

З. Ф. ПАТОВА, Д. И. МАСЛИЧ, канд. техн. наук  
Львовский политехнический институт

## О СТРАТИФИКАЦИИ ПРИЗЕМНОГО ТРЕХМЕТРОВОГО СЛОЯ ВОЗДУХА

Причина нивелирной рефракции — различная плотность воздуха на пути визирного луча. При нивелировании высота визирного луча над подстилающей поверхностью находится в пределах трех метров. Изменение плотности атмосферы в трехметровом слое в основном определяется изменением температуры ( $t$ ), поэтому исследования были направлены на выявление закономерности распределения температуры в зависимости от высоты над землей ( $z$ ). За период с 1896 по 1955 гг. получено более 20 формул зависимости  $t$  от  $z$ . Наиболее заслуживают внимания формулы, опубликованные в работах [1—7]. Поскольку опыты проводились в разных климатических условиях и в разное время года, каждый автор получал свое математическое выражение зависимости  $t$  от  $z$ , что свидетельствует о незавершенности исследований в этой области.

В связи с изучением влияния рефракции на результаты высокоточного нивелирования на кафедре геодезии Львовского политехнического института были проведены работы, ставившие цель — найти наиболее достоверную зависимость  $t$  от  $z$  или выявить подходящую формулу из исследований прошлых лет. Для этого в геодезических экспедициях 1965, 1966 и 1968 гг.

производили многодневные опыты по измерению температуры на 19 высотах в пределах слоя от 0,1—3,2 м над землей. В 1965 и 1968 гг. наблюдения вели во Львовской области, а в 1966 г.— на южной окраине г. Симферополя. Отсчеты температуры от 0,1 до 0,6 м брали через каждые 0,1 м, а от 0,6 м до 3,2 м — через 0,2 м. На всех высотах температуру измеряли через каждые 10 мин в течение всего светлого периода дня с 5 до 21 часа с перерывом с 13 до 15 часов. Применяли психрометрические аспирационные термометры Асмана, которые подвешивали на пяти стойках, укрепленных рядом над ровной местностью с низкой луговой растительностью. От прямых солнечных лучей термометры защищали специальными тентами. Отсчеты брали по команде пять наблюдателей, сначала снизу вверх, а затем — сверху вниз, и так попеременно через 10 мин в течение всего дня. Каждый наблюдатель сам записывал свои отсчеты в заранее подготовленные журналы. Через 20 мин шестой наблюдатель измерял скорость ветра анемометром на высоте 1,5 м, давление барометром-анероидом на высоте 1 м и отмечал всякие изменения погоды.

Такие наблюдения проводили 44 дня (в июне, июле и августе). По условиям погоды их разделили на пять групп по 7—8 дней в каждой.

Перед началом работ и далее через каждые 4—5 дней производили сверку термометров с тремя контрольными, не участвовавшими в работе и показывавшими по начальным исследованиям одинаковые результаты. При этом все 22 термометра подвешивали на высоте 1 м и через каждые 15 мин в течение дня снимали показания температуры. Из обработки результатов сверки трех контрольных термометров выявляли наиболее стабильный, остальные два получали поправки по отношению к первому. Затем вычисляли поправки всех рабочих термометров сначала по отношению к стабильному, а потом и по отношению к двум другим, контролируя правильность сравнения. После этого все отсчеты температуры при исследовании на разных высотах исправляли поправками соответствующих термометров, т. е. приводили к показаниям нормального термометра.

При обработке исследований для каждой из высот на каждый час дня вычисляли средние значения из шести десятиминутных отсчетов температуры, а из них брали средние часовые температуры из 7—8 дней с одинаковыми условиями погоды. По этим средним на каждый час температурам для одинаковых условий погоды вычисляли разности температур между соседними высотами и температурные градиенты. Далее строили графики дневного изменения средних часовых температурных градиентов ( $\Delta t$ ) в зависимости от высоты над поверхностью земли ( $z$ ) для пяти групп с разными условиями погоды. На рис. 1 представлены графики для ясной, облачной и переменной погоды.

