

той Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 115.

2. **Левин, И. И.** Моделирование гидравлических явлений / И. И. Левин. – Л.: Энергия, 1967. – 210 с.

3. **Ляхтер, В. М.** Гидравлическое моделирование / В. М. Ляхтер, А. М. Прудовский. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

4. **Шарп, Д. Ж.** Гидравлическое моделирование / Д. Ж. Шарп. – М.: Мир, 1984.

5. **Агроскин, И. И.** Гидравлика / И. И. Агроскин, Г. Г. Дмитриев, Ф. И. Пикалов. – М.; Л.: Энергия, 1964. – 315 с.

6. **Справочник** по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Кисилева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.

7. **Зегжда, А. П.** Теория подобия и методика расчета гидротехнических моделей / А. П. Зегжда. – М.; Л.: Госстройиздат, 1938. – 164 с.

8. **Веников, В. А.** Теория подобия и моделирования применительно к задачам электроэнергетики / В. А. Веников. – М.: Высш. шк., 1966.

9. **Панфилов, Д. Ф.** Моделирование давления и пропускания льда / Д. Ф. Панфилов // Известия высш. учеб. заведений. Строительство и архитектура. – 1964. – № 7. – С. 115–122.

10. **Петруничев, Н. Н.** О динамическом давлении льда на гидротехническое сооружение. Лёдотермические вопросы в гидротехнике / Н. Н. Петруничев. – М.; Л.: Гидрометеоздат, 1954. – С. 17–64.

11. **Пропуск** льда через гидротехнические сооружения / под ред. К. Н. Коржавина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 182 с.

Поступила 07.03.2012

УДК 528.5:624.04

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*Канд. техн. наук, проф. НЕСТЕРЕНКО М. С.*

*Белорусский национальный технический университет*

Геодезические методы определения количественных характеристик деформаций поверхностных и приповерхностных слоев литосферы в настоящее время используются как дополнительные к менее точным спутниковым съемкам дистанционного зондирования, которые применяются в прикладной геомеханике для обоснования расчетов по прогнозу перемещений и деформаций естественных и искусственных объектов. К дистанционным относятся и повторные аэрофотосъемки: по их данным смещения по высоте опознаваемых немаркированных точек земной поверхности выявляются с погрешностями 0,3–0,5 м. Точность последних может удовлетворять обзорному мониторингу смещений земной поверхности, но не отвечает требуемой точности определения деформаций гидротехнических систем и компактных инже-

нерных сооружений, а также точности выявления смещений контрольных геодезических знаков, закрепленных на поверхности земли. Применяемые методы определения деформаций должны быть комплексными и практически равноточными. При этом фактические величины вертикальных и горизонтальных сдвижений дневной поверхности горных пород при добыче полезных ископаемых, соответствующие осадка и деформации инженерных сооружений должны определяться с помощью высокоточных оптико-механических и электронных геодезических приборов и точными спутниковыми методами.

В строительной отрасли нормативные требования к точности определения деформаций типовых инженерных сооружений указаны в ТКП 45-1.03-26-2006 [1] с целью достоверного

выявления опасных величин неравномерной осадки и крена строительных конструкций. Соответствующие положения [1] следует учитывать в практике инструментального мониторинга деформаций земной поверхности над разрабатываемыми месторождениями полезных ископаемых не только применительно к контролю устойчивости и стабильности геометрии дорогостоящих объектов, характеризующихся малыми допусками к величине разрушающих собственных деформаций. При разработке проекта геодезического мониторинга деформаций следует рассматривать применение специальных высокоточных геодезических методов измерений с необходимой детальностью и с учетом прогноза осадки фундаментов и смещений отдельных объектов на основе геомеханических расчетов. Такой прогноз в настоящее время может основываться на данных высокоточного спутникового геодезического мониторинга обрабатываемых территорий Солигорского промрайона [2].

