

Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ГОРОДА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГОРОДСКОЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ

В настоящее время много внимания уделяют развитию городских триангуляционных сетей как в направлении геометрической схемы и порядка их построения, так и в отношении повышения точности этих сетей. Последнее в значительной степени предопределяется точностью угловых измерений, которые в этих условиях будут вестись в сфере влияния общего температурного поля города и отдельных локальных температурных полей. Степень влияния этих полей на угловые измерения будет зависеть от высоты визирных лучей над поверхностью города, периода года, погоды, времени наблюдений и других факторов.

Установление наивыгоднейшего времени дня для проведения угловых измерений в городской триангуляции очень сложная и, вместе с тем, исключительно важная задача. Дело в том, что над городом постоянно существует температурное поле, горизонтальные градиенты которого изменяются в течение суток только по величине, знаки градиентов при этом остаются неизменными от центра города к его окраинам. В результате этого, очевидно, в условиях города наивыгоднейшим временем для угловых измерений будут периоды с минимальными значениями этих градиентов. Большое значение в исследовании этого вопроса имеют работы [4, 5, 6]. В настоящей статье делается первая попытка по исследованию характера влияния боковой рефракции в условиях города путем постановки не только угловых измерений, но и обширных температурных наблюдений, позволивших построить почасовые карты изотерм над поверхностью города. С этой целью в августе—сентябре 1966 г. проводились одновременные специальные температурные измерения в различных точках над г. Львовом. Параллельно с температурными измерениями на пункте ЛПИ выполнялись угловые измерения (рис. 1).

Температурные измерения проводили в два периода: 30—31 августа и 4—5 сентября. В остальные дни температура измерялась только на пункте угловых наблюдений — пункте ЛПИ.

Измерения температуры выполнялись при помощи психрометров Асмана. Для измерений психрометры подвешивались на высоте 1,5 м от подстилающей поверхности. На тридцати пунктах подстилающими поверхностями служили крыши зданий, а на пунктах 16, 17 и 28 — травянистый покров. Измерения температуры выполнялись через каждый час. Часовой прием измерения температуры состоял из заводки психрометра, трехминутной аспирации, отсчета по левому и правому термометрам (без батиста), подзаводки психрометра, одномоментной аспирации, отсчетов, снова подзаводки, одномоментной аспирации и отсчетов. За окончательное значение принималось среднее значение из шести отсчетов. Перед началом исследований и в конце их проведено сравнение показаний психрометров с показаниями психрометра в пункте 1.

Поправки в показаниях психрометров получены на основании 20 серий измерений по указанной выше программе, выполненных на протяжении двух дней.

Угловые измерения выполнялись теодолитом ТТ 2/6 способом круговых приемов по четырем направлениям. Направления были выбраны так, чтобы высоты визирных лучей над городом были незначительны, и чтобы эти направления проходили над разными частями города. Для того, чтобы увеличить продолжительность периодов видимости, длины

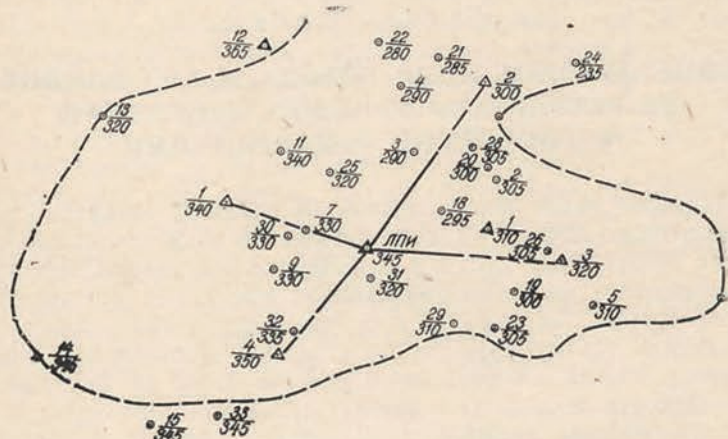


Рис. 1. Схема расположения метеопунктов и пунктов триангуляции над г. Львовом. Условные обозначения:

