ОДМ 218.5.015-2019

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ ИНКЛИНОМЕТРИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1. РАЗРАБОТАН: Обществом с ограниченной ответственностью «ГЕО-ПРОЕКТ» Руководитель работ – канд. военных наук Артемьев М.Ю. Документ разработал кандидат технических наук Устян Н.А

2. ВНЕСЕН: Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства

3. ИЗДАН: распоряжением Федерального дорожного агентства от 18.05.2020 г № 1493-р

4. ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1	Область применения	4
2	Нормативные ссылки	4
3	Термины, определения и сокращения	6
4	Общие положения	8
5	Метод и цели инклинометрических измерений	11
6	Приборы и оборудование для инклинометрических измерений деформаций земляного полотна автомобильных дорог	13
7	Рекомендации к проведению измерений	16
8	Периодичность и точность инклинометрических измерений деформаций земляного полотна автомобильных дорог	17
9	Инклинометрические измерения горизонтальных смещений	19
10	Инклинометрические измерения вертикальных деформаций (осадок) грунтового основания насыпи	23
11	Устройство измерительного канала	25
12	Порядок проведения измерений осадок основания насыпи	27
13	Обработка данных измерения	28
14	Библиография	31

1 Область применения

1.1.Настоящий отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по измерению деформаций земляного полотна автомобильных дорог с применением принципов инклинометрии» (далее - методический документ) является документом рекомендательного характера.

1.2.Методический документ подготовлен для обеспечения проведения геотехнического мониторинга (измерения деформаций земляного полотна) на автомобильных дорогах общего пользования федерального, регионального и местного значения.

1.3.Настоящий методический документ рекомендуется применять для организации геотехнического мониторинга (наблюдений за деформациями) земляного полотна автомобильных дорог при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и эксплуатации.

1.4.Документ рекомендован к применению изыскательскими, проектными, строительными и эксплуатирующими организациями, а также государственными исполнительными органами управления дорожным хозяйством.

2 Нормативные ссылки

В настоящем ОДМ использованы нормативные ссылки на следующие документы:

Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011)

ГОСТ 24846-2012 Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений

ГОСТ Р 54362-2011 Национальный стандарт. Геофизические исследования скважин. Термины и определения

ГОСТ 8.417-2002. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин

ГОСТ Р 8.674-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями

ГОСТ 22.2.04-2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные аварии и катастрофы. Метрологическое обеспечение контроля состояния сложных технических систем. Основные положения и правила

СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*

СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве

МИ 2091-90. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения физических величин. Общие требования

Примечание - При пользовании настоящими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя "Национальные стандарты" за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение данного документа, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем ОДМ применяются следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **акселерометр:** Прибор, измеряющий проекцию кажущегося ускорения (разности между истинным ускорением объекта и гравитационным ускорением). Как правило, акселерометр представляет собой чувствительную массу, закреплённую на упругом подвесе. Отклонение

массы от её первоначального положения при наличии кажущегося ускорения несёт информацию о величине этого ускорения.

3.2 **безопасное строительство (эксплуатация):** Состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан (участников дорожного движения, работников строительных организаций, дорожных служб и т. д.), государственному и/или муниципальному имуществу и т. д.

3.3 **геотехнический мониторинг**: Комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в т. ч. грунтового массива, окружающего (вмещающего) сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки.

3.4 **геодезический мониторинг:** Многогранная автоматизированная система наблюдения за объектами строительства, промышленными сооружениями, объектами инфраструктуры и т.д. В первую очередь, геодезический мониторинг позволяет отслеживать деформации и отклонения от нормы в процессе строительства зданий, дорог, тоннелей, создания инженерных сооружений (мостов, дамб), разработки карьеров.

3.5 **горизонтальное перемещение грунта:** Сдвиг грунта в целом, происходящий под действием сдвигающих сил и других факторов.

3.6 **деформация:** Изменение положения грунтов или конструкций, определяемое по вертикальным и горизонтальным перемещениям в сравнении с первоначальным положением.

3.7 **инклинометрия:** Измерение зенитного угла и азимута скважины в функции ее глубины. (Примечание - исследования выполняют магнитными инклинометрами в необсаженных скважинах и гироскопическими инклинометрами в необсаженных и обсаженных скважинах).

3.8 **инклинометр:** Прибор, предназначенный для измерения угла наклона различных объектов относительно гравитационного поля Земли.

Помимо собственно величины угла наклона, может измеряться его направление - азимут.

3.9 **инклинометрия скважин:** Метод определения основных параметров (угла и азимута), характеризующих искривление буровых скважин, контролируемый инклинометрами с целью построения её фактических координат.

3.10 **инклинометрический зонд:** Сигарообразная металлическая капсула с роликами или салазками, снабженная датчиками угла наклона (акселерометрами, гироскопическими, магнитными и другими датчиками).

3.11 **инклинограмма:** Проекция оси скважины на горизонтальную плоскость, а также профили север-юг и запад-восток. При измерениях осадок она проецируется на вертикальную плоскость.

3.12 **измерительный канал:** Специально уложенная труба в основании насыпи при его возведении, предназначенная для измерения через неё осадки насыпи с применением инклинометра.

3.13 **погрешность измерений:** Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

3.14 **репер:** Знак, который находится в определённой точке земной поверхности с известной абсолютной высотой.

3.15 **репер грунтовый:** Геодезический знак, опирающийся на слабое основание насыпи и меняющий свое положение вследствие осадки, просадки, подъема, сдвига, крена и т.п.

3.16 **слабые грунты:** Связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания при испытании прибором вращательного среза менее 0,075 МПа, удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине = 30° менее 0,02 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа).

3.17 **точность измерений:** Характеристика измерений, отражающая близость к истинному значению.

