

УДК 528.06

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА ГРУБЫХ ОШИБОК В РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CREDO_DAT

А.И. ЯРИЦА

(Представлено: канд. техн. наук В.А. БОНДАРЕНКО)

В результатах геодезических измерений практически всегда содержатся грубые ошибки. Их число оценивают в пределах от 0,1 % до 1 %. Исследуется эффективность программы CREDO_DAT при поиске грубых ошибок в результатах геодезических измерений. Анализируется влияние геометрии геодезической сети и величины погрешности в результатах измерений на чувствительность программы и возможность локализации грубоошибочных измерений.

В настоящее время геодезия в Республике Беларусь развивается на высоком научном уровне и новейшей технической базе, удовлетворяя запросы всех отраслей народного хозяйства. Производится большая работа по эффективному внедрению в производство специальных программ для обработки результатов геодезических измерений на ЭВМ. В связи с этим роль использования наилучшего алгоритма поиска грубых ошибок возрастает. Неверно выбранный алгоритм прежде вел к разовому неудачному уравниванию сети одним исполнителем. Сегодня, будучи реализован в программном продукте и продан многим пользователям, такой алгоритм становится источником множества либо неверных, либо не лучших решений [1].

Одной из наиболее популярных программ для обработки результатов геодезических измерений является CREDO_DAT. Данная программа используется для осуществления камеральной обработки наземных измерений при выполнении массовых геодезических, топографических, межевых работ, производимых в плоской системе координат в одноранговых сетях.

Также CREDO_DAT определяет, локализует и устраняет грубые ошибки. Все ошибки распознаются на основе L-1 анализа. Локализация грубоошибочных данных является одной из наиболее ответственных задач программы и выполняется методами анализа, трассирования и выборочного отключения.

L1-анализ основан на использовании методов линейного программирования для минимизации целевой функции:

$$\sum_{i=1}^n |V_i| = \min, \quad (1)$$

где V_i представляют собой левые части уравнений поправок, то есть

$$V_i = (v_i = a_i \delta x_1 + b_i \delta x_2 + \dots + c_i \delta x_n + 1), \quad (2)$$

где $a \delta x$ – частные производные по соответствующим неизвестным.

Минимизация L-нормы, представленной выражением (2), позволяет выделить участок сети, ход или даже отдельное измерение, содержащее грубую угловую, линейную или высотную ошибку.

L1-анализ считается наиболее эффективным для линейно-угловых сетей. По результатам его выполнения формируются соответствующие ведомости, содержащие пороговые значения, превышающие заданные в настройках.

Для проверки чувствительности программы к грубым ошибкам протестируем созданную на местности плановую геодезическую сеть в программе CREDO_DAT.

Схема сети представлена на рисунке.

Данная сеть имеет 2 исходных (№ 11 и № 12) и 8 определяемых пунктов.

Измерения произведены с 4-х станций. Полученные результаты представлены в таблицах 1–4 [2].

Таблица 1

Результаты измерений со станции st1

Цель	Кру	Гор. лимб	Верт. лим	Hv	Расст.
t2	Лев	255°20'34,9"	5°04'03,9"	0,100	64,7788
t1	Лев	359°59'58,4"	7°26'40,3"	0,000	59,0560
s17	Лев	248°36'21,9"	3°45'10,9"	0,000	52,5223
s8	Лев	296°55'38,6"	9°39'16,8"	0,000	46,6733
s5	Лев	233°24'51,4"	0°14'33,4"	0,000	18,5231

