

УДК 528.481

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

А.Н. СОЛОВЬЕВ

(Полоцкий государственный университет)

Исследованы возможности метода Христова при моделировании вертикальных движений земной коры по данным 7 циклов нивелирования (2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.), полученным на Полоцком геодинимическом профиле в рамках государственных программ научных исследований Республики Беларусь, с попыткой прогноза поведения реперов в последующие годы.

Накопление числа циклов повторного нивелирования на Полоцком геодинимическом профиле к 2011 году до семи, а также результаты работы [2], свидетельствующие о наличии значительной составляющей короткопериодических движений земной коры на исследуемом участке в 2005 году, заставили нас вернуться к исследованию возможностей метода Христова [Христов] в плане моделирования вертикальных движений земной коры. Из обработки был исключен 2005 год, и все необходимые вычисления выполнялись по 7 циклам нивелирования (2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.).

Для описания движения реперов использовались три модели (линейная, квадратическая и кубическая), представленные соответственно уравнениями (1) – (3).

$$H_k^i = H_k^0 + V_k(T_i - T_0), \quad (1)$$

$$H_k^i = H_k^0 + V_k(T_i - T_0) + A_k(T_i - T_0)^2, \quad (2)$$

$$H_k^i = H_k^0 + V_k(T_i - T_0) + A_k(T_i - T_0)^2 + B_k(T_i - T_0)^3, \quad (3)$$

где V_k , A_k , B_k – коэффициенты аппроксимирующих уравнений; k – номер репера; T_i – эпохи нивелирования (2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.); T_0 – начальная эпоха (2003 г.), к которой согласно алгоритму применяемого метода приводятся результаты нивелирования.

Исследование состояло из двух этапов. На первом этапе для каждой из моделей были определены коэффициенты уравнений движений реперов из совместного уравнивания семи циклов измерений, по которым вычислены отметки реперов. Вычисленные отметки реперов для каждой модели сравнивались с их измеренными значениями по всем реперам и эпохам нивелирования (табл. 1 – 3). Характеристика точности моделей представлена средней квадратической ошибкой m , найденной по формуле Гаусса, так как измеренная отметка репера в данном случае принята за ее истинное значение.

$$m_{\text{модели}} = \sqrt{\frac{(H_k^{\text{выч.}} - H_k^{\text{изм.}})^2}{N}}, \quad (4)$$

где N – общее число разностей ($N = 70$).

Таблица 1

Отклонение вычисленных отметок реперов от их измеренных значений для линейной модели

№ репера	Разности отметок реперов ($H_k^{\text{выч.}} - H_k^{\text{изм.}}$), мм							СКО $m_{\text{модели}}$, мм
	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	
7130	0,6	-0,1	-1,3	0,6	-0,1	0,2	0,2	1,08
8372	2,8*	-2,7*	-2,5*	0,2	1,9	-1,2	1,2	
7701	-1,6	1,7	0,1	1,1	0,0	0,0	-1,0	
7873	1,3	-0,5	-1,6	0,2	-0,3	0,7	0,5	
3895	1,2	0,0	-1,8	-0,1	-0,3	0,8	0,5	
6284	1,2	0,0	-1,9	-0,2	-0,4	0,9	0,5	
6931	0,7	0,4	-2,0	0,0	-0,3	0,8	0,2	
7100	-0,1	0,4	-1,0	0,6	-0,5	1,0	-0,6	
3902	0,3	0,6	-1,7	0,5	-1,0	0,9	0,0	
5960	1,9	-0,9	-2,5*	0,3	-0,6	0,5	1,0	

*) – обозначена величина, не согласующаяся с моделью с вероятностью 0,95.

Таблица 2

Отклонение вычисленных отметок реперов от их измеренных значений для квадратичной модели

№ репера	Разности отметок реперов ($H_k^{выч.} - H_k^{изм.}$), мм							СКО $m_{модели}$, мм
	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	
7130	0,1	0,0	-1,1	0,9	0,1	0,1	-0,2	0,80
8372	1,0	-2,1*)	-1,3	1,4	2,6*)	-1,4	-0,4	
7701	-0,3	1,2	-0,7	0,2	-0,5	0,2	0,2	
7873	0,3	-0,1	-1,0	0,9	0,1	0,6	-0,4	
3895	0,1	0,3	-1,2	0,5	0,1	0,6	-0,5	
6284	0,0	0,4	-1,3	0,4	0,0	0,7	-0,6	
6931	0,0	0,6	-1,5	0,4	0,0	0,7	-0,5	
7100	0,0	0,4	-1,0	0,5	-0,5	1,0	-0,5	
3902	-0,1	0,8	-1,4	0,8	-0,8	0,8	-0,4	
5960	0,3	-0,3	-1,4	1,4	0,1	0,3	-0,5	

*) – обозначена величина, не согласующаяся с моделью с вероятностью 0,95.

