

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

Л.В. Тымкул

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Методические указания для студентов направления 200203 «Опtotехника»
подготовки дипломированных специалистов
и направления 200200 подготовки магистров техники и технологии

Часть 4

Новосибирск
2010

УДК 681.7:629
Т93

Рецензент
Кандидат технических наук, профессор
Сибирской государственной геодезической академии
В.С. Ефремов

Тымкул, Л.В.

Т93 Специальные оптические приборы [Текст] : метод. указания. Ч. 4 /
Л.В. Тымкул. - Новосибирск: СГГА, 2010. - 41 с.

Методические указания составлены кандидатом технических наук, профессором кафедры оптических приборов Л.В. Тымкул, в соответствии с программами курсов «Специальные оптические приборы» и «Оптические приборы» по направлениям «Оптехника» 200203 и 200200 и предназначены в качестве основного методического материала при выполнении лабораторных работ, направленных на изучение специальных оптических приборов, их оптических схем, конструкций, а также для овладения навыками работы с приборами и проверкой их основных характеристик. Данные методические указания включают в себя лабораторные работы № 9, 10 и 11. Описание каждой лабораторной работы содержит теоретическую часть, цель работы, практическую часть, описание оптических схем и конструкций, содержание отчета по работе и контрольные вопросы.

УДК 681.7:629

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЦЕЛА ОПБ-1Р.....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ПРИЦЕЛА ДЛЯ БОМБОМЕТАНИЯ НКПБ-7.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11 «ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КОЛЛИМАТОРНОГО ВИЗИРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРИЦЕЛАХ ТИПА АСП»	30

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЦЕЛА ОПБ-1Р

Цель работы

Целью данной работы является изучение схемы оптики и конструктивных особенностей прицела, а также различных задач, решаемых с помощью данного прицела.

Теоретическая часть

Некоторые понятия из аэронавигации

Ознакомимся с некоторыми понятиями из аэронавигации, прежде чем перейти к вопросам решения задач бомбометания с помощью данного прицела.

Каждый летательный аппарат передвигается в воздушной среде на высоте полёта H над поверхностью Земли. При этом он участвует в двух движениях:

– относительно воздушной среде со скоростью \vec{V} , направленной по оси самолёта;

– относительно Земли со скоростью \vec{W} , которая называется путевой и равна $\vec{W} = \vec{V} + U$, U – это скорость воздушной среды.

Проекция этого векторного треугольника на горизонтальную плоскость образует навигационный треугольник (рис. 1).

Угол α между направлением вектора воздушной скорости и вектором путевой скорости называется углом сноса.

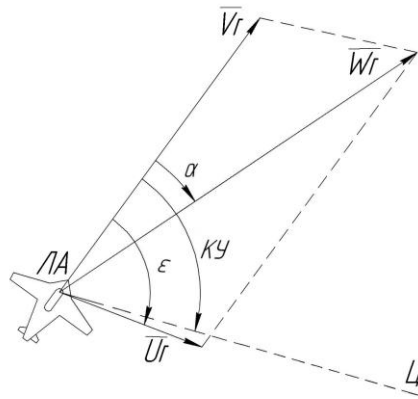


Рис. 1. Навигационный треугольник

Угол ε между направлением вектора воздушной скорости и вектором ветра называется курсовым углом ветра.

Угол КУ – угол между осью самолета и направлением на цель называется курсовым углом.

Основы бомбометания с горизонтального полета

Изучение законов движения бомбы занимается наука, называемая баллистикой авиационных бомб.

Неуправляемая бомба, сброшенная с горизонтально летящего самолета, описывает траекторию, близкую к параболе. При бомбометании плоскости ветра схема падения бомбы представлена на рис. 2.

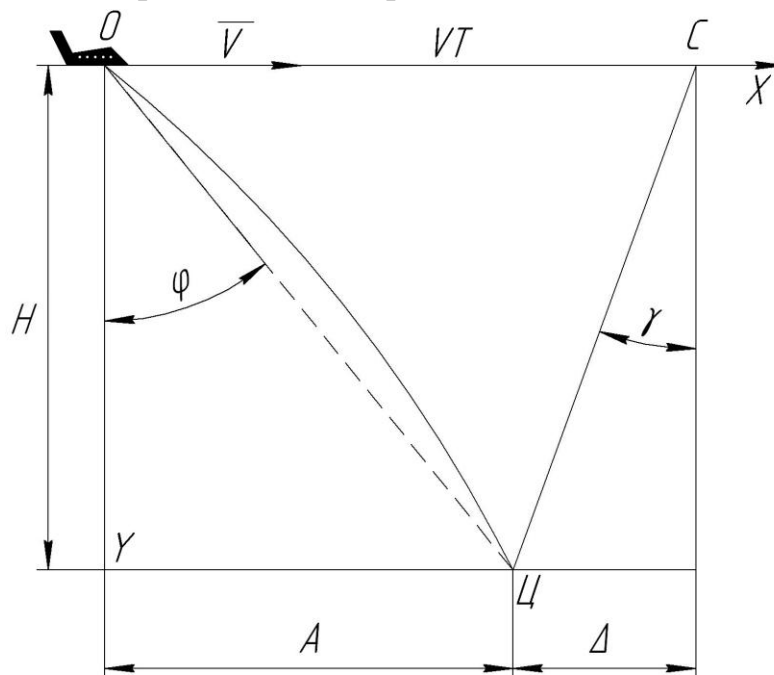


Рис. 2. Схема падения бомбы

Сама бомба совершает колебательные движения около своего центра тяжести. Баллистика неуправляемой бомбы изучает движение её центра тяжести. При движении бомбы в воздушной среде на неё действует сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

Пусть бомба сбрасывается в некоторой точки O с начальной скоростью \vec{V} , совпадающей по направлению с осью OX (горизонталь), равную скорости самолета. Так как нет ни каких боковых сил, действующих на бомбу, то она падает в плоскости XOY, называемой плоскостью бомбометания. Скорость \vec{V} и высота H определяют начальные условия бомбометания.

Горизонтальный путь, пройденный бомбой при её падении и называемый относом бомбы, обозначим A. Угол γ назовём углом отставания бомбы. Тогда

величина линейного отставания бомбы Δ при известной высоте полёта самолёта будет равна:

$$\Delta = H \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (9.1)$$

А угол прицеливания φ определим из уравнения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{VT - \Delta}{H} \quad (9.2)$$

При бомбометании с горизонтального полёта время падения T и отставания бомбы (или отбоя бомбы) Δ является функциями H , V , т.е. параметров, определяющих начальные условия бомбометания, и характеристического времени падения бомбы θ , определяющего аэродинамические свойства бомбы. Характеристическим временем падения бомбы называется время падения бомбы, сброшенной с горизонтально летящего самолёта с высоты 2000 м при скорости полёта 40 м/с в условиях стандартной атмосферы.

В результате вычисления этих величин составляются баллистические таблицы. Для бомбометания с горизонтального полёта баллистические таблицы для каждого типа бомбы с данным θ в зависимости от H и V определяют время падения и линейного отставания бомбы Δ .

Таблицы рассчитываются для бомбометания в условиях стандартной атмосферы, поэтому в реальных условиях T и Δ будут несколько отличаться от табличных.

При наличии бокового ветра траектория падения бомбы будет иная (рис. 3).

При отсутствии ветра самолёт после сбрасывания бомбы, двигаясь в направлении ОС, называемой линией курса, за время падения бомбы пролетит бы расстояние $OC = VT$. При ветре он пролетит в направлении ОВ (линия пути) расстояния WT . Совершенно очевидно, что при отсутствии ветра бомба упала бы в точку C_0 и бы от самолёта на величину линейного отставания Δ . Так как при ветре бомба после отрыва от самолёта в горизонтальном падении перемещается относительно воздуха только в направлении вектора \vec{V} (в боковом направлении она перемещается совместно с воздухом), то в этом случае на неё будет действовать только сила сопротивления, направленная в противоположную сторону. Поэтому отставание бомбы будет от точки B_1 в направлении, параллельном проекции линии курса C_1O_1 . При этом отставание бомбы будет таким же, как при отсутствии ветра $C_1B_1 = C_0C_1 = \Delta$. В результате бомба упадет в точку прицеливания Ц. Линия $O_2Ц$, проходящая через цель параллельно линии пути, называется линией разрывов. Расстояние $O_1К$ определяет продольный отбоя бомбы $A_{пр}$; а $ЦК$ – боковой отбоя бомбы $A_{бок}$. Т.е под влиянием бокового

ветра плоскости падения бомбы переместиться в плоскость OO_2BB_2 , в результате чего бомба упадет в точку Ц (цель). Причем плоскость падения бомбы OO_2BB_2 , называемая плоскостью прицеливания, будет наклонена по отношению к вертикальной плоскости OO_1BB_1 на угол μ_0 , называемый углом бокового смещения визирного луча или углом бокового наклона плоскости визирования.