3.18 **ИИК** - инклинометрический измерительный канал

4 Общие положения

4.1 При строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах, согласно п.5 «Пособия по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах», требуется организация постоянного контроля (геомониторинга) за осадками слабого основания [3].

4.2 Рекомендации по организации и проведению наблюдений за осадками слабого основания земляного полотна должны соответствовать требованиям основных регламентирующих документов РФ по обеспечению безопасности строительства и дальнейшей эксплуатации земляного полотна автомобильных дорог (ГОСТ 22.2.04-2012, СП 22.13330.2011, ТР ТС 014/2011).

4.3 Целью проведения наблюдений (мониторинга) за осадками слабого грунтового основания является обеспечение безопасного строительства и дальнейшая эксплуатация автомобильных дорог и дорожных объектов, прилегающих к ней.

4.4 Проведение мониторинга слабого грунтового основания насыпи предусматривается при разработке проектной документации. Для организации и проведения мониторинга могут привлекаться научные или специализированные организации, имеющие соответствующее оборудование и специалистов.

4.5 Программа геотехнического мониторинга разрабатывается организацией, производящей данные работы, согласовывается Генеральным проектировщиком и утверждается Заказчиком [3];

4.6 В программе геотехнического мониторинга, помимо общих данных, содержатся разделы, описывающие:

- виды работ;
- методику и порядок проведения геотехнических работ;
- периодичность проведения геотехнических работ;
- данные для определения несущей способности сооружения (расчетные, критические и т.п.), необходимые для проведения сравнения с полученными результатами инклинометрических измерений;
- требования по информированию Заказчика о полученных результатах;

- требования по формату данных;

- требования по месту и срокам хранения полученных данных.

4.7 Основными задачами мониторинга являются [1]:

- недопущение чрезмерного нагружения слабого основания;

- отслеживание соблюдения режима отсыпки насыпи;

- установление окончания периода ожидания для отсыпки следующего слоя;

- определение хода консолидации грунтов слабого основания;

- отслеживание момента вступления осадок в допустимый интервал, когда можно начинать устройство дорожной одежды и укладку асфальта;

- сравнение имеющихся осадок с расчетными осадками;

- отслеживание смещений откосов насыпи или прилегающих склонов;

- обнаружение сползаний и сплывов прилегающих к дороге территорий;

- обнаружение кривой обрушения в существующих дорожных насыпях или откосах выемок;

- составление рекомендаций по ремонту и дальнейшей эксплуатации участка дороги.

4.8 Геотехнический мониторинг земляного полотна на слабом грунтовом основании рекомендуется выполнять в период строительства и далее не менее одного раза в год с момента ввода его в эксплуатацию (начальный период эксплуатации) [3].

4.9 В случае, если осадки основания не превышают допустимых величин (20мм/год), наблюдения могут прекращаться, а основание может считаться стабилизированным (консолидированным) [3];

4.10 При отсутствии стабилизации контролируемых параметров после начального этапа эксплуатации, геотехнический мониторинг рекомендуется продлевать.

4.11 В настоящее время измерения осадок слабого грунтового основания производятся инженерно-геодезическим методом наблюдения по осадочным маркам, которые устанавливаются в начальный период отсыпки насыпи (рисунок 1).

4.12 Наблюдения по осадочным маркам ведутся до окончательной консолидации слабого основания. Для снятия одного поперечника требуется 3 грунтовых репера - два по бровкам насыпи, а третий посередине насыпи (рисунок 2). Они устанавливаются через каждые 50 метров на всю длину участка со слабым основанием, с использованием отметок опорных реперов.

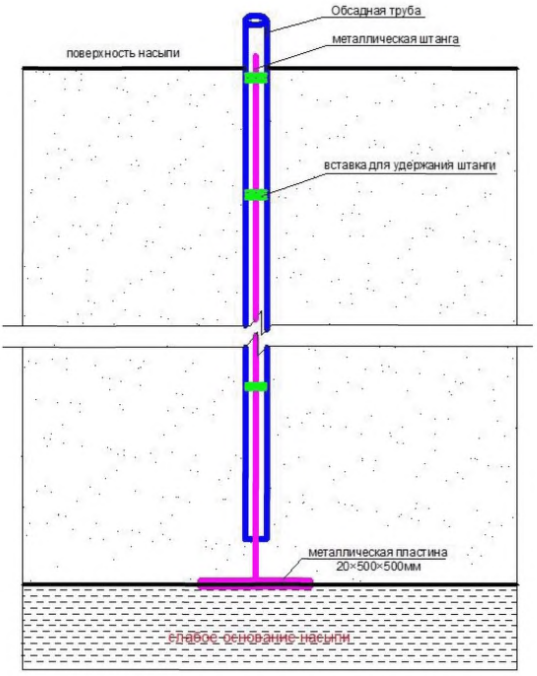


Рисунок 1 - Осадочная марка

4.13 Съемка отметок по грунтовым реперам ведется с установленной периодичностью. Для съемки применяется нивелир не ниже 2-го класса точности.

4.14 В случае, если геотехнический мониторинг выполняется на этапе строительства автомобильной дороги, периодичность наблюдений следует увязывать с графиком проведения строительно-монтажных работ.

4.15 В отдельных случаях для измерения осадок и сдвигов отдельных частей сооружений на слабых основаниях, применяются инклинометры, тензометры, тензометрические анкерные датчики силы и т.д.

