



УДК 528

# Совершенствование методики высокоточного нивелирования при проведении лабораторных работ по специальности «Строительная инженерия»

*Тарас Наливайко,*  
кандидат технических наук, доцент,

*Татьяна Наливайко,*  
ассистент,  
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

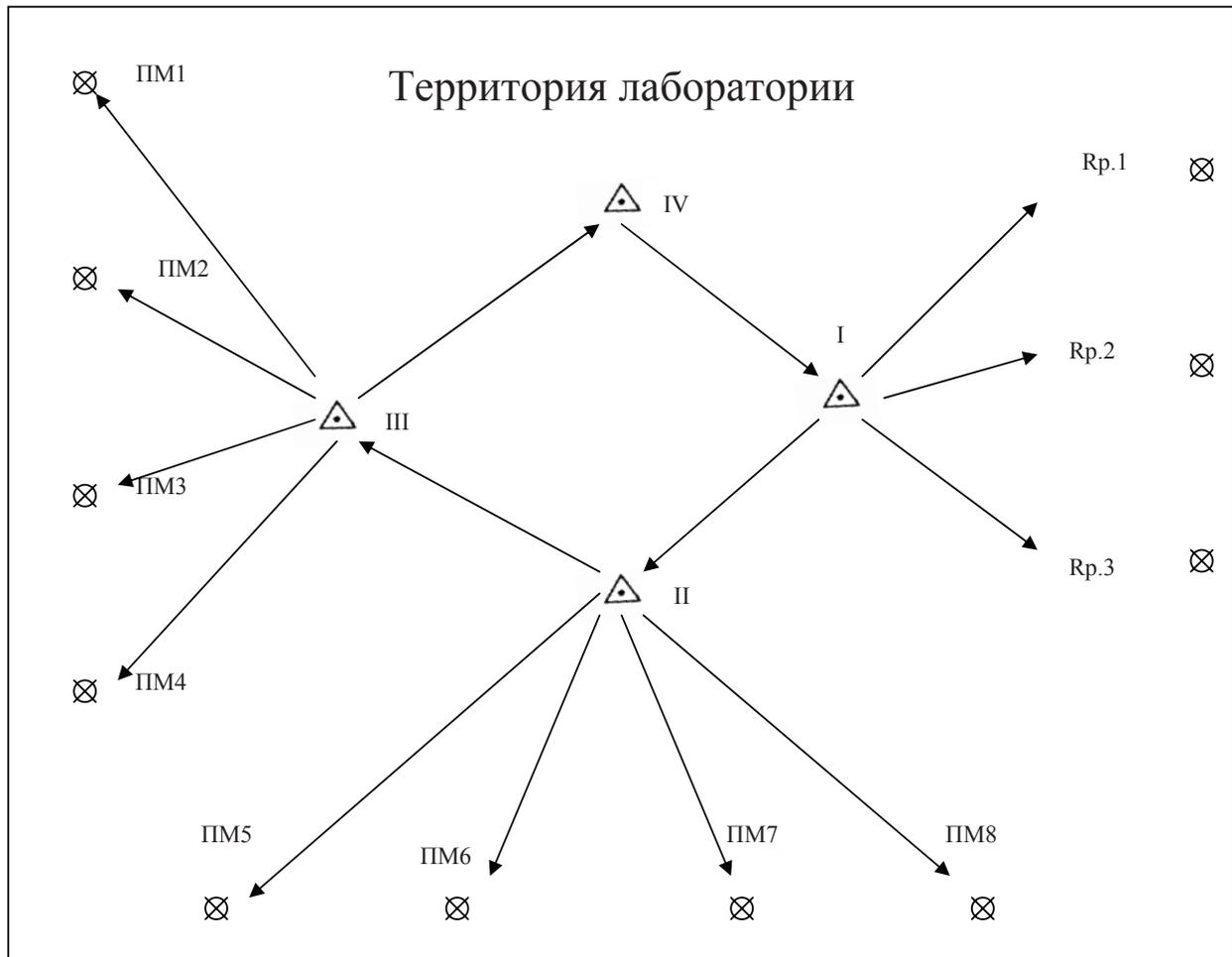
*Основная цель измерений — получение наилучших результатов.  
Ю.И. Маркузе*

