

УДК: 528.02; 528.06

# Геодезическое обеспечение мониторинга состояния зданий и сооружений

## Geodetic support for monitoring the condition of buildings and structures

**Ознамец В. В.**, д.т.н., доцент, зав. кафедрой, Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Москва, Россия

**Oznamets V. V.**, D.ofSci(Tech.), Assoc. Professor, Head of the chair, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAIK), E-mail: [voznam@bk.ru](mailto:voznam@bk.ru), Moscow, Russia



### Аннотация

В статье исследуется геодезическое обеспечение мониторинга состояния зданий и сооружений объектов транспортной инфраструктуры. Показано многообразие объектов, которое влечет многообразие мониторинга. Выделено два типа объектов транспортной инфраструктуры: геотехнические и природные. Показано, что сам мониторинг нуждается в поддержке, без которой его реализация невозможна. Выделено два вида поддержки: координатная и технологическая. Среди объектов транспортной инфраструктуры выделяют основные и вспомогательные. Основные объекты это те, которыми проводится мониторинг с целью исследования их состояния. Вспомогательные объекты служат для поддержки мониторинга. Статья показывает, что поддержка мониторинга осуществляется только геодезическими методами.

**Ключевые слова:** транспорт, мониторинг, геодезия, транспортная инфраструктура, состояние объектов, геотехнические объекты, здания, сооружения, осадки, деформации.

### Abstract

The article explores geodetic support for monitoring the state of buildings and structures of transport infrastructure facilities. The variety of objects is shown, which entails the variety of monitoring. Two types of transport infrastructure objects have been identified: geotechnical and natural. It is shown that monitoring itself needs support, without which its implementation is impossible. There are two types of support: coordinate and technological. Among the objects of transport infrastructure, the main and auxiliary ones are distinguished. The main objects are those that are monitored in order to study their condition. Helper objects serve to support monitoring. The article shows that monitoring is supported only by geodetic methods.

**Keywords:** transport, monitoring, geodesy, transport infrastructure, state of objects, geotechnical objects, buildings, structures, precipitation, deformations.



## Введение

Управление в сфере транспорта нуждается в точной и своевременной информации [1]. Техническое состояние зданий и сооружений объектов транспортной инфраструктуры требует периодического или систематического наблюдения. Объекты транспортной инфраструктуры находятся в динамической ситуации, поэтому анализ их состояния является первоочередной задачей. Эти задачи решает мониторинг как технология наблюдения. Однако сам мониторинг тоже нуждается в поддержке или геодезическом обеспечении. Следует подчеркнуть, что все виды мониторинга требуют геодезического обеспечения [2, 3]. Большая часть этого обеспечения сводится к созданию координатной основы [4] мониторинга. В терминах прикладной информатики [5] и прикладной геоинформатики [6] эта основа есть информационное пространство [1, 7].

В терминах геодезии эта основа есть совокупность геодезических сетей. Понятие геодезической сети является одним из основных понятий в геодезии. Геодезической сетью называют совокупность координатно-связанных прочно закреплённых точек на поверхности. Обычно их называют пунктами. Положение пунктов определено в плане и по высоте. В геодезическом обеспечении используют опорные сети как основу координации и проведения работ. Опорные геодезические сети закрепляют координатную основу мониторинга зданий, сооружений и пути на поверхности Земли

## Геодезические сети как координатная основа мониторинга

Сущность геодезического обеспечения [8] мониторинга состояния зданий и сооружений состоит в создании сетей под необходимую точность мониторинга и последующее координатное наблюдение с опорой на созданные сети. Геодезические сети делят на плановые, высотные и планово-высотные.

В плановых геодезических сетях определяют прямоугольные координаты пунктов на поверхности земли. Для построения сети на местности или в пространстве строят связанные между собой геометрические фигуры. Обычно некоторые элементы этих фигур известны, другие элементы определяют непосредственными измерениями. По геометрическим фигурам вычисляют координаты определяемых пунктов сети.

*Пункт геодезический* – точка земной поверхности, положение которой определено в известной системе координат на основании геодезических измерений. Координаты геодезического пункта в плане определяют методами триангуляции, трилатерации, линейно-угловых построений, полигонометрии, разного рода засечками, а также спутниковыми приемниками. Высоты геодезического пункта определяют методами геометрического или тригонометрического нивелирования, спутниковыми приемниками. Геодезические пункты обозначаются и закрепляются на местности путем возведения специальных сооружений.