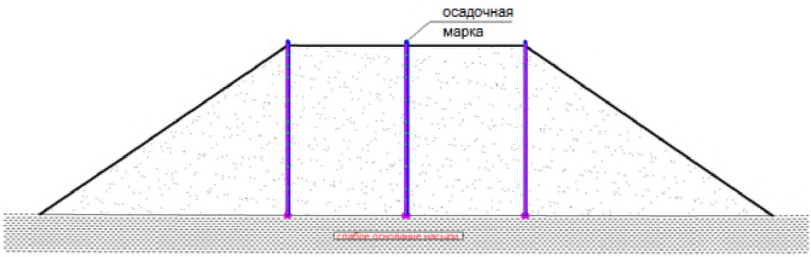


Рисунок 2 - Расстановка осадочных марок для снятия одного поперечника

5 Метод и цели инклинометрических измерений

5.1.**Инклинометрия** (или инклинометрические измерения) – один из методов геофизических исследований скважин, который постоянно используется при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых с помощью бурения. Согласно ГОСТ Р 54362 инклинометрия – это измерение зенитного угла и азимута скважины в функции ее глубины. (Примечание - исследования выполняют магнитными инклинометрами в необсаженных скважинах и гироскопическими инклинометрами в необсаженных и обсаженных скважинах).

5.2.Целью инклинометрических исследований является определение пространственного положения ствола буровой скважины, которое, вследствие ряда причин, всегда отклоняется от проектного положения. Инклинометрические измерения земляного полотна автомобильных дорог производятся с целью определения его горизонтальных и вертикальных деформаций.

5.3.Инклинометрические измерения проводят относительно устья скважины, определяя три параметра: глубину по оси скважины, угол отклонения ствола скважины от вертикали (зенитный угол θ) и азимут (рисунок 3). Измерения ведут с помощью инклинометров различного типа - магнитных, электрических, фотографических и гироскопических.

5.4.Инклинометрический метод измерений основан на исследовании изменений приращений углов отклонения от вертикали и горизонтали на базисном расстоянии датчика-зонда. При горизонтальном или вертикальном смещении инклинометрический зонд регистрирует изменение приращений углов отклонения от вертикали или горизонтали на своем базисном расстоянии, т.е. измеряется приращение углов наклона по глубине грунтового массива. Интегрируя функцию измеренных углов зонда, можно получить функцию горизонтальных (вертикальных) перемещений массива грунта по глубине. Общая величина горизонтальных (вертикальных) смещений вычисляется суммированием приращений по длине скважины на этапах производимых измерений [7].

5.5. Обработка данных горизонтального (вертикального) смещения грунтового массива по глубине выполняется с учетом всех поправочных коэффициентов на постоянные прибора, которые включены в специальную программу камеральной обработки данных.

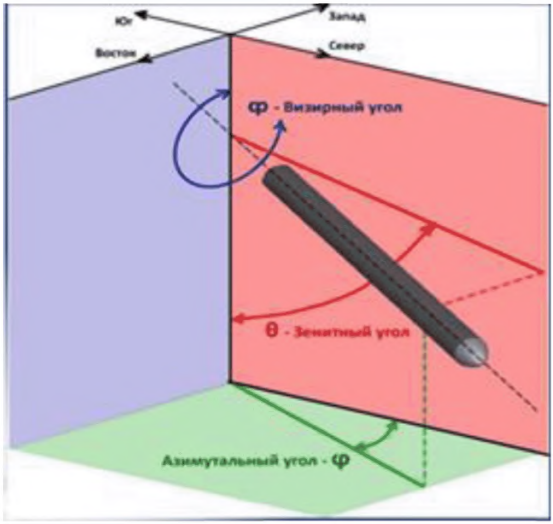


Рисунок 3 - Принципиальная схема инклинометрических измерений при бурении скважин

5.6.Для измерений смещений склонов и откосов, осадок грунтового основания насыпи автомобильных дорог применяются как стационарные (для мостов, подпорных стен и т.д.), так и портативные инклинометрические комплекты.

6 Приборы и оборудование для инклинометрических измерений деформаций земляного полотна автомобильных дорог

6.1.Инклинометр предназначен для измерения углов наклона в 2-х взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 4). Он может быть использован как автономный измеритель, так и в составе систем автоматического контроля и управления (датчиков на основе технологий MEMS microelectromechanical systems-микроэлектромеханических систем). Инклинометры выпускаются одноосные, двух и трехосные, аналоговые или цифровые. В зависимости от условий, они могут применяться как отдельные устройства (например, как датчики наклона на башне), так и в составе группы однородных датчиков [3].

6.2.Для проведения измерений в скважинах инклинометры размещаются в специальные зонды. Инклинометрический зонд (измерительный модуль - для стационарных инклинометров) изготавливается из нержавеющей стали длиной 500 и 1000 мм, диаметром 30-100 мм, внутри которого находится один или два датчика угла наклона. Он герметично закрывается, что гарантирует стабильность работы и гидроизоляцию на длительный срок эксплуатации. Для направления по измерительной трубе зонд с обоих концов имеет две пары подпружиненных колесиков. Они могут входить как в портативный комплект, так и в стационарные измерительные системы (рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 4 - Инклинометрические зонды (а), отдельные инклинометры (б)

6.3.Стационарные системы инклинометрических измерений разрабатываются по индивидуальному проекту, в зависимости от объекта и выполняемых задач.

6.4.Портативный комплект для инклинометрических измерений с ручным считыванием данных применяется для периодических измерений деформаций грунтовых оснований различных сооружений (рисунок 5). Он состоит из кабельной катушки со встроенным блоком передачи данных (1), измеряющего прибора – зонда с инклинометром (2), управляющего кабеля с маркерами (3), считывающего устройства (4), кабельного зажима (затвора) (5) или захвата для крепления кабеля в виде шкива (6).

6.5. В современных версиях инклинометров передача данных осуществляется на мобильный телефон на базе ОС Android с беспроводным интерфейсом Bluetooth как прибор отсчета.