Методы определения вертикальных смещений дневной поверхности и инженерных сооружений геометрическим нивелированием I, II и III классов точности [1] характеризуются сложностью и трудоемкостью. Применительно к геодезическому мониторингу осадки контрольных точек на обрабатываемых территориях методику геометрического нивелирования можно упростить. Например, при проведении нивелирных работ с расстояниями визирования на рейку  $l < 120$  м трудозатраты снижаются за счет применения нивелирных реек с метрическими шкалами с ценой деления 10 мм. Такое специальное нивелирование обозначим условно классом III-C. Отсчеты по шкале берутся при помощи нивелира с самоустанавливающейся линией (при максимальных расстояниях визирования погрешность отсчета  $m_0 \approx 3-5$  мм; средняя квадратическая погрешность (СКП) превышения  $m_h \approx 4$  мм). При этом затраты времени на нивелирные работы снижаются в 2-2,5 раза в сравнении со стандартной методикой нивелирования II класса.

Допустимая невязка превышений в нивелирном ходе при контроле осадки инженерного сооружения определяется по формуле

$$f_h = m_h \sqrt{n} \leq \Delta S_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $\Delta S_{\text{доп}}$  – допустимая погрешность измерения приращений осадки по СНиП 3.01.03–84 или по специальному требованию.

Значению  $\Delta S_{\text{доп}}$  соответствует допустимая погрешность отметки осадочной марки  $\Delta H_{\text{доп}}$  (в середине нивелирного хода)

$$\Delta H_{\text{доп}} = \Delta S_{\text{доп}} \sqrt{2}. \quad (2)$$

На основе формул (1) и (2) получено соотношение, позволяющее определить требуемую точность измерения превышений на станции способом «из середины» в зависимости от заданного значения  $\Delta S_{\text{доп}}$ , от средней длины визирного луча  $l$  на станции и длины  $L$  замкнутого нивелирного хода

$$m_h = \sqrt{\Delta S_{\text{доп}}^2 l / L}. \quad (3)$$

В табл. 1 приведены расчетные значения величин  $m_h$ , при соблюдении которых искомая осадка контрольных геодезических знаков на инженерных сооружениях может быть определена с заданной допустимой погрешностью  $\Delta S_{\text{доп}}$ .

Таблица 1

Расчетная средняя квадратическая погрешность  $m_h$  измерения превышений на станции при геометрическом нивелировании для определения осадки инженерных сооружений

Объект нивелирного мониторинга, допустимая погрешность осадки $\Delta S_{\text{доп}}$	Длина луча $l$ , м	Значение $m_h$ , мм, при длине нивелирного хода $L$ , км				
		0,2	0,5	1,0	2,0	5,0
Специальное высокоточное нивелирование						
Инженерные сооружения, $\Delta S_{\text{доп}} = 2$ мм	12	0,5	0,30	0,20	0,15	0,10
Класс нивелирования		II-C	II-C	II-C	I-C	I-C

В [3] принято, что при спутниковом позиционировании вертикальные смещения дневной поверхности (осадочных знаков на ней) в зоне обрабатываемых территорий следует определять относительно исходного пункта с погрешностью  $\Delta H_{\text{доп}} = 5,0$  мм, горизонтальные смещения между знаками по хорде общеземного эллипсоида – с погрешностью  $\Delta D_{\text{доп}} = 2,5$  мм. Однако в [2] неверно указано, что с такой же

точностью должны позиционироваться высотные координаты  $H$  и эллипсоидальные хорды  $D$ . В действительности согласно теории погрешностей измерений названные координаты необходимо определять точнее в  $\sqrt{2}$  раз, т. е.  $\Delta H_{\text{доп}} = 3,5$  мм,  $\Delta D_{\text{доп}} = 1,8$  мм, но достигнуть столь высокой точности позиционирования невозможно за счет использования GPS-аппаратуры.

Если придерживаться условий приема радиосигналов на опорных и определяемых пунктах согласно [2], то погрешности спутникового определения вертикальных и горизонтальных смещений знаков будут равны:

$$\Delta H = 5\sqrt{2} = 7,0 \text{ мм}; \quad \Delta D = 2,5\sqrt{2} = 3,5 \text{ мм}. \quad (4)$$

Сопоставление оценки по формуле (4) погрешностей спутникового количественного мониторинга смещений точек с величинами расчетных погрешностей нивелирных работ показывает, что требуемая точность определения вертикальных перемещений точек на подрабатываемой территории обеспечивается нивелированием класса III-C при ограничении длины ходов относительно устойчивых пунктов до 1,5–2,0 км.