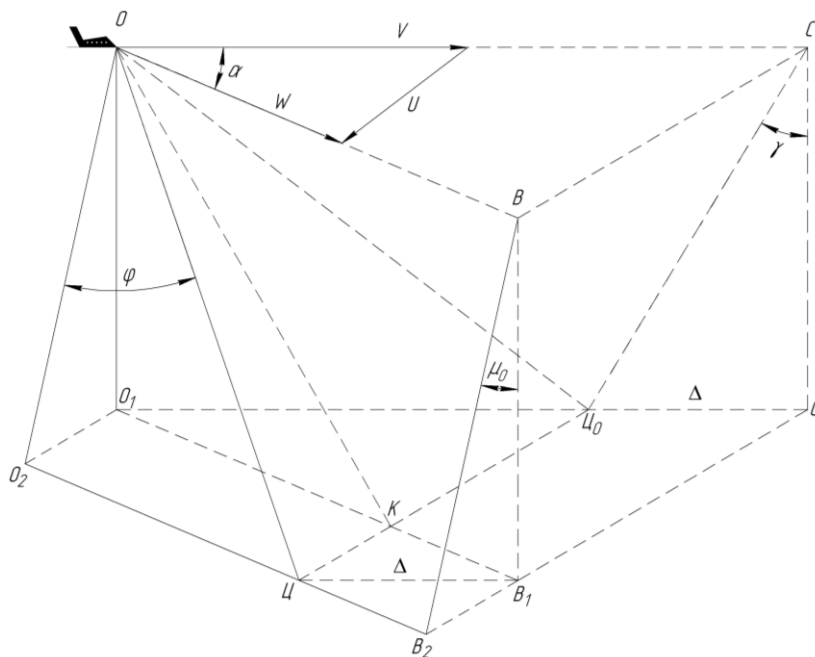


Рис. 3. Траектория падения бомбы наличии бокового ветра

В этом случае угол прицеливания можно определить из выражения:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \left(\frac{WT - \Delta \cos \alpha}{H} \right) \cos \mu_0, \\ \operatorname{tg} \mu_0 &= \frac{\Delta \sin \alpha}{H}. \end{aligned} \quad (9.3)$$

Таким образом, прицел должен вычислять и осуществлять построения углов φ и μ , при этом сам прицел необходимо развернуть относительно продольной оси самолета на угол сноса α .

Если бомбометание ведется серией или строем, то в величину угла прицеливания следует проводить поправку. Бомбометание серией из n бомб применяется, если цель имеет малую протяженность в направлении линии пути самолета. Расстояние между точками разрывов первой и последней бомбы называется линейной длиной серии $L_{сер}$, расстояние между точками разрыва двух соседних бомб – линейным интервалом серии $l_{сер}$, а временной промежуток между разрывами двух соседних бомб – временным интервалом серии $\Delta t_{сер}$. Величина $L_{сер}$ и $l_{сер}$ обычно задаются штурману в зависимости от протяженности цели, тогда временной интервал серии рассчитывается как $\Delta t_{сер} = \frac{L_{сер}}{W(n-1)}$. Бомбо-

метание серией осуществляется так, чтобы цель располагалась в середине линейной длины серии. Учитывая, что прицел ведется по цели, а не по точке сбрасывания бомбы, из рис. 4 легко получить что

$$\operatorname{tg} \varphi_{сер} = \frac{A_{np} + \frac{L_{сер}}{2}}{H} = \frac{WT}{H} - \operatorname{tg} \gamma \cos \alpha + \frac{L_{сер}}{2H}, \quad (9.4)$$

где $\varphi_{сер}$ – угол прицеливания при бомбометании серией.

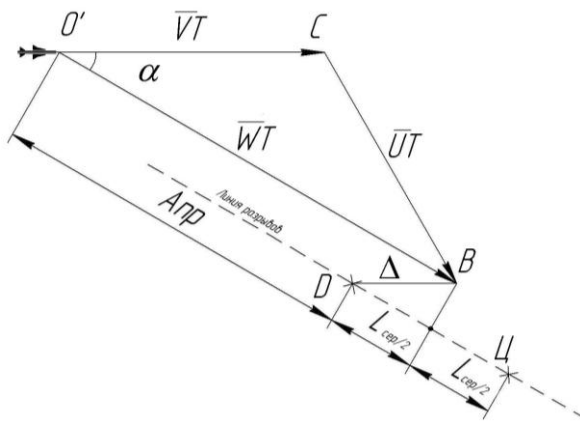


Рис. 4

Бомбометание строем производится по площадным целям одновременно несколькими самолётами. Прицеливание осуществляет только головной самолёт и бомбы сбрасываются по его команде.

При бомбометании строем цель должна находиться сзади точки разрыва бомбы, сброшенной с головного самолёта на расстоянии, равном половине глубины строя Γ (глубина строя измеряется в направлении курса).

Из схемы прицеливания можно получить (рис. 5), что

$$\operatorname{tg} \varphi_{стр} = \frac{A_{np} - \frac{\Gamma}{2} \cos \alpha}{H} = \frac{WT}{H} - \operatorname{tg} \gamma \cos \gamma - \frac{\Gamma}{2H} \cos \alpha \quad (9.5)$$

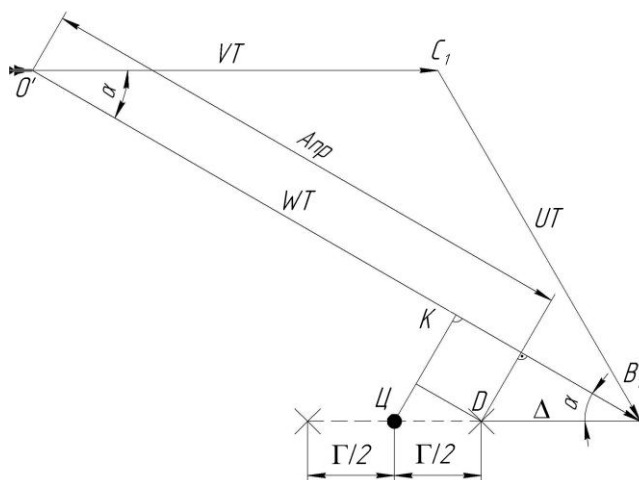


Рис. 5

Для того чтобы бомба попала в цель, следует решить *задачу прицеливания*. Задача прицеливания при бомбометании состоит в том, чтобы к моменту бросания бомбы, выполнив совокупность операций по управлению самолетом, придать самолету и вектору воздушной скорости такое положение, которое обеспечивало бы попадание сброшенной бомбы в намеченную точку (цель). При всех способах бомбометания процесс прицеливания распадается на два этапа:

1. Прицеливание по боковому направлению, чтобы плоскость полета самолета в момент сбрасывания совпадала с плоскостью, OO_1VV_1 , т.е. определить угол сноса α .

2. Прицеливание по дальности - определение угла прицеливания φ и угла бокового наклона плоскости визирования, а также момента сбрасывания бомбы.

Для осуществления прицеливания необходимо знать все составляющие, входящие в формулу 9.3.

Высота H определяется с помощью высотомеров барометрического типа или с помощью радиовысотомеров. Воздушная скорость - указателем скорости. Величину ветра определяют по изменению углов сноса на разных курсах с помощью специального прибора. Параметры T , Δ , γ берут из баллистических таблиц в зависимости от высоты полета H , скорости V , типа бомбы, вернее то её характеристического времени падения θ , которое определяет баллистические свойства данной бомбы.

Для определения угла прицеливания φ в первую очередь требуется знать величину W . Поэтому в соответствии со способами определения величины W различаются и способы прицеливания по дальности: навигационный, базисный, синхронный и векторный.

Навигационный способ прицеливания по дальности позволяет определить W и α , а следовательно и угол прицеливания φ , для заранее выбранного направления полёта к цели по известным значениям V , U и KU .

Базисный способ позволяет определять вектор путевой скорости изменения времени полёта базы. Необходимо, чтобы в процессе изменения курса самолёта совпадал с боевым курсом, т.к. для других курсов значения W , а следовательно и φ будет другим. По известной базе и времени её пролёта

$$W = \frac{B}{t_{\text{баз}}} .$$

Синхронный способ прицеливания по дальности на основе непрерывного (синхронного) слежения визирным лучом за целью состоит в определении ос-

новой составляющей угла прицеливания, которая равна $\frac{WT}{H}$. Для осуществления этого служит специальный механизм синхронизации.

Векторный способ состоит в определении величины W из вектора построителя, а затем угла прицеливания. Так как линейка векторного построителя, при помощи которого определяется W , стабилизирована в пространстве, то прицелы, работающие по данному способу, позволяют производить бомбометание с любого направления подлёта к цели.

Задание

1. Изучить назначение, принцип действия, оптическую схему и конструкцию прицела.
2. Проверьте практическое решение задач самолётовождения:
 - изменение угла сноса;
 - изменение путевой скорости и угла прицеливания;
 - изменение горизонтальной дальности.
3. Выполнить обработку результатов изменений и составить отчет.
4. Дать анализ первичных ошибок, влияющих на точность определения угла прицеливания.