△ — пункты триангуляции; ○ — метеопункты; △ — совмещенные пункты;
б — номер пункта
— — — — — примерная граница сплошной застройки; ○ — 305 — отметка

направлений выбраны в 1,5—2 км. Несмотря на сравнительно короткие стороны, вести угловые измерения в течение всего дня было невозможно из-за значительных колебаний визирных целей в середине дня. В утренние часы стояли туманы. Всего было выполнено 80 приемов измерений. При рассмотрении данных температурных измерений обращает на себя внимание характер дневного хода температур на различных пунктах. Прежде всего выделяется дневной ход температуры на пунктах 33, 34, 10, где подстилающими поверхностями являлся шифер. Дневной ход температуры на этих пунктах выделяется меньшей амплитудой и более низкой (по сравнению с другими пунктами) температурой. Своеобразным является и дневной ход температуры на пунктах 5 и 12, где подстилающей поверхностью являлся асфальтобитум и дневной ход температуры над травянистым покровом (п. 16, 17). Следует указать на некоторое своеобразие дневного хода температуры над плоскими жестяными крышами (п. 14, 19).

Наряду с этим, характерным является и разность температур между пунктом 1 и остальными пунктами. При общем падении температуры от центральной части города к его окраинам, дневной ход этих разностей для каждого пункта имеет свои особенности, в которых проявляются, очевидно, характер подстилающих поверхностей, форма, цвет, материал крыши и др.

Для того, чтобы судить о дневном изменении температуры над городом, по средним данным за 4 и 5 сентября на каждый час построены карты изотерм. В данной статье приводятся только схемы изотерм на 7 и 15 час (рис. 2, 3).

Анализируя полученные схемы изотерм, замечаем, что, независимо от подстилающей поверхности, на протяжении всего дня в центральной

части города значительно теплее чем на его окраинах. Форма изотерм примерно отображает рельеф местности и густоту застройки. В утренние и вечерние часы над городом наблюдаются значительные горизонтальные градиенты температуры. В середине дня температура над различными частями города заметно выравнивается. Отметим, однако, что построенные карты изотерм не отображают характер плоского температурного поля над поверхностью города, так как в полученные зна-

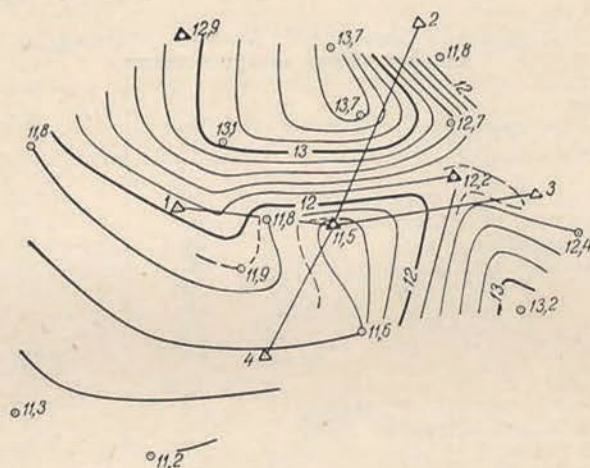


Рис. 2. Схема изотерм (7 час. утра).

чения температур не введены поправки за превышение между точками. Изменение температуры воздуха с высотой по данным [1] описывается показательной функцией

$$T = T_0 + bh^a, \quad (1)$$

где T_0 — температура вблизи поверхности; a и b — параметры, зависящие от условий местности и времени суток.

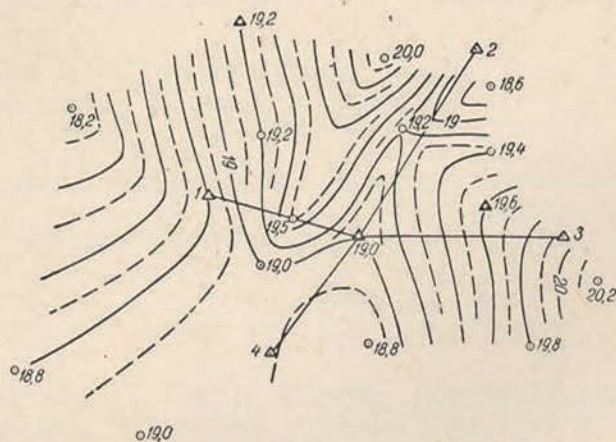


Рис. 3. Схема изотерм (15 часов дня). Сплошные изотермы проведены через $0^{\circ}.2$.

