

---

## Особенности строительства и мониторинга в зонах культурно-исторического наследия на примере железнодорожного обхода Инкерманского Свято-Климентовского монастыря

*В.И. Куштин, П.Н. Щербак, А.Н. Шабельников, Д.А. Ростовцева, С.Е. Турчик*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** В работе описаны особенности строительства и мониторинга в зонах культурно-исторического наследия на примере железнодорожного обхода Инкерманского Свято-Климентовского монастыря. Проведен анализ действующих нормативно-правовых документов, регулирующих деятельность в данной сфере. Описаны этапы геомониторинга. Рассмотрено геодезическая составляющая мониторинга с учетом требований, установленных действующим законодательством.

**Ключевые слова:** геомониторинг, строительство, объект культурного наследия, нивелирование, железнодорожный путь, деформационная марка, осадки и деформации.

В России принят ряд нормативно-правовых актов (НПА), регулирующих отношения в сферах использования, сохранения и охраны объектов культурного наследия (ОКН). Ключевым из них является Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2022 № 73-ФЗ (с изм. от 19.12.2016). Также сюда можно отнести Градостроительный, Земельный и Водный кодексы. Все перечисленные НПА способствуют сохранению технического состояния ОКН, а также их исторической памяти.

Памятниками культурного наследия считаются объекты с исторически связанными с ними территориями, а также предметы, возникшие в ходе исторических событий и несущие в себе ценности для истории, архитектуры, антропологии и иных сфер. На территории ОКН запрещается строительство объектов капитального строительства (ОКС) и расширение существующих на территории ОКС.

ОКН подразделяются на три категории (рис. 1).

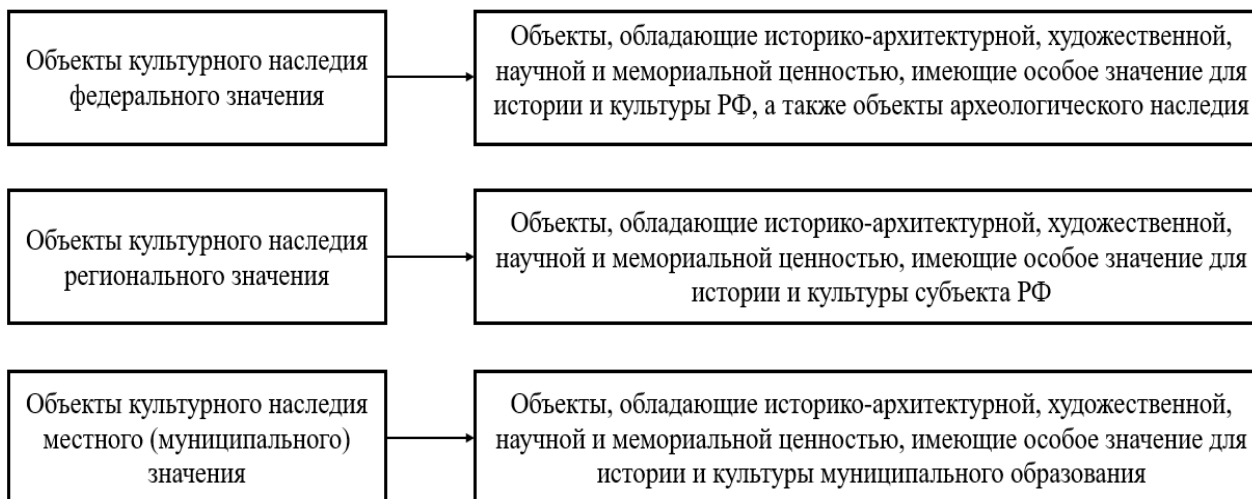


Рис. 1. - Категории объектов культурного значения. Иллюстрация автора.

Строительство железных дорог в зонах культурного наследия требует особого внимания к сохранению и защите исторических ценностей. Мониторинг таких зон должен проводиться с учетом технических норм и требований, разработанных конкретно под эти цели.

Задачами геомониторинга являются [1, 2]:

- фиксация плановых и высотных перемещений зданий и сооружений, а также инженерных сетей;
- отслеживание возникновения и роста трещин на объектах;
- мониторинг сдвигов грунта с учетом характеристик подземных вод.

Геомониторинг можно разделить на 7 этапов [3, 4]:

- 1) рекогносцировка;
- 2) разработка технического задания;
- 3) составление программы мониторинга;
- 4) создание геодезической основы;
- 5) установка деформационных марок;
- 6) проведение циклов мониторинга;
- 7) подготовка отчетов.

Основными задачами геодезического мониторинга объектов строительства и реконструкции являются [5, 6]:

- регулярная фиксация изменений параметров сооружений;
- выявление отклонений параметров от проектных значений, полученных в ходе геотехнических мероприятий;
- установление степени опасности выявленных отклонений и причин их возникновения и разработка предупреждающих и минимизирующих отклонения мероприятий.