Приборы и принадлежности

В данной лабораторной работе применяются следующие приборы и принадлежности:

- оптический прицел бомбометания ОПБ – 1р;
- бомбардировочный тренажер с подвижной лентой;
- принадлежности к прицелу.

Оптический прицел бомбометания ОПБ – 1р

Назначение

Телескопический базисный прицел ОПБ – 1р предназначен для боковой и продольной наводки при бомбометании с горизонтального полёта. Прицел представляет собой оптический угломерный прибор для измерения углов от $+75^\circ$ до -15° в вертикальной плоскости и от 0° до 360° в горизонтальной. Вертикальный угол отсчитывается в прицеле от вертикали, образуемой пузырьком сферического уровня, изображение которого видно в поле зрения прибора. Горизонтальные углы отсчитываются от продольной оси самолета по шкалам

установленной пяты. Прицел рассчитан для работы на высотах от 600 до 6000 м при скорости от 160 до 600 км/ч с бомбами, имеющими характеристическое время падения равное 20,50 и 20,87 с.

Технические характеристики ОПБ – 1р.

Увеличение	1 ^x ,2
Поле зрения	31°
Диаметр выходного зрачка, мм	7
Удаление выходного зрачка, мм	36,4
Фокусное расстояние объектива, мм	62,7
Разрешающая сила	45''
Перемещение окуляра, дптр	от +4,0 до – 4,0
Установка углов визирования	от – 15° до + 75°
Обзор с учетом поля зрения	от + 90°30' до – 90°30'
Напряжение работы прицела, В	27 ± 2,7
Габариты прицела, мм	1070 × ø50
Масса, кг	6

Оптическая схема

Оптическая схема дана на рис. 6. Она состоит из защитного стекла 10, закрывающего входное окно прицела; визирной призмы 9, позволяющей изменять визирный луч в вертикальной плоскости; неподвижной призмы 8, изменяющей направление хода лучей; объектива 7, строящего изображение наблюдаемого объекта в плоскости, совпадающей с пузырьком сферического уровня 5, оборачивающей линзовой системы 3. Прямое изображение наблюдаемого предмета вместе с пузырьком уровня строится в плоскости сетки 2, расположенной в фокальной плоскости окуляра 1. сферический уровень располагается между двумя защитными стеклами 4,6. Обеспечение «вертикали» в прицеле обеспечивается тем, что в фокальной плоскости объектива помещается сферический уровень 5, радиус поверхности которого равен фокусному расстоянию объектива. Т.е. наблюдатель видит сквозь пузырёк уровня земной предмет, лежащий на вертикали. Если прицел наклонить в любую сторону, то пузырек уровня сместится в сторону, а в центре пузырька всегда будет виден тот предмет, который находится на вертикали под объективом (рис. 7).

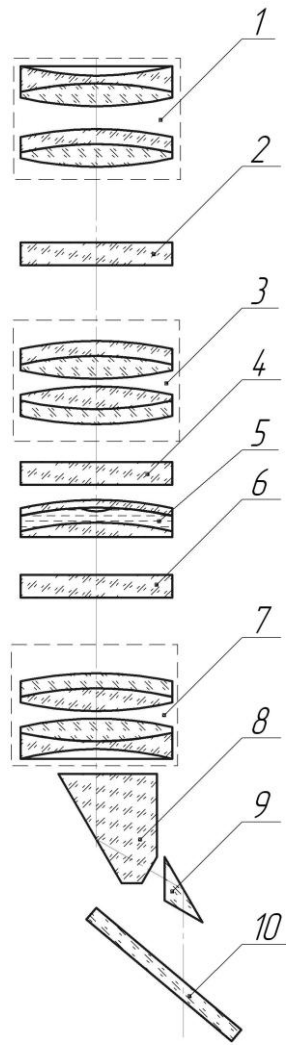


Рис. 6 Оптическая схема ОПР-1р

Так как призма 9 может изменять визирную линию, то это позволяет привести изображение земного предмета в пределах обзора трубы в совпадении с пузырьком, хотя бы этот предмет и не находится на одной вертикали с центром объектива.

Сетка 2 представляет собой плоскопараллельную пластинку (рис.8) оцифрованную по окружности от 0 до $+75^\circ$ и от 0 до -15° . По круговой шкале определяют углы визирования и прицеливания.

Индекс для углов визирования выполнен в виде петельки, а для углов прицеливания – треугольника. По диаметру сетки расположена курсовая черта, на которой нанесено по тринадцать градусных делений в обе стороны от её середины.

По обе стороны от курсовой черты есть две параллельные ей черты с интервалом в 3° . Перпендикулярно курсовой нанесена черта, служащая для оцен-

ки боковых отклонений и наклонов трубы в градусной мере. Цена деления всех шкал $0,5^\circ$.

Конструкция прицела

Конструкция прицела представлена на рис. 9. Прицел состоит из трех основных узлов: верхние головки трубы с патрубком и нижней головке.

В верхней части головки расположен окуляр 10 с диоптрийной шкалой 11. Ниже втулке окуляра помещается установочное кольцо 13, которое поворачивается вокруг вертикальной оси прицела. На конце нанесена шкала углов прицеливания от 0 до 70° . В необходимое положение кольцо устанавливают по шкале и индексу 12.

