Записки Ленинградского Горного института, т. IX, вып. 2, 1935
Annales de l'Institut des Mines à Leningrade, vol. IX, livr. 2, 1935

Измерение длин прибором Стэнли

Доц. Б. К. Юзефович

Längenmessung mit Hilfe des Stanley Apparates

Doz. *B. K. Jusefowitsch*

Прибор Стэнли представляет интерес с точки зрения возможности точного измерения длин методами непосредственного измерения при помощи лент.

Приведем здесь описание методов исследования и методов измерения длин прибором Стэнли в том виде, в каком они были предложены автором настоящей статьи и применены им при измерениях Цагакшинского и Калангуйского базисов Балейско-Дарасунской триангуляционной сети.

Работы по созданию этой сети были предприняты маркшейдерско-геодезической партией НИС'а ЛГИ по предложению треста «Востсибзолото» и продолжались в 1932 и 1933 гг. Цагакшинский базис был измерен прибором Стэнли из-за несвоевременной доставки проволок Иедерина-Гильома. Калангуйский измерен проволоками Иедерина-Гильома; лента применена на одном участке для ее эталонирования.

Описание частей прибора Стэнли, их назначения и техники измерения

Прибор Стэнли представляет собою комплекс нескольких отдельных инструментов. Сюда входят:

а) Инварная лента № 74 длиною 100 *м*. Лента разделена штрихами на интервалы около нульпунктов через 1 *м*, в середине через 2 *м*; кроме того имеются деления в футах.

Нульпункты представляют те же штрихи с цифрами 0 и 100.

Лента имеет ширину 6,35 *мм*, толщину 0,50 *мм*, площадь поперечного сечения 3,18 *мм*^{2}.

б) Два микроскопа *I* и *II*, представляющие каждый соединение визирной эксцентренной трубы, лотаппарата и собственно микроскопа со шкалою. Приборы устанавливаются на штативах и служат для отсчетов концов ленты посредством собственно микроскопа, установки над точкою посредством лотаппарата и провешивания промежуточных штативов (п. 3) путем зрительной трубы. Нижняя часть каждого микроскопа снабжена салазками, дающими возможность передвигать прибор в двух взаимно перпендикулярных направлениях, и уровнями для установки вертикальной оси прибора в вертикальном положении.

На рис. 1 представлен микроскоп: *ЗТ* — зрительная труба, *ЛА* — лотаппарат, *М* — микроскоп. Расстояние между оптическими осями лотаппарата и зрительной трубой 63 *мм*, а между осями лотаппарата и микроскопа 33 *мм*.

Шкала микроскопа длиною 2 *мм* разделена на 20 частей.

На-глаз можно отсчитывать десятые доли деления и таким образом довести в пределе точность отсчитывания до 0,01 *мм* (рис. 2).

в) Комплекс штативов в числе 10 для поддержания ленты при измерении через каждые 10 *м*. Штативы снабжены Т-образными подставками *ТП*, которые могут устанавливаться

на различной высоте. На подставки надеваются металлические ползуны *МП*, на которых укладывается лента (рис. 3).

г) Два штатива для гирь, каждый в виде параллельных брусьев, на которых передвигается ползун с блоком *ПБ* (рис. 4).

д) Две гири *Г* для натяжения весом по 4,6 *кг*; гири подвешиваются к шнуру, перебрасываемому через блок. К другому концу шнура на крючок надевается лента (рис. 4).

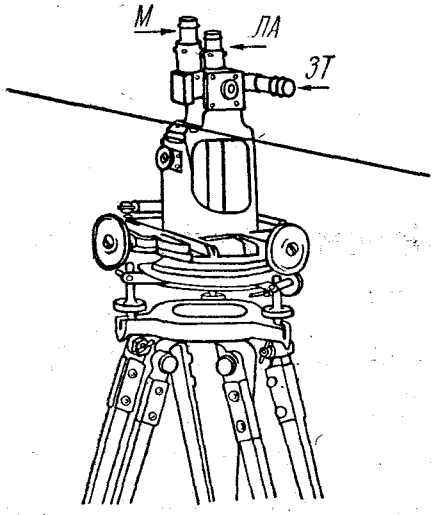


Рис. 1. Общий вид микроскопа прибора Стэнли и его части.

е) Центрир для установки над точкою. Центрир имеет снизу заостренный штифт, который можно поставить над точкою; сверху он снабжен круглым стальным стержнем, на верхней поверхности которого нарезан крест. Такой центрир можно применить для установки под лотаппаратом при перерыве в работе на ночь для контроля над неизмененностью положения лотаппарата (рис. 5). *ЗШ* — заостренный штифт, *К* — крестообразная нарезка. На рис. 5 центрир представлен в схематическом виде. В действительности он представляет конструкцию нижней части микроскопа, снабженную салазками с двумя взаимноперпендикулярными винтами.

Благодаря такой конструкции весьма облегчается установка креста нитей штифта под микроскопом или острия над точкою.

При измерении Цагакшинского базиса был выработан следующий метод работы.

Над начальною точкою базиса (центром тригонометрического пункта «Воскресенская») был установлен один из лотаппаратов (*I*) и весь прибор повернут так, чтобы плоскость, проходящая через ось вращения зрительной трубы, была перпендикулярна к оси базиса.

Установка выполнена посредством теодолита, поставленного по линии, перпендикулярной к оси базиса в центре Воскресенского тригонометрического пункта. Перпендикуляр восстанавливается с помощью того же теодолита.

Одновременно с установкою лотаппарата над точкою разворачивалась со своего барабана и протягивалась по оси базиса лента, вдоль по которой через каждые 10 *м* устанавливались поддерживающие штативы.

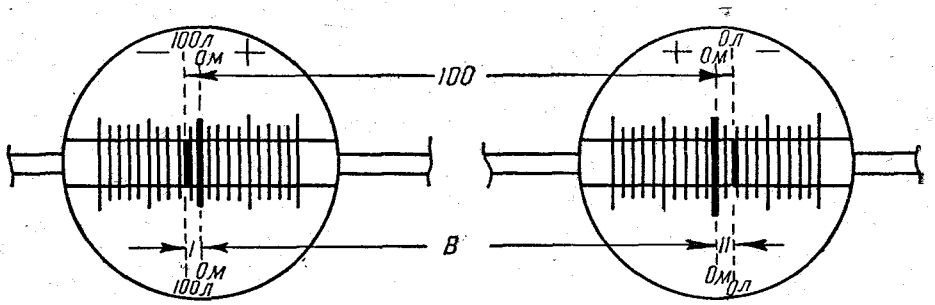


Рис. 2. Шкалы микроскопов при одинаковых системах знаков в обоих.

