

УДК 528.22.551.24

АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ ПОВТОРНЫХ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА;
канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ; К.И. МАРКОВИЧ

Исследуется проблема ошибок исходных данных при определении характеристик деформаций земной коры, определяемых на геодинимических полигонах по разностям урвненных координат между эпохами измерений. Показано, что эта проблема не снимается и при переходе на спутниковые средства измерений. Широко используемый в настоящее время подход привязки пунктов локального геодинимического полигона к сети IGS с целью передачи от них координат на долговременные пункты локального полигона, которые в дальнейшем будут использоваться как исходные для определения координат рядовых пунктов этого полигона, дает далеко неоднозначные результаты и может резко снизить достоверность определения параметров деформаций.

Известно, что при математической обработке повторных геодезических измерений с целью нахождения характеристик современных движений земной коры (СДЗК) существует проблема выбора исходных данных, так как эти характеристики должны определяться относительно стабильных структур. Особенно ощутимо это проявляется в параметрах горизонтальных СДЗК, определяемых по разностям урвненных координат между эпохами, так как фактическое изменение взаимного положения исходных пунктов будет влиять на искомые параметры по схеме влияния ошибок исходных данных.

При выполнении математической обработки наземных геодезических измерений в плановых сетях на геодинимических полигонах (ГДП) данный вопрос всесторонне исследовался, выработаны достаточно надежные способы ослабления влияния ошибок исходных данных [1–3]. Поясним суть проблемы и способы ее решения при обработке геодезических измерений в плановых сетях на ГДП.

Наличие проблемы ошибок исходных данных при определении характеристик горизонтальных деформаций земной коры всегда учитывалось уже на этапе проектирования плановых построений на ГДП. Проектировщикам рекомендовано, чтобы тектонически активный участок территории полигона приходился на среднюю часть сети, а ее крайние пункты хотя бы с двух сторон располагались на стабильных структурах земной коры (рис. 1). При проектировании, конечно же, стараются придерживаться этих рекомендаций, основываясь, как правило, на геолого-геофизических данных о строении земной коры в исследуемом районе. Выполняя урвнивание плановых сетей на ГДП логично в качестве исходных выбрать все пункты, расположенные на стабильных структурах (пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6 на рисунке 1), считать их взаимное положение неизменным от эпохи к эпохе и урвнять сеть как несвободную. Однако на практике такой, казалось бы, очевидный подход к выбору исходных данных для урвнивания плановых сетей на ГДП не оправдал себя, так как данные геологии и геофизики не могут гарантировать неизменность от эпохи к эпохе взаимного положения исходных пунктов с необходимой для геодезии точностью.

