

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Абдурахимов Равшан Рустамович

*Стажер-исследователь Андижанского машиностроительного института,
Андижанская область, город Андижан, Узбекистан*

В последние годы внедрение лазерной техники во все отрасли народного хозяйства значительно расширилось. Уже сейчас лазеры используются в космических исследованиях, в машиностроении, в медицине, в агропроме, в вычислительной технике, в самолетостроении и военной технике. Непрерывно совершенствуется применение лазеров в научных исследованиях – физических, химических, биологических. Ряд образцов лазерной техники – дальномеры, высотомеры, локаторы, системы самонаведения – поступили на вооружение в армиях.

Лáзер (англ. laser, акроним от light amplificatin by stimulated emissin f radiatin «усиление света посредством вынужденного излучения»), или оптический квантовый генератор — это устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Лазеры используются для сбора информации, передачи её на землю и самое главное это источник энергии, необходимой для полноценной и непрерывной работе лаборатории.

Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения. Суть явления состоит в том, что возбуждённый атом способен излучить фотон под действием другого фотона без его поглощения, если энергия последнего равняется разности энергий уровней атома до и после излучения. При этом излучённый фотон когерентен фотону, вызвавшему излучение (является его «точной копией»). Таким образом происходит усиление света. Этим явление отличается от спонтанного излучения,

в котором излучаемые фотоны имеют случайные направления распространения, поляризацию и фазу.

Еще в 1940 г. советский физик В.А. Фабрикант указал на возможность использования явления вынужденного излучения для усиления электромагнитных волн. В 1954 г. советские ученые Н.Г. Басов и А.М. Прохоров и независимо от них американский физик Ч. Таунс использовали явление индуцированного излучения для создания микроволнового генератора радиоволн с длиной волны $\lambda = 1,27$ см.

Лазерные источники света обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими источниками света:

1. Лазеры способны создавать пучки света с очень малым углом расхождения (около 10^{-5} рад). На Луне такой пучок, испущенный с Земли, дает пятно диаметром 3 км.

2. Свет лазера обладает исключительно монохроматичностью. В отличие от обычных источников света, атомы которых излучают свет независимо друг от друга, в лазерах атомы излучают свет согласованно. Поэтому фаза волны не испытывает нерегулярных изменений.

3. Лазеры являются самыми мощными источниками света. В узком интервале спектра кратковременно (в течение промежутка времени продолжительностью порядка 10^{-13} с) у некоторых типов лазеров достигается мощность излучения 10^{17} Вт/см², в то время как мощность излучения Солнца равна только $7 \cdot 10^8$ Вт/см², причем суммарно по всему спектру. На узкий же интервал $\Delta\lambda = 10^{-6}$ см (ширина спектральной линии лазера) приходится у Солнца всего лишь $0,2$ Вт/см². Напряженность электрического поля в электромагнитной волне, излучаемой лазером, превышает напряженность поля внутри атома [1].

В настоящее время масштабы использования лазерного оборудования в космических исследованиях значительно расширяются.

Во время полётов на Луну пилотируемыми и беспилотными аппаратами, на её поверхность было доставлено несколько специальных уголкового отражателей. С Земли при помощи телескопа посылали специально

сфокусированный лазерный луч и измеряли время, которое он затрачивает на путь до лунной поверхности и обратно. Основываясь на значении скорости света, стало возможным рассчитать расстояние до Луны. Сегодня параметры орбиты Луны известны с точностью до нескольких сантиметров.

Применение методов адаптивной оптики в наземных телескопах позволяет существенно повысить качество изображения астрономических объектов путем измерения и компенсации оптических искажений атмосферы. Для этого, в сторону наблюдения направляется мощный луч лазера. Излучение лазера рассеивается в верхних слоях атмосферы, создавая видимый с поверхности земли опорный источник света – искусственную звезду. Свет от нее, прошедший на обратном пути к земле через слои атмосферы, содержит информацию об оптических искажениях, имеющих место в данный момент времени. Измеренные таким образом атмосферные искажения компенсируются специальным корректором. Например, деформируемым зеркалом.