В то время как один конец ленты устанавливался и удерживался строго по нулевому штриху микроскопа *I*, на другом конце ленты по его нульпункту устанавливался второй микроскоп *II*, регулируемый по оси базиса теодолитом, а по расстоянию — лентой. Одновременно поддерживающие штативы устанавливались на надлежащих местах, на надлежащей высоте и по оси базиса.

Микроскоп *II* устанавливался так, что по оси базиса находился его лотаппарат. После этого в зрительную трубу микроскопа *II* визировали на зрительную трубу микроскопа *I*, и штативы

устанавливались с помощью зрительной трубы по оси микроскопов следующим образом: на Т-образных подставках от середины ползунов отмерялось расстояние 96 *мм*. Штатив устанавли-

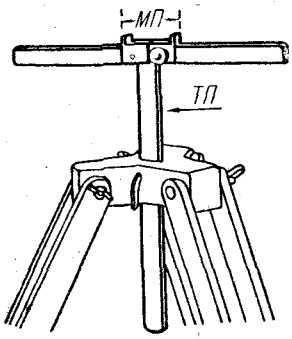


Рис. 3. Поддерживающий штатив с Т-образной подставкой и металлическим ползуном.

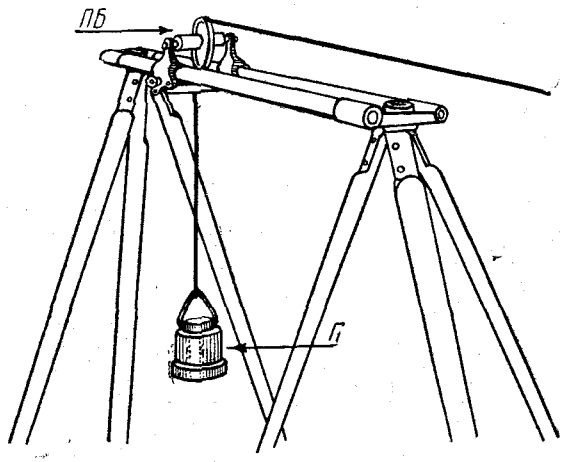


Рис. 4. Штатив для гирь с блоком и гирею.

вался по вешке, выставляемой в этой точке. Стало быть середина ползуна попадала на ось микроскопов, и на ней располагалась лента. Затем производилась нивелировка всех штативов и площадок для ленты под микроскопами, и одновременно с нивелировкою или после нее отсчитывание нульпунктов ленты по шкалам одновременно в обоих микроскопах. Схематически расположение всех частей прибора показано на рис. 6. При измерении Цагакшинского базиса за нулевой штрих была принята средняя черта шкалы микроскопов (рис. 2), и отсчет получался или с плюсом, или с минусом, смотря по фактическому расположению ленты относительно шкалы. В положении, указанном на рис. 2, имеем отсчет по микроскопу $I + 1{,}5$ и по микроскопу $II + 1{,}6$ в делениях шкалы микроскопов. Эти отсчеты получаются из того соображения, что нам нужно знать расстояние B между нулевыми штрихами микроскопов, мы же знаем расстояние между нульпунктами ленты 100 *м*, а микроскопы дают обратные изображения.

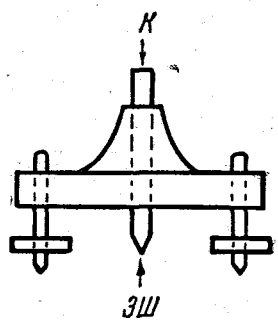


Рис. 5. Центрир.

После отсчитывания последующий по ходу микроскоп *II* остается на месте и является предыдущим микроскопом, а предыдущий микроскоп *I* переносится на новый интервал на 100 *м* и является последующим, одновременно переносилась лента и поддерживающие ее штативы, и повторялась работа первого интервала. На последнем неполном интервале лента была перенесена до последней твер-

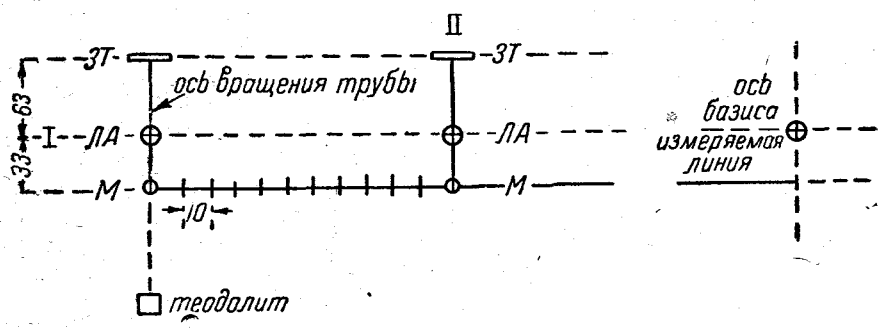


Рис. 6. Схематическое расположение всех частей прибора Стэнли при измерении.

дой точки (центр тригонометрического пункта «Цагакшинская»), над которой и был установлен очередной лотаппарат. Пролет отсчитывался по концевому штриху ленты на по-

следнем микроскопе и по карандашному штриху на ленте на предпоследнем микроскопе. Разница между штрихами карандашом и ближайшим ленты измерена вспомогательною рулеткою.

При ходе назад последний микроскоп остался на месте, а предпоследний был перенесен на длину всей ленты на 100 *м*, и работа продолжалась, как при ходе вперед.