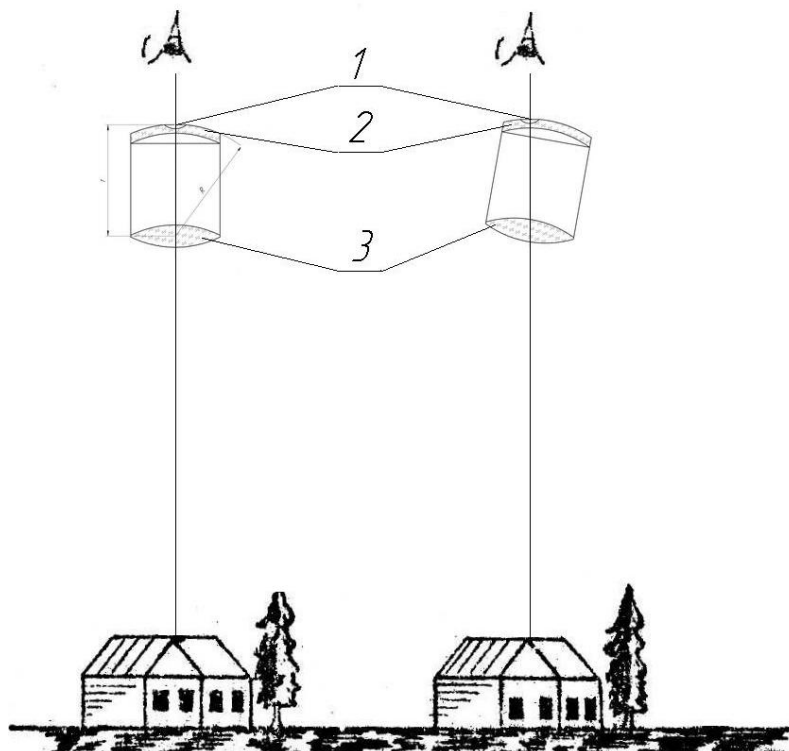


Рис. 7 Схема конструкции

1 – пузырёк уровня; 2 – уровень сферический прозрачный; 3 – линза

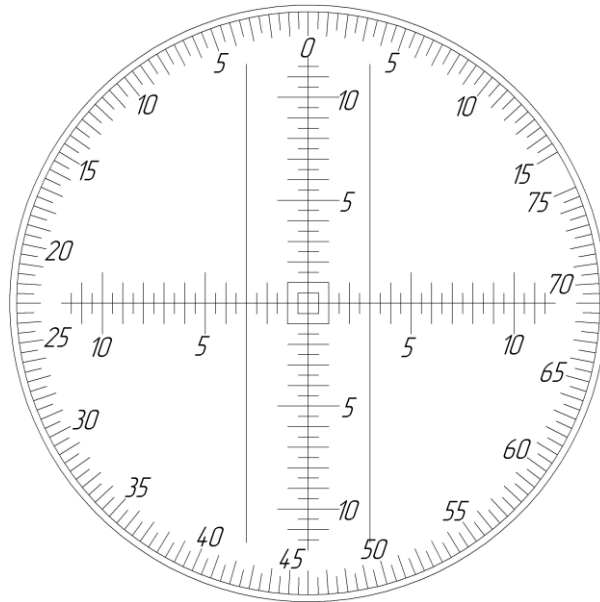


Рис. 8. Поле зрения

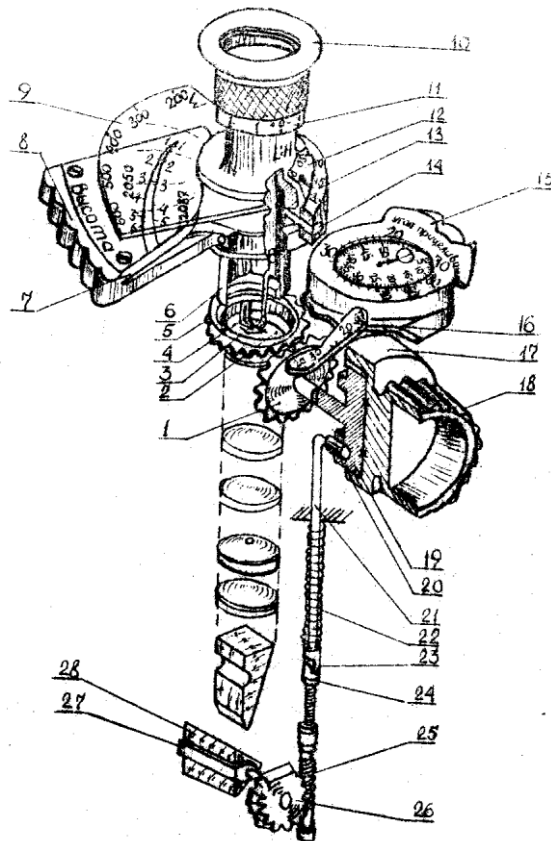


Рис. 9 ОПБ-1р. Устройство

- 1-пузырек уровня; 2-уровень сферический прозрачный; 3-линза
 1, 2, 26 – шестерни; 3 – указатель треугольный; 4 – петелька; 5, 22 – пружины; 6 –
 кольцо; 7 – шкала *H*; 8 – кронштейн; 9 – номограмма; 10 – окуляр; 11 – диоптрийная шкала;
 12 - индекс; 13 – кольцо установочное; 14 – винт; 15, 17 – шкалы; 16 – пластинка;
 18 – рукоятка углов визиров; 19 – спираль; 20 – палец; 21 – тяга; 23 – наконечник;
 24 - контргайка; 25 – червяк; 27 – оправа призмы; 28 – призма визирная.

К установочному кольцу привернут кронштейн 8, на котором нанесены две кривые высот для двух типов бомб. Риски шкал нанесены через 200 м. Под шкалой *H* помещена номограмма 9 с кривыми путевых скоростей, которые нанесены через каждые 20 км/ч от 160 до 600 км/ч. Угол прицеливания по известной путевой скорости устанавливается кольцом со шкалой *H* до совмещения риски заданной высоты полета (для заданного типа бомбы) с кривой путевой скорости по номограмме 9. Путевую скорость определяют обратным решением задачи. При повороте установочного кольца 13, треугольник на круговой шкале показывает тот же угол, т.к. это кольцо связано винтом 14 с кольцом 6, на котором жестко крепится треугольник 3.

В верхней части вставлена и прикреплена винтами коробка рукоятки углов визирования 18. На ней нанесена круговая шкала высот с градуировкой от 400 до 6000 м.

Для установки высоты служат индексы (риски) типа бомбы, нанесенным на пластинке 16. Установкой высоты полета против риски сбрасываемого типа бомбы, визирный луч ставят на передний угол промеряемой базы. Задний угол базы, равный -15° , устанавливают поворотом назад до упора. Рукоятка углов визирования жестко соединена со шкалой 17, с конической шестерней 1 и спиралью 19. Спираль связана с червячной шестерней 26 при помощи тяги 21. На верхнем конце тяги имеется палец 20, входящий в паз спирали, на нижнем – червяк 25, сцепленный с шестерней 26, сидящей на одной оси с оправой призмы 27.

Тяга поднимается вследствие давления, которое нижняя рабочая поверхность паза спирали оказывает на палец, а спускается под действием спиральной пружины 22, которая служит для устранения лифта в передаче от рукоятки к тяге. Пружина одним концом упирается в торец корпуса, а другим давит на наконечник 23. Вместе с тягой двигается червяк 25, который поворачивает червячную шестерню 26, а следовательно, и призму визирную 28. При вращении рукоятки углов визирования поворачивается коническая шестерня 2, заставляя петельку 4 перемещаться по круговой шкале сетки. При этом визирный луч будет составлять с вертикалью угол, отмеченный петелькой, а в центре пузырька будет получаться изображение предмета, расположенного к вертикали под этим же углом.

На нижнем торце кольца 6 по направлению радиуса сделана прорезь, куда может входить защелка пружины 5. При совпадении защелки и прорези петелька 4 и треугольник 3 также совпадают. *При этом чувствуется легкое заедание*

и щелчок. В этот момент угол визирования равен углу прицеливания, т.е. этот момент сбрасывания бомбы.

Для освещения сетки, шкал установочного кольца на верхней головке имеются электролампочки. С левой стороны укреплен реостат для регулирования освещенности сеток и уровня.

В средней части головки имеются кронштейн с секундомером. Стрелка секундомера фиксирует время пролета базы. На кольцевой крышке секундомера нанесена шкала углов прицеливания 15 с ценой деления, равной одному градусу в пределах от 20 до 70°.

Прицел снабжен системой обогрева и кнопочным управлением для выдачи команды СБРОС на электросбрасыватель.

Для установки прицела на самолете служит универсальная пята (рис. 10). С помощью градусных делений на ней можно определять курсовые углы и углы сноса.

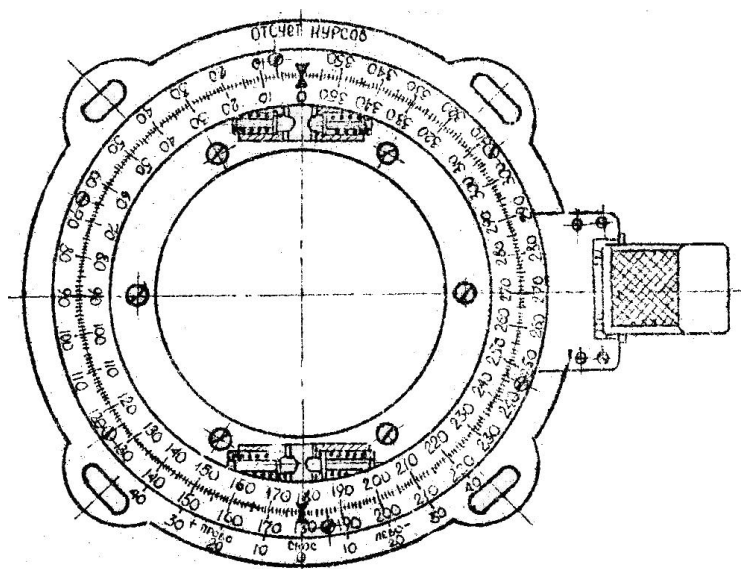


Рис.10 Универсальная пята

Методические указания Измерение углов сноса

Лучший способ измерения углов сноса – способ обратного визирования. Вращая прицел в пяте, нужно повернуть его для обзора назад (кронштейн с секундомером к наблюдателю), установить угол визирования на нулевое деление, т.е. луч визирования направить по вертикали. Наблюдая в прицел, замечают какой-либо хорошо видимый предмет, попавший в пузырек уровня и следят за ним, вращая барабан углов визирования. Когда земной предмет удалится при-

мерно на 40-45° от вертикали, надо нажать на педаль пяты и повернуть прицел и барабан так, чтобы предмет совместился с пузырьком уровня.

Угол сноса указывается индексом поворотного кольца пяты на ее неподвижной шкале. Для повышения точности измерения угла сноса измерение повторяют несколько раз и вычисляют среднее значение.

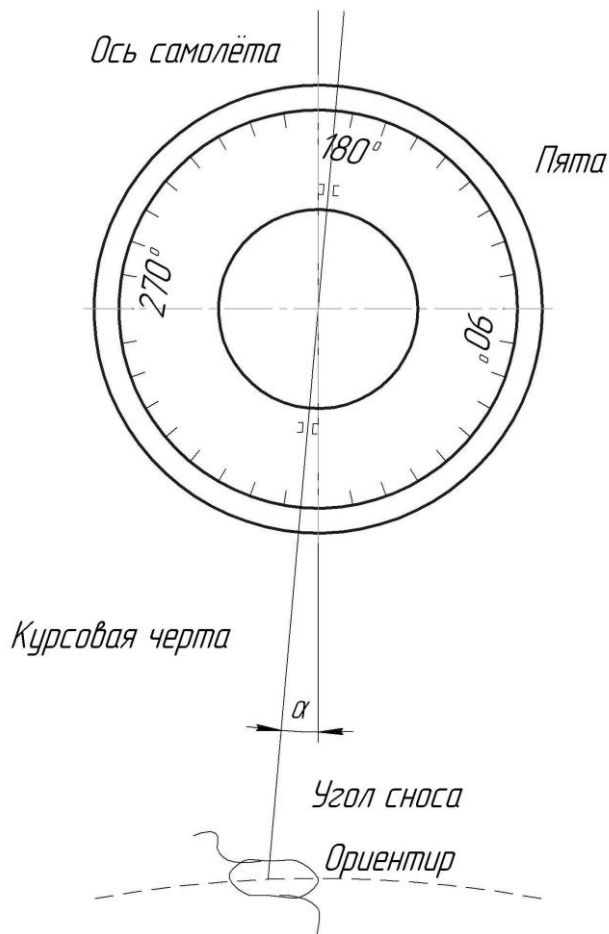


Рис. 11. Способ обратного визирования

Результаты измерений занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты проведённых измерений

№ измерений	Угол сноса α_i
1	
2	
3	
4	
5	
$\alpha_{cp} = \sum \frac{\alpha_i}{n}$	

Измерение горизонтальной дальности

Горизонтальной дальностью (рис. 12) какого-либо ориентира называется расстояние от ориентира до основания вертикали, проходящей через ЛА.