Таблица 3

Отклонение вычисленных отметок реперов от их измеренных значений для кубической модели

№ репера	Разности отметок реперов ($H_k^{выч.} - H_k^{изм.}$), мм							СКО $m_{модели}$, мм
	2004 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	
7130	0,0	0,4	-0,9	0,8	-0,2	-0,1	0,0	0,67
8372	0,2	-0,4	-0,5	0,9	1,3	-2,3*)	0,9	
7701	-0,1	0,7	-1,0	0,3	-0,2	0,4	-0,2	
7873	0,0	0,4	-0,8	0,7	-0,4	0,2	-0,1	
3895	-0,1	0,7	-1,0	0,4	-0,2	0,4	-0,2	
6284	-0,1	0,8	-1,0	0,4	-0,3	0,5	-0,2	
6931	-0,1	1,0	-1,3	0,4	-0,2	0,5	-0,2	
7100	-0,1	0,7	-0,9	0,5	-0,7	0,9	-0,3	
3902	-0,1	0,9	-1,3	0,8	-0,8	0,8	-0,3	
5960	0,0	0,4	-1,1	1,2	-0,4	-0,1	0,1	

*) – обозначена величина, не согласующаяся с моделью с вероятностью 0,95.

Из таблиц 1 – 3 следует:

- точность линейной модели получилась самая низкая ($m = \pm 1,08$ мм);
- точность квадратичной модели в 1,35 раза выше линейной ($m = \pm 0,80$ мм);
- самой точной оказалась кубическая модель: в 1,61 раз выше линейной и, соответственно, в 1,19 раз точнее квадратичной ($m = \pm 0,67$ мм).

Таким образом, результаты оценки свидетельствуют в пользу кубической модели.

Количество вычисленных отметок реперов, не согласующихся с их измеренными значениями в соответствии с оценкой модели (вероятность 0,95), оказалось максимальным для линейной модели (4 случая), затем для квадратичной (2 случая) и только в одном случае для кубической модели. Таким образом, можно сделать вывод, что кубическая модель является самой точной.

На втором этапе исследований мы осуществили попытку использования моделей с целью прогноза поведения реперов в последующие годы. В этом случае из уравнивания было исключено нивелирование 2011 года, и коэффициенты уравнений (1) – (3) определены по 6 оставшимся эпохам. Характеристики точности моделей, найденные по формуле (4), здесь остались практически такими же, что и в предыдущем случае (линейная модель – 1,11 мм, квадратичная – 0,80 мм, а кубическая – 0,58 мм). Не участвующая в уравнивании эпоха 2011 года использовалась как критерий для оценки результатов прогноза: прогнозные отметки реперов, вычисленные для 2011 года по полученным в результате уравнивания шести предыдущих циклов нивелирования коэффициентам уравнений (1) – (3), сравнивались с измеренными значениями отметок этих реперов.

Результаты сравнения отметок 2011 года по всем моделям приведены в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение прогнозных отметок реперов 2011 года с их фактическими измеренными значениями $H_{изм}$.

№ репера	$H_{изм}$, м	Разности прогнозных и измеренных отметок, мм		
		линейная	квадратическая	кубическая
1	2	3	4	5
7130	305,4055	0,24	-0,86	0,35
8372	306,6621	2,23	-1,47	9,29
7701	314,2543	-1,81	0,49	-2,03
7873	315,9689	0,87	-1,63	-0,63
3895	314,1773	0,79	-1,71	-1,91
6284	314,4887	0,90	-1,80	-2,24
6931	312,7475	0,35	-1,65	-2,63
7100	303,7159	-1,10	-1,80	-3,39
3902	300,9655	0,05	-1,25	-3,26
m, мм		1,27	1,43	3,48

Данные таблицы 4, когда мы используем выбранные модели для прогнозирования поведения реперов в последующие эпохи, дают абсолютно противоположные результаты в отношении кубической модели и свидетельствуют, скорее, в пользу линейной модели. Этот вопрос является предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящий технический материал по изучению деформаций земной поверхности геодезическими методами на полигонах атомных электростанций: ГКИНП-10-186-84. – М.: ЦНИИГАиК, 1984.
2. Шароглазова, Г.А. Моделирование геодинамических процессов на участке Полоцко-Курземской зоны тектонических разломов по данным инструментальных исследований / Г.А. Шароглазова, В.Н. Коровкин, А.Н. Соловьев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 12. – С. 123 – 125.
3. Hristov, W.K. Gemensame Ausgleichung von Höhen und Vertikalgeschwindigkeiten einets Nivellierungsnetzes / W.K. Hristov // Acta Geodaet., Geophys. Et Montanist., Acad. Sci. Hung. Tomus 9(1 – 2), 1974. – P. 147 – 151.

Поступила 11.10.2012

MODELLING OF GEODYNAMICAL PROCESSES ACCORDING TO THE RESULTS OF REPEATED LEVELING

A. SOLOVYOV

Possibilities of the method of Christov are investigated at modelling of vertical earth movements according to 7 cycles of leveling (years 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011), received on Polotsk geodynamic profile within the limits of government programmes of scientific research of the Republic of Belarus, with an attempt to forecast the behaviour of reference points in the years to come.