

Расчет координат точек сейсмических взрывов

Таблица 2

| № точки | $\tau_{1-2}$ | $\tau_{1-3}$ | $\tau_{1-4}$ | Координаты точ. из геодезическ. полевых измерен. |       | Координаты точ. полученных экспериментально |       | $\Delta X$ | $\Delta Y$ |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|------------|------------|
|         |              |              |              | X                                                | Y     | X                                           | Y     |            |            |
| 1       | -0,006       | +0,009       | +0,014       | 500,0                                            | 500,0 | 507,6                                       | 493,3 | + 2,6      | - 6,0      |
| 2       | +0,008       | +0,019       | +0,013       | 500,0                                            | 500,0 | 503,3                                       | 505,3 | + 3,3      | + 5,3      |
| 3       | -0,018       | -0,019       | -0,007       | 517,8                                            | 505,8 | 502,7                                       | 501,1 | -14,9      | - 4,0      |
| 4       | +0,041       | -0,156       | -0,131       | 543,5                                            | 373,5 | 536,3                                       | 351,3 | - 6,9      | -22,1      |
| 5       | -0,133       | -0,045       | +0,067       | 682,0                                            | 410,4 | 695,9                                       | 381,9 | -13,9      | -28,4      |
| 6       | +0,043       | +0,207       | +0,101       | 444,7                                            | 379,5 | 443,1                                       | 358,0 | - 1,5      | -21,4      |
| 7       | +0,128       | +0,257       | -0,134       | 400,5                                            | 533,5 | 405,7                                       | 547,9 | + 5,2      | +14,4      |
| 8       | -0,019       | -0,025       | -0,001       | 526,2                                            | 503,3 | 494,0                                       | 499,7 | -38,1      | - 3,5      |
| 9       | -0,037       | -0,033       | -0,015       | 516,3                                            | 514,8 | 506,4                                       | 503,4 | -10,7      | -12,0      |
| 10      | +0,035       | -0,062       | -0,038       | 536,2                                            | 514,8 | 528,1                                       | 530,4 | - 8,0      | +15,6      |
| 11      | -0,021       | -0,002       | +0,013       | 515,1                                            | 499,2 | 502,4                                       | 497,8 | -12,6      | - 1,3      |

$|\Delta X_{ср.}| = 19,5$  м,  $|\Delta Y_{ср.}| = 11,4$  м,  $m_x = \pm 15,2$  м,  $m_y = \pm 14,2$  м.

Среднеквадратическая ошибка определения координат автоматизированным способом  $M_{x,y} = \pm 20,1$  м.

Таблица 3  
Результаты расчета координат точек при введении заранее известных погрешностей

| Варианты | Вводимые погрешности $\sigma = \pm 0,01$ сек |              |              | $\Delta X_{ср}$ | $\Delta Y_{ср}$ | $m_{xср}$  | $m_{yср}$  | $M_{x,y}$  |
|----------|----------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|
|          | $\tau_{1-2}$                                 | $\tau_{1-3}$ | $\tau_{1-4}$ |                 |                 |            |            |            |
| 1.       | Полевые измерения                            |              |              | -10,0           | -8,0            | $\pm 17,2$ | $\pm 14,1$ | $\pm 22,3$ |
| 2.       | +0,01                                        | -0,01        | +0,01        | - 7,9           | +1,3            | $\pm 12,7$ | $\pm 20,8$ | $\pm 24,3$ |
| 3.       | -0,01                                        | -0,01        | -0,01        | + 1,2           | -5,6            | $\pm 12,5$ | $\pm 28,5$ | $\pm 30,8$ |
| 4.       | +0,01                                        | -0,01        | -0,01        | - 4,2           | -5,6            | $\pm 12,9$ | $\pm 17,8$ | $\pm 22,0$ |
| 5.       | +0,01                                        | +0,01        | +0,01        | - 7,9           | -3,6            | $\pm 18,1$ | $\pm 27,9$ | $\pm 33,3$ |
| 6.       | +0,01                                        | +0,01        | -0,01        | - 5,5           | -4,5            | $\pm 11,6$ | $\pm 21,7$ | $\pm 24,6$ |
| 7.       | -0,01                                        | +0,01        | -0,01        | - 1,0           | -6,4            | $\pm 10,5$ | $\pm 17,0$ | $\pm 20,0$ |
|          | Средние значения                             |              |              | - 5,0           | -4,6            | $\pm 13,6$ | $\pm 21,1$ | $\pm 27,6$ |

видимому, служит неоднородность среды, в которой распространяются сейсмические волны, и связанное с этим непостоянство по направлениям скорости распространения сейсмической волны. Фазовыми задержками в каналах связи при коротких длинах проводных линий можно пренебречь.