Расчет дальности производят по формуле:

$$D = H \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где H – высота полета;

φ – угол визирования, под которым виден с самолета ориентир.

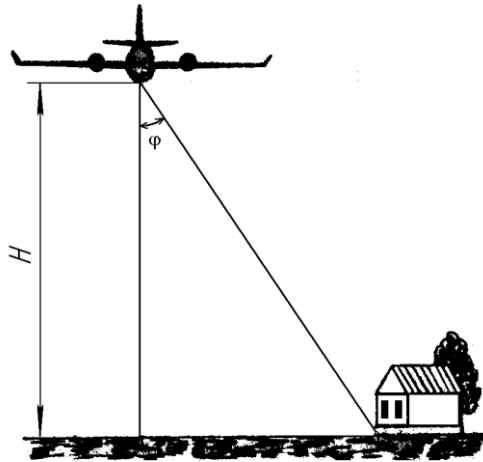


Рис. 12. К определению горизонтальной дальности

Для определения угла φ поступают так: удерживают прицел вертикально (пузырек должен находиться в центре курсовой черты), направить его, вращая пятау на намеченный ориентир. Далее рукояткой углов визирования совместить ориентир с центром пузырька уровня и по круговой шкале сетки прочесть угол, отмеченный петелькой.

Рассчитать дальность по формуле (9.6). Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений и вычислений

№ из-мер.	Угол визирования	Горизонтальная дальность D
1		
2		
3		
4		
5		

Измерение путевой скорости

Измерение путевой скорости с помощью данного прицела может осуществляться навигационным методом, т.е. путем промера базы.

Суть метода промера базы заключается в определении времени пролета базы, выраженной в доли высоты.

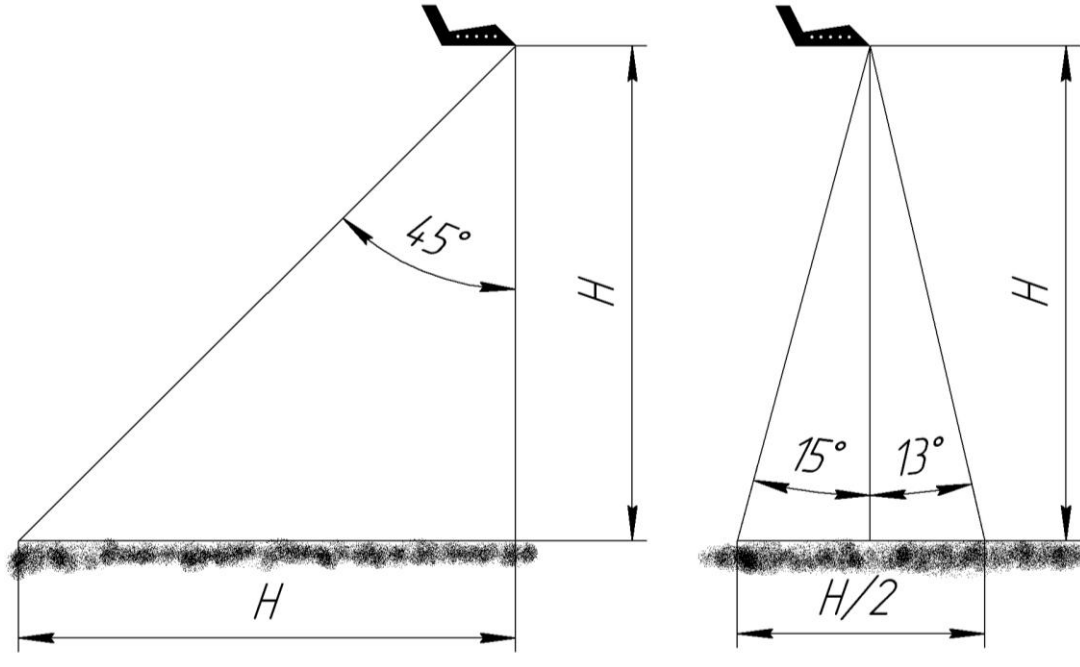


Рис. 13. Измерение путевой скорости

Первый метод.

Угол визирования устанавливается равным нулю. Выбирают хорошо видимый предмет,двигающийся вдоль курсовой черты. Когда предмет пройдет через вертикаль, пускают секундомер и продолжают следить за предметом, не упуская его с пузырька уровня. Когда петелька в поле зрения достигнет 45° , останавливают секундомер. Величина пройденной базы в данном случае равна истинной высоте полета. Разделив высоту полета на время отсчитанное секундомером, получают путевую скорость. По известной путевой скорости и высоте с помощью номограммы устанавливают угол прицеливания.

Второй метод.

Базу в этом случае выбирают меньше, чем высота полета. Если первое визирование производить под углом $+13^\circ$, а второе – при угле 15° , то база будет равна $H/2$. Определение путевой скорости при этом методе значительно быстрее. Расчет производить по формуле:

$$W = \frac{S}{t} \quad (2.7)$$

где S – пройденный путь;
 t – время, на прохождение этого пути.

Данные измерений вносят в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты измерений и вычислений

Угол визирования		Время t_i , с.
начало	конец	
0°	45°	
$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{n}$	$W = \frac{H}{t_{cp}}$	$\varphi_{np} = \underline{\hspace{4cm}}$

Высоту полета задаёт преподаватель.

Содержание отчета

1. Описание теоретических основ бомбометания.
2. Описание. Назначение и принцип действия прицела.
3. Оптическая схема с ходом лучей.
4. Описание конструкции прицела.
5. Результаты измерений и расчетов.
6. Перечень первичных ошибок, влияющих на точность определения угла прицеливания.

Вопросы к лабораторной работе

1. Объяснить термин «навигационный треугольник».
2. Пояснить схему бомбометания с горизонтально летящего самолета при боковом ветре.
3. В чем заключается задача прицеливания при бомбометании, и как она решается с помощью ОПБ-1р.
4. Определение угла прицеливания при бомбометании строим и серией.
5. Объясните оптическую схему прицела, и как создано в прицеле устройство «вертикаль».
6. Методы определения угла прицеливания с помощью ОПБ-1р.
7. Пояснить конструкцию прицела.
8. Дать анализ первичных ошибок, влияющих на точность определения угла прицеливания.
9. Объяснить методику измерения угла сноса.
10. Пояснить принцип определения путевой скорости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ПРИЦЕЛА ДЛЯ БОМБОМЕТАНИЯ НКПБ-7

Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение назначения, принципа действия и конструктивных особенностей прицела НКПБ-7 для закрепления студентами лекционного материала и получения навыков самостоятельной работы с прибором данного типа.

Теоретическая часть

Схема бомбометания с горизонтально-летящего самолета

Схема бомбометания при горизонтальном полете самолета при отсутствии бокового ветра и при наличии такого ветра представлены в описании лабораторной работы №2. Там же даны формулы, по которым определяется угол прицеливания при сбрасывании бомбы с самолета, выполняющего полет с углом тангажа равным 0.

Принцип определения угла прицеливания

При помощи прицела НКПБ-7 можно осуществлять непосредственно прицеливание промером базы по вспомогательному ориентиру. Принцип определения угла прицеливания построен на следующем теоретическом обосновании. Известно, что тангенс угла прицеливания определяется:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{WT}{H} m, \quad (10.1)$$

где φ – угол прицеливания, т.е. угол между вертикалью из точки сбрасывания бомб и направлением из этой же точки на цель:

W – путевая скорость самолета;

H – высота полета самолета;

T – время падения бомбы,

Значение m вычисляется по формуле 3.2.

$$m = \frac{WT - \Delta}{WT}, \quad (10.2)$$

где Δ – линейное отставание бомбы.

Т.е. формула (10.1) с учетом формулы (10.2) принимает вид:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{WT}{H} \cdot \frac{WT - \Delta}{WT} = \frac{WT - \Delta}{H} \quad (10.3)$$

Решим уравнение (10.3) с помощью прибора путем промера базы по двум засечкам. Требуется, чтобы тангенс угла прицеливания выражался как функция времени пролета базы:

$$\operatorname{tg} \varphi = f(t) = \frac{k}{t}, \quad (10.4)$$

где k – произвольный постоянный коэффициент.