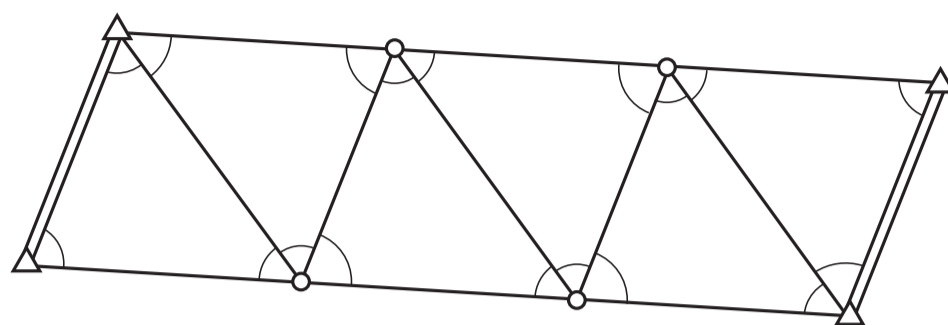


Рисунок 1. Триангуляция

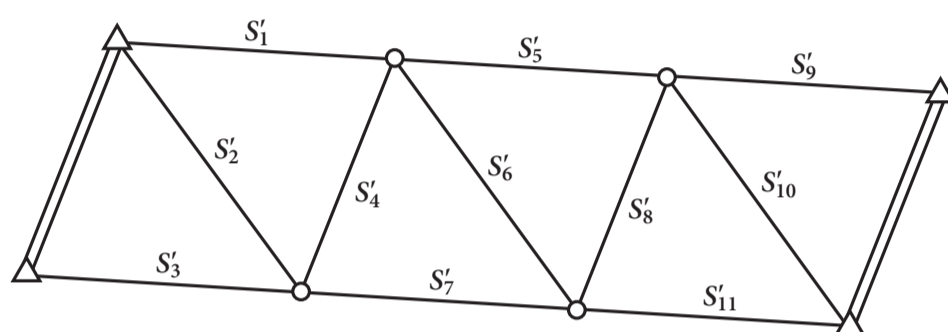


Рисунок 2. Метод трилатерации

В зависимости от формы фигур, образуемых на местности или в пространстве, и непосредственно измеряемых их элементов различают следующие основные методы построения геодезических сетей.

*Триангуляция* (рис.1). Это построение на местности примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряют все горизонтальные углы. Схемы триангуляции разнообразны. На рис. 1 представлен ряд треугольников.

Существует *микротриангуляция* – плановая съемочная сеть для наземных топографических съемок (тахеометрической, горизонтальной и т.д.), развиваемая в открытой местности методом триангуляции в виде несложных сетей треугольников, цепочек треугольников или вставок отдельных пунктов, определяемых прямыми, обратными или комбинированными засечками. Углы треугольников должны быть не менее  $20^\circ$ , а стороны не короче 150 м. Невязки в треугольниках не должны превышать  $1,5'$ .

Принцип вычисления координат пунктов в триангуляции состоит в том, что сначала по теореме синусов решают треугольники и вычисляют стороны, затем по горизонтальным углам рассчитывают дирекционные углы этих сторон, и, наконец, из решения прямых геодезических задач находят координаты определяемых пунктов. Но в действительности всё гораздо сложнее. Избыточные измерения в геодезии приводят к уравнительным вычислениям по методу наименьших квадратов. Уравнивание влечет большой объем вычислений

Другим методом создания координатной основы является трилатерация (рис.2). Этот метод основан на построении примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряют все стороны (рис. 4.2).

Принцип вычисления координат пунктов в трилатерации состоит в том, что сначала решают треугольники и находят горизонтальные углы, затем по ним определяют дирекционные углы сторон, и, наконец, из ре- >>>

шения прямых геодезических задач находят координаты определяемых пунктов. Уравнительных вычислений здесь ещё больше, чем в триангуляции. Оба метода используют жесткие фигуры, поэтому являются математически устойчивыми.