Аналитический вывод погрешностей может быть представлен формулами среднеквадратических ошибок определения координат X и Y путем дифференцирования по частным производным выражений (19). Однако вычисление этих ошибок с достаточной степенью точности представляется сложным делом, тем более, когда

анализируемые переменные зависимы друг от друга (например, время и скорость).

В первом приближении мы воспользовались методом введения заранее известных погрешностей в разности фаз  $\tau_{1-i}$  и заново рассчитали координаты точек по приведенным выше формулам, причем скорость V нами не изменялась намеренно.

Результаты расчета показаны в табл. 3. Из нее видно, что погрешности в  $\tau_{1-i}$  приводят к максимальным ошибкам в определении координат в экстремальных случаях, когда погрешностями с одинаковым весом отягощены все разности фаз, а изменения расчетной скорости показывают, что коррекция в предлагаемой работой [5] методике и схеме наблюдения моментов первых вступлений сейсмической волны обязательна.

Окончательные выводы о точности получения координат этим способом минимизации фазовых погрешностей и результатах коррекции можно сделать после полевых исследований полного комплекса автоматической системы определения координат и накопления статистического материала несколько большего объема.

Список литературы: 1. Берзон И. С., Епинатьева А. М., Парийская Г. П., Стародубовская С. П. — Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 2. Видуев Н. Г., Григоренко А. Г. Математическая обработка геодезических измерений. — Киев. Виша школа, 1978. 3. Ленк А. Электромеханические системы. — М.: Мир, 1978. 4. Петкевич Г. И. Факторы, определяющие скорости сейсмических волн. — М.: Недра, 1962. 5. Спицын Ю. И. Способ определения координат точек и параметров их взаимного положения с помощью поверхностного сейсмического эффекта. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, вып. 35. 6. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов. — М.: Геодезиздат, 1958.

Статья поступила в редколлегию 13.01.82

УДК 528.061.2

А. Е. ФЕДОРИЩЕВ, Н. И. КРАВЦОВ, В. А. ПЕРВАГО

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В 500-МЕТРОВОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЙ У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящее время физические явления и эффекты, свойственные распространяющимся потокам электромагнитных колебаний, получили глубокое научное объяснение. Изучена их природа в различных физических средах. Вместе с тем влияние слоистых неоднородностей реальной атмосферы на электромагнитные волны радиодиапазона при их распространении вблизи земной поверхности изучено еще не в полной мере. На характер распространения радиоволн наиболее существенное влияние оказывает влажность воздуха. Содержание водяного пара в атмосфере определяется с помощью различных гигрометрических характеристик.



Исследуем упругость (парциальное давление) водяного пара  $E$ .

С целью выявления особенностей вертикального распределения  $E$  с высотой в 500-метровом слое атмосферы, были обработаны данные аэростатных зондирований, выполненных аэрологическими организациями страны в пограничном слое атмосферы [1, 2].

Результаты аэрологических определений были разделены на пять групп, каждая из которых содержала в среднем до 40 значений