**В** процессе строительства высокоточных зданий особое место занимает геодезический контроль их осадок и деформаций, который позволяет проанализировать происходящие деформационные процессы, причины их возникновения и обеспечить безопасность строительных работ. Основным способом геодезического контроля деформаций является прецизионное нивелирование I — II класса точности. Методика прецизионных измерений выступает главным видом работ для создания высотного обоснования, посредством которого устанавливается единая система высот на всей территории Украины.

Основной целью данной методики является разработка технологии геодезического мониторинга осадок и деформаций инженерных сооружений с применением прецизионных нивелиров и разработанных для этих целей нивелирных реек. При этом высотные отметки осадочных нивелирных марок, полученные в каждом цикле измерений, дают

возможность сократить время наблюдения в зоне активного строительства инженерных сооружений при относительно небольших затратах труда и надежной информативности получаемых результатов [7].

Особенность лабораторных работ по тематике геодезического контроля состоит в создании специальных стендов в учебных лабораториях. Высокоточное нивелирование требует большой аккуратности и точности в снятии отсчетов и в обработке результатов. Это дисциплинирует студентов, повышает их уровень как специалистов. Основная задача работы состоит в закреплении опорных реперов и специальных нивелирных марок, необходимых для наблюдений в камеральных условиях, а также выполнение измерений высокоточного нивелирования. В нашем случае в лаборатории были установлены опорные реперы и нивелирные марки (рисунки) в специально отведенных местах, приемлемых для выполнения данного рода работ.



Условные обозначения:

- ⊗ Rp.1 — опорные реперы; ⊗ ПМ1 — нивелирные осадочные марки;
- △ I — место установки нивелирных станций;
- △ I —————> △ II — направление нивелирного хода

### Схема расположения марок и реперов в лаборатории

Разработанная методика выполнения лабораторных работ заключается в следующем [1 – 7]:

1. На нивелирной станции △ I выполняется привязка нивелирного хода к кусту опорных реперов Rp.1, Rp.2, Rp.3, установленных в учебной лаборатории в приемлемом для высокоточного нивелирования месте.

2. Нивелирные станции △ II и △ IV служат для проложения нивелирного хода в прямом и обратном направлении.

3. Нивелирные станции △ II и △ III предназначены для выполнения прецизионного нивелирования к осадочным мар-

кам ПМ1-ПМ8 с целью определения их высот для дальнейшего анализа степени деформации инженерных сооружений.

4. Место установки нивелирных марок необходимо расположить в противоположном конце лаборатории, приемлемом для выполнения данных работ.

5. Нивелирный ход должен быть обязательно замкнутый с целью контроля выполненных измерений и распределения поправок при уравнивании.

6. Все измерения, согласно [8], должны выполняться при двух горизонтах инструмента с целью соблюдения необходимой точности.

**Н**аилучшие результаты при измерении осадок сооружений получают при нивелировании по способу совмещений. При этом наибольшую точность обеспечивают нивелиры Н05, КОИ007, КОИ004 и др. Данные нивелиры снабжены общим термостатирующим кожухом для трубы, цилиндрического уровня и механизмов, наклоняющих плоскопараллельную пластину. Кожух предотвращает их от деформации при повышении температуры окружающей среды и тем самым дает возможность применять его в широком диапазоне температур, повышая точность измерений.

В лабораторной работе используется нивелир Н05, который может эксплуатироваться при температуре от -300 до +500 °С (климатическое исполнение нивелира «У1» ГОСТ 15150-69).

В качестве нивелирных реек для лабораторной работы рекомендуется использование прецизионной рейки с инварной полоской РН 05-2000 ГОСТ 11158-83.