Менее жесткой технологией является полигонометрия. Она включает построение системы ломаных линий, которые образуют замкнутые или разомкнутые фигуры. В полигонометрии измеряют длины линий с высокой точностью дальномером, а горизонтальные углы точным теодолитом типа Т2 или Т5. Полигонометрию уравнивают либо строго по методу наименьших квадратов, либо приближенными способами, обычно применяют раздельное уравнивание углов и приращений координат.

**Космическая сеть.** В настоящее время находят применение спутниковые методы определения координат на базе глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США). Спутниковые приёмники дают возможность определять координаты автономными методами. Спутниковые методы по сравнению с традиционными по точности определения пространственных координат удовлетворяют всем видам топографо-геодезических работ.

Основные преимущества спутниковой технологии координатных определений перед традиционными: независимость от взаимной видимости между пунктами, от времени суток и года, всепогодность измерений, высокоточность измерений, возможность одновременно определения плановых координат и высот, достижимость полной автоматизации полевых и камеральных работ. Космические сети предназначены для построения и поддержания на современном уровне мониторинга и систем координат.

## Систематика объектов транспортной инфраструктуры

На Рис. 3 дана систематика объектов транспортной инфраструктуры, большинство которых подлежат мониторингу и мониторингу деформаций и осадок.

Все многообразие объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) делится на два класса: геотехнические и природные. Геотехнические это технические объекты, которые встроены в природную среду. Среди объектов ОТИ выделяют основные и вспомогательные. Основные ОТИ это те, за которыми проводится мониторинг. Вспомогательные объекты ОТИ это те, которые служат для поддержки мониторинга.

Координатная основа задается вспомогательными объектами. В качестве координатной основы используют: геодезические сети, границы государственные и политико-административные.

В качестве основных объектов городской инфраструктуры используют: населенные пункты, здания, постройки и их части. Для них применяют характеристики: тип населенного пункта. людность. политико-административное деление. характер и тип застройки. культурное и историческое значение.



Рисунок 3. Многообразие объектов транспортной инфраструктуры

В качестве вспомогательных объектов используют: хозяйственные объекты и ориентиры (в пределах и вне населенных пунктов). Для них применяют характеристики: хозяйственное значение. специализация. ориентирные свойства. природоохранное значение.

Важнейшее значение в транспортной инфраструктуре имеют объекты транспорта: транспорт, дорожная сеть и сооружения на суше и воде. Для них применяют характеристики: виды транспорта. класс дорог. покрытие. техническое устройство. эксплуатационная готовность. сооружения различного назначения (воздушного, сухопутного и водного транспорта).

Важную роль играют объекты водоснабжения и гидротехнические объекты. Для них применяют характеристики: виды объектов водоснабжения, периоды и объемы водности, качество воды, назначение и виды конструкций гидротехнических сооружений.

Для водных видов транспорта и интермодальных перевозок значение имеют гидрография и воды океана. Для них применяют характеристики: типы и размеры объектов гидрографии. водный режим, свойства и динамика вод. использование, охрана, морфология и генезис берегов.

Рельеф суши и шельфа играет важную роль при организации мониторинга. Для них применяют характеристики: тип, генезис, морфология. показатели динамики. морфометрические характеристики.

Важную роль для транспортной инфраструктуры играет растительность (естественная и культурная), а также донная флора и фауна. Для них применяют характеристики: жизненные формы естественной растительности, изменимость естественная и антропогенная, сельскохозяйственные и технические насаждения и культуры, образ жизни, видовые признаки, постоянство местообитания. >>>

При строительстве дорог, исследовании деформаций и осадок необходимо учитывать: грунты, донные осадки, искусственные покрытия, болота и солончаки. Для них применяют характеристики: типы грунтов, устойчивость, степень разрушенности и проходимости, генетические типы, гранулометрический состав, размерность донных осадков.

Природное и культурное наследие также входит в инфраструктуру. Для них применяют характеристики: виды, значение (статус), профиль охраняемых, предлагаемых к охране и проектируемых объектов.

Таким образом, объекты транспортной инфраструктуры характеризуются многообразием и большим набором характеристик. Это приводит к тому, что нельзя применять один вид мониторинга ОТИ на все случаи жизни. Мониторинг должен быть дифференцированным в зависимости от типа объекта и задач наблюдения за ним.