Используя приведенные в этой работе величины указанных параметров, вычислим возможные поправки ΔT в результаты температурных измерений на пунктах, расположенных в пониженных частях города

$$\Delta T = b \cdot h^a. \quad (2)$$

Результаты вычислений для превышений 10, 15 и 20 м приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что в утренний и вечерний периоды дня введение поправок не внесет существенных изменений в характер изотерм. В дневное время изотермы станут еще реже, то есть горизонтальные градиенты температуры уменьшатся. В связи с этим, вычисленные по формуле (2) поправки не вводились в результаты температурных измерений.

Таблица 1

Поправки в измеренные значения температуры
за превышения между точками

Тип термодинамической устойчивости	h_m	ΔT
Переход от инверсии к нормальному типу распределения температуры	10	-0°,05
	15	-0,07
	20	-0,08
Утреннее нагревание воздуха	10	-0,28
	15	-0,37
	20	-0,43
Инсоляция	10	-0,17
	15	-0,23
	20	-0,28
Вечерний переход от инсоляции к радиационному выходу	10	-0,04
	15	-0,07
	20	-0,09

В дальнейшем по картам изотерм за 31 августа (послеполуденный период) и 4, 5 сентября (в течение всего дня) на каждый час дня по всем четырем направлениям определены горизонтальные градиенты температуры $\frac{dT}{dx}$.

С этой целью вначале определялись горизонтальные градиенты температуры на отдельных участках данного направления, а затем находилось суммарное значение $\frac{dT}{dx}$ по этому направлению, то есть

$$\frac{dT}{dx} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dT}{dx} \right)_i \frac{S_i}{S}, \quad (3)$$

где S_i — расстояние от визирной цели до середины данного участка; S — длина линии визирования.

Поправки за влияние боковой рефракции вычислялись по известной формуле:

$$\delta = -10'', 9 \frac{B}{T^2} \cdot S \cdot \frac{dT}{dx}. \quad (4)$$

Результаты этих вычислений приведены в табл. 2. Сопоставляя данные таблицы за 31 августа и 4, 5 сентября замечаем, что величины поправок в одни и те же часы имеют одинаковый знак и почти равны по величине. Максимальные значения поправок приходятся на утренний период, а минимальные — на середину дня. К вечеру величины поправок хотя и увеличиваются, но значительно меньше, чем в утренний период. Данные этой таблицы также показывают, что в утренние периоды измеренные углы могут быть искажены боковой рефракцией на величину около 0'',7 и это всего лишь по длине визирных направлений в 1,5—2 км. Очевидно, при длинах линий визирования в 4—6 км величины таких иска-

жений будут уже исчисляться целыми секундами. В дневное время величины искажений углов очень незначительны и при измерении углов их влиянием, очевидно, можно пренебречь. В 18—19 час. рефракционные погрешности снова становятся более ощутимыми ($0''{,}3-0''{,}4$).