Для объектов окружающей застройки выполняется ряд мероприятий по мониторингу их состояния [7, 8]:

- визуальный контроль;
- геодезический контроль за осадками и деформациями.

Примером строительства и переоснащения ж/д путей, лежащих на территориях культурно-исторического наследия, является железнодорожный обход Инкерманского Свято-Климентовского монастыря, относящийся к сети Крымской железной дороги. Монастырь был признан ОКН путем проведения государственной историко-культурной экспертизы. Данный этап подтверждает акт Института археологии РАН.

Инкерманский монастырь – один из древнейших пещерных мужских монастырей, основание которого уходит вглубь VIII-IX веков. Располагается монастырь в юго-западной части Крымского полуострова в пригороде Севастополя на западном берегу р. Черной (рис. 2). До 1924 года монастырь продолжал свою деятельность, однако после 1924 года постепенно начали закрываться отдельные помещения монастыря. В 1931 году монастырь окончательно прекратил свою работу и был передан музею. Во время Великой Отечественной войны монастырь использовался как штаб и в 1942 году в окрестностях монастыря советский войска сдерживали немецкие,

пытающиеся взять Севастополь. Деятельность монастыря была восстановлена в 1991 году и продолжается до сих пор.



Рис. 2. - Инкерманский монастырь и участок железной дороги, подлежащий перемещению. Фото из архива автора.

В зоны постоянного и временного отводов, требуемых для строительства, попадают такие объекты, как «Могильник №9», «Поселение тавров №5 и убежище» и Инкерманский Свято-Климентовский монастырь, являющиеся памятниками культурно-исторического наследия. Согласно проектной документации для исключения последствий воздействия эксплуатации участка ж/д пути, находящегося в непосредственной близости от ОКН, трасса ж/д пути смещается вправо от храма за счет вписывания кривых малого радиуса (от 305 до 345 м). Часть трассы представлена эстакадой, длина которой составляет 840 м, общая длина пути – 1754 м. Данные параметры обеспечивают полную сохранность монастыря и других объектов.

Геодезический мониторинг в данном случае направлен на выявление оползневых процессов, осадок зданий и сооружений в зоне строительства, а также в зонах влияния строительства, определенных в результате инженерно-геологических изысканий. В соответствии с СП 305.1325800.2017 в программу мониторинга включены виды работ, представленные в таблице 1.

Периодичность и количество наблюдений определено согласно календарному графику производства работ. Также стоит отметить, что в случае превышения значений контролируемых параметров или обнаружении новых отклонений, периодичность наблюдений может варьироваться.

Таблица № 1

## Работы по мониторингу

№ п/п	Вид работ	Количество	Количество наблюдений
1	Закладка опорных пунктов с устройством для принудительного центрирования прибора и отражающей марки	6 опорных + 1 деформационный = 7 пунктов	–
2	Закладка деформационных марок для принудительного центрирования отражающей марки	3 марки	–
3	Контроль устойчивости пунктов опорной сети для каждого цикла наблюдений	6 пунктов	6*36 циклов=216
4	Наблюдение с опорных пунктов на деформационные марки для измерения плановых и высотных перемещений контролируемых конструкций (с 3 пунктов x на 2 марки x 36 циклов = 216 набл.)	4 марки	216+216 = 432
5	Закладка скальных реперов (2 куста по 3 репера, всего 6 скальных реперов)	6 реперов	–
6	Закладка ственных и скальных марок	45 марок	–
7	Нивелирование II класса	(6+45)*36 циклов	1836 штативов



Мониторинг в зонах культурно-исторического наследия регулируется рядом нормативно-правовых документов: СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», СП 305.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве» и т.д.

В качестве геодезической высотной основы закладываются два куста по три скальных репера в начале и в конце нивелирного хода, которые будут располагаться за пределами зоны влияния строительства. Таким образом, данное расположение обеспечивает полную сохранность пунктов на время всего процесса строительства.

Следующим этапом является передача высотной отметки от пунктов государственной нивелирной сети (ГОСТ 24846-2019). Данная отметка передается путем геометрического нивелирования. В процессе определения деформаций марки устанавливаются в основания подпорной стенки, ограждающих конструкций (рис.3) и тоннеля (рис. 4) на территории монастыря в количестве 45 штук [9, 10, 11]. Количество марок регламентирует ГОСТ 24846-2019.



Рис. 3. - Подпорная стенка и ограждающие конструкции.

Фото из архива автора.



Рис. 4. - Тоннель. Фото из архива автора.