## Цифровизация мониторинга объектов транспортной инфраструктуры

Цифровизация транспорта [9] влечет цифровизацию мониторинга ОТИ. Основными характеристиками состояния ОТИ являются деформации и осадки. Деформациями и осадками сооружений называют изменение структуры здания [10]. Они возникают при воздействии природных и факторов на геотехнический объект [11]. Воздействию может подвергаться основание или все сооружение. Деформации зданий и сооружений зависят от смещений горных пород в их основаниях. Смещения зданий и сооружений происходят в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Эти перемещения называют осадкой, подъемом и сдвигом. Осадки определяют относительно выбранной горизонтальной плоскости. Ее называют плоскостью уровня. Осадки определяют по смещению осадочных марок по вертикали вниз. Если смещения осадочных марок равны, то осадки называются равномерными. Если смещения осадочных марок не равны, то осадки называются не равномерными. Не равномерные осадки приводят к деформациям зданий или его частей. Опасность тем больше, чем значительнее разность осадок. Подъем физически характеризуется как осадка, но имеет противоположное направление.

Технологии наблюдения за деформациями используют информационную модель структуры сооружения и различные логические конструкции. Измеряют не все точки, а только выбранные. Поэтому модели измерения деформаций можно рассматривать как измерение дискретной структуры. Результаты измерений представляют собой первичную цифровую информационную модель. Цифровая модель [12] деформаций есть дискретная модель. Результаты измерений, объединенные в модель, представляют собой пространственную информационную модель.

Сервисный аспект определения деформация при водит к необходимости применения технологий геосервиса [13]. Еще один фактор требует учета при анализе и наблюдении деформаций. Здание не является изолированным объектом. Оно находится в окружении других объектов.

Эти объекты создают пространственную ситуацию, влияющую на состояние здания. Этот факт приводит к необходимости применения модели информационной ситуации [14]. Таких ситуаций можно создать много поэтому возникает задача систематизации информационных ситуаций.

Цифровое моделирование деформаций и осадок сооружений также является многоаспектным и связано с видом мониторинга. По аспекту поверхности Земли и околоземному пространству разделяют такие виды цифрового моделирования: подземное [15], наземное, воздушное [16] (БПЛА) и космическое.

По специализациям разделяют геодезическое цифровое моделирование, геоинформационное [17], экологическое [18], цифровой кадастре, геотехническое цифровое моделирование [19], цифровое моделирование транспортных систем.

По масштабам разделяют: локальные цифровые модели, региональные цифровые модели, глобальные цифровые модели.

Цифровое моделирование при мониторинге транспортной инфраструктуры отвечает тенденциям цифровизации и обеспечивает удобство хранения и анализа результатов мониторинга.

Основой цифрового и связанного с ним информационного моделирования служат теоретические положения прикладной информатики и прикладной геоинформатики. Существуют разные виды цифрового моделирования. Можно ввести специальный термин цифровое деформационное моделирование. Цифровое деформационное моделирование как технология есть технология наблюдения и измерения осадок и деформаций ОТИ. Цифровое деформационное моделирование в теоретическом плане есть развитие информационного моделирования. Оно связано с дискретными наборами точек, то есть с дискретными моделями, дискретной математикой и дискретной оптимизацией.

Информационное моделирование в широком и концептуальном смысле считают методом познания. Это метод при исследовании реального пространства использует принципы пространственного моделирования и создает новое геознание [20]. Поэтому цифровое деформационное моделирование в узком смысле получает информацию о состоянии ОТИ. В широком смысле оно накапливает опыт и получает новое многоуровневое знание. Цифровое деформационное моделирование служит основой формирования картины мира [21]. В аспекте накопления опыта цифровое деформационное моделирование можно рассматривать как метамоделирование [22]. Цифровое деформационное моделирование имеет, как правило, визуальное представление. Это связывает данную технологию с методами визуальной обработки информации или видеоинформации [23, 24].

## Заключение

Статья вводит новое понятие цифровое деформационное моделирование применительно к ОТИ. Объекты транспортной инфраструктуры образуют множество типов и классов. Общая совокупность ОТИ делится на два >>>

класса: геотехнические и природные. Геотехнические это технические объекты, которые встроены в природную среду. Примером является железная дорога. Природные объекты, это тек которые существуют независимо от человека: рельеф, водоемы. Однако в силу динамики среды человеку приходится анализировать и выяснять отношения между геотехническими и природными объектами. Основным инструментом этого является мониторинг. Среди объектов ОТИ выделяют основные и вспомогательные. Основные ОТИ это те, за которыми проводится мониторинг. Вспомогательные объекты ОТИ это те, которые служат для поддержки мониторинга. Многообразие ОТИ порождает многообразие вид.