Лазерное оборудование также используется для изучения льда на Земле. 15 сентября с космодрома в Калифорнии на орбиту Земли отправился спутник НАСА для изучения состояния ледяного покрова Земли. Миссия искусственного спутника, названного ICESat-2, состояла в том, чтобы предоставить с помощью лазера более точную информацию, как глобальное потепление воздействует на ледяные массивы. ICESat-2 был выведен на орбиту ракетой Delta II с авиабазы ВВС США Ванденберг на калифорнийском побережье.

Как следует из названия, ICESat-2 стал уже второй версией спутника. Первый космический аппарат был запущен 2003 году и впервые провел лазерное измерение толщины полярных ледников и морского льда из космоса. Но миссию преследовали технические проблемы, в результате которых наблюдения ограничивались лишь парой месяцев в год. С тех пор НАСА усовершенствовало технологию, сделав процесс наблюдения более надежным и сфокусированным [7].

Антарктида и Гренландия ежегодно теряют миллиарды тонн льда. Это происходит по большей части из-за контакта с теплой водой на границе ледника

и океана. Талая вода медленно, но верно поднимает уровень моря во всем мире. В Арктике сезонные льды также теряют объем. Предполагается, что с 1980-х годов морской лед на Крайнем Севере сократился на две трети. И хотя это не оказывает прямого влияния на высоту уровня океанов, уменьшение ледяного покрова способствует увеличению температуры воздуха в регионе.

Новая лазерная система, весящая полтонны, является одним из крупнейших инструментов наблюдения за поверхностью Земли, когда-либо созданных НАСА. В ней используется технология подсчета фотонов.

Зонд испускает 10 тысяч лазерных импульсов за секунду. Каждый из них достигает Земли и отскакивает назад за примерно 3,3 миллисекунды. Точное время "отскока" позволяет рассчитать высоту отражаемой поверхности.

Ученые надеются, что ICESat-2 поможет создать первые точные карты толщины морского льда в Антарктике. В настоящий момент техника оценки ледяного покрова четко работает в Арктике. Она включает в себя сравнение высоты той части плавающего льда, которая возвышается над водой, с высотой самой поверхности океана. Поскольку ученые знают плотность морской воды и льда, они могут подсчитать, сколько льда должно находиться под водой, и, следовательно, общую его толщину.

Лазерное оборудование также используется в космических системах связи. С совершенствованием квантовых оптических генераторов (лазеров) становится перспективной оптическая связь, т. к. на оптических волнах можно передать сообщения на сверхдальние расстояния (до десятков световых лет) благодаря очень высокой направленности луча (расхождение луча не более долей сек) при относительно малых размерах излучателей и прием потребляемой мощности. Но узконаправленное излучение и приём оптических волн требуют тщательной стабилизации устройств, ориентации оптических систем, сложного вхождения в связь и поддержания её. Наиболее выгодны оптические линии связи, находящиеся за пределами земной атмосферы, т. к. атмосфера сильно поглощает и рассеивает энергию оптических волн. Применение для связи с космическим аппаратом лазеров обеспечит высокую направленность излучения при

приемлемых габаритах оптических устройств (антенн). Кроме того, использование лазера позволит применить когерентный прием оптических сигналов [3].

С точки зрения уменьшения веса оптических систем целесообразного дифракцией раскрывание антенны равно:

$$d = 1.22\lambda/\Omega \quad (1)$$

где λ - длина волны;

Ω - угловая ширина луча лазера.