Таблица 1  
Значения парциального давления на различных высотах

| Интервалы<br>$E_0$ , мбар    |    | К-во<br>профил. | Высота, м |       |       |       |       |     |
|------------------------------|----|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----|
|                              |    |                 | 2         | 50    | 100   | 200   | 300   | 500 |
| I. Инверсия                  |    |                 |           |       |       |       |       |     |
| 0—4                          | 24 | 2,43            | 3,57      | 3,45  | 3,34  | 3,42  | 3,16  |     |
| 4—8                          | 22 | 6,58            | 6,56      | 6,40  | 6,27  | 5,33  | 5,22  |     |
| 8—12                         | 27 | 9,90            | 10,50     | 9,82  | 9,26  | 9,08  | 8,49  |     |
| 12—16                        | 36 | 13,82           | 13,47     | 13,04 | 12,23 | 11,79 | 11,22 |     |
| 16—20                        | 29 | 17,58           | 16,587    | 15,53 | 14,53 | 13,01 | 13,25 |     |
| II. Нормальное распределение |    |                 |           |       |       |       |       |     |
| 0—4                          | 26 | 3,02            | 2,820     | 2,83  | 2,75  | 2,68  | 2,29  |     |
| 4—8                          | 28 | 6,12            | 5,81      | 5,73  | 5,38  | 5,01  | 4,50  |     |
| 8—12                         | 45 | 10,46           | 9,79      | 9,55  | 8,93  | 8,67  | 8,02  |     |
| 12—16                        | 50 | 14,01           | 13,07     | 12,76 | 12,15 | 11,61 | 11,23 |     |
| 16—20                        | 50 | 17,71           | 16,01     | 15,79 | 14,68 | 13,86 | 12,54 |     |

чений парциальных давлений, измеренных на высотах 2, 50, 100, 200, 300, 500 м. Группирование значений  $E$  выполнялось в интервале 0...20 мбар с шагом 4 мбар по измеренным величинам  $E_0$  на высоте 2 м для инверсионной и нормальной стратификации атмосферы.

Учитывая быстрое убывание  $E$  с высотой, зависимость его вертикального распределения представим экспонентой вида

$$E = E_0 \exp ah. \quad (1)$$

Здесь  $E_0$  — парциальное давление в мбар на высоте 2 м;  $a$  — параметр, определяемый экспериментально;  $h$  — высота, м.

Логарифмируя (1), получим:

$$\lg E = \lg E_0 + ah \lg e. \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи нами приняты в обработку свыше 330 вертикальных профилей, включающих в себя более 2000 значений  $E$ .

Изменение  $E$  с высотой в исследуемом слое показано в табл. 1.

Графическая интерпретация распределения  $E$  с высотой показана на рис. 1, где сплошными линиями представлено распределение  $E$  при нормальной стратификации атмосферы, пунктиром — при инверсии.

Кривые рис. 1 и данные табл. 1 свидетельствуют о том, что разница в значениях  $E$  на одних и тех же высотах не выходит за пределы  $\pm 0,5 \dots 0,8$  мбар, что находится в пределах точности измерений. Отсюда можно сделать вывод, что для принятого диапазона изменения  $E_0$  распределение парциального давления мало зависит от стратификации атмосферы, больше — от высоты и абсолютного значения  $E_0$ .

Учитывая это, параметры  $a$  аппроксимирующих кривых для всех интервалов изменения  $E_0$  будем вычислять статистически по

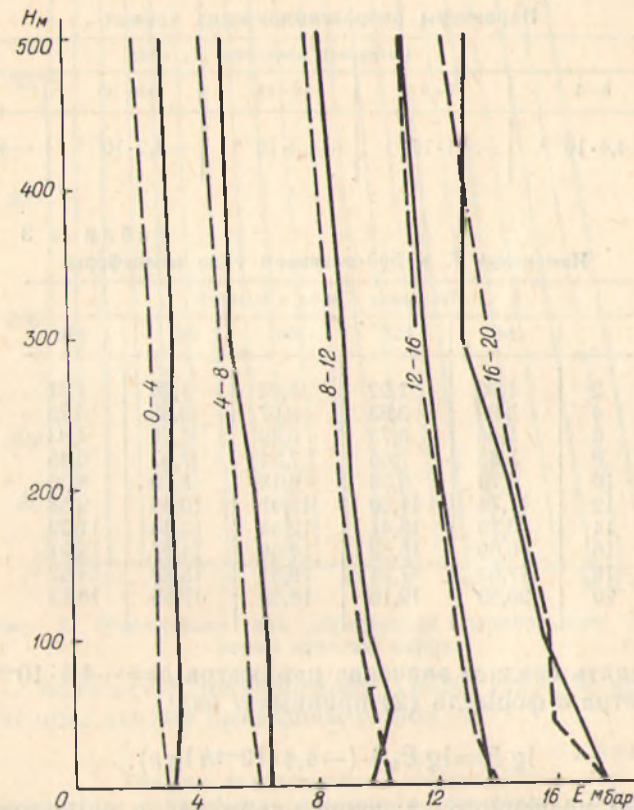


Рис. 1. Парциальное давление водяных паров на различных высотах.