Поверки прибора

На основании сделанного описания производства работы видно, что измеряемая линия подвергается следующим перемещениям: прежде всего она составляется из ряда интервалов по 100 *м* в каждом, кроме последнего, который может представлять часть от 100 *м*; каждый интервал выносится с поверхности земли в виде отрезка, заключающегося между визирными осями лотаппаратов до горизонта площадок микроскопов, передается затем на линию между нульпунктами микроскопов и таким образом переходит с оси базиса на ось микроскопов. Отдельные интервалы, суммируясь, должны дать линию между крайними нулевыми штрихами микроскопа, равную и параллельную линии между центрами знаков.

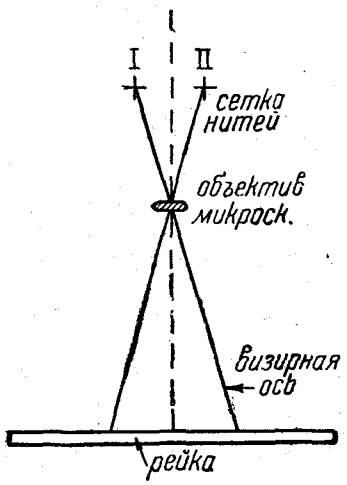


Рис. 7. Схема выверки визирной оси лотаппарата.

Отсюда требования к микроскопам:

1) вертикальная ось микроскопа должна быть вертикальна, а визирная ось лотаппарата должна быть ей параллельна или в исходном положении салазок должна с ней совпадать;

2) визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы, а сама ось вращения должна быть горизонтальна;

3) нулевой штрих микроскопа должен лежать в вертикальной плоскости, проходящей через ось вращения зрительной трубы; в той же плоскости должна находиться визирная ось лотаппарата.

Первое условие проверяется путем, обычным для всех геодезических инструментов: выверка оси уровня — поворотами ее на 180° относительно пары или одного установительного винта прибора; вертикальность оси — приведением пузырька уровня на середину по двум взаимно-перпендикулярным направлениям соответственно положению установительных винтов.

Для достижения вертикальности визирной оси лотаппарата салазки ставятся в исходное положение, отмеченное штрихами; лотаппаратом визируем на какую-либо точку, — можно положить на землю под прибором рейку, — затем поворачиваем прибор на 180°, следя за передвижением сетки нитей. Если пересечение нитей сетки сошло с отсчитанного деления, то на пол схода переставляем сетку нитей, действуя ее исправительными винтами. Таким образом первое условие будет выполнено (рис. 7).

Условие второе можно проверить следующим образом: на ровной местности с помощью теодолита провесим 3 точки A, B, C, причем измерим между ними равные расстояния. Над средней точкой B поставим лотаппарат, а в двух крайних восставим перпендикуляры по одну сторону линии AC и отложим на них расстояния, равные расстоянию оптических осей зрительной трубы и лотаппарата — 63 *мм* (рис. 8). В этих точках A^{I} и C^{I} поставим строго-отвесные тонкие прямые вешки. Визируем сначала на одну вешку C^{I}; потом, повернув трубу вокруг своей оси на 180°, визируем на вешку A^{I}. Если пересечение нитей совпадает со второй вешкой, то коллимационная погрешность в приборе отсутствует; если не совпадает, то, отметив вешкой направление луча BA^{II} на расстояние $BA^{II} = BA^{I}$, делим промежуток между вехами A^{I} и A^{II} пополам и на среднюю вешку A^{III} наводим пересечение нитей сетки, действуя ее исправительными винтами.

Условие горизонтальности оси вращения выверяется, как обычно в теодолитах, или визируя вдоль отвеса, или проектируя высокую точку на рейку, поставленную впереди инструмента под точкой, при двух положениях трубы.

Для выверки третьего условия сохраняем установку второго условия, причем предварительно из средней точки B (точки, где ставится лотаппарат) восстанавливаем перпендикуляр

к AC по обе стороны линии T_1 и T_2 на расстояние достаточное для визирования теодолитом на микроскоп (рис. 9_I и 9_{II}). Визируем на одну из вешек C^I, поставленных на конце линии, в зрительную трубу и в этом положении закрепляем микроскоп. Теодолитом, поставленным в точке T_1, визируем на точку B под лотаппаратом и переносим ее на площадку под микроскопом, где на продолжении визирного луча теодолита делаем штрих твердым карандашом на бумаге, наклеенной предварительно на площадку. По этому штриху берем отсчеты по шкале

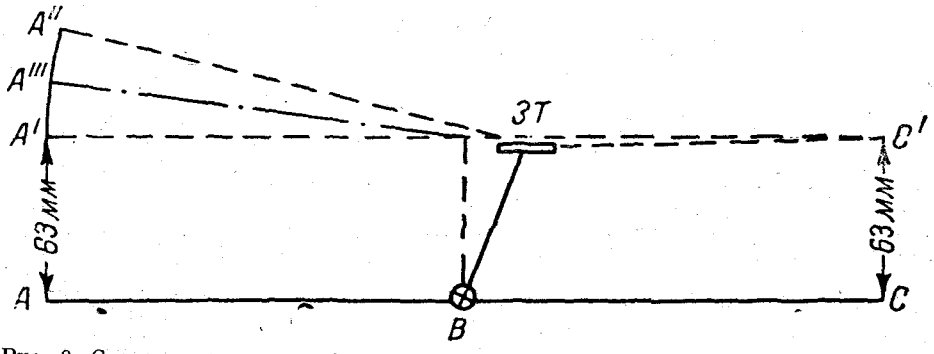


Рис. 8. Схема выверки перпендикулярности визирной оси трубы к оси вращения трубы (коллимационной погрешности).

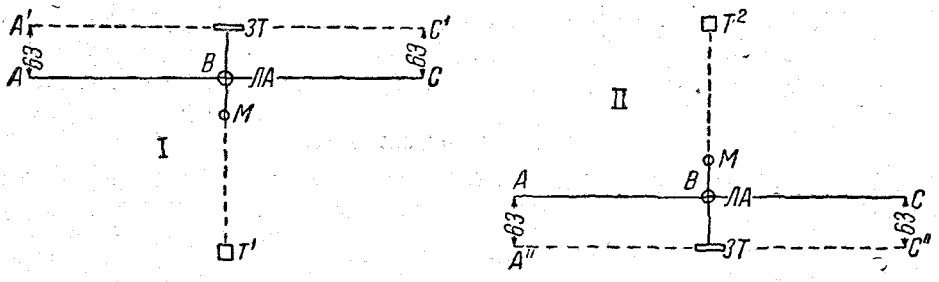


Рис. 9-I, 9-II. Схема выверки совпадения нулевого штриха микроскопа с вертикальной плоскостью, проходящей через ось вращения трубы.