Тогда:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{k}{t} = \frac{WT}{H} m, \quad (10.5)$$

откуда

$$\frac{WT}{H} = \frac{k}{mT}, \quad (10.6)$$

где WT – путь, пройденный за время пролета базы B , а

$$\frac{k}{mT} = \frac{Wt}{H} = \frac{A}{H} = \operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2. \quad (10.7)$$

Итак, для определения $\operatorname{tg} \varphi$ в виде функции времени пролета базы, надо установить тангенс угла промеряемой базы. В приборе принято

$$(\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2)_{\text{приб.}} = \frac{k}{m_{np} T_{V,np.}}, \quad (10.8)$$

где

$$m_{np.} = \frac{V_{np.} T_{V,np.} - \Delta_{V,np.}}{V_{np.} T_{V,np.}},$$

$$V_{np.} = W = 400 \text{ км/ч};$$

$T_{V,np.}$ – время падения T при $V = 400$ км/ч.

Т.к. приборное значение тангенса угла промеряемой базы:

$$(\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \beta_2)_{\text{приб.}} = \frac{k}{m_{np} T_{V,np.}} = \frac{W t_{np.}}{H}, \quad (10.9)$$

то время пролета промеряемой базы будет

$$t_{np.} = \frac{k}{m_{np} T_{V,np.}} = \frac{H}{W}. \quad (10.10)$$

Приборное значение тангенса угла прицеливания:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{k}{t_{np.}}. \quad (10.11)$$

Подставляя значение $t_{i\delta}$ по формуле (10.10) и (10.11), получим:

$$\operatorname{tg} \varphi_{np.} = \frac{WT_{v,np.}}{H} m_{np.} \quad (10.12)$$

Из сопоставления формул (10.12) и (10.5), видно, что приборное значение тангенса угла прицеливания отличается от теоретического вследствие отличия аргументов T и m . Поэтому приращение функции есть сумма частных дифференциалов по переменным T и m :

$$\delta \operatorname{tg} \varphi = \frac{WT}{H} \delta m + \frac{Wm}{H} \delta T, \quad (10.13)$$

где $\delta m = m_{np.} - m$;

$\delta T = T_{v,np.} - T$.

Ошибки определения угла прицеливания, подсчитанные по вышеприведенной формуле, не превосходят ошибок таблицы углов прицеливания, рекомендованных нормалью и признаны приемлемыми.

Таким образом, при помощи прицела способом промера базы можно определить величину угла прицеливания для этого надо лишь знать тип бомбы и высоту.

Для определения угла прицеливания начальный угол промера базы следует устанавливать в соответствии с заданной высотой проворачивая рукоятку визирования со шкалой высот. Для установки конечного угла базы переместить отражатель назад до упора. Стрелка секундомера, фиксирующая время пролета базы, указывает на шкале секундомера величину угла прицеливания, который устанавливается в прицеле поворотом шкалы углов прицеливания.

Задание

1. Изучить схему бомбометания с горизонтального полета.
2. Изучить принцип определения угла прицеливания в НКПБ-7.
3. Рассмотреть оптическую схему и конструкцию прицела.
4. Научиться практическому использованию прицела для определения угла прицеливания.

Приборы и приспособления

При выполнении данной лабораторной работы применяются следующие приборы и принадлежности:

- коллиматорный прицел НКПБ-7;
- курсоуказатель с кнопкой сброса и пятой;
- электрошнур с регулятором освещения.

Прицел НКПБ-7

Назначение

НКПБ-7 является коллиматорным базисным прицелом, предназначенным для боковой и продольной наводки при бомбометании с горизонтального полета. При помощи прицела можно определять непосредственно угол прицеливания промером базы по вспомогательному ориентиру.

Прицел помогает устанавливать угол прицеливания с поправкой на серию.

Благодаря практически неограниченному полю зрения и малым потерям света прицел применяется для бомбометания с малых и больших высот в дневное и ночное время.

Прицел рассчитан для работы на высоте от 30 до 5000 м при скорости от 200 до 600 км/ч с бомбами, имеющими характеристическое время падения θ , равное 20,50 и 20,87 с.

Основные характеристики прицела

Свободное отверстие объектива, мм	44
Фокусное расстояние объектива, мм	49,7±0,5
Угол поля зрения	18°
Диаметр выходного зрачка, мм	44
Наибольшее удаление глаза от поверхности отражателя, мм	150
Диапазон углов визирования	от 0 до 85°
Диапазон угла прицеливания	от 20 до 70°
Углы сноса	±30°
Напряжение, В	27
Габариты, мм	170×260×170
Масса прицела, кг	3

Оптическая схема прицела

Оптическая часть прицела (рис. 14) состоит из объектива 3, в фокальной плоскости которого помещена сетка 2, подсвечиваемая электролампочкой 1. Сетка 2 нанесена на полупрозрачной стеклянной пластине штрихами, пропускающими свет лампочки. Лучи от сетки проходят через объектив и попадают на

стекло отражателя 4, поставленное под углом 45° к оптической оси системы. Отразившись от отражателя лучи идут параллельным пучком в направлении глаза наблюдателя. Наблюдая через отражатель, штурман видит одновременно изображение светящейся сетки (как бы находящейся в бесконечности) и цель. При этом сетка не смещается при повороте головы наблюдателя. Направление визирного луча определяется перекрестием светящейся сетки, видимой в поле зрения прицела.

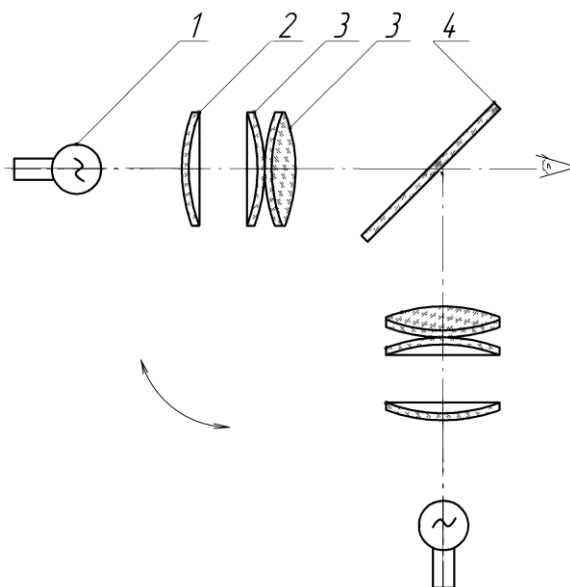


Рис. 14. Оптическая схема прицела

Конструкция прицела

Общий вид прицела дан на рис. 15. Угол визирования изменяется при помощи рукоятки углов визирования 13 поворотом всей оптической системы (сетка, объектив и отражатель) относительно корпуса прицела. На вращающейся части рукоятки углов визирования нанесена шкала высот. К неподвижной части рукоятки прикреплен индекс 14 с двумя рисками, оцифрованными для двух типов бомб, с характеристическим временем падения θ , равным 20,50 и 20,87 с.

Совмещение заданной высоты с индексом, соответствующем требуемому типу бомбы, устанавливается отражателем на передний угол базы. Задний угол базы, равный нулю, устанавливается поворотом рукоятки углов визирования назад до упора.

Шкала секундомера 7 оцифрована в углах прицеливания. Стрелка секундомера, фиксирующая время пролета над ориентиром от переднего до заднего угла базы, указывает величину промеренного угла прицеливания. Угол прице-

ливания устанавливается поворотом шкалы углов прицеливания при помощи рукоятки 17.

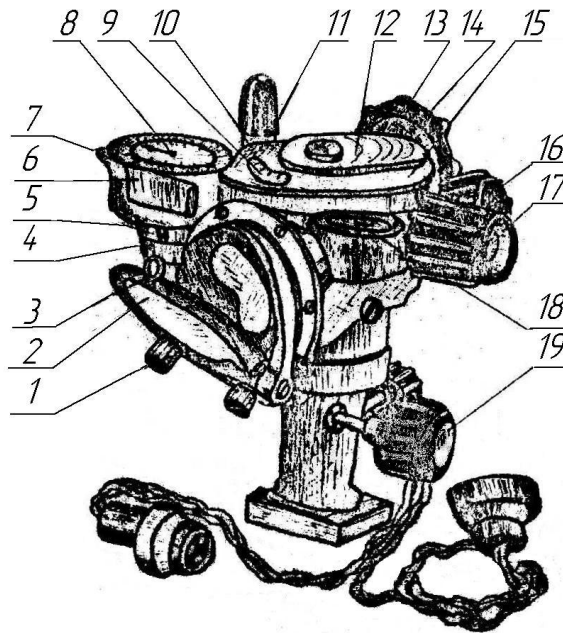


Рис. 15. Внешний вид прицела

1 – прижимные барашки; 2 – отражатель; 3 – механический дублер; 4 – оправка объектива; 5 - выключатель; 6 – корпус; 7 – шкала секундомера; 8 – секундомер с защитным стеклом; 9 - защитное стекло; 10 – лампочка; 11- колпачок-рефлектор; 12 – шкала высот; 13 – рукоятка углов визирования; 14 – индекс; 15 – номограмма; 16 – патрон; 17 – рукоятка углов прицеливания; 18 – уровень; 19 – рукоятка.

На стекле 9 шкал углов прицеливания и визирования нанесены установочные риски, соответствующие отношениям L/H (длины серии к высоте), для ввода поправки на сбрасывание серии бомб. Угол прицеливания с поправкой на серию устанавливается совмещением значения угла прицеливания с требуемой риской, соответствующей L/H .