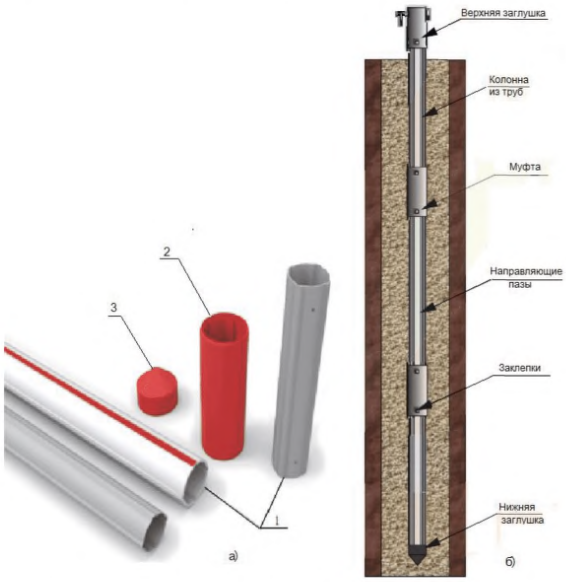
Рисунок 5 - Портативный инклинометрический измерительный комплект

6.6.Для производства инклинометрических измерений горизонтальных смещений (грунтового массива, подпорных стен или откосов) бурятся специальные измерительные скважины. Они оборудуются соединенными между собой пластиковыми трубами со специальными направляющими пазами, образуя вертикальную или горизонтальную инклинометрическую измерительную траекторию (рисунок 6).

6.7.Для правильного позиционирования зонда инклинометра при измерениях, с внутренней стороны трубы имеются направляющие пазы, по которым перемещается зонд инклинометра с помощью роликов. Четыре продольных внутренних направляющих паза расположены под углом 90°, чтобы измерения зондом выполнялись во взаимно перпендикулярных плоскостях. Стандартный диапазон внутренних диаметров направляющих труб составляет 45-85 мм.

6.8.Трубы соединяются между собой муфтами и скрепляются четырьмя заклепками на каждой трубе. Перед соединением секций труб производится герметизация стыков, соединительных муфт и заранее установленных заклепок.

6.9.При установке нижний конец колонны закрывается заглушкой, направляющие канавки строго ориентируются по направлению юг-север, запад-восток (или в сторону предполагаемой сдвижки).



а) 1-труба, 2-соединительная муфта, 3-заглушка б) колонна в сборе

Рисунок 6 - Составные части и устройство инклинометрической скважины

6.10.Для обеспечения передачи деформаций контролируемой среды к направляющей инклинометрической трубе, зазор между стенкой скважины и внешней поверхностью трубы должен быть полностью заполнен специальным составом. Физико-механические свойства данного состава (после его твердения) должны максимально соответствовать свойствам окружающей контролируемой среды.

6.11.Для заполнения зазоров рекомендуется использовать цементные, цементно-бентонитовые водные растворы. Конкретный состав раствора определяют на основании имеющегося опыта и исходя из конкретных условий объекта. Добавление в смесь бентонита проводят с целью снижения седиментации готового раствора на протяжении времени его закачивания в

скважину. Допускается использование золы уноса в качестве нейтрального заполнителя.

6.12.По окончании монтажа измерительной колонны устанавливается верхняя заглушка с замком и наносится её порядковый номер.

7 Рекомендации к проведению измерений

7.1.Инклинометрические измерения должны соответствовать требованиям к их проведению, установленных рекомендациями МИ 2091-90. Главное условие - обеспечить требуемую точность измерений в данном случае.

7.2.Результаты измерений должны выражаться в единицах величин, соответствующих требованиям ГОСТ 8.417-2002.

7.3.Измерительная система, технические средства измерений и устройства должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.674-2009.

7.4.Измерения должны выполняться приборами, имеющими зарегистрированный тип средства измерения и действующую поверку. Зонды портативных инклинометрических комплектов должны иметь межповерочный интервал не более 1 года;

7.5.Инклинометрические измерения рекомендуется регламентировать соответствующими методиками их выполнения;

7.6.Программа проведения геомониторинга, оформление технического задания, обработка результатов и выдача отчетов заказчику должна соответствовать требованиям ГОСТ 24845-2012 и СП 12.13330.2016;

7.7.При планировании измерений необходимо проанализировать правильность постановки измерительной задачи, установить требования к погрешности измерений, числу измерений, квалификации оператора, форме представления результатов измерений и предусмотреть мероприятия, обеспечивающие их выполнение. Они должны соответствовать требованиям МИ 2091-90;

7.8.Для измерения величин горизонтальных смещений (сдвига)

откосов и осадок основания насыпи применяются инклинометры, имеющие точность измерения не менее 0,01градус. Сдвиги откосов измеряются двух или трехосевыми инклинометрами, а осадки одно, двух или трехосевыми.

7.9.Инклинометрическая труба (измерительный канал из труб) должна обеспечивать свободный проход инклинометра выбранной модели внутри трубы и иметь возможность беспрепятственного извлечения из неё при любых изменениях геометрии трубы;

7.10.Инклинометрическая труба после проведения измерений должна закрываться заглушкой для поддержания чистоты внутри трубы, чтобы обеспечить беспрепятственный проход колесиков зонда по канавкам при измерениях;

7.11.Места расположения инклинометрических труб и измерительных каналов должны быть ограждены для обеспечения их сохранности.

8 Периодичность и точность инклинометрических измерений деформаций земляного полотна автомобильных дорог

8.1.Организация и проведение инклинометрических измерений деформаций земляного полотна зависят от места расположения объекта, требуемой частоты проведения измерений, сложности участка, климатических условий и прочих обстоятельств. Исходя из них составляется программа проведения геомониторинга и утверждается Заказчиком.

8.2. Мониторинг деформаций следует проводить в течение всего периода строительства, а в отдельных случаях и в период эксплуатации, до стабилизации состояния земляного полотна. Значение деформаций принимается по расчету, нормативным документам или устанавливается проектной или эксплуатирующей организацией с включением в техническое задание и программу мониторинга.

8.3.По времени проведения инклинометрические измерения делятся на постоянные (непрерывные), периодические и разовые.

