

Ю. В. ПОЛИЩУК, Т. И. ИСАКОВА

О ЗАВИСИМОСТИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ ОТ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОДЕЗИСТА

Задача данной статьи — выделить методом факторного анализа из набора психофизиологических факторов те, которые в основном определяют стандартное отклонение y результатов измерения положения визирной цели при различных условиях работы геодезиста.

Для выполнения поставленной задачи проведен эксперимент с группой наблюдателей-операторов в количестве 20 чел., которые выполняли угловые измерения теодолитом 2Т2А.

В процессе наблюдений регистрировались следующие психофизиологические факторы: x_1 — латентный период кожно-гальванической реакции; x_2 — амплитуда одной волны кожно-гальванической реакции; x_3, x_4, x_5 — чувствительность зрительного анализатора соответственно к красному, зеленому и синему цветам; x_6, x_7 — средние значения вдоха и выдоха; x_8, x_9 — средние квадратические отклонения вдоха и выдоха; x_{10} — отношение среднего значения вдоха к среднему значению выдоха; x_{11} — относительная организация работы сердца; x_{12} — математическое ожидание $R-R$ интервала.

Кроме того, регистрировалось также время, затраченное на производство наблюдений x_{13} и учитывались психологические особенности наблюдателей, которые были разбиты на две подгруппы — с сильной (7 чел.) и слабой (13 чел.) нервной системой.

Анализ зависимости стандартного отклонения результатов наблюдений от факторов проводился при четырех дополнительных условиях: нормальные условия (без засветки и с засветкой); неудобная поза (без засветки и с засветкой).

При работе с засветкой с левой стороны от наблюдателя на расстоянии 0,5—1,0 м включали лампу-помеху, которая меняла силу ослепления. Неудобная поза представляла собой производство наблюдений с очень низкого штатива.

Всего было выполнено 66900 измерений по всем факторам, в том числе 3200 отсчетов по теодолиту.

С целью выявления величины статистической связи факторов x_i и показателя y вычисляли коэффициент парной корреляции между значениями факторов x_i и показателя y по всем наблюдениям. Общее количество коэффициентов корреляции — 156. Они приведены в табл. 1.

Определим значения $r_{x_i, y}$, которые значительно отличаются от случайных (при гипотезе о том, что генеральная совокупность некоррелирована, т. е. $\rho=0$). Для этого для каждого n ($n=7, 13, 20$) найдем доверительный интервал, в котором будут находиться 95% значений $r_{x_i, y}$.

Воспользуемся тем, что величина $t_i = \frac{r_{x_i, y}}{\sqrt{1 - r_{x_i, y}^2}} \cdot \sqrt{n-2}$

имеет распределение Стьюдента с $n-2$ степенями свободы.

Используя таблицу критических точек распределения Стьюдента $P(t < t_0) = 0,95$, находим при $n=7$ $t_0=2,57$; при $n=13$ $t_0=2,20$; при $n=20$ $t_0=2,10$. Тогда соответствующие точки доверительного интервала $r_0 = \pm \frac{t_0}{\sqrt{n-2+t_0^2}}$

следующие:

$$n = 7 \quad (-0,75; \quad 0,75)$$

$$n = 13 \quad (-0,55; \quad 0,55)$$

$$n = 20 \quad (-0,44; \quad 0,44)$$

Таблица 1

Значения средних $\Gamma_{x_i, y}$

Факторы	Нормальные условия			Нормальные условия + засвечивание			Неудобная поза			Неудобная поза + засвечивание		
	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.
x_1	0,161	0,082	0,079	0,824	0,361	0,440	0,284	0,044	0,064	0,540	0,097	0,281
x_2	-0,358	0,019	-0,090	-0,098	0,042	0,275	-0,500	0,158	-0,009	-0,135	0,175	0,082
x_3	-0,369	0,235	-0,010	-0,023	0,316	0,159	-0,013	0,175	0,084	-0,628	-0,285	-0,424
x_4	0,438	0,147	0,204	-0,111	0,604	0,374	-0,179	-0,172	-0,148	-0,296	-0,018	-0,102
x_5	0,262	0,149	0,116	-0,484	0,518	0,222	-0,501	0,130	-0,066	-0,134	0,112	0,004
x_6	0,615	-0,283	-0,163	0,079	-0,053	0,020	-0,158	0,019	0,018	0,595	-0,390	-0,137
x_7	-0,134	-0,355	-0,279	-0,325	-0,467	-0,399	-0,150	-0,390	-0,325	-0,478	-0,209	-0,272
x_8	0,490	-0,499	0,317	-0,358	-0,376	-0,363	-0,770	-0,364	-0,460	-0,149	-0,457	-0,277
x_9	-0,469	-0,187	-0,132	-0,505	-0,488	-0,491	-0,438	-0,282	-0,476	-0,732	-0,283	-0,462
x_{10}	0,113	-0,228	0,003	0,449	0,341	0,379	-0,107	-0,181	0,005	0,689	-0,319	0,091
x_{11}	-0,398	0,174	0,069	-0,060	0,558	0,337	0,699	0,418	-0,127	-0,339	0,271	0,052
x_{12}	-0,428	-0,277	-0,272	0,158	-0,122	0,011	-0,675	-0,159	-0,129	-0,277	-0,415	-0,322
x_{13}	-0,688	-0,151	-0,299	-0,541	0,137	-0,055	-0,506	-0,143	-0,173	-0,419	0,060	-0,229
n	7	13	20	7	13	20	7	13	20	7	13	20

