающимися с помощью необходимого оборудования, приближая теоретические знания к практическому применению путем проверки совместимости теоретических знаний с результатами практического опыта.

На основе тщательного изучения данной лабораторной работы студенты получают понимание важности когерентности в голографии, системах связи, высокоточном измерении расстояний и многих других практических приложениях, а качество знаний будет высоким.

Использованная литература:

1. Mirinoyatov M. M. Lazer fizikasi va texnikasi, O'quv qo'llanma, Toshkent, 2009 y.
2. A.T.Tursunov, O.Tuhliboev. Kvant elektronikasiga kirish. T:O'qituvchi, 1992.
3. «Izmerenie xarakteristik opticheseskix kvantovyx generatorov» (pod. Red. R.A. Valitova), 1969 g.
4. Kaliteevskiy N.I. Volnovaya optika.-SPb: Lan,2008,466s.
5. Stafeev S.K.,Boyarskiy K.K., Bashnaya G.L. Osnovy optiki:Uchebnoye posobiye.-SPb: Piter, 2006,336 s.
6. Magurin V.G., Tarl'kov V.A. Kogerentnaya optika. Uchebno-metodicheskoe posobie.-SPb.,SPbGU ITMO, 2006, 122 s.
7. Mitrofanov A.S. Printsip' usileniya opticheskogo izlucheniya. Uchebnoye posobie.-SPb., SPbGU ITMO, 2005, 122 s.
8. Al'tshuler G.B., Antonevich G.N., Belashenkov N.R. idr. Metodicheskie ukazaniya k laboratornomu praktikumu po distsipline "Kvantovaya elektronika".-L.: LITMO, 1991,58 s.
9. Kuchkarov B., Mamatkarimov O., Abdulkhayev A. (2020). ICECAE IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 614 012027 "Influence of the ultrasonic irradiation on characteristic of the structures metal-glass-semiconductor", Paper ID 116.
10. Qo'chqarov B.X., Nishonov A., Qo'chqarov X.O. (2020). Scientific bulletin of Namangan State University, "The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge carriers", 1(7), 3-6.
11. Vlasov, S.I, Nazirov, D.N, Kuchkarov B.K., Bobokhujayev, K.U., (2014). Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure. "UzbekistonFizikaJurnali", 3(16), 231-233.



12. Kuchkarov, B. K., Mamatkarimov, O.O., (2019). Influence of ultrasonic action on the rate of charge formation of the inversion layer in metal-glass-semiconductor structures. "Vestnik KRAUNC. Fiziko-Matematicheskie Nauki", 4(29), 125-134.
13. Vlasov S.I., Ovsyannikov A.V., Ismailov B.K., Kuchkarov B.H. (2012). Effect of pressure on the properties of Al-SiO₂-n-Si<Ni> structures. "Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics", 2(15), 166-169.
14. Dadaboyev, Q. Q. (2021). Замонавий иссиқлик электр станцияларидаги совитувчи минорани реконструкция қилиш орқали техник сув исрофини камайтириш. "International journal of philosophical studies and social sciences", 1(3), 96-101.
15. Karimov Abdusamat Ismonovich, A'zam A. Mamakhanov, Doniyor J.Kholbaev, Theoretical research on the use of siphoned, vacuum-operated pipelines to obtain safe and efficient electricity from the potential energy of reservoir water. International Journal of Future Generation Communication and Networking Vol. 13, No. 4, (2020), pp. 236–245
16. A'zam A. Mamakhanov, Doniyor J. Kholbaev, Preliminary Study on the Hydroelectricity Efficiency Generated from the Water Flow through Reservoir Distribution Pipes in the Chartaq Reservoir Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 12, 05-Special Issue, 2020.
17. DR Otamirzaev. Energy characteristics of solar photoelectric installations under the combined production of heat and electric energy in the conditions of Uzbekistan. International Journal of Psychosocial Rehabilitation p - 1836-1842.
18. Saloydinov, S. Q. (2021). Paxta tozalash zavodlarida energiya sarfini kamaytirishning texnik-iqtisodiy mexanizmini yaratish. "Academic research in educational sciences", 2(9), 886-889.
<https://doi.org/10.24412/2181-1385-2021-9-886-889>
19. Saloydinov, S. Q. (2021). Creation of feasibility studies to reduce energy costs in ginneries. "Экономика и социум", 9(88), 147-149.
20. Askarov, D. B. (2020). Gas Piston Mini Cogeneration Plants-A Cheap And Alternative Way To Generate Electricity "Интернаука". №. 44-3. – С. 16-18.