

Е. К. НИКОЛЬСКИЙ

О МЕТОДИКЕ ПОЛУЧЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Геодезические измерения на строительных и промышленных объектах протекают в условиях, резко отличающихся от обычных, природных. Значительная стесненность помещений, запыленность, плохая освещенность, резкие перепады температуры, вибрация и рефракция — вот неполный перечень влияющих факторов среды [2]. В некоторых случаях лишь влияющие факторы внешней сре-

ды ограничивают дальнейшее повышение точности измерений. Примером может служить высокоточное геометрическое нивелирование, широко применяющееся в измерениях вертикальных смещений сооружений. Особенно неблагоприятные условия сопровождаются высокоточные геодезические измерения при работе в котельных и турбинных цехах теплоэлектростанций, которые насыщены большим количеством разнесенных мощных источников тепла (паропроводов, агрегатов котлов, турбин и т. д.). Они обуславливают резкое изменение температуры воздуха, геодезических инструментов, вертикальных градиентов температуры. Выборочные измерения вертикальных градиентов температуры в турбинных цехах показали, что значения этих градиентов могут достигать нескольких градусов на метр и быть положительными и отрицательными, а распределение температуры с высотой не подчиняется аналитическим зависимостям. Это объясняется наличием разнесенных в плане и по высоте источников тепла. Геометрическое нивелирование, выполненное в подобных условиях, часто не соответствует установленным допускам. Однако объективная количественная характеристика неблагоприятности условий измерений, как правило, отсутствует. Ее можно получить путем проведения массовых измерений вертикальных градиентов температуры на территории всего объекта, что весьма трудоемко. Надежную характеристику условий при минимальных затратах труда дает выборочный метод, реализуемый по разработанной нами методике.

Регистрируя вертикальные градиенты температуры, отмечаем значительный коэффициент вариации признака, что говорит о сильной изменчивости градиентов температуры в пространстве. Например, совокупность объемом в 173 единицы, являющаяся результатом измерения вертикальных градиентов температуры в турбинном цехе, имеет среднее значение признака $+0,92^\circ \text{C/м}$, среднее квадратическое отклонение $1,32^\circ \text{C/м}$ и коэффициент вариации 1,43. Для повышения представительности малой выборки целесообразно применить районированный (расслоенный) отбор, при котором вся совокупность будет разбита на подмножества с типичными признаками. Выбирая слои, руководствуемся двумя подходами — математическим и содержательным.

В основу математического можно положить группировки, составленные на базе оценок средних вертикальных градиентов температуры \bar{g} всей совокупности и среднего квадратического отклонения $\sigma(g)$ градиентов (первый слой включает градиенты $g_i < \bar{g} - \sigma(g)$, второй слой отбора $\bar{g} - \sigma(g) \leq g_i \leq \bar{g} + \sigma(g)$, третий слой отбора — $\bar{g} + \sigma(g) < g_i$).

Трудность реализации такой послынной выборки связана с определением в натуре районов направленного отбора, которые характеризуются градиентами одного из слоев. Это практически делает невозможной послынную выборку малого объема.

Второй подход основан на экспертном определении районов выборки. При производстве измерений градиентов, т. е. при реализации выборки, выясняют наличие и местоположение мощных источников теплового излучения или потоков тепла. Если источ-

ник тепла расположен ниже визирного луча, то этот район относится к первому слою выборки, так как для него характерны значительные отрицательные вертикальные градиенты температуры (условно этот слой назовем слоем минимальных градиентов).

Если источник тепла не зарегистрирован как близко расположенный к линии визирования и особых, т. е. аномальных, тепловых условий не ощущается, то этот район принадлежит ко второму слою выборки, называемому слоем нормальных градиентов. Ему присущи незначительные отрицательные и положительные градиенты температуры.

Если мощный источник тепла расположен выше визирного луча и позволяет ощутить резкое повышение температуры с высотой, то такой район должен быть отнесен к третьему слою с большими положительными градиентами температуры. Он будет условно именоваться слоем максимальных градиентов. Таким образом, каждый район выборки может быть выделен без предварительного измерения вертикальных градиентов температуры, в результате простого обследования объекта геодезических работ.