Таблица 2

Значения $\Gamma_{x_i, y}$

Факторы	Нормальные условия			Нормальные условия + засвечивание			Неудобная поза			Неудобная поза + засвечивание		
	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.	сильн.	слаб.	общ.
1-2	-0,098	0,051	0,005	0,362	0,202	0,358	-0,408	0,101	0,028	0,202	0,136	0,182
$N=2$												
3-5	0,110	0,177	0,103	-0,206	0,479	0,252	-0,231	0,044	-0,043	-0,353	-0,064	-0,174
$N=3$												
6-10	0,123	-0,310	-0,178	-0,132	-0,208	-0,171	-0,325	-0,239	-0,255	0,045	-0,332	-0,211
$N=5$												
11-12	-0,413	-0,052	-0,101	0,049	0,218	0,174	0,012	0,130	-0,128	-0,308	-0,072	-0,135
$N=2$												
13	-0,688	-0,151	-0,299	-0,541	0,137	-0,055	-0,506	-0,143	-0,173	-0,419	-0,006	-0,229
$N=1$												
1-13	-0,059	-0,090	-0,084	-0,076	0,105	0,069	-0,232	-0,053	-0,137	-0,113	-0,132	-0,132
$N=13$												
n	7	13	20	7	13	20	7	13	20	7	13	20

В указанные интервалы попадают почти все $r_{x_i, y}$ из соответствующих колонок табл. 1. Следовательно, изучение отдельных значений $r_{x_i, y}$ не позволяет выявить связь между x_i и y .

Чтобы проверить наличие существенной связи между факторами x_i и показателем y , воспользуемся средними значениями $\bar{r}_{x_i, y}$, которые «накапливают» свойства корреляционной связи из нескольких опытов в одном значении $\bar{r}_{x_i, y}$.

Средние значения $\bar{r}_{x_i, y}$ распределены по группам факторов, имеющим общие психофизиологические основы. Результат расчета приведен в табл. 2.

Найдем расчетные значения стандартного отклонения для средних значений коэффициента корреляции по формуле

$$\sigma_{n, N}(\bar{r}_{x_i, y}) = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad (1)$$

где n — количество наблюдений, использованных для расчета $r_{x_i, y}$, N — количество значений $r_{x_i, y}$, по которым рассчитывается среднее $\bar{r}_{x_i, y}$.

Доверительный интервал для $\bar{r}_{x_i, y}$ имеет вид

$$\{-1,5 \sigma_{n, N}(\bar{r}_{x_i, y}); \quad 1,5 \sigma_{n, N}(\bar{r}_{x_i, y})\}. \quad (2)$$

Значения $1,5 \sigma_{n, N}(\bar{r}_{x_i, y})$ при $n=7, 13, 20$ приведены ниже:

N/n	7	13	20
1	0,612	0,434	0,344
2	0,432	0,306	0,243
3	0,354	0,250	0,198
5	0,214	0,193	0,163
13	0,169	0,120	0,099

В табл. 2 помечены точкой те значения $\bar{r}_{x_i, y}$, которые находятся вне интервала (2). В третьей строке табл. 2 почти все средние значения $\bar{r}_{x_i, y}$ характеризуют существенную отрицательную связь факторов x_6, x_7, x_8, x_9 и x_{10} с показателем y . С увеличением влияния этих факторов ошибка уменьшается. Иначе говоря, интенсификация факторов x_6-x_{10} приводит к более точным наблюдениям.

Проанализируем влияние средних значений коэффициентов, когда $\bar{r}_{x_i, y}$ берется по четырем условиям для каждого фактора в отдельности. Значения этих средних приведены в табл. 3.