8.4.Постоянные измерения предусматриваются на объектах, имеющих высокий уровень ответственности, или подверженных опасным природным и техногенным воздействиям. При этом способе устраиваются постоянные пункты наблюдения с заложенной в них аппаратурой, которая постоянно находится в рабочем состоянии.

8.5.Периодические инклинометрические измерения организовываются на тех объектах или участках, где деформации имеют большой срок реализации и не требуют постоянного наблюдения. К ним относятся земляное полотно автомобильных и железных дорог на пойменных участках, насыпи на слабом грунтовом основании, откосы высоких насыпей и глубоких выемок, конусы мостов и подходы к ним, гофроконструкции, подпорные стены, ограждения котлованов, укрепительные сооружения и т.д. Измерения могут производиться как с применением временно заложенной на участке группы датчиков, так и с применением портативных инклинометрических комплектов при плановых измерениях.

8.6.Разовые инклинометрические измерения производятся для отдельных объектов при необходимости уточнения его отклонения от заданного положения. При этом может использоваться один или несколько приборов одновременно.

8.7.Сбор и обработка полученной информации инклинометрических измерений может производиться автоматизированным и раздельным способами. При автоматизированном способе применяются передающие устройства от заложенных на объекте датчиков в центр автоматизированной обработки и анализа, который ведет наблюдение за данными объектами непрерывно.

8.8.При раздельном способе сбор данных производится на месте с заложенных ранее пунктов измерений или при непосредственном измерении. Дальнейшая обработка данных производится после их получения в камеральных условиях или на месте с применением ноутбука.

8.9.Инклинометрические измерения деформаций земляного полотна автомобильных дорог относятся к косвенным методам определения параметра измерения, т.к. при измерении горизонтальных и вертикальных смещений земляного полотна измеряются углы наклона измерительной оси, а величина смещения измерительной оси определяется математически, в миллиметрах.

8.10.Согласно таблице 2 ГОСТ 24846, земляные сооружения отнесены к IV классу точности измерений, где допускаемые погрешности вертикальных перемещений составляют 10 мм, а горизонтальные 15 мм.

8.11.Точность измерений вертикальных и горизонтальных деформаций при инклинометрических измерениях земляного полотна следует определять по таблице 1 [2].

Таблица 1 Точностные характеристики скважинных инклинометров

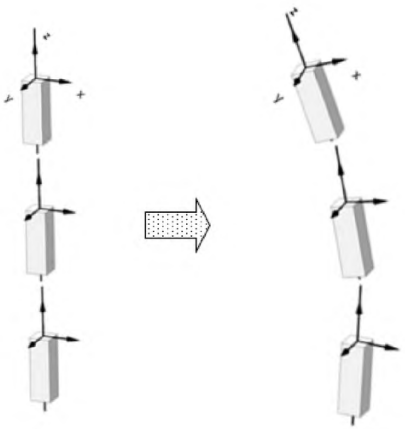
Тип инклинометра	Параметр	Значение параметра	
		вертикальный инклинометр	горизонтальный инклинометр
Портативный	Точность измерительного зонда	±0,05 % измерительного диапазона (±0,26 мм/м для диапазона ±30°)	
	Повторяемость результатов измерений профиля длиной 30 м (при неизменном положении инклинометрической скважины)	±2 мм	±10 мм
Стационарный	Повторяемость результатов измерений цепочки измерительных модулей стационарного инклинометра, измерительный диапазон ±10°, расстояние между модулями - 2 м (при неизменном положении инклинометрической скважины)	±2 мм	±2 мм
Портативный и стационарный	Разница в результатах измерений, выполненных с временным интервалом 24 ч (при одинаковых условиях измерения)	±0,1 мм/м	

8.12. Для получения требуемой точности измерений с использованием портативных скважинных инклинометров, необходимо обеспечить повторяемость определения положения зонда в отдельных измерительных циклах ±5 мм.

9 Инклинометрические измерения горизонтальных смещений

9.1. Инклинометрические измерения горизонтальных смещений предназначены для определения смещений откосов насыпей и выемок, оползневых склонов, конусов мостов и т.д. Они производятся с применением цифровых вертикальных двух или трехосных инклинометров.

9.2. Суть метода состоит в том, что смещение грунтового массива приводит к изменению углового положения колонны из инклинометрических труб. Заложенные в него инклинометрические датчики или



инклинометрический зонд регистрируют величину этих изменений (рисунок 7).

Рисунок 7 - Положение инклинометрической трубы с датчиками до и после сдвига грунтового массива

9.3. Для измерений горизонтальных смещений откосов или склонов оборудуются специальные измерительные скважины на определенных точках.

9.4. Количество и места скважин, периодичность измерений и сроки наблюдения определяются при составлении программы проведения геомониторинга.

9.5. Скважины бурятся ниже ожидаемого расположения поверхности скольжения и оборудуются инклинометрическими трубами, служащими осью той поверхности, отклонения которой измеряет инклинометр, а также обеспечивающими защиту для измерительного прибора или группы приборов (рисунок 8).

9.6. После обустройства скважины выполняются первоначальные замеры. Измерительный зонд с колёсиками вставляется в противоположные пазы трубы и опускается до низа скважины. Измерения производятся путем пошагового поднятия зонда по направляющим пазам внутри скважины с одновременным замером отклонения инклинометра от вертикали по двум осям.

9.7. Мобильный регистратор активирует и принимает по беспроводному Bluetooth-каналу измерения MEMS-датчиков зонда инклинометра. Последующее сохранение результатов измерений, их первичная обработка и визуализация осуществляются с помощью установленного на регистраторе программного обеспечения. Перемещение зонда происходит с шагом 0,5 м, который обеспечивается за счет поочередной фиксации цилиндрических стальных маркеров, закрепленных на кабеле в специальном кабельном затворе наверху скважины.