усредненным данным для инверсионного и нормального распределений совместно.

Значения параметров  $a$  аппроксимирующих кривых для принятых интервалов изменений  $E_0$  получены из решения системы нормальных уравнений вида:

$$\sum_{i=1}^6 \lg E_i = \sum_{i=1}^6 \lg E_0 + 0,43 \left( \sum_{i=1}^6 h_i \right) a;$$



$$0,43 \sum_{i=1}^6 h_i \lg E_i = 0,43 \left( \sum_{i=1}^6 h_i \right) \lg E_0 + \left[ (0,43)^2 \sum_{i=1}^6 h_i^2 \right] a, \quad (3)$$

где  $i$  — номер группировки  $E$  по высоте.

Величины параметров  $a$  приведены в табл. 2.

Анализ таблицы свидетельствует, что распределение  $E$  с высотой не зависит от изменений  $E_0$  и для практических расчетов

Таблица 2

| Параметр | Параметры аппроксимирующих кривых |                      |                      |                      |                      |
|----------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|          | Интервалы изменения $E_0$ , мбар  |                      |                      |                      |                      |
|          | 0—4                               | 4—8                  | 8—12                 | 12—16                | 16—20                |
| $a$      | $-4,4 \cdot 10^{-4}$              | $-4,1 \cdot 10^{-4}$ | $-4,3 \cdot 10^{-4}$ | $-4,2 \cdot 10^{-4}$ | $-4,6 \cdot 10^{-4}$ |

Таблица 3  
Изменение  $E$  в 500-метровом слое атмосферы

| Изменение $E$ мбар с высотой |       |       |       |       |       |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2                            | 50    | 100   | 200   | 300   | 500   |
| 2                            | 1,96  | 1,92  | 1,83  | 1,76  | 1,61  |
| 4                            | 3,92  | 3,83  | 3,67  | 3,52  | 3,23  |
| 6                            | 5,86  | 5,73  | 5,49  | 5,26  | 4,83  |
| 8                            | 7,83  | 7,66  | 7,34  | 7,03  | 6,45  |
| 10                           | 9,79  | 9,58  | 9,18  | 8,79  | 8,06  |
| 12                           | 11,74 | 11,50 | 11,01 | 10,55 | 9,68  |
| 14                           | 13,70 | 13,41 | 12,84 | 12,30 | 11,29 |
| 16                           | 15,69 | 15,32 | 14,68 | 14,07 | 12,91 |
| 18                           | 17,62 | 17,24 | 16,51 | 15,82 | 14,52 |
| 20                           | 20,50 | 19,16 | 18,35 | 17,58 | 16,13 |

можно принять среднее значение параметра  $a = -4,4 \cdot 10^{-4}$ . С учетом параметра  $a$  формула (2) принимает вид:

$$\lg E = \lg E_0 + (-4,4 \cdot 10^{-4} h \lg e). \quad (4)$$

С учетом численного значения параметра  $a$  нами для принятых высот по формуле (2) рассчитаны с шагом 2 мбар величины  $E$  во всем диапазоне изменения  $E_0$ .

Значения  $E$  приведены в табл. 3. По данным этой таблицы построена номограмма, позволяющая графически получать значения влажности на различных высотах в 500-метровом слое атмосферы по ее значениям, определенным у поверхности Земли (рис. 2).