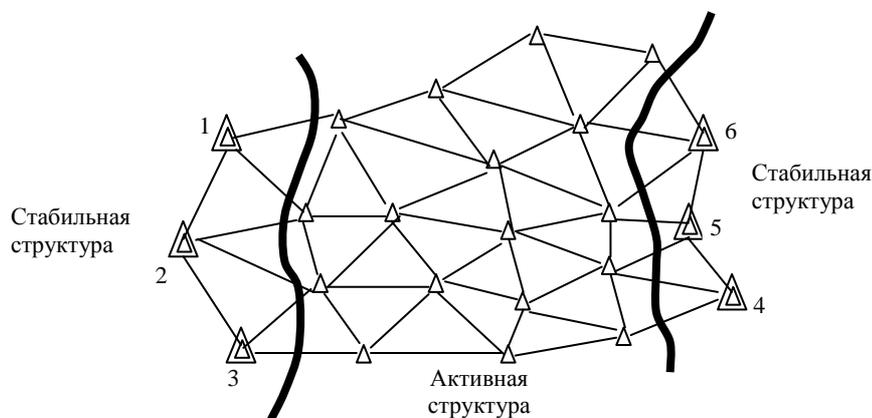


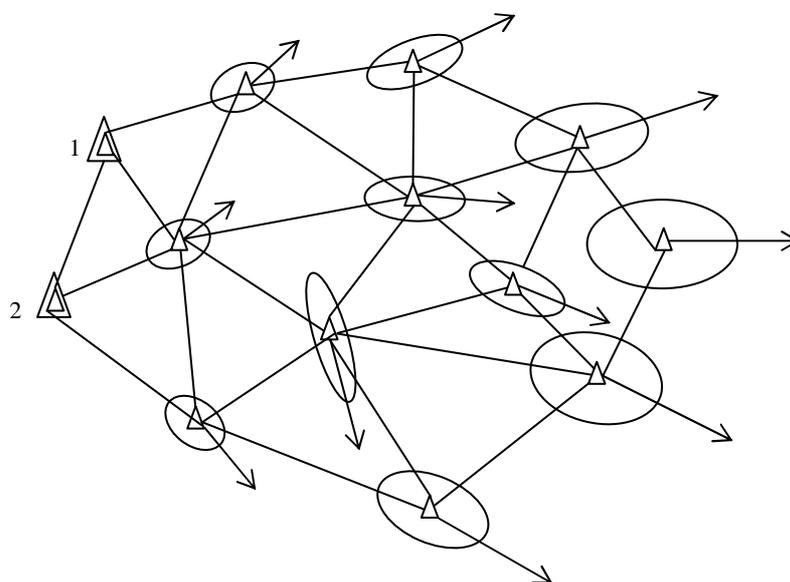
Рисунок 1 – Схема плановой геодезической сети на геодинимическом полигоне и выбор исходных пунктов для ее урвнивания

Каждый ошибочно выбранный в качестве исходного нестабильный пункт вносит искажения в конечный результат уравнивания по схеме влияния ошибок исходных данных. Чтобы уменьшить вероятность внесения в результаты уравнивания ошибок исходных данных, геодезисты пробовали уравнивать плановые сети на ГДП как свободные в традиционном понимании, то есть задавая минимально необходимый набор исходных данных:

- координаты $X_{исх}$, $Y_{исх}$ одного из пунктов сети;
- исходный дирекционный угол $\alpha_{исх}$;
- длину исходной стороны $S_{исх}$.

При таком подходе вероятность искажения результатов уравнивания из-за фактического изменения во времени взаимного положения исходных пунктов несколько уменьшается, но недостаточно надежно.

Даже при полном отсутствии деформаций земной коры картина расположения векторов горизонтальных смещений центров пунктов на ГДП при уравнивании сети как свободной в традиционном смысле выглядит так, как показано на рисунке 2.



1, 2 – пункты, принятые при уравнивании за исходные;
 эллипс погрешностей и вектор горизонтальных смещений

Рисунок 2 – Схема расположения векторов горизонтальных смещений пунктов плановой сети на ГДП при уравнивании ее как свободной в традиционном смысле

Как следует из рисунка 2, векторы горизонтальных «смещений» наблюдаются, и их величины возрастают по мере удаления от исходных пунктов. Причина такого расположения векторов горизонтальных смещений, полученных по разностям уравненных координат между эпохами измерений, общеизвестна и заключается в факте влияния на результаты уравнивания случайных ошибок измерений и ошибок исходных данных. При этом случайные ошибки измерений вызывают искажения уравненных координат пунктов пропорционально $\sqrt{L_i}$ (L_i – расстояние i -того пункта сети в километрах от исходных пунктов) и учитываются в оценке точности при уравнивании по всем используемым на производстве ЭВМ-программам. Таким образом, это влияние не так опасно. Иначе обстоит дело с ошибками исходных данных.

Опыт показал, что ошибки исходных данных при уравнивании плановых сетей на ГДП практически неизбежны и обусловлены двумя причинами:

- погрешностями задания ориентировки и масштаба сети;
- изменением во времени взаимного положения исходных пунктов (или длины исходной стороны и ее ориентировки) под влиянием тектонических факторов.

Ошибки исходных данных вызывают искажения уравненных координат пунктов пропорционально L_i (L_i – расстояние в километрах от исходных пунктов) и их трудно учесть в оценке точности при уравнивании, так как их величины чаще всего неизвестны по объективным причинам. Поэтому при анализе век-

торов горизонтальных смещений, полученных по разностям уравнированных координат между эпохами, эти искажения могут ошибочно интерпретироваться как деформации земной коры. Таким образом, влияние ошибок исходных данных крайне опасно.

Для ослабления влияния ошибок исходных данных на параметры горизонтальных деформаций, найденных из уравнивания плановых сетей на ГДП, измерения в которых выполнены наземными методами, рекомендовано [1; 2] использование теории уравнивания свободных геодезических сетей, или сетей с недостаточным числом исходных данных [4–7]. В этом случае необходимые для определения характеристик горизонтальных СДЗК разности уравнированных координат между сравниваемыми эпохами получаются [3] из уравнивания сети в нефиксированной системе координат (без исходных пунктов) или в системе координат квазистабильных пунктов.

Использование спутниковых средств измерений на ГДП не снимает проблему ошибок исходных данных. Современные геодезисты при выполнении геодинимических исследований, особенно в районах атомных электростанций, пытаются решить ее путем привязки сети полигона к пунктам IGS (Международной Службы ГНСС). Для этого они организуют несколько долговременных пунктов на ГДП, выполняя на них длительные серии ГНСС наблюдений, затем уравнивают их совместно с результатами наблюдений на ближайших пунктах IGS сети, принимая полученные координаты на каждую эпоху за исходные при дальнейшей обработке результатов ГНСС наблюдений на оставшихся пунктах полигона.