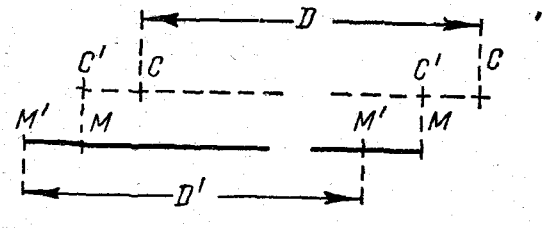


Рис. 10. Схема расположения измеряемой линии в случае исполнения условий 1 и 3 полностью при установке на концах базиса одного и того же микроскопа.

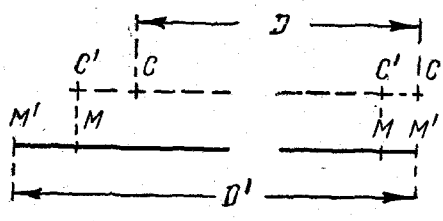


Рис. 11. То же в случае разных микроскопов.

микроскопа. Затем поворачиваем вокруг вертикальной оси прибор на 180° и визируем в зрительную трубу на вешку A^I. Теодолит переносим на другую сторону линии, ставим над точкою T_2 и опять проектируем точку под лотаппаратом B на площадку под микроскопом. Берем новый отсчет по шкале микроскопа. Для соблюдения третьего условия отсчеты как в первом, так и во втором случае должны быть нули. В случае невыполнения этого условия переставляем шкалу микроскопа до получения нулевых отсчетов.

Для того чтобы на концах провешенной линии можно было удобно строить перпендикуляры и измерять малые расстояния, можно устроить столики, на которых и выполнять все построения.

Выполнение второй половины первого условия и третьего условия не обязательно, если в начале и конце линии мы имели один и тот же микроскоп на одной высоте над центром.

В самом деле, наклон визирной оси лотаппарата передвинет наш центр в пространстве вперед или назад, причем одинаково на обоих концах. То же получится и при сдвижении нульпунктов шкалы (рис. 10). На рисунке точки CC представляют закрепленные концы базиса: C^1C^1 — сдвинутые центры благодаря наклону визирной оси лотаппарата, причем CC^1 равны между собой, M^1M^1 представляют нулевые штрихи шкал микроскопов MM, сдвинутые на равные расстояния M^1M. Из чертежа видно, что $D = D^1$.

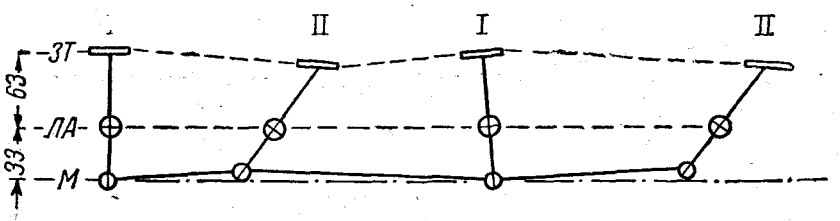


Рис. 12. Схема расположения ленты по оси базиса в случае неисполнения условия 2.

Если же на другом конце базиса придется устанавливать другой микроскоп, или тот же, но на другой высоте над центром, то соблюдение условий первого и третьего становится обязательным (рис. 11).

Если C^1C не равны между собою, то, даже при равенстве отрезков M^1M, D^1 не равно D.

Второе условие должно быть выполнено при всех установках, в противном случае измеряемая линия получится ломаной, что повлечет за собою погрешности провешивания (рис. 12).

Источники погрешностей

Источником наибольших погрешностей может служить передвижение микроскопа между последующим и предыдущим отсчетами как во время производства измерения, так и во время перерывов. На время длительного перерыва обязательна забивка кола под лотаппаратом и перенос на него направления визирной оси. В крайнем случае кол может быть заменен центриром, так как меньше опасность сдвижения центрира, поставленного низко над землею, чем всего прибора, стоящего на высоте 0,7—0,8 *м*. Уровни в этом случае недостаточны, так как, если по сходу их пузырьков можно установить факт передвижения микроскопа, то восстановить исходное положение невозможно. Погрешность, получающаяся от передвижения микроскопа является случайной по величине и по знаку.

Вторым источником погрешностей может быть изменение длины между нульпунктами из-за изменения провеса от трения ленты по головкам штативов. Как показали измерения, средняя погрешность разности каждой пары отсчетов колеблется от $\pm$ 0,9 до $\pm$ 6,0 деления шкалы, имея среднее значение $\pm$ 3,26. Погрешность среднего арифметического из 7—8 отсчетов, полученных при передвижении ленты, колеблется около $\pm$ 1,3 деления шкалы. Погрешность случайная по величине и по знаку.

Третий источник погрешности заключается в эталонировании ленты. Так как непосредственное эталонирование не может быть выполнено и приходится измерять вспомогательный базис проволоками Иедерина-Гильома, то в определении длины ленты сказываются погрешности длины нормального жезла, определения длины компаратора, определения длины проволок, погрешности измерения длины базиса проволоками и наконец погрешности измерения базиса самой лентой.

В результате имеем систематическую погрешность эталонирования.

Если тщательно следить за неподвижностью микроскопа, то наиболее значительной погрешностью останется погрешность эталонирования ленты и возможная погрешность от деформации инвара. Для суждения о характере и величине последней погрешности нет никаких данных, так как в приборе лента одна, и нет возможности судить о состоянии ленты по сличению результатов во время измерения.

Погрешности от провеса ленты на интервале 10 *м* и от несимметрии при измерении по наклонной линии могут быть, по причине легкости ленты, не приняты во внимание.

Выразим в цифрах влияние отдельных факторов на общую погрешность измерения.

