Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова
т. XXXVII, вып. 1, 1958 г.

РЕДУКЦИОННЫЙ НИВЕЛИР

Н. А. Гусев

Визирная ось нивелиров, распространенных в практике, устанавливается горизонтально при помощи цилиндрического уровня приведением пузырька его в среднее положение. Установка пузырька в нульпункте отнимает много времени, особенно при большой чувствительности уровня, при производстве нивелирования на неустойчивых почвах и в подземных выработках.

Предлагаемый нивелир освобожден от указанного недостатка. В рабочем положении он устанавливается грубо при помощи сферического или цилиндрического уровня с ошибкой порядка 1—1′,5, визирная же ось приводится точно в горизонтальное положение при помощи специального редукционного устройства. Такой редукционный нивелир в маркшейдерско-геодезической практике позволит значительно облегчить труд нивелировщика, повысить его производительность, а также и точность нивелирования, особенно в подземных выработках и на неустойчивых почвах.

Теория редукционного нивелира. Представим себе нивелир, зрительная труба и уровень которого снабжены оптической системой, состоящей из плоского зеркала *6*, расположенного над ампулой *7* под углом 45° к оси уровня, стеклянной ромбовидной пластинки *4*, перекрывающей световое отверстие трубы, и объектива *5*, который дает изображение пузырька в плоскости сетки *2* (рис. 1). Пластинка *4* вращается вокруг горизонтальной оси SS, перпендикулярной к визирной оси Z_0Z_0 трубы. Пусть ось Z_0Z_0 параллельна оси уровня LL, а пластинка *4* перпендикулярна к визирной оси. В таком случае объектив *5* дает изображение O_n'' средней точки O_n пузырька, совпадающей с нульпунктом O уровня, на горизонтальной нити.

Наклоним трубу вместе с уровнем на угол ε; в результате пузырек сместится на некоторую величину OO_n, а его изображение в плоскости сетки нитей сместится на величину $O''O_n''$, равную

$$h_1 = \frac{\varepsilon \cdot R}{\rho} \cdot V = \frac{2V}{\tau} \cdot \varepsilon. \qquad (1)$$