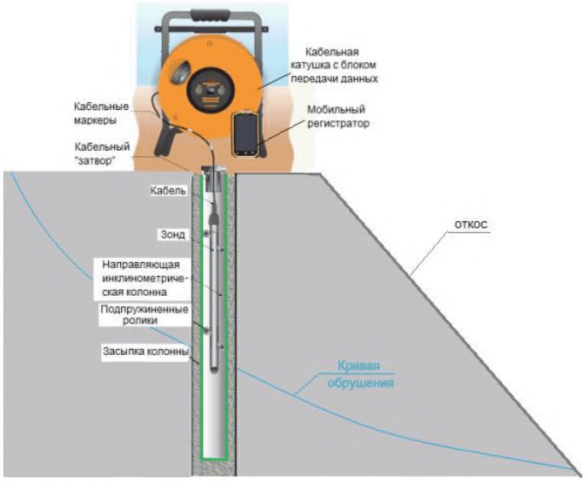


Рисунок 8 - Измерение горизонтальных смещений грунтового массива портативным инклинометрическим измерительным комплектом

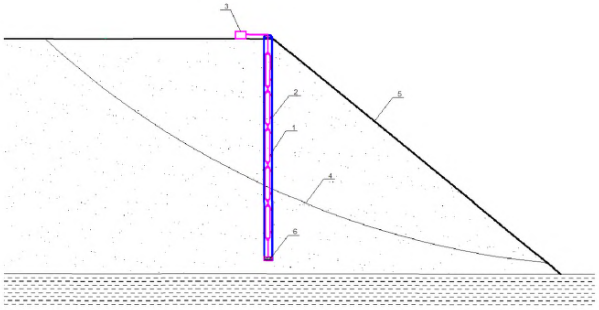
9.8. Фиксация и дальнейший анализ информации о текущем угловом положении датчиков, входящих в единый массив от вертикали, позволяет реконструировать существующую на данный момент форму траектории контрольной скважины. Путем сравнения полученных данных с предыдущими, определяется наличие деформаций и оцениваются их количественные характеристики, включая величину и направление сдвига по всей глубине скважины.

9.9. По данным замеров строится план (инклинограмма), т.е. проекция оси скважины на горизонтальную плоскость, а также профили север-юг и запад-восток.

9.10.После проведения периодических измерений с помощью цифрового вертикального инклинометра сравниваются последовательно полученные профили инклинометрической скважины. При этом, определяется глубина, направление, величина и скорость горизонтального смещения контролируемого грунтового массива или строительного объекта.

9.11.В качестве реперной точки, относительно которой осуществляется расчет смещений измерительных точек в профиле, допускается использовать нижнюю измеряемую точку в скважине или верх направляющей трубы. Для измерения абсолютных перемещений необходимо периодически определять координаты верхней точки с применением геодезических методов контроля [2].

9.12.На объектах с высоким уровнем ответственности скважины оборудуются набором (массивом) трехкоординатных микромеханических (акселерометрических) датчиков наклона, соединенных в общую цепочку с фиксированным шагом на постоянной основе (рисунок 9).



1-датчики, объединённые в цепь; 2-инклинометрическая труба; 3- блок сбора и передачи данных; 4- поверхность обрушения; 5 -откос; 6-анкер

Рисунок 9 - Схема установки датчиков при автоматизированном мониторинге оползневых откосов

9.13.Для обеспечения точности фиксации горизонтальных смещений на дне скважины нижний конец массива датчиков фиксируется анкером или бетонной пробкой. Передача данных производится непрерывно автоматической системой в мониторинговый центр, где производится сбор и обработка полученных данных от объектов наблюдений.

9.14.При периодических наблюдениях также могут применяться скважины, оборудованные массивами инклинометров, которые могут находиться там постоянно, или вводиться только во время измерений. При

таком способе измерений сбор данных с приборов производится при непосредственном подключении к ним устройства для считывания и накопления данных в ручном режиме [6].

9.15.Массив инклинометрических датчиков может выполняться в виде соединённых между собой зондов или в форме гибкой сборки в резиновой оплетке (рисунок 10).



Рисунок 10 - Массив инклинометрических датчиков в форме гибкой сборки

9.16.Результаты измерений после обработки оформляются в виде графиков, показывающих состояние массива в настоящее время и динамику изменений с начала проведения геомониторинга (рисунок 11) .

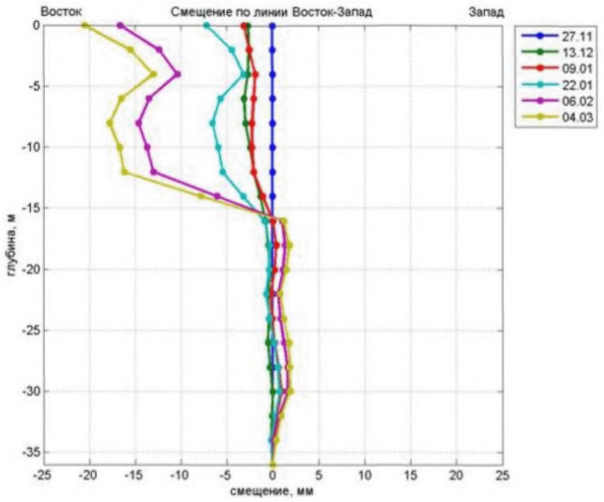


Рисунок 11 - Результаты измерения сползания склона по оси запад-восток

10 Инклинометрические измерения вертикальных деформаций (осадок) грунтового основания насыпи

10.1 Измерение осадок насыпи является одной из основных задач проведения геотехнического мониторинга земляного полотна автомобильных дорог.

10.2 Возможность измерения осадок методом инклинометрии состоит в том, что при осадке основания насыпи измерительный канал из пластиковых труб, уложенный поперек оси дороги, изгибается, оседая на ту же величину, что и насыпь. Он повторяет профиль основания, и каждая точка его оси приобретает новое значение угла наклона $\propto_i$ относительно вектора силы тяжести G. Принципиальная схема измерения осадок приведена на рисунке 12.