Анализ 173 значений градиентов, измеренных нами в турбинном цехе ТЭЦ, показал, что для выделенных трех районов характерны следующие вертикальные градиенты температуры:

- 1) слой минимальных градиентов $g_i < -0,20^\circ \text{C/м}$;
- 2) слой нормальных градиентов $-0,20^\circ \text{C/м} \leq g_i \leq +1,00^\circ \text{C/м}$;
- 3) слой максимальных градиентов $+1,00^\circ \text{C/м} < g_i$.

Естественно предположить, что предельные для каждого слоя значения градиентов фиксируются приближенно, но с учетом коэффициента вариации всей совокупности ($v_g = 1,43!$), практического значения это не имеет.

Второй аспект методики получения статистических характеристик температурного поля цеха, заслуживающий специального рассмотрения, — определение объема и способа размещения единиц выборки.

Прежде всего необходимо оговорить количество признаков для определения объема всей совокупности. Исходя из предположения, что объективную картину воздействия теплового фактора на результаты геометрического нивелирования можно получить, измеряя вертикальные градиенты температуры вдоль каждой линии визирования с интервалом в 1 м, объем совокупности численно будет равен количеству целых метров, выражающих суммарную длину всех визирных лучей. Например, сумма длин линий визирования при геометрическом нивелировании в турбинном цехе равна 928 м. Следовательно, вся совокупность вертикальных градиентов температуры — 928 единиц.

Назначая объем выборки, следует сделать его наименьшим по трудоемкости и обеспечить объективное отражение статистических характеристик совокупности. Сознательно ограничивая количество измеряемых вертикальных градиентов температуры, назначим 2—3%-ную выборку, объем которой можно вычислить по формуле

$$n = fN,$$

где f — доля отбора, соответствующая 2—3%; N — объем совокупности.

Принятый нами содержательный подход к расслоению является по своей сути территориально-количественным, а отбор внутри каждого слоя должен быть случайным. Проанализированные три возможных способа размещения единиц выборки (равномерное, пропорциональное и оптимальное размещение) [1, 3] показали, что наиболее «экономичен» способ расслоения с оптимальным размещением. Однако он требует априорного знания средних квадратических отклонений признака для каждого слоя, что ограничивает его применение. Все же при необходимости значения $\sigma(g)$ можно получить, используя результаты аналогичных ранее выполненных обследований; проводя пробные обследования с очень малыми выборками; предсказывая значение на основании теоретических рассуждений.

Учитывая, что в наших условиях два первых способа отличаются от оптимального по объему выборки лишь на 4—5 единиц, всякие предварительные обследования повлекут за собой большие затраты труда по сравнению с равномерным или пропорциональным размещением, поэтому предпочтение следует отдать им.

С целью проверки выводов произведена выборка из независимых наблюдений вертикальных градиентов температуры одного из цехов ТЭЦ.

Из совокупности в 960 единиц произведена послышная 19%-ная выборка. При этом получены следующие средние значения вертикальных градиентов температуры $g_{19\%}$:

для слоя минимальных градиентов $-1,54^\circ \text{C/м}$;

для слоя нормальных градиентов $+0,51^\circ \text{C/м}$;

для слоя максимальных градиентов $+1,93^\circ \text{C/м}$;

для всего цеха $+0,92^\circ \text{C/м}$.

Из этой же совокупности сделали 2,5%-ную выборку каждым из трех указанных выше способов. Средние значения вертикальных градиентов температуры $\bar{g}_{2,5\%}$ и их средние квадратические отклонения приведены в таблице.