Сместится с горизонта инструмента и горизонтальная нить на величину

$$h_2 = \frac{\varepsilon}{\rho} f. \qquad (2)$$

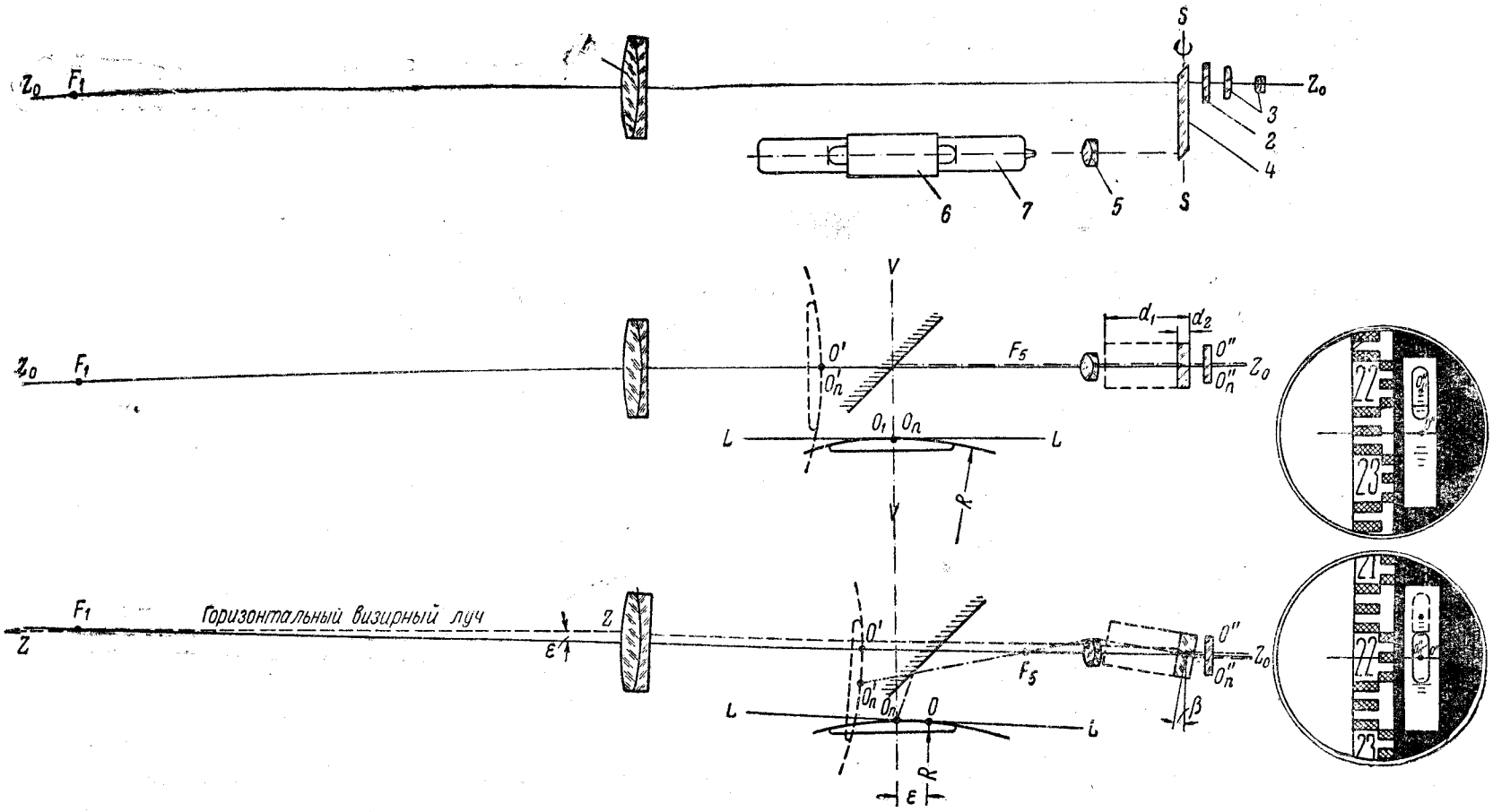


Рис. 1. Схема оптики редукционного устройства:

1 — объектив трубы; *2* — сетка; *3* — окуляр; *4* — пластинка микрометра; *5* — объектив редукционного устройства; *6* — зеркало; *7* — ампула уровня

В формулах (1) и (2) R — радиус кривизны ампулы; V — увеличение обьектива 5; τ — цена деления уровня; f — фокусное расстояние объектива трубы.

Повернем пластинку 4 вокруг оси SS на такой угол β, чтобы изображение середины пузырька оказалось на горизонтальной нити, как это показано на рис. 1. Так как пластинка перекрывает световое отверстие трубы, то сместится и изображение рейки, но на другую величину, т. е.

$$h_2' = d_2 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \beta. \tag{3}$$

Действие ромбовидной пластинки на лучи, проходящие через нее от концов пузырька в направлении оси вращения SS, эквивалентно действию плоско-параллельной пластинки, толщина которой d_1 равна длине хода лучей в пластинке 4. Поэтому мы можем написать уравнение следующего вида

$$d_1 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \beta = \frac{2V}{\tau} \varepsilon. \tag{4}$$

Подчинив соотношение между d_1 и d_2 условию равенства между h_2' и h_2, т. е.

$$d_2 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \beta = \frac{\varepsilon}{\rho} f, \tag{5}$$

и поделив почленно формулу (4) на (5), получим

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{2V\rho}{f\tau}. \tag{6}$$

В этой формуле f и τ — постоянные величины для данного нивелира. Также постоянны d_1 и d_2, которые подчинены условию, указанному ниже. Зная эти величины, можно рассчитать оптическую систему редукционного устройства с увеличением

$$V = \frac{d_1 f \cdot \tau}{2 d_2 \rho}. \tag{7}$$

Так, например, для глухого нивелира НГ, выпускаемого Киевским оптико-механическим заводом, фокусное расстояние объектива которого $f = 314$ *мм*, а $\tau = 25''$ при $d_1 = 42$ *мм* и $d_2 = 3{,}5$ *мм*, получается увеличение системы $V = 0{,}228$. Если принять $\tau = 20''$, то при тех же значениях f, d_1 и d_2 значение $V = 0{,}183$.

Если в формуле (7) посчитать $d_1 = d_2$, то получим

$$V = \frac{f\tau}{2\rho}. \tag{8}$$

В этом частном случае оптическая система нивелира будет давать визирную ось в горизонтальном положении автоматически.