1) Допустим уклонение микроскопа во время измерения на два деления уровня, т. е. уклонение его оси от вертикального положения на $2^1/_2{}'$ (чувствительность уровня $1^1/_4{}'$). При высоте штатива, равной 0,8 *м*, уклонение оси вертикали на $2^1/_2{}'$ вызовет линейное уклонение нулевого штриха микроскопа на $\frac{2^1/_2 \times 800}{3438} = 0{,}58$ *мм*; так как уклонение может быть на обоих концах ленты, то действие его на всю ленту будет в $\sqrt{2}$ больше, т. е. $\pm 0{,}58\sqrt{2} = \pm 0{,}81$ *мм*.

2) Погрешность разности отсчитывания может быть принята $\pm 1{,}3$ деления, или $\pm 0{,}13$ *мм*.

3) Погрешность от неправильного учета превышения при приведении к горизонту.

Определяемая по формуле $d(m_s)_6 = \pm \frac{h}{s} d(h)$, где $d(h)$ — погрешность разности уровня; $(m_s)_6$ — поправка за наклон; h — разность уровней; s — величина пролета. Примем $h = 2$ *м*; $d(h) = 0{,}003$ *м*; $s = 10$ *м*;

$$d(m_s)_6 = \pm \frac{2}{10} \times 0{,}003 = \pm 0{,}6006 \text{ мм} = \pm 0{,}6 \text{ мм}.$$

Погрешность случайная по величине и по знаку.

4) Погрешность от неправильного учета температуры, определяемая по формуле $d(m_s)_5 = \alpha \cdot s \cdot dt$. Принимая $dt = \pm 0{,}5°$ С и $\alpha = 3 \cdot 10^{-7}$ (дано фирмой Стэнли), $s = 100$ *м*, получим $d(m_s)_5 = \pm 3 \cdot 10^{-7} \times 100 \times 0{,}5 = \pm 0{,}015$ *мм*.

Погрешность случайная по величине и по знаку.

5) Погрешность провешивания может не учитываться.

6) Погрешность эталонирования примем $(m_s)_1 = 0{,}2$ *мм*. Суммарное влияние на ленту случайных погрешностей:

$$m_{us} = \pm \mu \sqrt{810^2 + 130^2 + 600^2 + 15^2} = \pm 1016\mu$$
$$m_{ur} = 200\mu.$$

Общее влияние на 92 пролета:

$$m_l = \pm \mu \sqrt{1016^2 \cdot 92 + 200^2 \cdot 92^2} = \pm 20\,823\mu = \pm 20{,}82 \text{ мм}.$$

Относительная погрешность $\frac{20{,}82}{9200000} = \frac{1}{442000}$.

При тщательной выверке уровней, постоянном наблюдении за их состоянием, при пользовании центриром и тщательности работы можно добиться уничтожения погрешности от перемещений микроскопов.

Если применить измерение в местности ровной с разностью уровней на 10 *м* не свыше 0,5 *м*, то погрешность разности от неправильного определения превышений может быть уменьшена до $\pm 150\ \mu$.

Заменив металлические ползуны для поддерживающих штативов роликами, или в крайнем случае смазывая головки ползунов маслом, можно повысить точность фиксирования концов ленты, избегая при этом производства работ при ветре. На основании имеющегося практического материала при смазывании головок ползунов маслом точность фиксирования повысилась до $\pm 0{,}75$ деления. Примем точность фиксирования концов ленты $\pm 0{,}75$ деления, или $\pm 0{,}075$ *мм*.

Тогда влияние одновременного действия случайных погрешностей на ленту интервал в 100 *м*.

$$m_{us} = \pm \mu \sqrt{15^2 + 150^2 + 75^2} = \pm 170\mu$$
$$m_{ur} = 200\mu.$$

Общее влияние погрешностей на измеряемую длину 92 пролета:

$$m_l = \pm \mu \sqrt{170^2 \cdot 92 + 200^2 \cdot 92^2} = \pm 18472\mu = \pm 18{,}472 \text{ мм}.$$

Относительная погрешность $= \frac{18 \cdot 472}{9200000} = \frac{1}{498000}$.

Прилагаемая таблица показывает изменение относительной погрешности при увеличении числа пролетов.

Число пролетов	1 случай		2 случай	
	Погрешности		Погрешности	
	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная
1	1 036	1 : 96 000	263	1 : 380 000
6	2 806	1 : 214 000	1 270	1 : 438 000
45	11 300	1 : 398 000	9 072	1 : 496 000
92	20 823	1 : 442 000	18 472	1 : 498 000
100	22 522	1 : 444 000	20 072	1 : 498 000
150	32 570	1 : 460 000	30 072	1 : 499 000
200	42 600	1 : 469 000		
250	52 612	1 : 475 000		
300	62 623	1 : 479 000		
400	82 637	1 : 484 000		
500	102 646	1 : 487 000		
600	122 651	1 : 489 000		
700	142 656	1 : 490 000		

В обоих случаях относительная погрешность стремится к некоторому постоянному числу, зависящему от систематической погрешности.

Дальнейшее увеличение точности возможно лишь при уменьшении величины систематической погрешности.

Полученный результат свидетельствует о высоких качествах рассматриваемого метода измерения длин и о возможности применения его для точной полигонометрии.

При измерении Цагакшинского базиса получилась разность между ходом вперед и назад 45,5 *мм*. Погрешность среднего арифметического $\pm$ 22,7 *мм*.

Длина базиса 4550,05 *м*. Относительная погрешность среднего арифметического

$$\frac{22{,}7}{4550{,}05} = \frac{1}{200100}.$$

Погрешность одного измерения $m = \pm 32{,}1$ *мм*.

Разность 45,5 *мм* составляется из влияния случайных погрешностей, так как погрешность эталонирования в разности хода вперед и назад здесь сказаться не могла.

Если мы из предыдущих формул исключим влияние систематической погрешности, то m_e в первом случае будет равно $\pm$ 9,65 *мм*, во втором $\pm$ 2,02 *мм* для 92 пролетов.

Могло быть остаточное влияние систематической погрешности благодаря разности температуры при ходе вперед и назад.

Получается резкая разница между тем, что в действительности получилось, и тем, что должно получиться, исходя из допущений о величине отдельных погрешностей.