Изложенный подход к выполнению математической обработки был исследован нами на реальном материале, геодинимической сети АЭС, состоящей из 17 пунктов с расстояниями между ними порядка 3...10 км. При этом 4 пункта из 17 были долговременными, на которых в обе сравниваемые эпохи измерений выполнялись непрерывные месячные серии ГНСС наблюдений двухчастотными спутниковыми приемниками с антеннами R7 и R8.

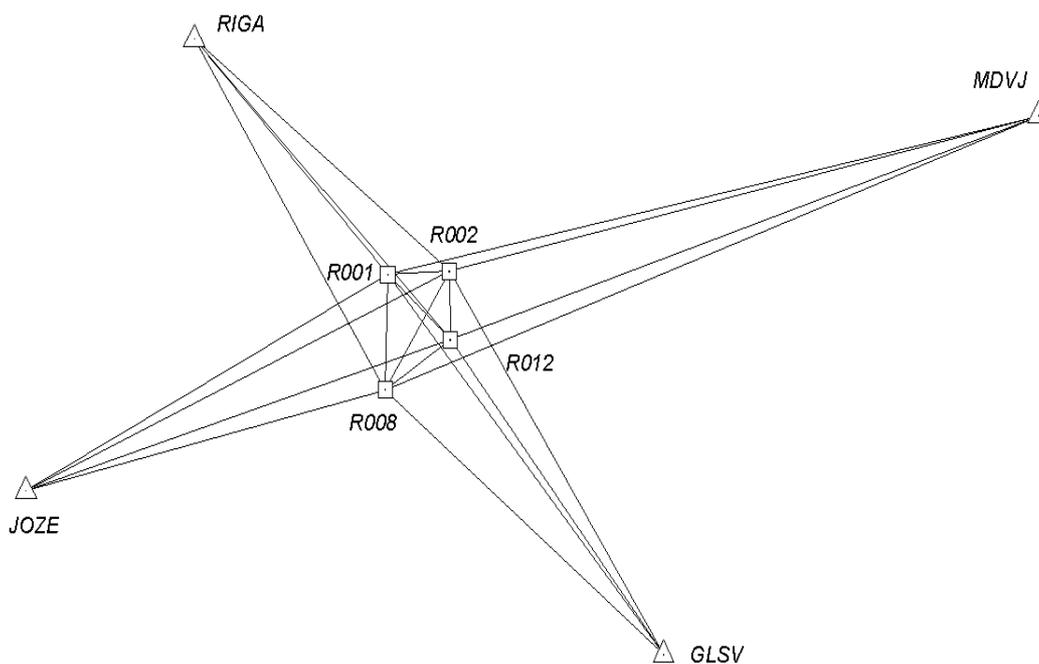


Рисунок 3 – Схема привязки 4 долговременных пунктов ГДП АЭС (R001, R002, R008, R0012) к пунктам IGS сети (RIGA, MDVJ – Менделеево; JOZE, GLSV – Киев)

В соответствии с принятым подходом обработка выполнялась в 2 этапа:

1) данные ГНСС наблюдений 2012 и 2013 годов в представленной на рисунке 3 сети были обработаны в программе «Bernese» для длиннобазисных спутниковых сетей. В результате обработки получены координаты долговременных пунктов R001, R002, R008, R012 на дату 06.06.2012 и на дату 22.05.2013 в системе координат IGS, принятой для IGS сети, и годовые скорости их движений (табл. 1);

2) далее выполнялось уравнивание всей сети ГДП (17 пунктов) по программе «Trimble business centre», исходными данными для которой в каждую эпоху были взяты координаты пунктов, полученные на первом этапе уравнивания. Найденные в результате этого уравнивания разности координат между эпохами составили дециметр и более. Трансформирование координат, а также пересчет их в систему пло-

ских прямоугольных координат в проекции Гаусса – Крюгера несколько улучшило картину, но доверия к найденным параметрам деформаций земной коры не восстановило.

Для оценки качества спутниковых данных нами обработаны обе эпохи спутниковых наблюдений геодинимического полигона АЭС в программном комплексе «Trimble business centre» без привязки к IGS-пунктам относительно одного центрального пункта сети, принятого за стабильный.