Анализ графиков позволил установить, что часовые кривые распределения  $\Delta t$  с  $z$  имеют вид показательной функции. Нижние ветви этих кривых идут вдоль оси  $X$ , параллельной поверхности земли, постепенно приближаясь к ней по мере приближения точек к земле; верхние ветви кривых круто поднимаются вверх (вдоль оси  $Y$ , перпендикулярно к поверхности земли), приближаясь друг к другу по мере удаления точек от земли. Утренние и дополуденные часовые кривые  $\Delta t$ , а затем послеполуденные и вечерние вместе образуют две снопообразные системы, осью которых являются изотермические кривые. По отношению к этим осям все дополуденные и послеполуденные кривые располагаются примерно симметрично с перегибами в разные стороны. Расстояния между ними и величины перегибов изменяются в зависимости от состояния погоды: при устойчивой солнечной тихой погоде эти расстояния самые малые, а перегибы большие; в устойчивую пасмурную тихую погоду — наоборот. Средний ветер одного направления со скоростью до 7 м/с общего хода кривых не нарушает. В таких случаях увеличиваются расстояния между кривыми и их изломанность. Только в погоду с переменной облачностью, кратковременными дождями, сильным и средним порывистым и переменным ветром часовые кривые распределения  $\Delta t$  с  $z$  не подчиняются какой-либо закономерности. Они беспорядочно пересекаются, перегибаются на разных высотах, сближаются или отдаляются друг от друга.

Из всех известных уравнений, выражающих зависимость  $t$  от  $z$ , наиболее удачной является формула

$$t = a + bz^c, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  — постоянные параметры, зависящие от состояния атмосферы. Для установления соответствия часовых кривых распределения  $\Delta t$  с  $z$  виду функции, выраженной уравнением (1), были вычислены и нанесены на графики рис. 1 соответствующие практические и теоретические кривые.

Для определения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$  достаточно знать температуры на трех высотах и тогда из трех уравнений:

$$t_1 = a + bz_1^c; \quad t_2 = a + bz_2^c; \quad t_3 = a + bz_3^c$$

получим значения  $c$  и  $b$ :

$$c = \frac{\lg \frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1}}{\lg 2}; \quad (2)$$

$$b = \frac{t_2 - t_1}{z_2^c - z_1^c} = \frac{t_3 - t_2}{z_3^c - z_2^c}, \quad (3)$$

в которых  $z$  имеют значения: 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2 м.

Располагая результатами многодневных наблюдений на 19 высотах, мы смогли разделить трехметровый слой на два: в