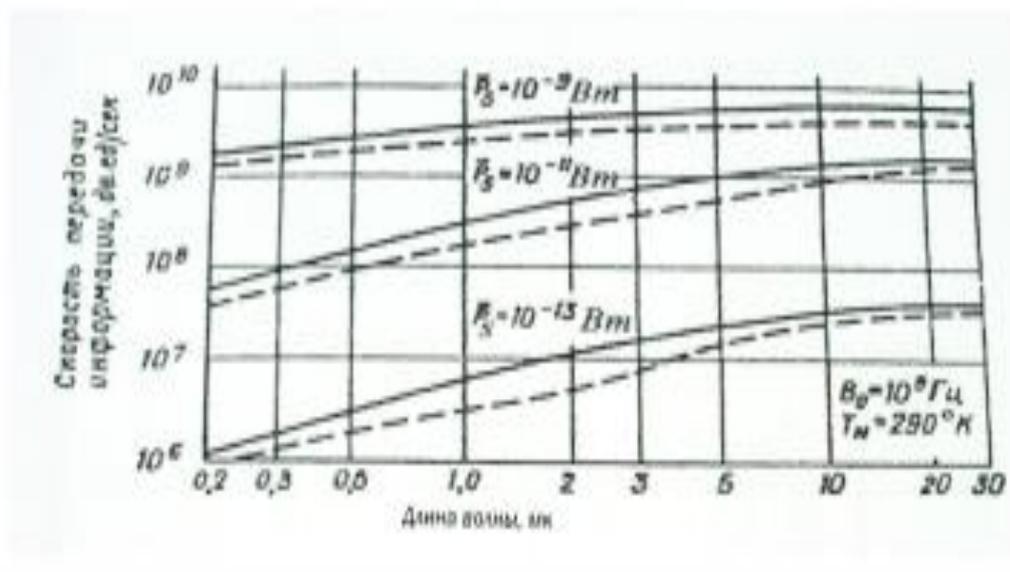


Рис.1. Скорость передачи информации переносимой электромагнитной волной [3].

Однако наибольшая скорость передачи информации электромагнитной волной при некоторой полосе пропускания системы после детектора, при наличии некоррелированного (белого) аддитивного шума и при неограниченной средней мощности принимаемого сигнала P_M , очень быстро уменьшается, если несущая частота ν начинает превышать величину P_s/hB_0 , где h - постоянная Планка (рис.1) [3]. Поэтому частоту линии связи $\nu = c/\lambda$, где c - скорость света, нельзя выбирать бесконечно большой без ухудшения характеристик системы.

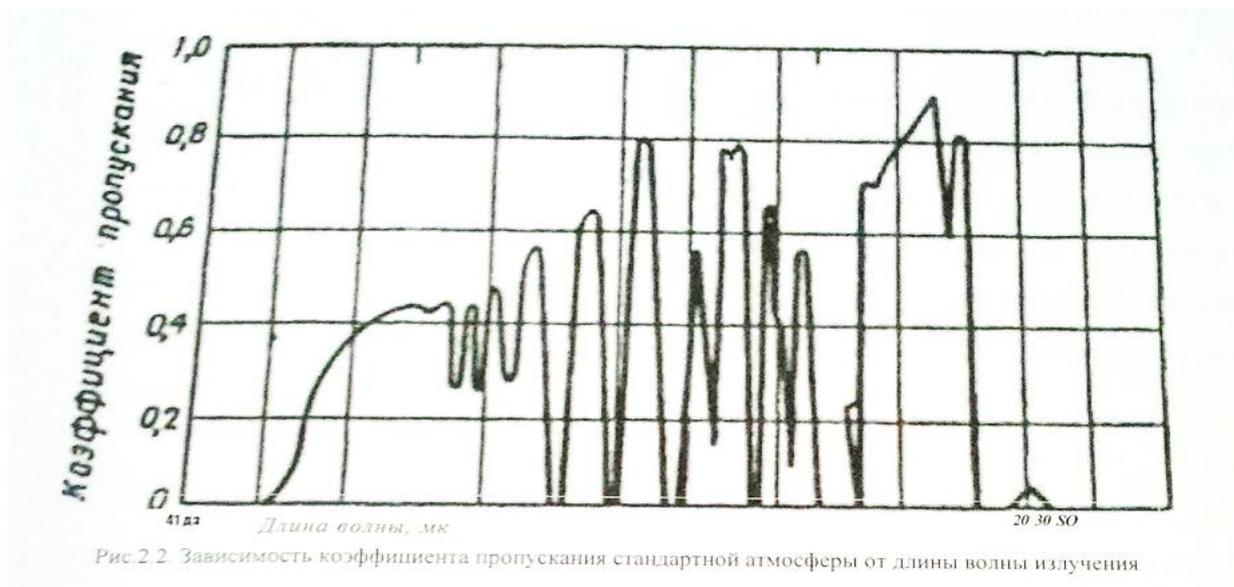


Рис.2. Зависимость коэффициента пропускания стандартной атмосферы от длины волны излучения [3].

Коэффициенты пропускания оптических систем приемника и передатчика можно считать постоянными; зависимость коэффициента пропускания для стандартной атмосферы от длины волны излучения известна и для удобства снова представлена на рис. 2 [3].