Конструкция редукционного нивелира. Конструкция предлагаемого редукционного нивелира разработана на базе глухого нивелира НГ Киевского оптико-механического завода. На рис. 2 изображена схема оптики нивелира; числовые значения на чертеже даны для двух

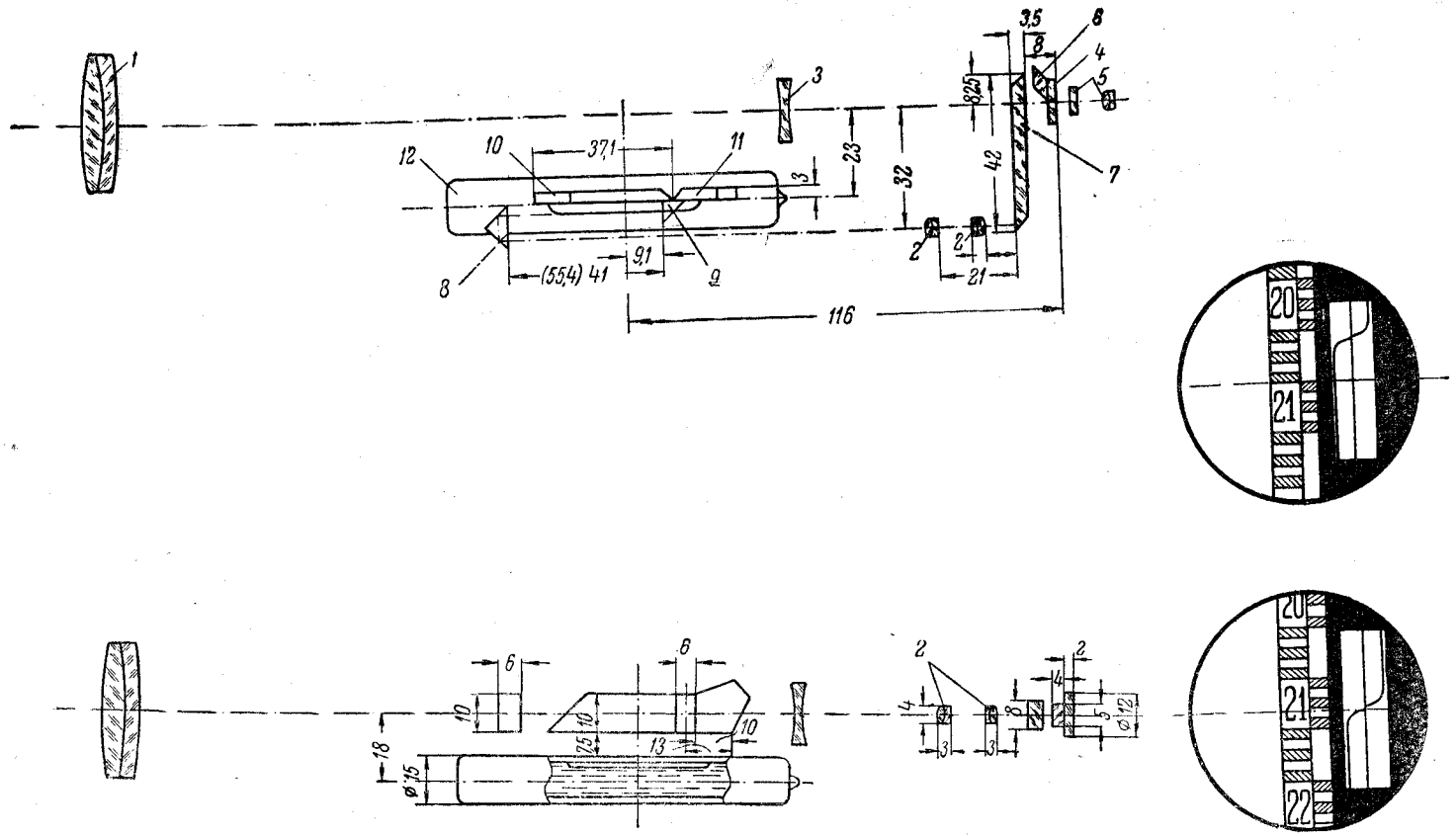


Рис. 2. Схема оптики нивелира:

1 — объектив трубы; *2* и *2'* — объективы редукционного устройства; *3* — фокусирующая линза; *4* — сетка; *5* — окуляр; *6* — рембпризма; *7*, *8*, *9*, *10* и *11* — призмы; *12* — ампула;

вариантов нивелира: с ценой деления уровня $\tau = 25''$ и ценой деления $\tau = 20''$. Расстояние между призмами *8* и *9*, равное 41 *мм*, соответствует $\tau = 25''$, а расстояние 55,4 *мм* — цене деления $\tau = 20''$; также $\tau = 25''$ соответствует фокусное расстояние $f_2 = 36{,}6$ мм, а $\tau = 20 - f_2 = 39{,}0$ *мм* объектива *2* (рис. 2). Система рассчитана на смещение пузырька от

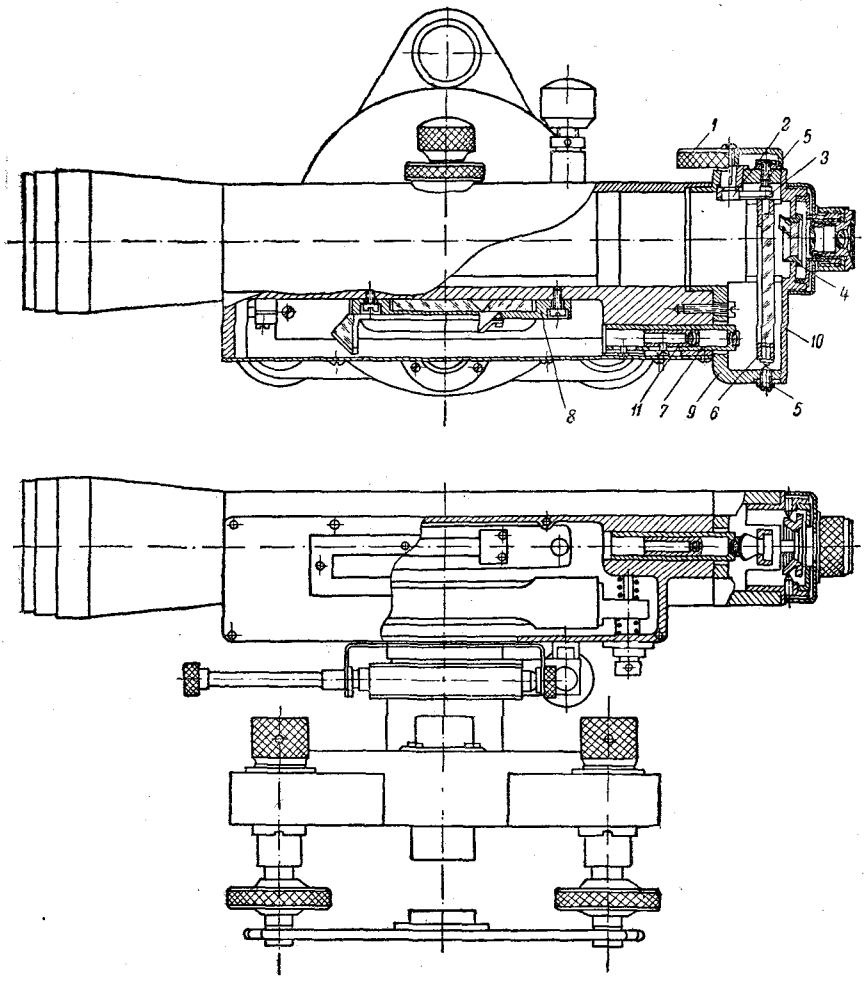


Рис. 3. Редукционный нивелир:

1 — барабанчик; *2* — трибка; *3* — сектор с зубчаткой; *4* — диафрагма с сеткой; *5* — центры; *6* — оправа рембпризмы; *7* — тубус с объективами; *8* — оправа призм уровня; *9* — коробка с редукционным устройством; *10* — крышка; *11* — тубус с объективом

нульпункта на $\pm 2{,}5$ деления, что соответствует наклону визирной оси на угол, равный $\pm 1 \sim 1{,}5'$.