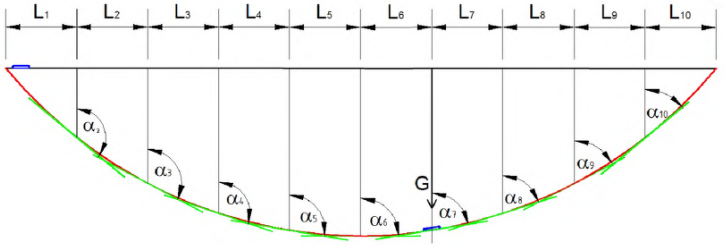
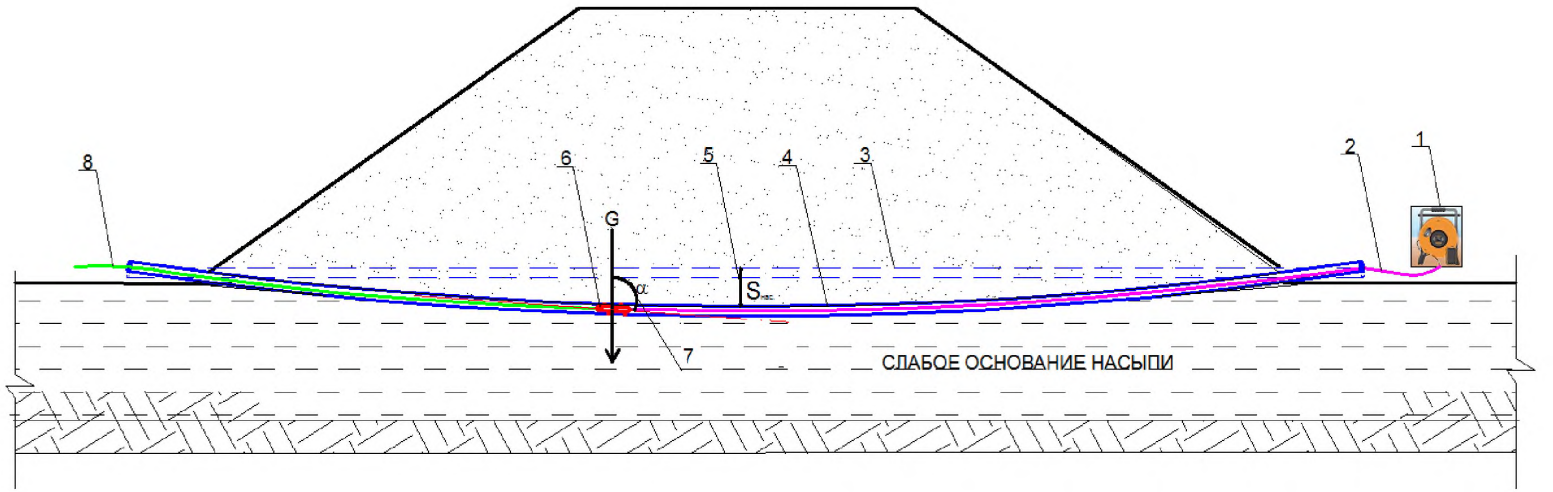


Рисунок 12 - Схема измерения осадок насыпи инклинометром

10.3 При перемещении инклинометрического зонда внутри трубы с установленным шагом L измеряется угол α_i между вектором силы тяжести G и осью зонда на каждой точке измерения. Для обеспечения требуемой точности измерений, длина шага L должна равняться длине зонда, т.к. от частоты заданных точек зависит точность измерений.

10.4 Оборудование для измерения применяется то же, что и при измерении горизонтальных смещений, но зонд оборудуется одно или двухосным инклинометром. Измерение осадок насыпи производится с применением инклинометрического измерительного канала (ИИК) из инклинометрических труб, уложенных поперек оси дороги в основании насыпи. Принципиальная схема организации измерений осадок основания насыпи с применением инклинометра приведена на рисунке 13.

10.5 Регистрация данных от инклинометра при измерении осуществляется устройством для считывания данных или ноутбуком, которые имеют своё программное обеспечение. После каждого измерения по полученным данным строится инклинограмма (кривая), показывающая величину осадок на каждой точке измерительного канала.



1- портативный инклинометрический комплект; 2-кабель инклинометра; 3-первоначальное положение измерительного канала; 4-инклинометрический измерительный канал после осадки насыпи; 5-осадка насыпи; 6-инклинометр; 7 – измеряемый угол наклона; 8 - протяжной шнур

Рисунок 13 Принципиальная схема работы инклинометрической системы измерения осадок

10.6 При последующих измерениях производится сопоставление полученных данных с предыдущими данными, определяется величина прироста осадок и скорость накопления на каждой точке измерения (если не требуется или не предусмотрена привязка измеряемых точек к высотным отметкам геодезической сети).

10.7 В случаях, когда требуется привязка измеряемых точек к высотным отметкам геодезической сети, в качестве реперной точки применяется опора-репер, относительно которой осуществляется расчет осадок (рисунок 15).

11 Устройство измерительного канала

11.1 Для производства измерений вертикальных смещений (осадок) насыпи или его основания, устраивается инклинометрический измерительный канал (ИИК) [5]. Он оборудуется из соединенных между собой специальных труб, образуя горизонтальную инклинометрическую измерительную траекторию, по которой перемещается зонд и измеряет вертикальные углы каждой точки (рисунок 14).



Рисунок 14 Устройство измерительного канала на КАД г. Санкт-Петербурга

11.2 ИИК монтируется из инклинометрических труб методом сварки или с применением соединительных муфт. Он укладывается в основании насыпи поперек оси дороги на начальном этапе строительства. Диаметр трубы должен обеспечивать свободный проход измерительного прибора (зонда) по всей длине канала. Труба должна иметь достаточную прочность, чтобы не ломаться и не сминаться под нагрузкой от веса насыпи.