Доверительный интервал для значений $\bar{r}_{x_i, y}$, приведенных в табл. 3, составляет:

- при $n = 7$ $\{-0,306; \quad 0,306\}$ (для 1-й колонки),
- при $n = 13$ $\{-0,216; \quad 0,216\}$ (для 2-й колонки)
- при $n = 20$ $\{-0,172; \quad 0,172\}$ (для 3-й колонки)

В табл. 3 отмечены те значения средних, которые не попадают в указанные интервалы.

Анализ табл. 3 показывает, что существенное уменьшение средней квадратической ошибки происходит при усилении влияния факторов x_7 , x_8 и x_9 , т. е. факторов дыхательной системы человека, а также факторов сердечной деятельности и времени выполнения наблюдений (факторы x_{12} и x_{13}).

Отрицательно существенным фактором, с усилением влияния которого увеличивается y , является x_1 , связанный с тактильным анализатором.

Что касается повышения психоэмоционального напряжения оператора при работе в самых неблагоприятных условиях наблюдений, то по приведенным значениям средних коэффициентов корреляции (табл. 3) видно, что при возникновении помехи для зрительного анализатора (условия наблюдений с засветкой), которая довольно значительно влияет на психику человека, операторы со слабой нервной системой болезненно реагируют на этот дополнительный раздражитель. При этом, естественно, увеличивается средняя квадратическая ошибка.

В случае самой неблагоприятной обстановки следует подчеркнуть, что происходит мобилизация компенсаторных физиологических механизмов. Для группы операторов с сильной нервной системой — в меньшей степени (табл. 2). Одновременно в обеих группах наблюдаются тенденции к увеличению процессов утомления.

Следует также отметить, что для группы наблюдателей с сильной нервной системой (первая колонка табл. 3) только фактор x_9 , связанный с дыханием, и x_{13} , связанный со временем производства наблюдений, являются отрицательно существенными, т. е. при усилении влияния этих факторов уменьшается стандартное отклонение.

В заключение можно отметить, что использование корреляционного и регрессионного анализов при прогнозировании качества деятельности геодезистов позволяет выбрать наиболее информативные физиологические показатели.

Комплексный корреляционный анализ психофизиологических характеристик позволяет прогнозировать работоспособность геодезистов. Полученные результаты можно использовать не только для анализа ошибок геодезических систем «человек—геодезичес-

Таблица 3
Значения средних $r_{x_1, y}$ по четырем условиям наблюдений для каждого фактора

Факторы	Наблюдатели с сильной нервной системой	Наблюдатели со слабой нервной системой	Общее количество наблюдателей
1	0,452	0,146	0,216.
2	—0,273	0,099	0,065
3	—0,258	0,110	—0,048
4	—0,037	0,140	0,082
5	—0,214	0,227.	0,069
6	0,283	—0,177.	—0,074
7	—0,272	—0,355.	—0,319.
8	—0,121	—0,424.	—0,354.
9	—0,536.	—0,310.	—0,390.
10	0,286	—0,097	0,099
11	—0,002	0,355.	0,083
12	—0,302	—0,243.	—0,178.
13	—0,538.	—0,038	—0,189.
n	7	13	20

кий прибор—среда» и оценки работоспособности геодезиста, но и для профотбора и, в первую очередь, для обучения и совершенствования уровня подготовки геодезистов. Известно *, что профессиональная подготовка геодезистов включает профессиональную ориентацию (на начальном этапе), профессиональный отбор, обучение, приобретение умений и навыков, совершенствование профессиональной подготовки с учетом индивидуальных психофизиологических особенностей каждого специалиста, формирование навыков работы в коллективе.

В процессе профессионального отбора проверяется соответствие характеристик данной личности требованиям, предъявляемым к геодезической деятельности. Полученные результаты можно использовать на всех этапах профессионального отбора. На первом этапе производится отбор по медицинским показателям. Основное внимание уделяется проверке зрительного анализатора. На втором — определяется пригодность психологических, мотивационных особенностей отдельных личностей к предстоящей геодезической деятельности. Третий этап необходим для контроля правильности выполненного отбора и осуществляется обычно уже в процессе работы или обучения.

Приведенную методику и полученные результаты можно использовать для профессиональной подготовки и переподготовки геодезистов с применением различных тренажеров. В частности, перед выполнением высокоточных инженерно-геодезических работ в сложных условиях можно осуществить так называемую «антистрессовую» подготовку геодезистов, что позволит при выполнении работ избежать грубых ошибок и переделок работы, повысить работоспособность геодезиста, сократить время и, в целом, повысить производительность труда.