Можно предполагать резкие изменения инвара под влиянием растяжения и низкой температуры во время измерения (—24° С) в виду того, что лента до измерения Цагакшинского базиса в употреблении не была.

В дальнейшем необходимо изучение ленты на известных базисах при различных климатических условиях для определения ее длины, уравнения линейного расширения и свойств ленты относительно устойчивости инвара.

Для уяснения последнего обстоятельства следует иметь вторую ленту. Без предварительного изучения ленты нельзя ее рекомендовать для точных работ.

Измерения производились отрядом в составе 2 технических работников, 1 журналиста и 5 рабочих. Производительность — 13 интервалов в день. С прибытием еще одного технического работника производительность поднялась до 16 интервалов за 8—9-часовой рабочий день.

Для выяснения зависимости между производительностью и составом сотрудников измерительного отряда, а также возможности рационализации работы, был произведен хронометраж отдельных стадий работы.

Весь процесс по измерению интервала был разбит на стадии.

1. С момента снятия гирь до момента грубой установки последующего микроскопа; сюда относятся:

а) предварительная переноска и установка поддерживающих штативов и одновременно перенос ленты и микроскопа;

б) предварительная установка станков для гирь на обоих концах интервала;

в) предварительная установка последующего микроскопа.

2. Точная установка микроскопа; сюда входят:

а) подрубка почвы под ножками треноги;

б) переход к теодолиту для провешивания микроскопа по оси базиса на расстояние 300—400 *м* и обратно.

3. Точное провешивание штативов зрительной трубой микроскопа.

4. Нивелировка штативов и микроскопов.

5. Отсчитывание концов.

Таков был порядок работы при наличии двух технических работников, 1 журналиста и 5 рабочих.

Продолжительность каждой стадии:]

1-й . . .	10 мин.	Среднее из 8 наблюдений
2-й . . .	8,6 „	
3-й . . .	9 „	
4-й . . .	9 „	
5-й . . .	6,3 „	
Всего	42,9 мин.	

С прибытием еще одного технического работника явилась возможность объединить 3-ю и 4-ю стадии, кроме того не задерживать установки микроскопа переходом сотрудника к теодолиту, так как третий сотрудник отправлялся туда во время переноса штативов.

Стадии работ были несколько детализированы и учитывались следующим образом:

1) с момента снятия гирь на предыдущем интервале до момента подвешивания ленты на крючки гирь последующего интервала;

2) приближенная установка микроскопов, установка штативов по высоте и приближенно по оси базиса;

3) точная установка микроскопа;

4) провешивание и нивелировка;

5) отсчитывание.

Продолжительность каждой стадии:

1-й . . .	8 мин.	Среднее из 22 отсчетов
2-й . . .	8 „	
3-й . . .	6,6 „	
4-й . . .	6,6 „	
5-й . . .	7,6 „	
Всего	36,8 мин.	

Дальнейшее увеличение технического персонала явилось бы мало рентабельным. Увеличение числа рабочих дало бы возможность сократить только 1-ю и 2-ю стадии, так как переноска штативов задерживала продвижение ленты и установку микроскопа. Добавление 2 рабочих сократило бы первые 2 стадии на 4—5 минут, и тогда весь процесс можно было бы довести до 23 минут.

Работа начиналась в 8 час. 15 мин., заканчивалась в 5 час. 30 мин., с 20-минутным перерывом на устройство чая.

Температура во время измерения колебалась от —3° С до —24° С.

Недостатки прибора могут быть сформулированы в следующем перечне:

1) большое трение ленты о штативы, вследствие чего желательна была бы роликовая система подставок;

2) небольшая величина шкалы микроскопа, требующая длительной установки микроскопа по расстоянию;

3) большая зависимость от ветра;
4) наличие одной ленты, что не дает возможности судить об изменениях ленты;
5) большое количество оптических частей, отсюда сложность выверки;
6) необходимость дополнительного базиса для эталонирования ленты;
7) грубость деталей салазок и штатива.

Достоинства прибора:

1) материал ленты — инвар, следовательно, малая чувствительность к изменениям температуры;
2) большая точность провешивания;
3) большая точность отсчитывания;
4) отсутствие предварительной подготовки базиса.

Эталонирование ленты

Эталонирование ленты было произведено летом 1933 г. во время измерения Калангуйского базиса.

На базисе, на ровном месте с прочным и твердым грунтом, был выделен участок в 600 *м* между точками 91 и 116. Базис отвечал 25 пролетам инварной проводки и 6 пролетам ленты Стэнли.

Концы его были закреплены деревянными, забитыми вровень с землею, кольями длиною 40—50 *см*, диаметром 8 *см*. Точки 91 и 116 отмечены точкою пересечения продольного и поперечного штрихов на шляпке медной заклепки, забитой в головку каждого кола.

Во время измерения базиса инварными проволоками над этими точками были поставлены трехногие штативы с прибитыми к их головкам деревянными призматическими брусочками. На верхней поверхности этих брусков точки 91 и 116 были отмечены двумя пересекающимися линиями вдоль и поперек базиса, прочерченными жестким карандашом.

Проектировка этих линий с головок заклепок и неизменность их положения была выполнена и проверялась с помощью теодолита до и после каждого измерения. Для этой цели в точках 91 и 116 к линии базиса были восставлены перпендикуляры, отмеченные на поверхности земли так же, как точки 91 и 116.

Участок 91——116 измерен дважды 4 проволоками, каждый раз вперед и назад.

Результаты измерения сведены в следующую таблицу (см. на стр. 24).

Среднее весовое значение длины участка 91—116 = 600976,382 *мм*.

Средняя погрешность $M = \pm 0{,}135$ *мм*.

Относительная погрешность $= \frac{1}{4450000}$

При подсчете длины базиса температура не учитывалась по причине отсутствия точных данных о коэфициенте линейного расширения и температурного уравнения проволок. Поправка за температуру будет внесена после исследования проволок.

Полученная длина служила базисом для эталонирования ленты Стэнли.

Перед началом измерения микроскопы были тщательно выверены согласно приведенной выше схеме.

Проверка подтвердила то обстоятельство, что в микроскопе II средний штрих не может быть приведен в положение, совпадающее с вертикальной плоскостью, проходящей через ось зрительной трубы и оптическую ось лотаппарата (невыполнение третьего условия). С этой плоскостью совпадает крайний левый штрих.