Геодезический мониторинг за смещениями выполняется нивелированием короткими лучами, так как расстояние между марками составляет 15-20 м.

Для дополнительного контроля и надежности измерений разработана вторая нивелирная рейка, на которой установлены две металлические полосы с миллиметровыми делениями и круглым уровнем. Металлические полосы предварительно были прокомпарированы и установлены на рейках с соответствующим натяжением.

Применение данной рейки позволило выполнить контрольные измерения при втором горизонте нивелира более оперативно и с заданной точностью.

Рассмотрим зависимость точности наблюдений от предельной погрешности при использовании разработанной рейки.

Допустимая невязка в превышении на весь нивелирный ход, когда среднее число станций на один километр хода меньше 15, составляет [8]

Допустимая невязка в превышении на весь нивелирный ход, когда среднее число

станций на один километр хода меньше 15, составляет [8]

$$f_{h_{\text{дон}}} = \pm 5\sqrt{L}. \quad (1)$$

Допустимая невязка в превышении на весь нивелирный ход, когда среднее число станций на один километр хода больше 15, составляет [9]

$$f_{h_{\text{дон}}} = \pm 6\sqrt{L}. \quad (2)$$

Примем условно, что  $L=1,8$  км, тогда

$$f_{h_{\text{дон}}} = \pm 6\sqrt{1,8} = \pm 8,0 \text{ мм}.$$

Допустимая общая погрешность расхождения в превышениях на одной станции при двух шкалах рейки не должна превышать [3]:

$$m_{\text{общ}} = \pm 0,5 \text{ мм}. \quad (3)$$

Следовательно, для одной шкалы:

$$m_{\text{общ}} = \pm 0,25 \text{ мм}. \quad (4)$$

Рассмотрим составляющие, которые входят в общую погрешность, и запишем в формулу

$$m_{\text{общ}} = \sqrt{m_0^2 + m_b^2 + m_n^2 + m_y^2 + m_p^2 + m_q^2 + m_n^2} \quad (5)$$

где  $m_0$  — погрешность отсчитывания по нивелирной рейке. Согласно экспериментальным данным, с учетом длины плеч, не превышающей 6 — 15 м (оптимальные условия при использовании разработанной рейки):

$$m_0^2 = \pm 0,1 \text{ мм}.$$

$m_b$  — погрешность неперпендикулярности рейки. Учитывая, что на рейке установлен круглый уровень, неперпендикулярность почти исключена. Погрешность может быть только от колебаний рейки при взятии отсчетов:

$$m_0^2 = \pm 0,05 \text{ мм}.$$

$m_n$  — погрешность разности плеч от нивелира до наблюдаемой точки. При условии фиксирования расстояния от нивелира до рейки стальной рулеткой и

проволокой, разность плеч можно свести до нуля, поэтому:

$$m_0^2 = \pm 0,05 \text{ мм.}$$

$m_y$  — погрешность отклонений от середины цилиндрического уровня. Возникает при условии ветреной погоды, когда уровень имеет некоторые колебания, что влияет на точность взятия отсчетов. Для уменьшения влияния погрешности при плохих погодных условиях, необходимо защищать инструмент специальным зонтом;

$$m_0^2 = \pm 0,05 \text{ мм.}$$

$m_p$  — погрешность за рефракцию. Согласно [9] величина рефракции составляет

$$m_p = \pm 0,43 \frac{d^2}{R}, \quad (6)$$

где  $R$  — радиус Земли,  $R = 6371,1$  км;

$d$  — расстояние от нивелира до рейки,

$d = 15$  м.

Тогда при хороших погодных условиях:

$$m_p = \pm 0,02 \text{ мм.}$$

При плохих погодных условиях

$$m_p = \pm 0,05 \text{ мм.}$$

$m_u$  — погрешность за цену деления рулетки. В связи с тем, что на рейке установлены полотна от металлических рулеток, после компарирования погрешность будет находиться в пределах 0,1–0,2 мм. В этом случае необходимо подобрать полотна, длиной до двух метров, в которых погрешность за компарированием не превышает 0,1 мм.