Для оценки точности определения парциального давления по предложенной номограмме (рис. 2) нами были использованы независимые аэрологические определения. Погрешности  $m_{E_i}$  вычислялись по отклонениям  $\Delta E_i$  между парциальными давлениями  $E_i$ ,

измеренными на соответствующих высотах в процессе зондирования, и давлениями, определенными из номограммы  $E_{h_i}$

$$\Delta E_i = E_i - E_{h_i} \quad (5)$$

и по формуле

$$m_{E_i} = \sqrt{\frac{|\Delta E_i|^2}{n-1}}, \quad (6)$$

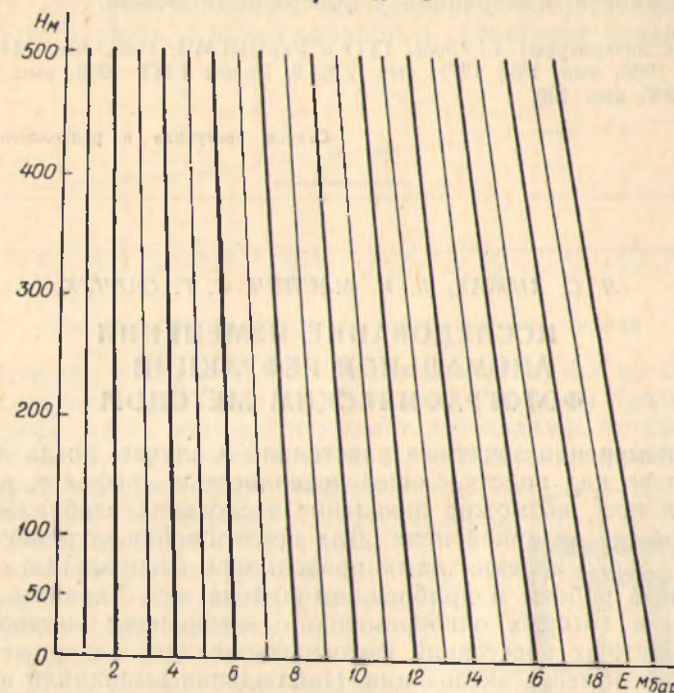


Рис. 2. Номограмма для определения парциального давления водяных паров.

здесь  $n$  — количество зондирований,  $i = 50, 100, 200, 400$  и  $500$  м. Полученные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Средние квадратические погрешности определения парциального давления в слое воздуха 0-500 м

| Интервалы парциального давления у поверхности, мбар | Средние квадратические погрешности, мбар |             |             |             |             |             |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                     | $m_{E 50}$                               | $m_{E 100}$ | $m_{E 200}$ | $m_{E 300}$ | $m_{E 400}$ | $m_{E 500}$ |
| 0—4                                                 | 0,2                                      | 0,2         | 0,3         | 0,2         | 0,2         | 0,4         |
| 4—8                                                 | 0,9                                      | 1,2         | 1,5         | 1,4         | 1,2         | 1,0         |
| 8—12                                                | 0,9                                      | 0,9         | 0,9         | 0,8         | 0,7         | 1,2         |
| 12—16                                               | 0,2                                      | 0,7         | 0,7         | 0,2         | 0,3         | 0,4         |
| 16—20                                               | 0,9                                      | 1,1         | 1,2         | 1,3         | 1,3         | 1,5         |



Количество зондирований  $n$  колебалось от 40 до 50 в каждом из принятых интервалов  $E_0$ .

Таким образом, предложенная эмпирическая формула (4) и номограмма позволяют с указанной выше точностью учитывать парциальное давление в исследуемом слое для вычисления поправок за рефракцию при радиодальномерных измерениях по величине влажности, измеренной у поверхности Земли.

Список литературы: 1. Труды ГГО и УкрНИГМИ, 1963, вып. 144/40; 1964, вып. 150; 1966, вып. 189; 1971, вып. 276. 2. Труды ГГО, 1953, вып. 39; 1955, вып. 49; 1955, вып. 190.

Статья поступила в редколлегию 15.04.82

УДК 528.03

Л. С. ХИЖАК, Д. И. МАСЛИЧ, С. Г. САВЧУК

### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ АНОМАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

При измерении зенитных расстояний в случае, когда луч проходит низко над подстилающей поверхностью (асфальт, взлетные полосы и пр.), возможно появление нескольких изображений одной и той же визирной цели. Для исследования условий возникновения такого явления нами проводились специальные экспериментальные работы в прибрежном районе юга Украины над асфальтом, в которых одновременно с измерением метеопараметров и зенитных расстояний фотографировались визирные цели с фиксацией момента экспозиции. Наблюдения выполняли в июне—августе 1979 г. днем.