Отсюда происходит необходимость применять разную систему знаков для микроскопов I и II, так как шкалу микроскопа I нельзя поставить в положение аналогичное шкале микроскопа II.

В микроскопе I имеются две системы знаков, как показано на рис. 2, в микроскопе II одна система знаков, как показано на рис. 13.

Получается система знаков, крайне неудобная для пользования и заставляющая соблюдать большую осторожность при отсчетах и записях отсчетов в журнал.

Систему двух знаков в обоих микроскопах можно применить только в случае, если на оба конца базиса попадает один и тот же микроскоп. Если микроскоп II, то получится схема рис. 10; если микроскоп I, то перемещение нульпункта микроскопа II с крайнего левого штриха на середину будет иметь последствием интервалы неодинаковой длины. В обоих случаях сумма интервалов будет равна измеряемому расстоянию.

Очевидно, такое расположение микроскопов получится только при четком числе интервалов.

При компарировании имел место последний случай, почему возможно было считать средний штрих микроскопа II за нулевой и применить систему двух знаков для обоих микроскопов согласно схеме рис. 2.

Значения базиса, полученные измерением лентою Стэнли, сведены в следующую таблицу (стр. 24):

Среднее значение длины базиса = 601 166,315 *мм* ленты.

Средняя погрешность одного измерения = ± 1,738 *мм* ленты.

Средняя погрешность среднего значения M = ± 0,709 *мм* ленты.

Из сопоставления длины базиса, полученной измерением проволоками Иедерина и лентою Стэнли, получим переводный множитель для перехода от длины, выраженной в единицах ленты Стэнли, к длине в нормальных мерах.

Последняя поправка за «перемещение концевого штриха» представляет собою расстояние между нульпунктом ленты и штрихом на ленте, по которому производился отсчет на последнем пролете. Поправка получилась по причине длины базиса больше 600 *м* и была измерена в нормальных мерах женевской линейкой.

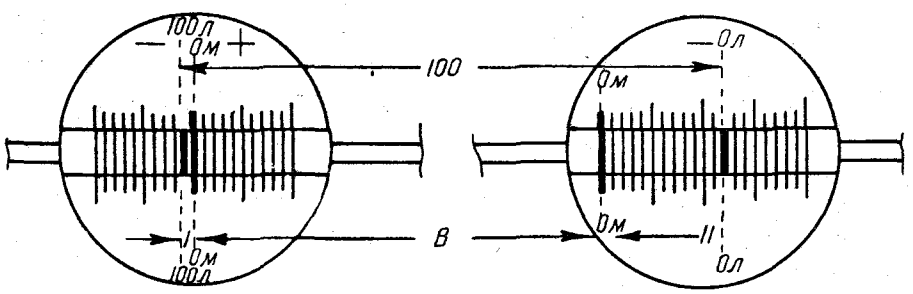


Рис. 13. Шкалы микроскопов при равных системах знаков в обоих (действительный случай).

Для сличения ленты с нормальною мерою необходимо из длины базиса, измеренного проволоками и лентою, вычесть среднюю величину поправки 1 184,317 *мм*.

Тогда получим сравнимые длины участков:

в нормальных мерах 600 976,382 *мм* — 1 184,317 *мм* = 599 792,065 *мм*,

в единицах ленты: 601 166,315 *мм* ленты — 1 184,317 *мм* = 599 981,998 *мм* ленты.

Длина ленты между нульпунктами получится из пропорции:

$$\frac{599\,981{,}998}{599\,792{,}065} = \frac{100\,000}{x}, \text{ откуда}$$

x = 99 968,344 *мм* нормальной меры, т. е. каждые 100 *м* измеренного в единицах ленты горизонтального проложения длины равны 99 968,344 *мм* нормальной меры.

Для перевода любого числа единиц ленты в нормальные меры может служить множитель 0,99968344.

Погрешность эталонирования получится как погрешность функции:

$$x = \frac{100\,000a}{b},$$

где:

a = 599 792,065 *мм* ± 0,135 *мм*;

b = 599 981,998 *мм* ленты ± 0,709 *мм*;

$$m_x^2 = \left(\frac{10^5}{b}\right)^2 \delta a^2 + \left(\frac{10^5 \cdot a}{b^2}\right)^2 \delta b^2; \quad m_x = \pm \frac{10^5}{b} \sqrt{\delta a^2 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 \delta b^2}; \quad m_x = \pm 0{,}120 \text{ мм}.$$

Относительно влияния температуры на состояние ленты и определения коэфициента линейного расширения нельзя иметь определенного суждения по результатам измерения.

Два последних измерения, произведенных ранним утром при наинизшей температуре, ничего не дали в смысле определенного изменения значения измеряемого участка.

Время измерения	t°	Приемы	Σ поправок за отсчет *мм*	Σ поправок за наклон *мм*	Σ поправок за темп. *мм*	Поправка за перемещ. концевого штриха *мм* норм. меры	Сумма всех поправок *мм*	Горизонтальное проложение участка *мм*	v	$[v \cdot v]$
								601,16		
10 августа . .	21,2° C	1	— 2,3786	— 21,3180		+ 1 188,4	+ 1 164 · 7 034	4,7034	+ 1,612	
10 „ . .	23,0° C	2	— 0,4537	— 22,0209		+ 1 188,4	+ 1 165 · 9 254	5,9254	+ 0,390	
11 „ . .	21,6° C	3	— 1,2494	— 16,1027		+ 1 186,5	+ 1 169 · 1 479	9,1479	— 2,833	
11 „ . .	23,4° C	4	+ 1,9658	— 21,2720		+ 1 186,5	+ 1 167 · 1 938	7,1938	— 0,879	
12 „ . .	12,2° C	5	— 0,5707	— 15,8521		+ 1 182,9	+ 1 166 · 4 772	6,4772	— 0,162	
13 „ . .	16,2° C	6	+ 2,3133	— 15,0725		+ 1 177,2	+ 1 164 · 4 408	4,4408	+ 1,874	15,087294