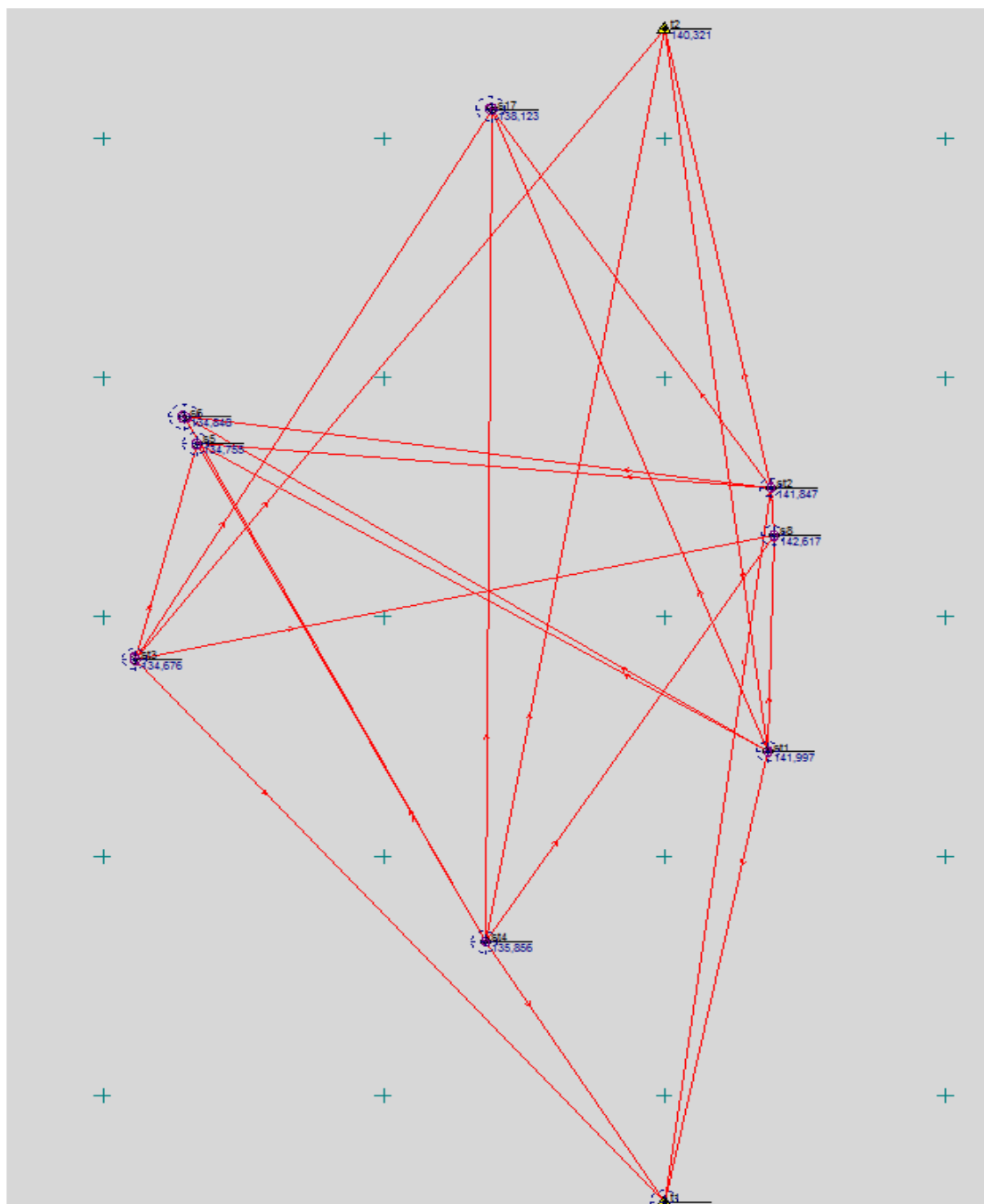


Схема сети

Таблица 2

Результаты измерений со станции st2

	Цель	Кру	Гор. лимб	Верт. лим	Hv	Расст.
	t1	Лев	0°00'00,7"		0,000	60,2379
	s6	Лев	90°49'23,2"	9°24'52,2"	0,000	42,2172
	s5	Лев	87°54'39,1"	9°47'49,6"	0,000	41,0735
	t2	Лев	161°37'39,6"	2°05'22,5"	0,100	39,0585
	s17	Лев	140°36'13,2"	5°41'11,8"	0,000	37,3991
	s8	Лев	349°38'56,3"	0°52'03,5"	0,000	4,0092

Таблица 3

Результаты измерений со станции st3

	Цель	Кру	Гор. лимб	Верт. лим	Hv	Расст.
t2	Лев	255°20'34,9"	5°04'03,9"	0,100	64,7788	
t1	Лев	359°59'58,4"	7°26'40,3"	0,000	59,0560	
s17	Лев	248°36'21,9"	3°45'10,9"	0,000	52,5223	
s8	Лев	296°55'38,6"	9°39'16,8"	0,000	46,6733	
s5	Лев	233°24'51,4"	0°14'33,4"	0,000	18,5231	

Таблица 4

Результаты измерений со станции st4

	Цель	Кру	Гор. лимб	Верт. лим	Hv	Расст.
t2	Лев	219°51'55,5"	3°22'32,8"	0,100	77,3473	
s17	Лев	210°41'59,6"	1°52'00,4"	0,000	69,6193	
s6	Лев	184°16'45,8"	1°10'45,1"	0,000	48,8389	
s5	Лев	184°03'30,1"	1°21'30,2"	0,000	46,4401	
s8	Лев	241°32'20,7"	9°39'49,5"	0,000	39,6955	
t1	Лев	0°00'01,7"	4°30'15,0"	0,000	25,2606	

Результаты оценки точности плановой сети представлена в таблице 5.

Таблица 5

Ведомость оценки точности плановой сети

Класс	Линейно-угловая сеть				СКО углов в ходах	
	СКО направлений		СКО линий		СКО углов в ходах	
	Априорная	Фактическая	Априорная	Фактическая	Априорная	Фактическая
1-разряд	2,5003	1,9026	0,0010	0,0008	5,0000	

Вычислим порог на грубую линейную и угловую погрешности измерений для данной сети. Для этого воспользуемся правилом 3σ , где σ – среднее квадратическое отклонение измеренной величины. Порог на грубую угловую погрешность равен $6''$, а порог на грубую линейную погрешность равен $0,003$ м [3].