Максимальный наклон визирной оси компенсируется поворотом пластинки *7* на угол, приблизительно равный $\pm 7°$, а минимальный наклон, который примем равным $\pm 4''$ (2 *мм* интервал рейки на расстоянии от нее до нивелира, равном 100 *м*), компенсируется поворотом пластинки на угол $\sim 18'$. Чтобы обеспечить такую точность поворота пластинки, необходим передаточный механизм с числом передачи около *3—4*. Диаметр рукоятки передающего механизма должен быть порядка 35—40 *мм* (рис. 3).

Нивелир должен удовлетворять следующим требованиям: 1) ось сферического уровня должна быть параллельна вертикальной оси нивелира; 2) ось цилиндрического уровня должна быть с точностью до одного деления ампулы перпендикулярна к вертикальной оси нивелира; 3) ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы; 4) горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к вертикальной оси нивелира; 5) увеличение оптической системы уровня должно удовлетворять соотношению

$$V = \frac{d_1 f\tau}{2d_2\rho}.$$

Выверка первого условия производится исправительными винтами при сферическом уровне, а второго — исправительными винтами при цилиндрическом уровне.

Выверка третьего условия производится вертикальными исправительными винтами при диафрагме сетки, а четвертого — разворотом диафрагмы вокруг оси трубы.

Выверка условия пятого производится перемещением одного объектива *2* (рис. 2) относительно другого и перемещением обоих объективов вдоль их оси.

Проверки условий первого, второго и четвертого производятся общеизвестными в геодезической практике способами.

Проверка третьего условия производится двойным нивелированием при обязательной установке пузырька уровня в нульпункте и совмещении вращением пластинки *7* изображения середины пузырька с горизонтальной нитью.

Проверка условия пятого выполняется путем сопоставления отсчетов по рейке, производимых при различных наклонах трубы, и приведении изображения середины пузырька на горизонтальную нить. Отсчеты по рейке должны быть одинаковы.

На рис. 3 изображена конструкция редукционного нивелира.

К трубе нивелира прикреплена коробка *9*, внутри которой находится оправа *6* с ромбовидной пластинкой. Оправа *6* вращается на центрах *5* при помощи барабанчика *1* и передачи, состоящей из трубки *2* и сектора с шестерней *3*, соединенной наглухо с оправой. К коробке прикреплена крышка *10*, в которой помещается диафрагма *4* с сеткой (горизонтальной нитью). Диафрагма имеет вертикальные исправительные винты, которые служат для выверки сетки. Непосредственно к сетке прилегает тонкая металлическая пластинка с двумя окнами: одно из них ограничивает поле зрения трубы, а другое — поле зрения оптической системы уровня.

Призменная система уровня крепится планкой *8* к корпусу нивелира, а тубусы объективов *11* и *7* закрепляются специальными винтами. Тубус *11* можно передвигать внутри тубуса *7*, а последний — в полости корпуса нивелира. Такое перемещение необходимо для получения расчетного увеличения и фокусировки.

Барабанчик *1* имеет ограничитель (не показан на чертеже), который ограничивает вращение сектора *3* в пределах $\pm 5°$. Ромбическая пластинка *7* (см. рис. 2) редукционного нивелира может служить не только для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение, но и оптическим микрометром для взятия отсчета по рейке с точностью до 0,1 *мм*, если соотношение между d_2 и d_1 подчинить условию $\frac{d_2}{d_1 + d_2} = 0{,}1$. В этом случае, согласно формуле (7), получим увеличение

$$V = \frac{9}{2} \cdot \frac{f \cdot \tau}{\rho} = 4{,}5 \frac{f\tau}{\rho}. \qquad (9)$$

На самом деле, пусть в редукционном нивелире совмещенные изображения концов пузырька проектируются в поле зрения окуляра трубы, как это показано на рис. 4. Такое расположение изображений концов пузырька не изменяет принципиально конструкции редукционного нивелира, показанной на рис. 3.