Таблица 2

Горизонтальные градиенты температуры и поправки
за боковую рефракцию

Время	Направление							
	1		2		3		4	
	$\left(\frac{dT}{dx}\right)^{\circ}/\text{км}$	δ''	$\left(\frac{dT}{dx}\right)^{\circ}/\text{км}$	δ''	$\left(\frac{dT}{dx}\right)^{\circ}/\text{км}$	δ''	$\left(\frac{dT}{dx}\right)^{\circ}/\text{км}$	δ''
31 августа								
15 час.	-0,2	+0,03	+0,3	-0,06	0,0	0,00	-0,2	+0,03
16	+0,2	-0,03	0,0	0,00	-0,4	+0,08	+0,6	-0,08
17	+0,3	-0,04	-0,2	+0,04	-0,7	+0,13	+0,5	-0,06
18	+0,4	-0,06	-0,6	+0,12	-1,0	+0,19	+0,4	-0,05
19	+0,6	-0,08	-0,9	+0,18	-0,8	+0,15	+0,4	-0,05
20	+0,8	-0,11	-1,0	+0,20	-0,9	+0,17	+0,8	-0,10
4—5 сентября								
7	+2,0	-0,30	-1,0	+0,21	+2,0	+0,40	+0,3	-0,04
8	+1,9	-0,29	-0,9	+0,19	-1,6	+0,37	+0,2	-0,03
9	+2,0	-0,29	-1,2	+0,24	-1,4	+0,27	+0,3	-0,04
10	+1,2	-0,18	-0,7	+0,14	-1,2	+0,24	+0,4	-0,05
11	+0,6	-0,09	-0,2	+0,04	-0,6	+0,12	+0,6	-0,08
12	+0,6	-0,09	+0,2	-0,04	-0,3	+0,06	-0,3	+0,04
13	+0,2	-0,03	0	0,00	-0,5	+0,10	-0,3	+0,04
14	+0,2	-0,03	+0,2	-0,04	-0,3	+0,06	+0,2	-0,03
15	+0,3	-0,04	+0,3	-0,06	-0,1	+0,02	+0,1	-0,01
16	+0,2	-0,03	+0,2	-0,04	0,0	0,00	+0,5	-0,07
17	+0,6	-0,08	-1,0	+0,20	-0,8	+0,15	+0,6	-0,08
18	+1,0	-0,14	-1,4	+0,28	-1,0	+0,19	+0,9	-0,12
19	+1,0	-0,14	-1,4	+0,28	-0,9	+0,17	+1,0	-0,13
20	+0,8	-0,08	-1,3	+0,26	-0,8	+0,13	+1,0	-0,13

Используя вычисленные поправки за рефракцию по данным за 4, 5 сентября, сделаем попытку исправить измеренные значения направлений (углов). Поскольку значения поправок являются осредненными за два дня, то и результаты угловых измерений следует осреднить. Однако в отдельные дни углы измерялись не в одно и то же время, а поэтому выполнить их простое арифметическое осреднение не представляется возможным. Для получения осредненных значений углов, соответствующих часовым значениям карт изотерм, воспользуемся методами теории вероятности [2] для обработки случайных функций.

С этой целью в увеличенном масштабе были построены графики измеренных углов (1,2); (1,3); (1,4) за все дни наблюдений, то есть графически были получены все реализации случайных функций $\beta_{1,k}(t)$, где $k=2, 3, 4$. Для определения математических ожиданий через 0,5 час. сделаны сечения полученных функций и найдены их реализации. На основании этих реализаций вычислены математические ожидания $m_{\beta}(t)$, дисперсии $D_{\beta}(t)$ и средние квадратические отклонения $\sigma_{\beta}(t)$. Результаты этих вычислений приведены в табл. 3.

Несмотря на ограниченное число измерений для каждого угла, их дневной ход хорошо вырисовывается. Как углы (1,2) и (1,3), так и (1,4) в утренние часы увеличиваются. Максимальные значения углов приходятся на 12 ч 30 м—15 ч 30 м, то есть на периоды, когда горизонталь-

ные градиенты температуры минимальные. В этой же таблице приведены исправленные поправками за рефракцию значения углов β' . Кроме того, в таблице приведены средние неисправленные и исправленные значения углов по периодам дня и вычисленные по ним средние квадратические отклонения. Влияние боковой рефракции в условиях города больше в утренний период наблюдений и незначительно во второй половине дня. Введение поправок в углы за боковую рефракцию улучшает их внутреннюю сходимость. При этом оказалось, что веса средних углов по периодам наблюдений после введения поправок увеличились в 2,1 раза (угол 1.2); 1,2 раза (угол 1.3) и 1,4 раза (угол 1.4), что составит в среднем 1,6 раза.