Далее качественные измерения были искусственно ухудшены грубыми ошибками, равными или превышающими полученные допуски.

После внесения грубых ошибок была запущена функция L1-анализа. Точность определения грубых ошибок данной функцией в программном комплексе Credo_DAT зависит от количества избыточных измерений [4].

При исследовании чувствительности программы к грубым ошибкам в измеренных расстояниях получены следующие результаты:

- 1) программа достаточно точно распознает грубые ошибки в измерениях. Так, при пороге на грубую линейную погрешность $0,003$ м, были определены грубые ошибки от $0,003$ до $0,005$ м.
- 2) длина линий не влияет на точность определения грубой ошибки;
- 3) также на чувствительность программы к грубым ошибкам практически не влияет, увеличивают грубые ошибки измерение или уменьшают его;

4) «размывание» грубой ошибки на другие расстояния начинается при значении ошибки, равном 0,1 м и более;

5) при грубой ошибке, равной или превышающей значение 0,5 м, программа предлагает вводить поправки также и в углы;

6) при грубом промахе (1 м и более) определить грубую ошибку со 100 %-ной вероятностью не удастся. Поправки предлагаются в 5...9 измерений. Однако если проанализировать предложенные поправки, грубоошибочное измерение определить можно;

7) при наличии нескольких грубых ошибок в расстояниях и величине ошибок 0,004 м определяется только одно из грубоошибочных измерений. Второе грубоошибочное измерение было определено при величине грубой ошибки в каждом измерении 0,01 м;

8) зависимость чувствительности программы от положения грубоошибочных измерений в сети (в расстояниях, сходящихся в одном угле или в расстояниях, не сходящихся в одном угле) не обнаружена.

Из полученных результатов можно сделать следующие *выводы*:

- L1-анализ, основанный на поиске грубых ошибок по поправкам, со своей задачей справляется достаточно хорошо. Точно определяет не только наличие грубой ошибки в измерениях, но и то, в каком именно измерении ошибка находится;

- предлагаемые программой поправки имеют высокий уровень точности. Так, например, при ошибках в 0,1 м программа предлагает внести поправки в измерения, равные 0,0996.

При исследовании чувствительности программы к грубым ошибкам в измеренных углах, результаты получились другие:

1) Точность определения грубой ошибки зависит от значения угла. Так, точность определения ошибок в малых и средних углах гораздо выше, чем в больших по значению углах (от 250 °). При установленном пороге на грубую угловую погрешность, равном 6", были определены грубые погрешности от 6" в малом угле, до 17" – в большом.

2) При грубых ошибках, уменьшающих измерения, точность их определения гораздо ниже: значения, которые удалось определить, варьировались от 9" до 22".

3) «Размазывание» грубой ошибки на другие углы начинается при значении ошибки, равном 20" и более. Однако грубоошибочные измерения можно определить, изучив ведомость поправок: поправка в грубоошибочное измерение гораздо больше остальных.

4) Поправки в грубые угловые измерения часто имеют крайне низкую точность.

Основываясь на полученных результатах, тоже можно сделать следующие *выводы*:

- чувствительность программы к грубым ошибкам в угловых измерениях гораздо ниже, чем в линейных;

- особенно тщательно следует проверять большие по значению угловые измерения. В некоторых случаях программа указывает на наличие грубоошибочных измерений в сети, но не может правильно определить, в каких углах они находятся. Данный момент стоит учитывать при обработке измерений с помощью программного комплекса Credo_DAT.

При исследовании чувствительности программы к наличию грубых ошибок одновременно и в углах, и в расстояниях новых особенностей определено не было. Подтвердились уже полученные выводы о том, что ошибки в расстояниях, в отличие от угловых ошибок, определяются с гораздо большей точностью.

В *заключение* стоит отметить, что, следуя рекомендациям и внося поправки в измерения, которые предлагает программа по результатам поиска грубых ошибок, можно в большинстве случаев исключить или ослабить их влияние. А это значит – повысить качество и точность выполняемых работ.

Полученные в данной работе результаты исследования требуют дальнейшего подробного анализа с последующей разработкой рекомендаций по использованию программного комплекса Credo_DAT для поиска грубых ошибок в результатах геодезических измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коугия, В.А. Сравнение методов обнаружения и идентификации грубых ошибок измерений / В.А. Коугия // Геодезия и картография. – 1998. – № 5. – С. 23–28.
2. Батраков, Ю.Г. Геодезические сети специального назначения / Батраков, Ю.Г. – М.: «Картгеодезцентр» – «Геодезиздат», 1999. – 406 с.
3. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений: ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Ч. 2. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 51 с.
4. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Физматгиз, 1962. – 352 с.