Таблица 1 – Результаты уравнивания сети, связывающей долговременные пункты ГДП с пунктами IGS

Названия пунктов	Скорости изменения координат, мм/год, в системе координат IGB08	
	V_x	V_y
R001	-8,5	9,9
R002	-32,7	5,6
R008	13,5	27,8
R012	-34,3	1,6

На наш взгляд, такой подход при отсутствии программного обеспечения с алгоритмом, реализующим рекомендованную в [1–3] методику обработки для повторных спутниковых наблюдений, максимально приблизил к уравниванию без исходных пунктов, так как решение в нефиксированной системе координат получается относительно центра заданных координат пунктов сети.

Результаты обработки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Разности координат между эпохами 2013-12 для пунктов сети ГДП АЭС, полученные по «Trimble business center»

Названия пунктов	Разность координат (2013–2012)	
	dx (мм)	dy (мм)
тур1	-3,7	-1,0
4329	-0,9	0,4
тур6	1,6	1,1
тур9	0,0	0,0
<u>R001</u>	-0,6	-5,5
<u>R002</u>	1,0	-0,7
R003	4,7	1,1
R004	1,6	2,0
R005	-1,2	4,7
R006	0,3	0,7
R007	0,0	-2,3
<u>R008</u>	-1,2	0,5
R009	-2,1	1,6
R010	1,9	-0,7
R011	-1,5	-1,8
<u>R012</u>	0,3	-2,7
R013	0,0	22,9

Приведенные в таблице 2 разности для плановых координат сопоставимы с результатами, которые мы получаем для аналогичных длин линий на геодинимических построениях Полоцкого региона [8].

Заключение. Анализ полученных данных показал, что широко используемый в настоящее время подход привязки пунктов локального ГДП к сети IGS с целью передачи от них координат на долговременные пункты локального полигона, которые в дальнейшем будут использоваться как исходные для определения координат рядовых пунктов этого полигона, дает далеко неоднозначные результаты. В на-

шем случае этот подход резко снизил достоверность определения параметров деформаций и привел к появлению большого числа вопросов как теоретического, так и практического плана. Совершенно ясно, что такой подход может быть использован только при четко отлаженной методике спутниковых измерений и обработке, отточенной под используемое программное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко, М.Д. Определение горизонтальной составляющей СДЗК способом уравнивания разностей измерений без «твердых» пунктов на примере Толбачинского геодинамического полигона (Камчатка) / М.Д. Герасименко, А.П. Кириенко, Г.А. Шароглазова // Тихоокеаническая геология. – 1983. – № 4. – С. 106–110.
2. Герасименко, М.Д. Определение современных движений земной коры из повторных измерений / М.Д. Герасименко, Г.А. Шароглазова // Геодезия и картография. – 1985. – № 7. – С. 25–29.
3. Шароглазова, Г.А. Применение геодезических методов в геодинамике: учеб. пособие для вузов / Г.А. Шароглазова. – Новополоцк: ПГУ, 2002.
4. Ashkenazi, V. Criteria for optimization a practical assessment of a free network adjustment / V. Ashkenazi // *Bullettino di geodesia e scienze affini*. – 1974. – № 1(33). – P. 77–91.
5. Brunner, F.K. A comparison of computation methods for crustal strains from geodetic measurements / F.K. Brunner, R. Coleman and Hirsch // *Tectonophysics*. – 1981. – V. 71, № 1–4, January 10. – P. 281–298.
6. Koch, K.R. Multivariate hypothesis tests for detecting Recent crustal movements / K.R. Koch and D. Fritsch // *Tectonophysics*. – 1981. – V. 71, № 1–4, January 10. – P. 301–313.
7. Mittermayer, E. A generalisation of the Least – Squares Method for the Adjustment of free Networks / E. Mittermayer // *Bull. Geod.* – 1972. – № 104. – P. 139–157.
8. Шароглазова, Г.А. Результаты исследования деформаций земной коры методом высокоточных повторных спутниковых измерений в Полоцком регионе / Г.А. Шароглазова, С.К. Товбас, К.И. Маркович // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. – 2014. – № 16. – С. 96–100.

Поступила 01.12.2015

THE ANALYSIS OF A TECHNIQUE OF PROCESSING OF REPEATED GNSS OF OBSERVATIONS ON GEODYNAMIC GROUNDS OF THE NPP

G. SHAROGLAZOVA, V. YALTYKHOV, K. MARKOVICH

Article is devoted to a problem of errors of basic data when determining characteristics of the deformations of earth crust determined on geodynamic polygons by differences of the adjusted coordinates between eras of measurements. It is shown that this problem is not removed upon transition to satellite measuring instruments. Approach of a binding widely now in use of points of local GDP to the IGS network for the purpose of transfer of coordinates from them on long-term points of the local polygon which will be used further as initial for determination of coordinates of ordinary points of this ground yields far ambiguous results and can sharply reduce reliability of determination of parameters of deformations.