Одновременно с поворотом шкалы углов прицеливания поворачивается скрепленная с ней прозрачная пластинка, на которой нанесены две шкалы высот для типов бомб с θ равным 20,50 и 20, 87 с. Под прозрачной шкалой высот 12 расположен неподвижный диск, на котором нанесены кривые путевых скоростей.

Установить угол прицеливания, замеренный на известной высоте и типу бомбы при помощи номограммы 15 можно определить величину путевой скорости.

При известной путевой скорости, угол прицеливания устанавливают при помощи номограммы по высоте, путевой скорости и типу бомбы.

При вращении рукоятки углов визирования оправа 4 вместе с объективом, сеткой и отражателем поворачивается на некоторый угол. Одновременно поворачивается шкала углов визирования и деление её, находящееся напротив установочной риски защитного стекла 9, указывает угол визирования.

Когда угол визирования станет равным углу прицеливания (т.е. одноименные шкалы совпадут), рука наблюдателя ощутит энергичный щелчок защелки фиксатора.

Механический дублер 3 используется в случае отказа оптической системы.

В ночное время подсветка шкал осуществляется лампочкой 10, снабженной колпачком-рефлектором 11.

В патроне 16 помещена лампочка для подсветки сетки, шкал и уровня.

В корпусе 6 секундомера имеется обогреватель, снабженный собственным выключателем 5.

Рукоятки 19 служат для приведения прицела в горизонтальное положение. При этом пузырек уровня 18 должен быть и в центре установочных колец.

Методические указания Подготовка прицела к работе

При работе с прицелом в затемненной лаборатории необходимо отрегулировать освещение сетки и шкал и установить бесцветный отражатель.

При работе с прицелом на светлом фоне дать лампочке максимальный накал и установить дымчатый отражатель. Для смены отражателя отвернуть прижимные барашки и, установив требуемый отражатель, затянуть их.

Далее установить пузырек уровня в центре установочных колец, вращая барашки ножек прицела.

Порядок работы с прицелом при определении угла прицеливания промером базы

1. Поворачивая рукоятку углов визирования, установить показания высоты полета против нанесенной на индексе риски требуемого типа бомбы. Установку вести по направлению, указанному стрелкой.

2. Развернуть прицел на угол сноса и запустить секундомер в момент совпадения выбранного ориентира с поперечной чертой сетки.

3. Резко повернуть рукоятку визирования назад до упора и установить секундомер в момент вторичного совпадения ориентира с поперечной чертой сетки.

4. Угол прицеливания, указанный стрелкой секундомера, установить на шкале углов прицеливания против нулевой риски, вращая рукоятку углов прицеливания. В случае учета поправки на серию угол прицеливания ставится против требуемой риски шкалы L/H.

5. Установить отражатель под углом 20 - 30° больше расчетного угла прицеливания. Вращая рукоятку углов визирования, удерживать цель на 4 - 5° впереди центра сетки.

6. Самолет выводится на заданную линию боевого пути.

7. Момент сбрасывания бомбы определится равенством углов визирования и прицеливания.

Установка угла прицеливания по известной путевой скорости

Пользуясь номограммами, определите угол прицеливания. Для этого вращением рукоятки углов прицеливания совместить риску заданной высоты на прозрачной шкале высот требуемого типа бомбы с кривой известной путевой скорости.

Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты измерений и вычислений

θ , с	H , м	W , км/ч	Угол прицеливания, φ , град
20,50	30	200	
	100	300	
	2000	500	
	5000	600	
20,87	100	200	
	300	400	
	800	500	
	3000	600	

Содержание отчёта

1. Описание назначения и принципа действия прибора.
2. Оптическая схема с ходом лучей.
3. Краткое описание конструкции прибора.
4. Краткое описание методов определения угла прицеливания.
5. Таблица результатов определения угла прицеливания с помощью номограмм.

6. Перечень первичных ошибок, влияющих на погрешность определения угла прицеливания.

Вопросы к лабораторной работе

1. Начертите и поясните схему определения угла прицеливания при горизонтальном полете с боковым ветром.

2. Какие преимущества дает в работе с прицелом оптическая система коллиматорного типа?

3. Какие требования должен удовлетворять исправный прицел?

4. Перечислите первичные ошибки, влияющие на точность определения угла прицеливания в НКПБ-7.

5. Объясните конструкцию прицела.

6. Поясните принцип определения угла прицеливания промером базы.

7. Что такое характеристическое время падения бомбы?

8. Расскажите порядок подготовки к работе и работу с прицелом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КОЛЛИМАТОРНОГО ВИЗИРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРИЦЕЛАХ ТИПА АСП

Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение оптической схемы, принципа действия коллиматорного визира, используемого в авиационных стрелковых прицелах (АСП), а также приобретение навыков расчета отдельных элементов оптической схемы для закрепления студентами материала лекционного курса.

Теоретическая часть

Оптическая система визира коллиматорного типа

Для ведения прицельной стрельбы в воздухе по самолетам и другим объектам противника используются авиационные стрелковые прицелы (АСП). В основе современных АСП лежит оптическая схема коллиматорного типа. В простейшем случае (рис.16) она состоит из объектива 2, в фокальной плоскости которого установлена сетка прицела 3. Сетка подсвечивается малогабаритной лампочкой 4 и представляет собой стеклянную пластинку с непрозрачным покрытием, в котором вытравлены перекрестье с рисками (кольцами). Лучи света от сетки, пройдя объектив, отражаются от плоскопараллельного зеркала 1 и попадают в глаз наблюдателя. Наблюдатель видит изображение сетки в бесконечности одновременно с целью.

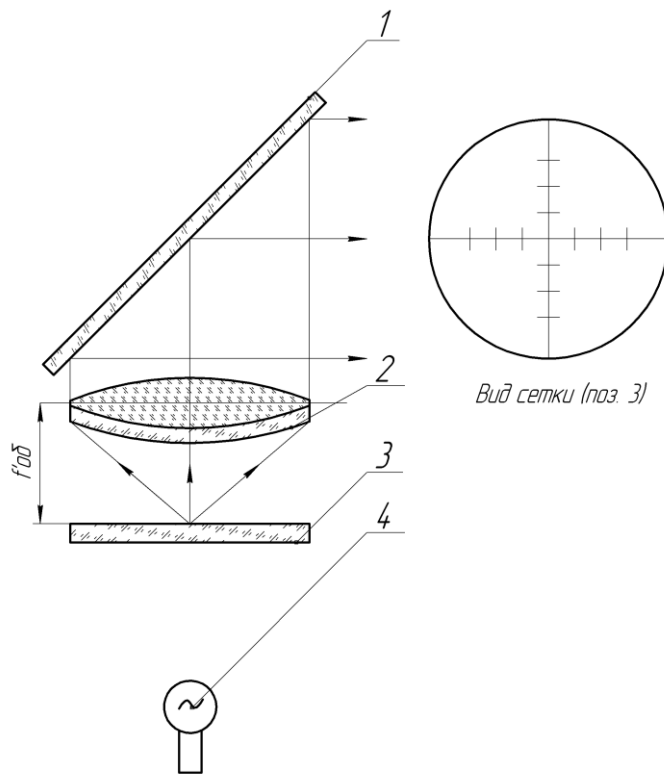


Рис. 16. Оптическая система

Схема прицеливания в воздухе

Рассмотрим схему прицеливания (рис. 17) при стрельбе из неподвижно установленного ствола орудия, т.е. жестко связанного с корпусом ЛА. В этом случае прицеливание ведется маневром ЛА (летательного аппарата). Линия, соединяющая глаз наблюдателя с центром перекрестья сетки (прицельной маркой) называется линией визирования прицела.

Эта линия должна быть смещена вниз на угол прицеливания φ и на угол упреждения ψ в сторону, противоположную движения цели.

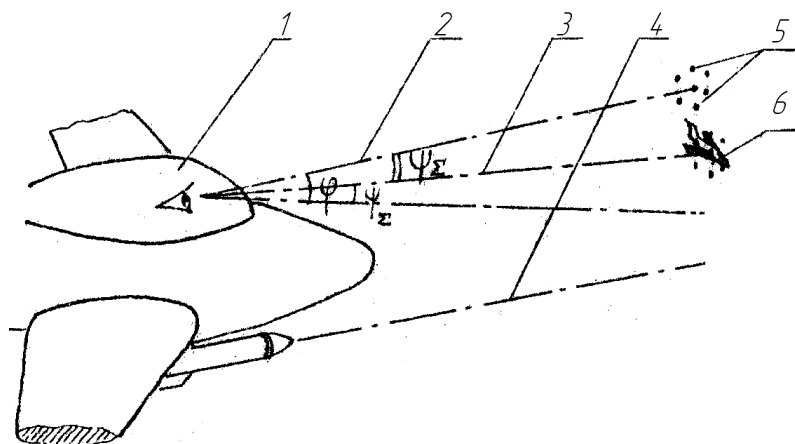


Рис. 17. Схема прицеливания

1 – самолет-носитель; 2 – нулевая визирная линия; 3 – смещенная визирная линия; 4 – ось ствола орудия; 5 – прицельная марка; 6 – цель

Угол упреждения называется углом между направлением линии визирования из точки старта на цель и в упрежденную точку.