$m_n$  — погрешность натяжения рулетки. Поскольку на разработанной рейке

установлены два металлических полотна (в отличие от инварных реек), погрешность будет зависеть от степени натяжения полотен, а также от температуры внешней среды. Для этих целей необходимо выполнить исследование рейки при разной температуре и силе натяжения. Исследования показали, что погрешность равна:

$$m_n = \pm 0,1 \text{ мм,}$$

Подставив все величины в формулу (5), получим:

$$m_{\text{общ}} = \pm 0,2 \text{ мм.}$$

При допустимой общей погрешности

$$m_{\text{общ}} = \pm 0,25 \text{ мм.}$$

Если учесть, что предельные погрешности осадок нивелирных марок [8]:

$\Delta m = \Delta \text{дон} \sqrt{2} = 0,25 \times \sqrt{2} = 0,35 \text{ мм}$ , тогда предельные погрешности определения осадок нивелирных марок, расположенных на разных расстояниях после уравнивания, могут быть определены по формулам:

для длины нивелирного хода  $L = 0,5$  км

$$\Delta m_{0,5} = \frac{0,3\sqrt{2} \times \sqrt{10}}{2} = 0,6 \text{ мм,}$$

для длины нивелирного хода  $L = 1,0$  км

$$\Delta m_{0,5} = \frac{0,3\sqrt{2} \times \sqrt{20}}{2} = 0,9 \text{ мм.}$$

Таким образом, данная методика высокоточного нивелирования при проведении лабораторных работ по определению степени деформации инженерных сооружений вполне удовлетворяет допустимую точность измерений.

При разработке методики лабораторных работ по тематике геодезического контроля деформационных процессов инженерных сооружений учитывались возросшие требования к качеству подготовки специалистов, обусловленные

современным уровнем развития научно-технического прогресса.

Выполнение лабораторных работ по наблюдению за осадками зданий способствует подготовке будущих строителей к своевременному установлению предельно допустимых величин деформаций, предупреждению возникающих рисков и принятию необходимых мер по их предотвращению.

Лабораторная работа по прецизионному нивелированию выполняется с применением разработанной рейки в следующем порядке:

- Выполнить компарирование разработанных реек.
- Установить круглый уровень с соответственными поверками.
- Определить величины поправок при разных температурных режимах.
- Произвести контрольные измерения и сравнить с превышениями, полученными с помощью инварной рейки.

Примечание. Расстояние плеч не должно превышать 20 м.

Только при наличии указанных мероприятий достигается точность выполнения геодезических работ по наблюдению за деформационными процессами. В процессе проведения данных работ студенты получают навык универсальной работы и становятся опытными специалистами.

## Литература

1. Пискунов М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. — М. : Недра, 1980. — 245 с.
2. Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. Прикладная геодезия: Основн. методы и принципы инженерно-геодез. работ. — М. : Недра, 1981. — 438 с.
3. Ганьшин В.Н., Стороженко А.Ф. и др. Измерение вертикальных смещений и анализ устойчивости реперов. — М. : Недра, 1974. — 175 с.
4. Брайт П.И. Геодезические методы определения деформаций и сооружений. М. : Недра, 1965. — 276 с.
5. Левчук Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. — М. : Недра, 1981. — 438 с.
6. Кирьянов Ю. В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании / Ю. В. Кирьянов // Геодезия и картография. — 1987. — №3. — С. 12–16.
7. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV кл. — М. : Недра, 1981 г. — 163 с.
8. Кемниц Ю. В. Теория ошибок измерений. — М. : Недра, 1967 г. — 315 с.
9. Наливайко Т. А., Чубукин Р. Ю. Совершенствование методов наблюдения за осадками крупных инженерных сооружений в сложных условиях / Т. А. Наливайко // Наук. вісник будівництва. — 2014. — №2 (76). — С. 75-78.

27.11.2016