Согласно СП 22.13330.2016 и ГОСТ 24846-2019, проведение геотехнического мониторинга для исторических памятников следует продолжать как минимум два года по окончании строительства, не реже одного раза в месяц и класс точности измерений принимается не ниже II. Допускаемая погрешность измерения высотных перемещений – 2 мм, плановых – 5 мм. Нивелирование выполняется нивелиром, удовлетворяющим требованиям, перечисленным в таблице 2, одним горизонтом, способом совмещения, двойным ходом.

Таблица № 2

Технические требования к нивелиру

№ п/п	Наименование характеристики	Единицы измерений	Нормы
-------	-----------------------------	-------------------	-------

1	Увеличение зрительной трубы, не менее	крат	40
2	Цена деления установочного уровня, не более	угл. мин. на 2 мм	12
3	Ошибка самоустановки линии нивелирования у нивелиров с компенсатором, не более	угл. с	0,2
4	Цена деления барабана плоскопараллельной пластинки	мм	0,05

Камеральная обработка материалов наблюдений за осадкой сооружений включает в себя:

- проверку полевых материалов;
- анализ устойчивости реперов опорной сети;
- уравнивание опорной сети нивелирования и оценку точности;
- вычисление отметок осадочных марок и скоростей осадок марок;
- составление ведомостей осадок марок и ведомостей скоростей осадок марок;
- составление схем привязок марок и схем нивелирных ходов;
- составление эпюр осадок марок;
- анализ размеров деформации и заключение.

После проверки полевых материалов и анализа устойчивости реперов опорной сети производится уравнивание полигонов и определяются отметки осадочных марок в каждом цикле наблюдений.

Абсолютная осадка  $S$  каждой отдельной марки определяется по формуле:

$$S = H_i - H_{i-1},$$

где  $H_i$  и  $H_{i-1}$  – отметки марок в соседних циклах.

Полная суммарная осадка  $S$  отдельной марки определяется по формуле:

$$S = H_i - H_1,$$



где  $H_i$  и  $H_l$  отметки марок в первом и последнем циклах.

Точность нивелирования осадочных марок определяется по формуле:

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2},$$

где  $m_1$  – среднеквадратическая ошибка наиболее слабой точки опорной сети,  $m_2$  – СКО отметки осадочной марки, полученная по разности двойных измерений.

Скорость осадки  $V$  каждой отдельной марки определяется по формуле:

$$V = \frac{S_i}{t},$$

где  $S_i$  – абсолютная осадка отдельной марки,  $t$  – период времени, за который производилось наблюдение марки.

Средняя скорость осадки определяется по формуле:

$$V_{\text{ср.}} = \frac{S_{\text{ср.}}}{t},$$

где  $S_{\text{ср.}}$  – средняя осадка,  $t$  – период времени, за который производилось наблюдение.

Места закладки скальных реперов и деформационных марок определяются на основании моделирования природных состояний перед строительством.

В соответствии с результатами моделирования начальных природных напряжений, предшествующих строительству, определены места закладки деформационных марок и опорных пунктов непосредственно в зоне строительства. Согласно п. 7.6 ГОСТ 24846-2019, для определения горизонтальных смещений можно применять методы линейно-угловых построений с использованием электронных тахеометров, обеспечивающих точность заданного класса измерений.

Наблюдения за высотными и плановыми перемещениями производятся тригонометрическим нивелированием и линейно-угловыми определениями электронным тахеометром, устанавливаемым на пункты с принудительным

центрированием. При этом необходимо соблюдение II класса точности измерений, при котором СКО не превышает 2 мм.

Выбор электронного тахеометра осуществляется в соответствии с п. 6.4.3 ГОСТ 24846-2019. Согласно данному НПА, длина визирного луча не должна превышать 100 м. В процессе измерения расстояний при значении вертикального угла (ВУ), не превышающего 10°, допустимая погрешность – 7 мм. Если значение ВУ колеблется от 10° до 40°, погрешность не должна превышать 1 мм. При измерении ВУ, значение которых до 10°, погрешность измерений не должна быть больше 2,5". Если измеренный угол равен 10-40°, его погрешность не превышает 1,5".

Перед началом каждого цикла измерений выполняется контроль стабильности планово-высотного положения опорных пунктов по результатам линейно-угловых измерений.

Наблюдения за перемещениями деформационных марок производятся линейно-угловыми построениями способом полярных координат. СКО планово-высотного положения контрольных и деформационных марок из уравнивания высотной сети допускается не более 1 мм относительно пунктов опорной сети.

Обработка результатов нивелирования и линейно-угловых измерений осуществляется в специализированных программных обеспечениях.

Плановые перемещения деформационных марок определяются по формулам:

$$\Delta X = X_T - X_0$$

$$\Delta Y = Y_T - Y_0$$

где  $X$ ,  $Y$  - плановые координаты точки;  $T$  и  $0$  - номера циклов наблюдений ( $T$  - текущий,  $0$  - нулевой).