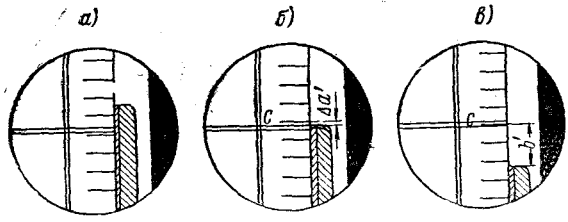


Рис. 4. Поле зрения окуляра зрительной трубы

Если в нивелире будет выполнено условие $\frac{d_1}{d_1 + d_2} = 0{,}1$, то при вращении плоско-параллельной ромбовидной пластинки изображения делений рейки и концов пузырька будут перемещаться с различными скоростями в соотношениях 1 : 9. Понятно, что и соответствующие отсче-

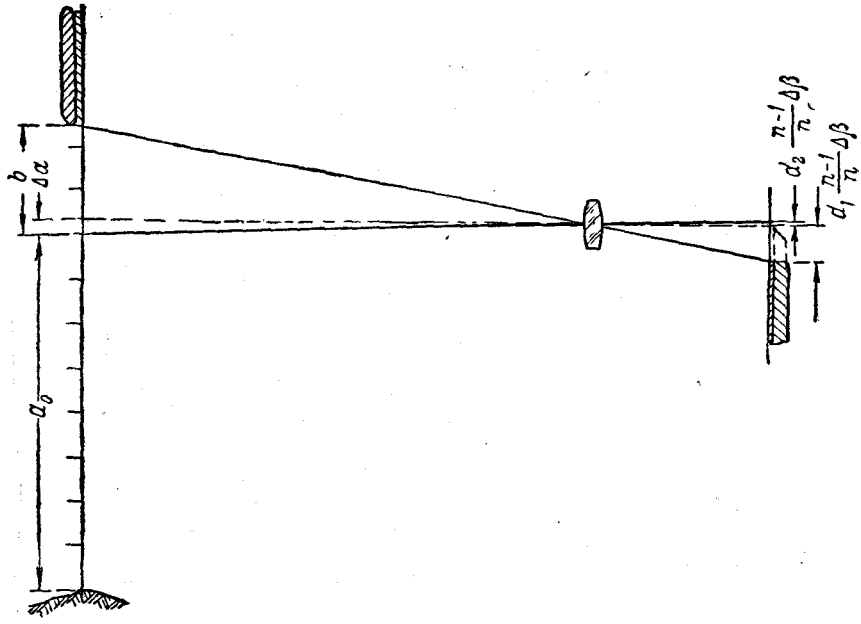


Рис. 5. Определение домера Δa

ты Δa и $b - \Delta a$ по рейке (рис. 5) относительно горизонта луча визирования будут изменяться в том же отношении. Докажем это.

На рис. 4 в поле зрения окуляра трубы показаны изображения рейки и концов пузырька, соответствующие произвольному (не горизонтальному) положению визирной оси. Чтобы визирная ось оказалась горизонтальной, надо повернуть барабанчик *1* (см. рис. 3) так, чтобы изображение концов пузырька совместилось с горизонтальной нитью — биссектором (рис. 4, *б*). Тогда нить спроектируется на рейке на высоте горизонта визирования и даст отсчет по ней

$$a = a_0 + \Delta a,$$

где a_0 — отсчет, кратный цене деления рейки;

Δa — домер, который отсчитывается на глаз или же определяется микрометром.

При определении домера Δa микрометром изображение концов пузырька с нитью не совмещают; вместо этого вращением барабанчика *1* (рис. 3) изображение младшего штриха С рейки совмещают с биссектором двойной нити (рис. 4, *б*) и берут отсчет, соответствующий штриху *С*.

Нить сместится с горизонта визирования на величину

$$\Delta a' = d_2 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \Delta\beta, \tag{10}$$

а пузырек — на величину

$$b' = d_1 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \Delta\beta + d_2 \frac{n-1}{n} \operatorname{tg} \Delta\beta. \tag{11}$$

Из рис. 5 и уравнений (10), (11) следует, что

$$\frac{\Delta a}{b} = \frac{\Delta a'}{b'} = \frac{d_2}{d_1 + d_2}, \tag{12}$$

но

$$\frac{d_1}{d_1 + d_2} = 0{,}1,$$

а потому домер $\Delta a = 0{,}1 \cdot b$.

Таким образом, значение Δa отсчитывается также по рейке от младшего штриха ее до проекции на нее изображения концов пузырька. Так, например, если $a_0 = 1{,}24$ *м*, а $b = 0{,}054$, то $\Delta a = 0{,}0054$ и полный отсчет будет равен 1,2454 *м*.

Автоматичность установки визирной оси в горизонтальном положении при грубой установке самого нивелира и автоматическая фиксация на рейке домера расширяют область применения нивелира для точных и высокой точности нивелировок и позволяют значительно повысить производительность нивелировочных работ.