Средняя мощность принимаемого сигнала P_s для данной постоянной скорости передачи информации I зависит от несущей частоты. Выбор частоты будет основываться на предположении, что схема модуляции может быть выбрана таким образом, чтобы использовалась некоторая определенная часть а информационной емкости канала (например, $a=0,1$). Зависимость способности различных приемников оптического диапазона извлекать информацию из снимаемого сигнала от длины волны при средней мощности принимаемого сигнала 10^{-11} Вт, полосе пропускания приемника 10^9 Гц и абсолютной температуре 290°K . Информационная емкость канала равна произведению способности детектора извлекать информацию $y(X)$ из информационной емкости C_w электромагнитной волны. С ростом длины волны, характеристики системы связи улучшаются, однако при этом увеличивается вес и возрастает сложность аппаратуры.

Для линий связи «земля-космос» необходим тщательный учет коэффициента пропускания атмосферы. Малая величина этого коэффициента определяет большое значение необходимой мощности излучения передатчика.

Однако увеличение мощности принимаемого сигнала с возрастанием частоты происходит значительно быстрее, чем уменьшение информационной емкости электромагнитной волны, связанное с ростом способности детектора извлекать информацию $u(A)$ [4].

Расчеты показывают, что квантовая эффективность идеального детектора равна единице ($\eta = 1$). Квантовая эффективность реальных детекторов, имеющих максимальную чувствительность на длинах волн больше 1 мк, близка к единице, но их недостатком является ограниченная полоса пропускания. Детекторы с приемлемой шириной полосы пропускания имеют более низкую квантовую эффективность, чем указывалось выше.

Более детальный анализ системы связи должен включать учет этого функционального соотношения, т. е. при выборе рабочей частоты необходимо учитывать и взаимозависимость полосы пропускания и квантовой эффективности. Наконец, при выборе частоты следует учитывать выходную мощность лазера. Последняя величина с учетом коэффициента полезного действия при оценке системы связи может быть переведена в эквивалентный вес источников питания и системы охлаждения.

Таким образом, при выборе рабочей частоты системы связи «земля - космос» необходимо учитывать следующие обстоятельства: При использовании когерентного режима необходимо работать на более длинных волнах. Для линий связи «земля - космос» этот вывод, однако, является не вполне обоснованным, поскольку турбулентность атмосферы нарушает стабильность фазового фронта.

Существующие лазеры работают в основном на волнах короче 10 мк.

Ограниченность полосы пропускания детекторов на более длинных волнах приводит к необходимости работать на частотах, близких к максимуму характеристики спектральной чувствительности фотоумножителя.

С целью уменьшения размеров и веса антенны целесообразно работать на более высоких частотах, однако нецелесообразно увеличивать несущую частоту беспредельно, поскольку при очень узких лучах затрудняется их наведение на приемник и точное слежение за движущимся объектом. Кроме того, за счет флуктуации в атмосфере луч искривляется, что при очень малой ширине луча не позволит осуществить устойчивую связь.

Свойства атмосферы благоприятствуют применению некогерентного излучения, поскольку при этом можно использовать антенны большего размера. Применение гетеродинного режима позволяет сузить полосу пропускания по промежуточной частоте, что важно с точки зрения фильтрации фона в дневное время и для режима работы, в котором ограничивающим фактором является фоновое излучение Марса.

Суммируя вышеизложенное, можно сказать, что с теоретической точки зрения предпочтительнее работать в нижней части оптического спектра частот с применением в приемном устройстве гетеродинного метода детектирования. Для эффективного использования потенциальных возможностей когерентных лазерных систем необходимо дальнейшее развитие как лазерной техники, так и техники детектирования оптических сигналов, применяемой в сочетании с когерентными устройствами. В области максимума квантовой эффективности фотокатода характеристики детектора практически постоянны, так что необходимо использовать лазер с рабочей частотой, по возможности наиболее близкой к указанной области. Следует отметить, что при установке приемного устройства на искусственном спутнике более выгодным может оказаться когерентное излучение в инфракрасном диапазоне.

Время давало пищу прогрессу – и спустя несколько столетий человечество научилось запускать спутники и шаттлы для исследования поверхности планет, измерять с достоверной точностью расстояние от Земли до звезд, расположенных в других галактиках. Великие астрономы делали то, о чем даже не могли мечтать их предки.