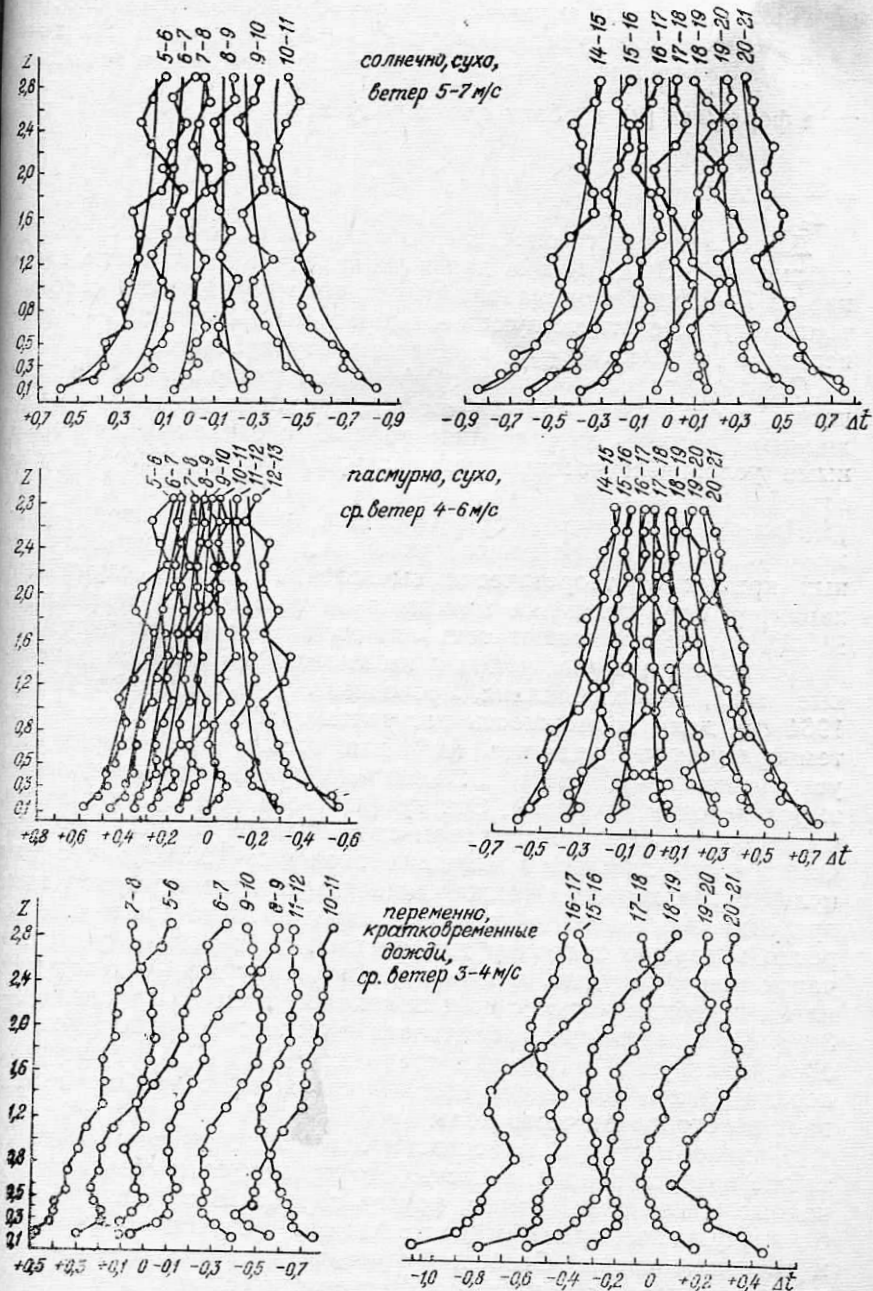


Рис. 1. Графики зависимости часовых  $\Delta t$  от высоты над поверхностью земли.

первом слое использовали температуры  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , соответствующие высотам  $z_1=0,2$  м,  $z_2=0,4$  м и  $z_3=0,8$  м; во втором слое —  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , соответствующие высотам  $z_1=0,8$  м,  $z_2=1,6$  м и  $z_3=3,2$  м. Выбор именно таких высот удобен тем, что в знаменателе формулы (2) в обоих слоях получается  $\lg 2$ , так как  $\frac{z_2}{z_1} =$

$$= \frac{z_3}{z_2} = 2.$$

Для более точного определения  $c$  и  $b$  использовали все 44 дня наблюдений. За  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$  для каждого слоя были взяты средние из 7—8 дней с одинаковыми погодными условиями часовые температуры, соответствующие выбранным высотам;  $a$  — температура на высоте  $z=0$ , т. е. температура Земли.

Однако для совмещения графических изображений практически наблюденных кривых с теоретическими оказалось необходимым принять за  $a$  средние из дней с одинаковыми погодными условиями часовые температуры, наблюденные на высоте 0,2 м.

Как видно из рис. 1, при различных условиях погоды, кроме неустойчивой переменной, отклонения практически полученных кривых от теоретически вычисленных имеют случайный характер. Эти отклонения максимально колеблются в пределах  $\pm 0,2^\circ$ , что не превышает точности отсчета по термометру.

Температурные наблюдения на высотах 0,6 и 2,6 м, описанные выше, и исследования, проводимые в экспедициях 1963—1964 гг., дали возможность построить графики дневного хода температурного градиента ( $\Delta t$ ) для восьми дней с разными условиями погоды. На рис. 2 показаны графики только для четырех погодных условий. Эти графики свидетельствуют о том, что значения  $\Delta t$  в трехметровом слое атмосферы очень неустойчивы: часто достигают больших значений ( $2,5^\circ\text{C}$ ); периоды нулевых градиентов, а также их максимумов и минимумов даже при одинаковой погоде не имеют определенного времени и нередко в первую половину дня смещаются к ранним утренним часам или к полудню, а во вторую половину дня — к полудню или к вечерним часам с большим колебанием во времени (2—3 ч). При переменной облачности и кратковременных дождях  $\Delta t$  «пульсируют» в больших пределах ( $\pm 0,8^\circ\text{C}$ ). В пасмурную погоду ранней весны или поздней осени часто вообще не бывает переходов  $\Delta t$  через ноль.