Рядом с теодолитом ОТ-02 на одной и той же высоте был установлен фотоаппарат «Зенит» с телескопическим. Фокусное расстояние телеобъектива равно 1000 мм. Фотоаппарат устанавливался на штативе, который стоял на специально вбитых в землю полуметровых железных костылях. Костыли располагались с таким расчетом, чтобы высота центра объектива фотоаппарата и теодолита были одинаковыми и расстояния от визирной марки до плоскостей изображения ее в теодолите и фотоаппарате были равны. При этом фотоаппарат находился на расстоянии примерно 0,5 м от теодолита. Такое расположение теодолита и фотоаппарата позволяет получить разность зенитных расстояний между изображениями целей, сравнимую с соответствующими разностями, полученными из измерений теодолитом.

Визирная марка находилась на расстоянии 786 м от теодолита и фотоаппарата. Расположение наблюдательной станции показано на рис. 1, где приведены форма и размеры визирной марки. Участок асфальта, над которым проводились исследования, был ровным (превышение между станцией и маркой составляло

около 4 см). Были выполнены необходимые геодезические измерения для определения теоретических углов рефракции.

При выбранных условиях исследований многократные изображения появлялись очень часто, даже в пасмурную погоду. Вид визирной марки при многократных изображениях показан на рис. 2.

Наши экспериментальные исследования преследовали такие цели: 1) установить, с какой скоростью происходит изменение уг-

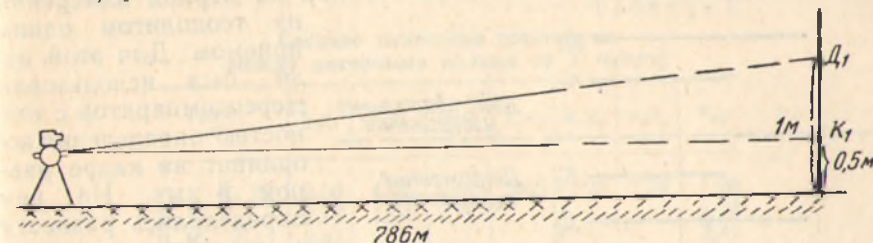


Рис. 1. Схема расположения наблюдательной станции.

лов рефракции в периоды появления многократных изображений и 2) исследовать структуру слоя воздуха, в котором проходят световые лучи. Такого рода исследования необходимы, чтобы, во-первых, можно было установить, когда производить измерения метеопараметров, которые будут использоваться при вычислении углов рефракции и, во-вторых, где производить эти измерения. Дело в том, что определение зенитных расстояний геодезическим методом проходит в определенный промежуток времени (5...15 мин) и в результате мы получаем некоторое среднее значение зенитных расстояний. За этот промежуток времени величина рефракции может измениться, особенно в периоды многократных изображений. И естественно, что скорость изменения рефракции в эти периоды необходимо учитывать при разработке методики определения

как метеозадающих, так и зенитных расстояний. Кроме того, при организации метеорологических измерений, необходимо хотя бы приблизительно знать структуру слоя воздуха в периоды многократных изображений визирных целей. Только в этом случае можно правильно расположить приборы для измерения метеозадающих. Чтобы получить изменения расстояний теодолитом одним приемом в момент наведения средней нити теодолита на верхнее изображение длинной полосы  $D_1$  (см. рис. 3), в начале и конце приема проводилось фотографирование визирных целей с экспозицией 1/30—

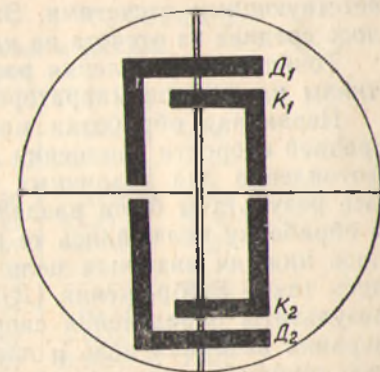


Рис. 2. Вид визирной марки при многократных изображениях.