Ничего не стоит на месте, поэтому современные люди умеют «зажигать» искусственные звезды. Делают они это не из праздности, а из жажды новых познаний.

В *гавайской* обсерватории *Маун-Кеа* расположено 12 мощнейших телескопов мощностью 15-40 Вт, которые находятся на высоте 4 тысячи метров над уровнем моря. Благодаря этим сооружениям создаются искусственные звезды с помощью мощного лазерного луча.

В 1915-1916 годах *Альбертом Эйнштейном* была выдвинута теория относительности, которая гласила: *звезды искривляют свет и пространство при помощи своей массы и энергии*. Предсказания великого ученого были подтверждены в 1919 году Артуром Эддингтоном. Вместе со своей командой ученый провел полевые испытания: ученые зафиксировали положение звезд на небосводе, когда Земля находилась за Солнцем. Через полгода, во время лунного затмения, ученые посмотрели на эти же небесные светила, и отметили, что изображение их расположения изменилось под воздействием массы Солнца. Так была подтверждена общая теория относительности.

При исследовании звезд, которые находятся в других галактиках, учитывается тот фактор, *что* рядом с ними располагаются объекты, искривляющие свет и пространство. По этой причине невозможно получить достоверную информацию [5].

Долгие исследования, и человеку удастся изобрести адаптивную оптику. Благодаря оборудованию астрономы получили шанс устранить проблему нерегулярных искажений, вызванную распространением света в нерегулярной среде. Такую оптику встраивают в телескопы, в лазерные установки, в офтальмологические аппараты. Именно с помощью изобретения компенсируются атмосферные искажения, абберации оптических систем, неточности человеческого глаза. Используют датчики интерференционного типа или типа Шака - Гатмана. Конструкцию такой оптики предложил В.П. Линник.

При помощи этой системы возможны более точные показания всех необходимых данных. Но вот если звезда находится далеко, могут возникнуть

проблемы с устранением аберраций, то есть погрешностей в оптической системе, которые вызывают отклонения лучей от направления, по которому он в принципе должен идти в идеальной оптической системе.

Очень часто на помощь приходят другие яркие звезды, на которые ориентируется «умная» система. Но не всегда есть возможность найти подходящую звезду, либо в нужном радиусе не оказывается вообще ни одной. Тогда в игру вступают лазеры.

Лазеры возбуждают атомы натрия в верхних слоях атмосферы. Как известно, натрий попадает туда в результате распада метеоритов. Лазерные лучи достигают натрия, начинают с ним взаимодействовать. Лазерный фотон поглощается, и возбуждает атом. Происходит переизлучение, и атом натрия возвращается в обычное состояние. Таким способом создается эталон, на который ориентируется адаптивная оптическая система. Данный метод позволяет получать достаточно точные результаты исчислений, что дает возможность ученым делать новые открытия.

Сам процесс представляет собой грандиозное зрелище: лазерный луч уходит тонкой изумрудной нитью на гранате, или темно-алый луч света пронзает небесное пространство. Потрясающее и незабываемое представление. Процесс может быть красивым и одновременно опасным. Лазерный луч, уходящий в небо, способен запросто ослепить пилота самолета. Это приводит к различным последствиям. Именно по этой причине зона над *телескопами Мауна-Кеа* закрыта для самолетов.

Одна из актуальных на сегодняшний день тем в коммерческой аэрокосмонавтике, и не только — это тема создание новых типов космических автономных аппаратов, способных длительное время функционировать в необычных условиях открытого космоса и на поверхности другого небесного тела, например Луны. Основное предназначение таких аппаратов — это получение более полной и детальной информации об атмосфере, климате, об их изменениях, изучение структуры лунных недр, картографирование лунных

минералов, исследования химического и минерального состава лунных пород. Перечень объектов исследования можно продолжить.

По мнению многих учёных, основной темой которая позволит решить комплекс проблем в развитии космонавтики в XXI веке будет тема использование лазера [6].