При обнаружении в процессе мониторинга превышающих допустимые значения осадки или деформаций существует два этапа развития событий:

- 1) прекращение строительства и принятие мер, направленных на устранение факторов, негативно влияющих на объект мониторинга;
- 2) сокращение периодов наблюдений в 2 раза.

Перед каждым циклом работ выполняется визуальный контроль, позволяющий оценить текущее состояние окружающей застройки.

По результатам каждого цикла геомониторинга составляются технические отчеты, которые должны соответствовать требованиям СП 22.13330.2016.

Проведенный анализ показывает, что перед строительством любых объектов требуется проведение геомониторинга территории, на которой планируется проведение работ. Особое внимание следует уделять объектам культурного наследия, которые широко распространены в нашей стране, обладающей большим историческим базисом. Требования к строительным работам на таких территориях должны учитывать их особый статус и быть направленными на сохранение ОКН. Соответственно, и требования к мониторингу должны разграничиваться более жесткими рамками. Поэтому, на примере Инкерманского Свято-Климентовского монастыря, можно увидеть повышенные требования в области строительства и мониторинга.

### Литература

1. Елсуков П. Ю. Развитие геомониторинга // Славянский форум. 2020. №4 (30). С. 55-65.
2. Куштин В.И., Турчик С. Е., Глинская О. С. Анализ современных методов получения геопространственной информации при мониторинге объектов железнодорожной инфраструктуры // Инженерный вестник Дона, 2022, № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8004](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8004).

3. Пимшина, Т. М., Гаджиев М. С. Основные принципы геотехнического мониторинга технического состояния транспортных тоннелей // Аллея науки. 2021. Т. 1, № 9(60). С. 589-593.
  4. Куштин В. И., Ревякин А. А., Щербак П. Н. Геоинформационные технологии для проектирования, строительства, мониторинга объектов инфраструктуры и путевого хозяйства ОАО РЖД // Инженерный вестник Дона, 2023, №11 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8801.
  5. Павлов А. И. Моделирование при мониторинге деформаций инженерных сооружений // Вектор геонаук. 2022. №2. С. 67-83.
  6. Болбаков Р. Г. Интегрированный мониторинг объектов транспортной инфраструктуры // Наука и технологии железных дорог. 2019. №3 (11). С. 39-49.
  7. Опацких, А.Н., Ревякин А.А. Анализ современных методов моделирования при проектировании и реконструкции железных дорог // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2019) 2019. С.128-131.
  8. Ferretti A. Satellite InSAR Data: reservoir monitoring from space, EAGE Publications bv, 2014. — 160 p.
  9. Шаповалов В. Л. Окост М.В., Васильченко А.А., Явна В.А. Оценка влияния характеристик грунтов земляного полотна на его устойчивость // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021). 2021. С.364.-368.
  10. Rădulescu A.T., Rădulescu C.M., Kablak N., Reity O.K., Rădulescu G.M.T. Impact of factors that predict adoption of geomonitoring systems for landslide management // Land. 2023. №4. p. 752.
  11. Алексеев Г. В. Обследование и оценка состояния бутовых фундаментов зданий исторической застройки европейской части Российской Федерации XVII-XIX вв // Процессы в геосредах. 2021. №2 (28). С. 1085-1092.
-



## References

1. Elsukov P. Yu. Slavyanskij forum. 2020. №4 (30). pp. 55-65.
2. Kushtin V.I., Turchik S. E., Glinskaya O. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8004](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8004).
3. Pimshina T. M., Gadzhiev M. S. Alleya nauki. 2021. T. 1, № 9(60). pp. 589-593.
4. Kushtin V.I., Revyakin A.A., Shcherbak P.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8801](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8801).
5. Pavlov A. I. Vektor geonauk. 2022. №2. pp. 67-83.
6. Bolbakov R. G. Nauka i tekhnologii zheleznyh dorog. 2019. №3 (11). pp. 39-49.
7. Opackih A. N., Revyakin A.A. Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo (Transport-2019) 2019. pp.128-131.
8. Ferretti A. Satellite InSAR Data: reservoir monitoring from space, EAGE Publications bv, 2014. 160 p.
9. Shapovalov V. L., Okost M.V., Vasil'chenko A.A., Yavna V.A. Transport: nauka, obrazovanie, proizvodstvo (Transport-2021) 2021. S.364.-368.
10. Rădulescu A.T., Rădulescu C.M., Kablak N., Reity O.K., Rădulescu G.M.T. Land. 2023. №4. p. 752.
11. Alekseev G. V. Processy v geosredah. 2021. №2 (28). pp. 1085-1092.

**Дата поступления: 1.10.2024**

**Дата публикации: 17.11.2024**