Таблица 3

Получасовые значения вычисленных и исправленных углов

Время	Углы					
	1.2		1.3		1.4	
	β	β'	β	β'	β	β'
7ч 30м	23,50	24,00	17,20	17,86	53,40	53,66
8 00	23,40	23,88	17,70	18,31	54,25	54,51
30	23,65	24,15	18,30	18,88	54,88	55,14
9 00	23,62	24,15	18,06	18,62	54,94	55,20
30	24,00	24,42	18,54	19,03	55,44	55,64
10 00	24,14	24,46	18,64	19,06	55,64	55,79
30	23,88	24,10	18,64	18,96	55,52	55,60
m_β	23,74	24,17	18,15	18,67	54,87	55,08
σ	$\pm 0,27$	$\pm 0,21$	$\pm 0,54$	$\pm 0,45$	$\pm 0,81$	$\pm 0,76$
11 00	24,38	24,51	18,66	18,87	55,48	55,49
30	24,40	24,49	18,44	18,62	55,24	55,31
12 00	25,38	25,43	18,65	18,80	56,15	56,28
30	25,00	25,04	18,68	18,82	56,05	56,15
13 00	25,50	25,53	18,50	18,63	55,70	55,77
15 30	24,70	24,68	19,70	19,74	55,80	55,80
m_β	24,89	24,95	18,77	18,91	55,74	55,80
σ	$\pm 0,48$	$\pm 0,46$	$\pm 0,46$	$\pm 0,42$	$\pm 0,34$	$\pm 0,37$
16 00	24,20	24,19	18,50	18,53	55,70	55,66
30	24,20	24,34	18,23	18,36	55,63	55,61
17 00	24,13	24,41	17,83	18,06	55,73	55,73
30	23,53	23,88	18,00	18,28	55,27	55,28
18 00	23,57	23,99	17,67	18,00	55,37	55,39
30	24,53	24,95	17,30	17,62	54,57	54,59
19 00	24,33	24,75	17,20	17,51	54,97	54,98
m_β	24,07	24,36	17,82	18,05	55,32	55,32
σ	$\pm 0,38$	$\pm 0,39$	$\pm 0,47$	$\pm 0,38$	$\pm 0,43$	$\pm 0,41$

Сопоставляя веса исправленных и неисправленных углов по каждому периоду видимости установлено, что лучше всего исправляются углы в утренний период видимости (вес исправленных углов увеличился в 1,3 раза). В полуденный и вечерний периоды введение поправок не внесло существенных улучшений результатов (веса увеличились соответственно в 1,1 и 1,2 раза).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Над поверхностью города в любое время суток существует односторонне действующее рефракционное поле, минимальные значения

градиентов в котором наблюдаются в полуденное и послеполуденное время.

2. Угловые измерения, выполняемые в данном поле, будут искажаться заметным влиянием рефракции в утренний период и поздний вечерний период наблюдений. Величины искажений могут достигать $0''{,}7$ при длине линий визирования до 2 км.

3. Введение поправок в измеренные углы за влияние рефракции заметно улучшает результаты угловых измерений, особенно в утренний период.

4. Наивыгоднейшим периодом времени для измерения углов в городской триангуляции следует считать послеполуденный период (с 15—16 час. до 17—18 час.) при условии хорошей видимости и спокойных изображений. Утренний период в условиях города малоприменим для угловых измерений как из-за значительного влияния боковой рефракции на угловые измерения, так и из-за условий видимости (обычно стоят утренние городские туманы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов П. А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. М.—Л., «Гидрометеиздат», 1960.
2. Пугачев В. С. Введение в теорию вероятностей. М., «Наука», 1968.
3. Хаимов З. С. Исследование рефракции луча Лазера. — «Геодезия и картография», 1968, № 2.
4. Хижак Л. С. К вопросу влияния рефракции в городской триангуляции. — «Науч. записки. Геодезия», 1961, № 6.
5. Яковлев Н. В. Об учете климатологических особенностей города при угловых измерениях в городской триангуляции I класса. — «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1960, № 6.
6. Яковлев Н. В. О выгоднейшем времени наблюдений городской триангуляции. «Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», 1962, № 2.

Работа поступила 11 декабря 1972 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.