В настоящее время бурно развивается так называемая лазерная связь. Известно, что чем выше несущая частота канала связи, тем больше его пропускная способность. Поэтому радиосвязь стремится переходить на всё более короткие длины волн. Длина световой волны в среднем на шесть порядков меньше длины волны радиодиапазона, поэтому посредством лазерного излучения возможна передача гораздо большего объёма информации. Лазерная связь осуществляется как по открытым, так и по закрытым световодным структурам, например, по оптическому волокну. Свет за счёт явления полного внутреннего отражения может распространяться по нему на большие расстояния, практически не ослабевая.

Применение лазеров в метрологии и измерительной технике не ограничивается измерением расстояний. Лазеры находят здесь разнообразнейшее применение: для измерения времени, давления, температуры, скорости потоков жидкостей и газов, угловой скорости (лазерный гироскоп), концентрации веществ, оптической плотности.

Основное предназначение передвижной лаборатории - это получение более полной и детальной информации об атмосфере, климате, об их изменениях, изучение структуры лунных недр. Для решения этих задач на аппарат установлено большое количество различных приборов и оборудования:

- мощные лазерные сканеры для изучения горных пород.
- большое количество различных датчиков, способных снимать малейшие колебания и изменение температуры, давления и т.д.
- установлена видеокамера способная вести видеонаблюдение в различных режимах и времени суток.

Вся полученная информация стекается на головной компьютер, где она обрабатывается и передаётся на Землю.

Ещё одним важным техническим решением является, использование лазера для передачи и получения информации вместо обычных радиоволн.

Научные издания отмечают, что в то время как диапазон радиоволн забит довольно плотно, диапазон оптических волн пока ещё практически свободен и не регулируется, что позволит избежать проблем, связанных с нехваткой свободных каналов связи.

Впрочем, несмотря на то, что лазеры смогут без проблем обеспечивать передачу информации в космосе, между космическими аппаратами, передача с их помощью информации на Землю будет затруднена.

Сегодня невозможно представить себе нашу жизнь без компьютеров и сетей на их основе. Человечество стоит на пороге нового мира, в котором будет создано единое информационное пространство.

Сейчас во всем мире существует огромное количество сетей, выполняющих различные функции и решающих множество разнообразных задач. Раньше или позже, но наступит момент, когда пропускная способность сети будет исчерпана. В качестве альтернативы, будет использоваться новый, экономичный вид беспроводной связи, который возник совсем недавно, - лазерная связь.

Одним из перспективных направлений развития систем космической связи, являются системы, основанные на передачи информации по лазерному каналу, поскольку данные системы могут обеспечить большую пропускную способность, при меньшем энергопотреблении, габаритных размерах и массе приемопередающей аппаратуры, чем использующиеся в данный момент системы радиосвязи. Потенциально системы космической лазерной связи могут обеспечивать исключительно высокую скорость информационного потока – от 10-100 Мбит/с до 1-10 Гбит/с и выше.

С самого момента разработки лазер называли устройством, которое само ищет решаемые задачи. Лазеры нашли применение в самых различных

областях— от коррекции зрения до управления транспортными средствами, от космических полётов до термоядерного синтеза. Лазер стал одним из самых значимых изобретений XX века.

В заключение можно сказать, что в настоящее и будущее космических исследований невозможно представить без лазерной техники.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение. – М.: ДОСААФ, 1988.
2. Гершензон Е.М., Малов Н.Н. Курс общей физики: Оптика и атомная физика. – М.: Просвещение, 1981.
3. Савельев И.В. Курс общей физики: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1987.
4. Орлов В.А. Лазеры в военной технике. – М.: Воениздат, 1976.
5. Nosirov M., Yuldasheva N., Ziyoyitdinov J., Abdurahimov R. Lazerlarni nanoelektronikada qo‘llanilishi, “Машинасозлик” илмий хабарномаси, 2018, № 3 (10), 113-117 б.
6. Abdurakhimov R. R., Azimov S., Mirzaalimov A. A., Mirzaalimov N. A., Gulomov J. J. Temperature characteristics of semiconductor diode «Молодой учёный» , 2020, 10(309), с.85-89.
7. Yu.I.Protsyuk, Sh.Sh.Shukhratov, O.M.Kovalchuk, M.M.Muminov, Q.H.Yuldoshev, R.R.Abdurakhimov, V.M.Andruk Results of processing of ccd observations of selected open clusters on Maidanak, Odessa Astronomical Publications, vol. 31 (2018), p.231-234.