При отклонении визирной линии на указанные углы, ствол орудия будет отклонен от направления на цель на суммарный угол ψ , необходимый для попадания.

Т.е. прицел должен выработать угловые поправки, которые смещают изображение сетки прицела и вызывают поворот визированной линии.

Для выработки этих поправок в прицел должны быть введены данные, от которых зависят величина углов прицеливания и упреждения. Так известно, что угол прицеливания зависит от дальности, а величина угла упреждения – от угловой скорости цели.

Дальномерные устройства АСП

Итак, дальность до цели является одним из важнейших параметров, подлежащих определению при решении задачи прицеливания. Чаще всего, в коллиматорных визирах АСП используются дальномерные устройства, выполненные по типу внешнебазных дальномеров.

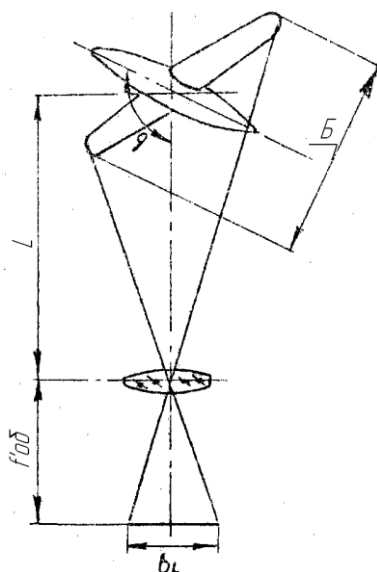


Рис. 18. Схема внешнебазного дальномера

Рассмотрим схему, поясняющую принцип действия внешнебазного дальномера применительно к АСП (рис. 18). Из рисунка видно, что дальность до цели равна:

$$L = \frac{B}{b_L} \cdot f'_{об} \cos q, \quad (11.1)$$

где B – размер базы, известен стрелку по типу самолета;

$f'_{об}$ – фокусное расстояние объектива коллиматорного прицела;

q – курсовой угол цели;
 b_L – величина отрезка сетки.

Величину отрезка b_L определяют путем постоянного обрамления цели, в этом случае угловой размер диаметра кольца сетки будет равен видимому угловому размеру цели.

Т.е. для определения дальности необходимо внести в счетно-решающее устройство в базу цели и осуществлять непрерывное обрамление цели.

Двухсеточное дальномерное устройство

Для обрамления цели служит дальномерное двухсеточное устройство (рис. 19). Оно состоит из двух сеток, на сетке 1 нанесены радиальные прорезы, а на сетке 2 – криволинейные прорезы, выполненные по закону:

$$r = r_0 \cdot l^{a\varphi}, \quad (11.2)$$

где $r_0, a - \text{const. } r_0, a - \text{const.}$

При наложении сеток видно светящееся точечное кольцо и центральную точку. Светящееся точечное кольцо образовано пересечением радиальной и криволинейной прорези, и при относительном повороте сеток происходит изменение диаметра точечного кольца.

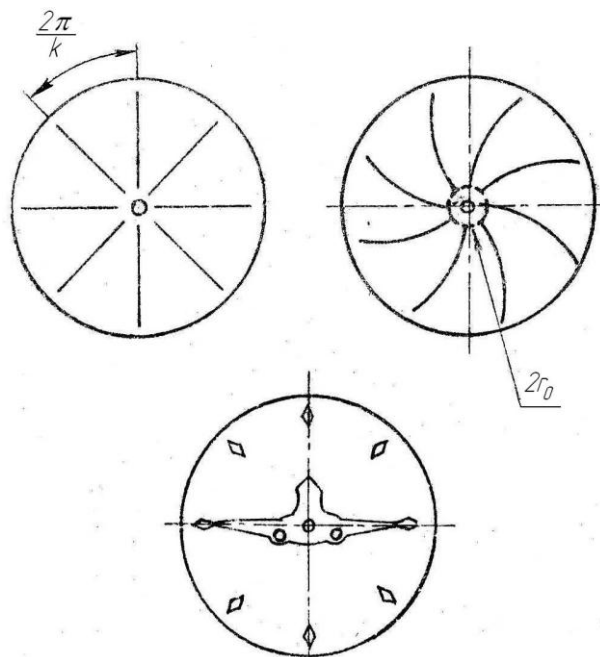


Рис. 19. Двухсеточное дальномерное устройство

Для того, чтобы рассчитать эти сетки следует знать максимальные и минимальные дальности и базы, фокусное расстояние объектива, курсовой угол цели и задать число прорезей на сетках.

Для расчета двухсеточного механизма следует найти величины r_0 и a , входящий в уравнение криволинейных прорезей (формула 11.2). Минимальный диаметр кольца получим при $\varphi = 0$, т.е.

$$D_{\min} = 2r_0. \quad (11.3)$$

С другой стороны, этот же диаметр из формулы (11.1) будет равен:

$$D_{\min} = \frac{B_{\min}}{L_{\max}} \cdot f'_{об} \cos q_{cp}. \quad (11.4)$$

Из выражений (11.3) и (11.4) имеем:

$$r_0 = \frac{1}{2} \frac{B_{\max}}{L_{\min}} f'_{об} \cos q_{cp}. \quad (11.5)$$

Максимальный диаметр кольца, будет иметь место при максимальном угле взаимного разворота сеток, который будет ограничиваться числом прорезей:

$$\varphi_{\max} = \frac{2\pi}{k}, \quad (11.6)$$

где k – число прорезей.

Т.е. максимальный диаметр равен:

$$D_{\max} = 2r_0 e^{\frac{2\pi}{k} a}. \quad (11.7)$$

И так же по формуле (11.1):

$$D_{\max} = \frac{B_{\max}}{L_{\min}} f'_{об} \cos q_{cp}. \quad (11.8)$$

Из формул (11.7, 11.8) получим выражение для « a »:

$$a = \frac{k}{2\pi} \ln \left(\frac{B_{\max}}{B_{\min}} \cdot \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right). \quad (11.9)$$

Вычислив « a » по формуле (11.9) и r_0 по формуле (11.5), можно рассчитать и построить прорези на сетке.

Задание

1. Изучить схему прицеливания при воздушной стрельбе.
2. Изучить назначение и принцип действия АСП.
3. Изучить схему оптики и конструкцию коллиматорного визира.
4. Сделать эскиз узла визира и дать его описание.
5. Провести расчет двухсеточного механизма и вычертить его сетки.

Приборы и принадлежности

При выполнении данной лабораторной работы применяются следующие приборы и принадлежности:

- коллиматорный визир;
- микрокалькулятор;
- линейка, циркуль, транспортир.

Методические указания

Пункты задания 1-2 прочитать по описанию данной лабораторной работы.

Задание 3, 4 – самостоятельно изучить коллиматорный визир вычертить указанный преподавателем узел и сделать описание его конструкции.

Пользуясь разделом «Двухсеточное дальномерное устройство» данного описания лабораторной работы, провести расчет двухсеточного устройства и вычертить вид сеток. Расчет устройства проводить для случая, когда прицел работает при дальностях $180 \div 800$ м, размер цели от 10 до 25 м; фокусное расстояние объектива $f'_{об} = 200$ мм, число прорезей $k = 6 \div 8$, $q_{ср} = 15^\circ$.

Содержание отчета

1. Дать схему прицеливания при воздушной стрельбе.
2. Кратко описать назначение и принцип действия АСП.
3. Вычертить эскиз узла визира и дать описание его.
4. Результаты расчета сеток и их построение.

Вопросы к лабораторной работе

1. Пояснить понятие углов прицеливания и упреждения при воздушной стрельбе и от каких параметров они зависят.
2. Объясните схему прицеливания при воздушной стрельбе из неподвижно закрепленного оружия.
3. Каким образом определяется дальность до цели в АСП?
4. Поясните оптическую схему коллиматорного визира, его конструкцию.
5. Укажите достоинства и недостатки конструкции коллиматорного визира.
6. Что представляет собой двухсеточный дальномерный механизм и как он рассчитывается.

Литература

1. Кулагин С.В., Гоменюк А.С., Дикарев В.Н. и др. Оптико-механические приборы. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984.
3. Изнар А.М., Павлов А.В., Федоров Б.Ф. Оптико-электронные приборы космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972.
4. Бабушкин С.Г., Беркова М.Г., Гольдин К.Р. и др. Оптико-механические приборы. – М.: Машиностроение, 1965.
5. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Советское радио, 1978.
6. Техническое описание «Оптический прицел для бомбометания ОПБ-1р».

Учебное издание

Тымкул Любовь Васильевна

Специальные оптические приборы

Часть 4

Методические указания

Редактор

В.В. АФАНАСЬЕВ

Компьютерная вёрстка

К.А. БАКАНОВА