Время измерения		Проволока 929			Проволока 930			Проволока 931			Проволока 932		
		Измеренное значение	m ±	P	Измеренное значение	m ±	P	Измеренное значение	m ±	P	Измеренное значение	m ±	P
8 августа t = 25,9° C .	Вперед	600 974,903			600 978,206			600 976,090			600 976,765		
	Назад	600 975,813			600 980,125			600 976,960			600 977,455		
	Среднее	600 975,358	0,455	1	600 979,166	0,960	1	600 976,525	0,435	1	600 977,110	0,345	2,75
1 августа t = 20,8° C . .	Вперед	600 974,460			600 977,763			600 975,817			600 975,842		
	Назад	600 975,390			600 979,363			600 976,247			600 976,992		
	Среднее	600 974,925	0,465	1	600 978,563	0,800	1,44	600 976,032	0,215	4	600 976,417	0,575	1
	Среднее Весовое	600 975,142	0,329	3,58	600 978,810	0,624	1	600 976,131	0,208	8,93	600 976,925	0,223	7,84

Длина базиса вместо самой большой длины, соответственно наинизшей температуре, получилась одной из самых коротких.

Фирмою Стэнли были даны два коэфициента: один в паспорте при приборе, равный $3 \cdot 10^{-7}$ на 1° С, другой был получен на запрос автора от фирмы и равнялся $5 \cdot 10^{-7}$ на 1° F или $9 \cdot 10^{-7}$ на 1° С. Очевидно, либо речь идет не об одной и той же ленте, либо фирма не придает серьезного значения тем или иным коэфициентам.

По причине полной неопределенности в вопросе о температурном влиянии значение температуры не учтено при работах с лентою на обоих базисах.

Приведем некоторые соображения относительно полученной погрешности.

1) Погрешность среднего арифметического разности отсчетов колеблется по отдельным пролетам от $\pm 0{,}5$ до $\pm 2{,}1$ делений шкалы. Среднее значение равно $\pm 1{,}34$, или в абсолютных мерах $= \pm 0{,}134$ *мм*.

Результаты получились одинаковые с цагакшинскими при несмазывающихся поверхностях подставок поддерживающих штативов, несмотря на то, что подставки тщательно смазывались.

Погрешность наблюдения разности колеблется в пределах $\pm 1{,}8$ до $\pm 7{,}7$; среднее значение $\pm 4{,}66$ дел. шкалы.

Результаты получились грубее цагакшинских измерений, несмотря на полное затишье во время калангуйских измерений и сильный ветер во время цагакшинских.

2) Допуская отклонение уровня микроскопа на 1 деление, получим погрешность на один пролет $\pm \frac{8000}{3438}\sqrt{2} = \pm 0{,}331$ *мм* при высоте штатива микроскопа 0,8 *м*.

3) Погрешность от неточного определения превышения незначительна.

Из результатов нивелирования базиса получена погрешность определения превышения $\pm 2{,}4$ *мм*.

Тогда по формуле $(m_s)_6 = \pm \frac{h}{s}\, d(h)$

получим: $(m_s)_6 = \pm 0{,}024$ *мм* при $h = 0{,}1$ *м* и $s = 10$ *м*.

Не принимая во внимание погрешности определения температуры, получим суммарную погрешность на длину одного пролета:

$$m_{ив} = \pm \sqrt{0{,}331^2 + 0{,}134^2 + 0{,}024^2} = \pm 0{,}358 \text{ мм};$$

на длину всего участка $m_{ил} = \pm m_{ив}\sqrt{6} = \pm 0{,}88$ *мм*.

Из сходимости отдельных результатов измерения получилось $m_l = \pm 1{,}738$ *мм*.

Стало быть имеем влияние каких-то неучтенных нами погрешностей. Планомерная систематическая погрешность вошла бы одинаково во все измерения и не оказала бы влияния на m_l; значит имеем наличие погрешностей, одинаковых по знаку и различных по величине; к таким погрешностям можно отнести влияние температуры и деформацию инвара. Возможность сделать грубую ошибку, искажающую результат, при той тщательности работы, которая соблюдалась, почти исключена.

Среднее значение неучтенной погрешности на ленту равно

$$m_{ив} = \pm \frac{1}{6}\sqrt{1{,}738^2 - 0{,}88^2} = \pm 0{,}25 \text{ мм}.$$

Таким образом эталонирование ленты подтвердило еще раз необходимость длительного исследования ленты как при одинаковых температурах, так и разных для составления ясной картины об изменениях ленты.

Результат, полученный во время эталонирования, надо рассматривать, как первый опыт и первое приближение в последующей серии наблюдений по изучению ленты.

Относительная величина погрешности одного неуравненного измерения базиса

$$\frac{0{,}001738}{600} = \frac{1}{346\,000}$$

заключается между 1-м и 2-м случаем таблицы на стр. 20, что оставляет в силе заключение, сделанное на стр. 20, о пригодности ленты для точных измерений.

Zusammenfassung

Der Aufsatz von B. K. Jusefowitsch stellt das Ergebnis des Studimus und der Anwendung des Stanley-Apparates dar, welche im Jahre 1932 für die Basismessungen von Tsagoschinsk stattgefunden haben; im Jahre 1933 wurden die Streifen dieses Apparates an den Basismessungen von Kalangui mit Hilfe von Jederin-Guillome Drahten erprobt.

Die Hauptteile dieses Apparates bestehen aus: 100 meter Streifen № 47 und zwei Mikroskopen. Die Mikroskopen stellen eine komplizierte Konstruktion dar, welche aus einem Zuschaubrohr, einem Lotapparat für Einstellung und aus dem eigentlichen Mikroskopen für die Abzählung der Streifenstriche besteht.

Dieser Artikel stellt den ersten Versuch der wissenchaftlichen Erforschung eines Apparates dar, welchen die ihm gebührende Stelle inmitte anderer Verrichtungen und Apparaten für genaue Längenmessungen behaupten könnte und müsste.

Der Artikel giebt: eine Beschreibung der Apparatenteile, die Methode der Mikroskopenkontrolle, sowie die Methode der Längenmessungen, die Erwägungen der Messungsfehler, eine Beschreibung der Etalonnierung des Apparates und deren Ergebnisse.