Однако несмотря на сказанное выше, в дневном ходе  $\Delta t$  также имеется закономерность. Его кривая, если сгладить случайные отклонения, имеет форму параболы с минимумом в близполуденное время и восходящими ветвями к утренним и вечерним часам. Особенно отчетливо эта форма видна на графиках, построенных по среднестатистическим значениям  $\Delta t$ , полученным из большого числа наблюдений. На рис. 2 два нижних графика построены по месячным среднестатистическим

градиентам для солнечной и пасмурной погоды для двух месяцев — июля и сентября. Конечно, параметры параболы дневного хода  $\Delta t$  в зависимости от сезона и состояния погоды изменяются в больших пределах.

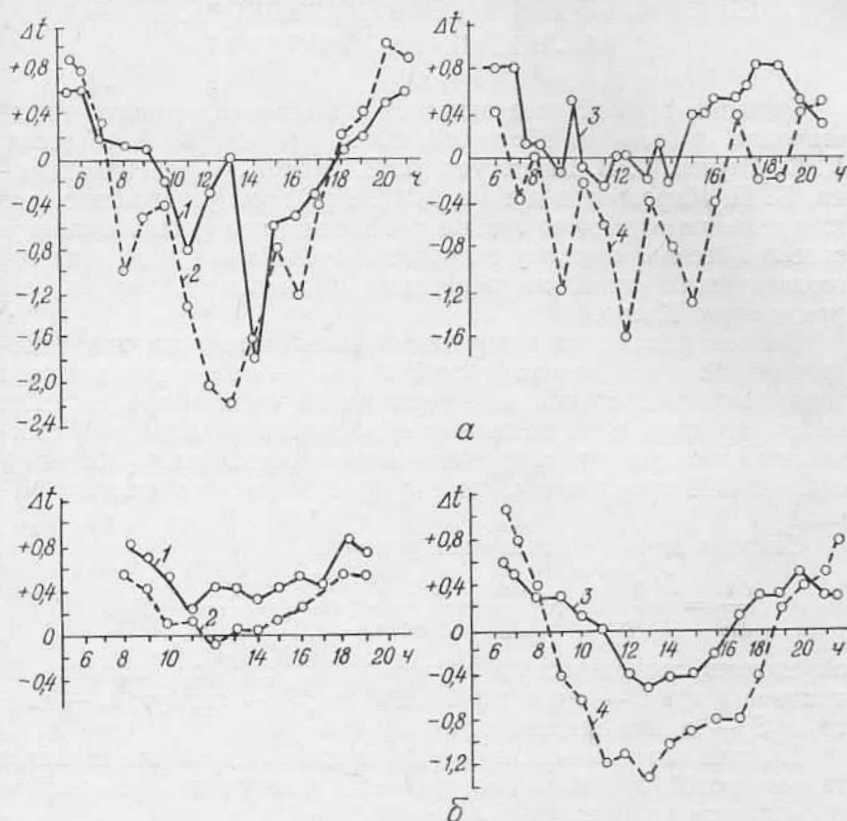


Рис. 2. Дневной ход  $\Delta t$ :

а — дневной ход  $\Delta t$  в зависимости от погоды (1 — ясно, ветер, 2 — ясно, тихо, 3 — переменнo, тихо, 4 — переменнo, ветер); б — дневной ход по среднестатистическим  $\Delta t$ . (1 — пасмурно, 2 — солнечно, 3 — пасмурно, 4 — солнечно).

**Список литературы:** 1. Красовский Ф. Н. О современной постановке высокоточного и точного нивелирования. — *Геодезист*, 1938, № 3. 2. Куккамьяки Т. И. Влияние рефракции в нижних слоях на прецизионное нивелирование. Балтийская геодезическая комиссия. Хельсинки, 1936, 1937. Библиотека ЦНИИГАиК, перевод № 1392, № 1394. 3. Куккамьяки Т. И. О нивелирной рефракции. — *Изв. финского геодез. ин-та*, Хельсинки, 1938. Библиотека ЦНИИГАиК, перевод № 1393. 4. Павлов Н. А. Рефракция в высокоточном и точном нивелировании. — *Тр./ЦНИИГАиК*, 1937, вып. 23. 5. Татевьян А. Ш. Влияние рефракции в приземном слое воздуха на результаты нивелирования. Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1955. 6. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. — *Тр./ЦНИИГАиК*, 1956, вып. 111. 7. Cieślak Jozef. Refrakcja i jej wpływ na dokładność pomiarów geodezyjnych ze szczególnym uwzględnieniem niwelacji precyzyjnej. — *Przegl. geod.* 1968, 40, № 5.

Работа поступила 21 апреля 1978 года.  
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.