Актуальность геодезического контроля геодинамических процессов в зонах их локализации, например в Солигорском горнопромышленном районе, вытекает, в частности, из [2], где приведены результаты дистанционного мониторинга изменений рельефа в качественном выражении последствий техногенных процессов. Выявленные признаки поверхностной и приповерхностной деформационной нестабильности четвертичных отложений нуждаются в конкретном геомеханическом анализе, положения которого содержатся в [3], и в результатах геодезических наблюдений за фактически величинами изучаемых процессов.

Системы геодезических пунктов для измерения смещений земной поверхности и деформаций инженерных сооружений на проблемных территориях следует создавать, придерживаясь известной схемы «от основной опорной сети к целевым локальным и частным». Пункты основной опорной сети геодинамического полигона следует размещать за пределами изучаемой

территории, их координаты необходимо определять с достижимо высокой точностью спутниковым позиционированием относительно минимум двух базовых пунктов, расположенных вне зоны техногенных деформаций. Количество пунктов целевой локальной и частной геодезических сетей и расстояния между ними определяется задачами геодезического мониторинга геомеханических процессов. Применительно к геодинамическим полигонам на подрабатываемых территориях схемы размещения пунктов и методы измерения их координат должны разрабатываться с учетом сведений, изложенных в [3].

Локальные наблюдательные геодезические сети в задачах геомеханики могут основываться на сочетании спутниковых и инструментальных методов повторных определений планового и высотного положений пунктов. Выбор метода измерений осадки локальной территории должен учитывать минимизацию финансовых затрат и труда на повторные измерения с заданной периодичностью при обеспечении достаточной точности результатов.

Частные геодезические сети создаются для определения величин осадки, сдвигов, прогибов и крена инженерных сооружений относительно опорных пунктов, принимаемых за неподвижные (но последнее может требовать проверки).

Вдоль водохранилищ инструментальное слежение за устойчивостью берегов и прибрежных объектов можно выполнять с помощью высокоточного электронного тахеометра типа TCR/303. Погрешность определения координат точек в плане оценивается по формуле

$$m_D = \sqrt{(D/\rho'')^2 m_\alpha^2 + m_D^2 + m_{\text{фикс}}^2}, \quad (5)$$

где  $D$  – дальность;  $\rho'' = 206265$ ;  $m_\alpha$  – погрешность измерения дирекционного угла;  $m_D$  – погрешность дальности по светодальномеру;  $m_{\text{фикс}}$  – погрешность фиксации искомой точки.

При  $D = 100$  м;  $m_\alpha = 6''$ ;  $m_D = 2$  мм;  $m_{\text{фикс}} = 1$  мм ожидаемая погрешность определения местоположения точки  $\approx 3$  мм, а величины ее планового смещения  $\Delta D \approx 3\sqrt{2} \approx 4$  мм.

## ВЫВОДЫ

Рациональная методика геодезического мониторинга техногенных деформаций земной поверхности должна базироваться на сочетании спутниковых и нивелирных методов измерения перемещений реперных точек. Геометрическое нивелирование рекомендуется на закрытой местности; тригонометрическое нивелирование при помощи электронных тахеометров рационально на открытой местности. Спутниковое нивелирование приемлемо для создания сети опорных высотных пунктов, обеспечивающих территорию мониторинга единой системой геодезических координат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Геодезические работы в строительстве:** ТКП 45-1.03-26–2006. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 66 с.
2. **Мониторинг** природной среды дистанционными и геодезическими методами / под ред. А. А. Ковалева, В. Н. Губина. – Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 1996. – 156 с.
3. **Журавков, М. А.** Геомеханический мониторинг горных массивов / М. А. Журавков, О. В. Стагурова, М. А. Ковалева. – Минск: Юнипак, 2002. – 252 с.

Поступила 10.05.2012