Принимая во внимание, что 19%-ная выборка более представительна по сравнению с 2,5%-ной, была проверена существенность разницы между оценками этих выборок. В качестве теста для суждения о статистической значимости оценок этих двух выборок использована случайная переменная Стьюдента. Сравнение вычисленных для каждого слоя критериев Стьюдента

$$t_{\text{выч}} = \frac{(\bar{g}_{2,5\%} - \bar{g}_{19\%})}{\sigma(g_{2,5\%})}$$

с теоретическими t позволяет с вероятностью 0,995 утверждать, что полученные при малой выборке оценки удовлетворительны (см. таблицу).

Таким образом, анализ оценок малых выборок показывает их представительность, а также большую изменчивость признаков для слоев минимальных и максимальных градиентов. Малые количества измерений вертикальных градиентов температуры могут

Сводка статистических характеристик малых выборок

Тип размещения единиц в слое	Слой градиентов	2,5%-ная выборка			$ t_{\text{выч}} $	t
		количество единиц	\bar{g} , °C/м	σ (g)°C/м		
Равномерное	минимальн.	8	-1,50	0,364	0,11	3,50
	нормальн.	8	+0,49	0,165	0,12	3,50
	максимальн.	8	+2,32	0,583	0,67	3,50
	среднее	24	+0,44	0,395	1,22	2,81
Пропорциональное	минимальн.	3	-1,05	0,375	1,31	9,92
	нормальн.	11	+0,56	0,084	0,60	3,17
	максимальн.	11	+2,19	0,435	0,60	3,17
	среднее	25	+1,08	0,296	0,54	2,80
Оптимальное	минимальн.	5	-1,40	0,566	0,25	4,60
	нормальн.	5	+0,53	0,077	0,26	4,60
	максимальн.	10	+2,27	0,472	0,72	3,25
	среднее	20	+0,92	0,436	0,00	2,86

давать надежные характеристики условий геодезических измерений.

На основе предложенного принципа районирования цеха и порядка производства малой выборки разработана следующая методика определения статистик с целью получения характеристики условий выполнения геодезических работ:

1. Одновременно с геометрическим нивелированием оцениваются тепловые условия вдоль каждой линии визирования и в нивелирном журнале делаются пометки, к какому слою (минимальных, нормальных, максимальных градиентов) данный участок относится.

2. На основе известной суммарной длины линий визирования вычисляется объем N совокупности и доля N_j каждого слоя в ней.

3. Применяя пропорциональное или равномерное размещение единиц, из расчета 2—3% выборки вычисляются ее послынные объемы n_j .

4. Все отдельные участки каждого слоя нумеруются и по таблицам случайных чисел определяются те, на которых следует провести натурные измерения вертикальных градиентов температуры в количестве, соответствующем объему выборки.

5. Производятся измерения вертикальных градиентов температуры. Для этого используются два ртутных термометра с ценой деления шкалы 0,2° C, укрепленные на кронштейнах передвижной двухметровой мачты. Нижний термометр расположен на высоте 0,7 м над полом цеха, а верхний — на высоте 1,7 м. Таким образом, разность отсчетов по верхнему и нижнему термометрам сразу же позволяет получить вертикальный градиент температуры

(°С/м). В каждой точке градиент температуры определяется как среднее из четырех приемов.

6. По результатам измерений вычисляются с использованием формул математической статистики [1, 3] среднее для всего объекта значение вертикального градиента температуры, средние значения вертикальных градиентов температуры для каждого слоя, средние квадратические отклонения средних значений градиентов и значений вертикальных градиентов температуры в каждом слое.

Получаемые по описанной методике статистические характеристики температурного поля цехов промышленных предприятий являются объективной характеристикой условий измерений и могут служить обоснованием для внесения изменений в программу наблюдений и вычислительной обработки материалов.

Список литературы: 1. *Михок Г., Урсяну В.* Выборочный метод и статистическое оценивание. — М.: Финансы и статистика, 1982. 2. *Никольский Е. К.* Анализ измерительных систем с позиций действия влияющих факторов. — В кн.: Материалы X научно-технической конференции. Секция геод., геол. и разведки торф. месторождений, Калинин, 1977, ч. 1. 3. *Шварц Г.* Выборочный метод. — М.: Статистика, 1978.