Все виды мониторинга требуют геодезического обеспечения. Геодезическое обеспечение делится на два вида: координатное и технологическое. Координатное обеспечение сводится к созданию координатной основы мониторинга. Технологическое обеспечение связано с использованием приборов. Среди разных видов мониторинга существует геодезический мониторинг, который служит основой получения информации

о деформациях и осадках ОТИ. В современных условиях результаты мониторинг формируют и хранят в виде цифровых моделей. Пространственное и цифровое моделирование является обязательной компонентой мониторинга ОТИ. Цифровое моделирование деформаций является естественным видом моделирования деформаций, поскольку работает с дискретными данными. Деформации оценивают по отдельным точкам, то есть по дискретным совокупностям.

Цифровое моделирование деформаций дает возможность изучать не только поведение точек, но и поведение их структуры. Цифровое моделирование деформаций связано с информационным моделированием. Информационное моделирование деформаций включает использование: разнообразных информационных моделей: ситуаций, единиц, конструкций, полей. При исследовании состояний ОТИ существует понятие поле мониторинга и поле деформаций. Пока в мониторинге ОТИ преобладает технологический и эмпирический аспекты. Развитие теории деформаций ОТИ является важной и пока нерешенной задачей. ■

## Список литературы

1. Ознамец В.В. Применение спутниковых технологий для создания информационного транспортного пространства // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.22-31.
2. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение железнодорожных трасс // Наука и технологии железных дорог. – 2019. Т.3.– 3(11). – С.50-59.
3. Ознамец В.В. Геодезическое обеспечение цифрового транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 3(15). – С.29-43.
4. Розенберг И.Н., Цветков В. Я. Координатные системы в геоинформатике – МГУПС, 2009. –67 с.
5. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
6. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. –360 с.
7. Раев В.К. Информационное пространство и информационное поле // Славянский форум. 2021, 4(34). С.87-96.
8. Ознамец В. В. Геодезическое обеспечение транспортной сферы // Славянский форум. -2018. – 2(20). – С.50-56.
9. Козлов А.В., Тягунов А.М. Цифровизация транспортной сферы // ИТ – Стандарт. 2021. 2(27). С.14-19.
10. Павлов А.И. Цифровое моделирование деформаций // Славянский форум. 2022, 3(37). С. 247-257.
11. Цветков В.Я., Кужелев П.Д. Железная дорога как геотехническая система // Успехи современного естествознания. -2009. – №4. – С.52.
12. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – №2. – С.147-155.
13. Кудж С.А. Геосервис как сложная организационно техническая система// Славянский форум. -2020. – 2(28). -С.55-64.
14. Цветков В. Я. Ситуационное моделирование в геоинформатике // Информационные технологии. – 2014. – №6. – С.64-69.
15. Gong H. et al. Advances in fibre optic based geotechnical monitoring systems for underground excavations //International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – Т. 29. – №. 2. – С. 229-238.
16. Choi K. A., Lee J. H., Lee I. P. Development of a close-range real-time aerial monitoring system based on a low altitude unmanned air vehicle // Spatial Information Research. – 2011. – Т. 19. – №. 4. – С. 21-31.
17. Цветков В.Я. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – №4. – С.147 -157.
18. Затягалова В.В. Геоэкологический мониторинг загрязнений моря по данным дистанционного зондирования // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №5(8). – С.94-99.
19. Булгаков С.В. Геотехнический мониторинг транспорта // Наука и технологии железных дорог. 2021. Т. 5. №1 (17). – С.42-49.
20. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
21. Чехарин Е. Е. Картина мира как когнитивная модель // Славянский форум, 2016. -4(14). – С.290-296.
22. Ожерельева Т.А. Метамоделирование в информационном поле – Saarbrucken, 2020. –109с.
23. Цветков В.Я. Методы и системы обработки и представления видеoinформации. – М.: ГКНТ, ВНИЦентр, 1991. – 113 с.
24. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей. // Известия академии наук СССР. Техническая кибернетика. -1980. – №6. – С.36-43.