11.3 При разработке программы проведения геомониторинга рассчитывается необходимое количество измерительных каналов. По аналогии с установкой осадочных марок, они могут устраиваться не реже, чем через каждые 50м.

11.4 Для каждого ИИК составляется схема укладки, в которой указывается порядковый номер, конкретное место укладки (пикетаж), длина, высотные отметки опоры-репера (при его наличии), центр ИИК с привязкой к оси дороги, количество измеряемых точек, интервал между ними, местоположение опорных реперов.

11.5 Для укладки ИИК в основании насыпи подготавливается полоса шириной 3 метра, уплотняется и выравнивается. Ось дороги закрепляется

колышком.

11.6 При монтаже стыков в трубы продевается протяжной шнур из прочного материала для протягивания зонда с инклинометром по ИИК. Концы шнура закрепляются на входе и выходе измерительного канала во избежание вытаскивания из него.

11.7 Смонтированный ИИК с протяжным шнуром внутри укладывается на подготовленное основание и производится разметка точек замера, чтобы определить начальную точку установки инклинометра. Шаг замера на трубе должен соответствовать длине инклинометрического зонда. Нумерация точек начинается со стороны опоры-репера (при его наличии).

11.8 После монтажа ИИК засыпается грунтом толщиной 50 см и производится первичная (эталонная) съемка инклинометром с записью данных в журнал наблюдений.

11.9 После измерений протяжной шнур убирается внутрь ИИК, концы закрываются специальными заглушками и устраивается ограждение вокруг обоих концов.

11.10 После устройства ИИК составляется Акт с указанием всех параметров и подписывается представителями Заказчика, подрядчика и проектной организации.

11.11 В случаях, когда требуется привязка измеряемых точек ИИК к высотным отметкам профиля, на одной стороне насыпи устанавливается опора-репер в соответствии с СП 126.13330.2017, приложение Г «Типы и конструкции знаков закрепления основных и главных разбивочных осей, глубинных реперов». Опора-перер устраивается на расстоянии 2-х метров от нижней точки откоса насыпи, на котором фиксируется один конец ИИК. Стойки репера устанавливаются на расстоянии 2 м друг от друга и соединяются между собой плоской перемычкой, создавая ровный участок с постоянными высотными отметками (рисунок 15).

11.12 Конец ИИК закрепляется к реперу хомутами не плотно, чтобы концы труб не были зажаты и могли свободно двигаться при осадке насыпи

вместе со слабым основанием. Второй конец ИК остается не закрепленным, т.к. измерения ведутся только со стороны опоры-репера.

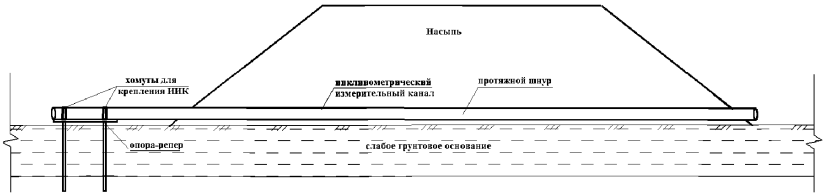


Рисунок 15 - Оборудование измерительного канала

11.13 Для обеспечения требуемой точности измерений осадок, необходимо периодически контролировать отметку опоры-репера с применением геодезических методов контроля.

11.14 В случае, если измерительный канал не уложен при отсыпке насыпи, его можно проложить с применением горизонтально-направленного бурения после её отсыпки. При этом, возможность измерения первоначальных осадок основания насыпи теряется.

12 Порядок производства измерений осадок основания насыпи

12.1 Измерения осадок слабого грунтового основания насыпи могут производиться как отдельно, так и входить в комплекс работ по геомониторингу объекта в целом;

12.2 Измерения осадок производятся согласно программе проведения мониторинга с фиксацией данных в специальном журнале наблюдений;

12.3 Работы выполняют два специалиста: инженер-геофизик и техник. Для удобства общения при производстве работ они могут снаряжаться портативными рациями.

12.4 По прибытии на место, они снимают заглушки с ИИК, проверяют состояние измерительного канала, опоры-репера и сохранность протяжного шнура;

12.5 Оборудование собирается в цепь, проверяется целостность соединений и производится тестирование инклинометра;

12.6 По окончании проверки работоспособности оборудования начинаются измерения. Техник переходит на другую сторону насыпи, достает протяжной шнур и ждет команды инженера. Инженер присоединяет к зонду кабель инклинометра и протяжной шнур, устанавливает его на начальную точку отчета в ИИК и снимает первый отчёт. После этого по команде инженера техник протягивает зонд перетяжным шнуром на следующую точку измерительного канала и ждет. Инженер наблюдает на экране считывающего устройства за работой инклинометра и после фиксации очередной отметки дает команду технику перетянуть зонд на следующую точку. Таким образом, последовательно измеряются углы наклона всех точек в измерительном канале, намеченные в период укладки.

12.7 По достижении последней точки, инженер извлекает зонд из измерительного канала, отсоединяет кабель инклинометра и протяжной шнур, переворачивает зонд и соединяет кабель к разъему зонда с другого конца. Протяжной шнур также прикрепляется с другого конца, и зонд помещается обратно в трубу. Измеряются все те же точки, что и при первом проходе, но при развернутом на 180° зонде.

12.8 После проведения измерений методом «туда и обратно» сопоставляется инклинограмма данного ИИК и определяется среднеквадратичная ошибка измерений. В случае, если ошибка выше допустимой (более чем ±0,05% от измеренного расстояния), измерения повторяются.

12.9 По окончании измерений оборудование убирается, а концы ИИК закрываются заглушками.

13 Обработка данных измерения

13.1 Первичные данные измерений сохраняются в специальных электронных журналах наблюдений портативного комплекта в формате Excel

в градусах и миллиметрах.

13.2 Полученные данные могут обрабатываться на месте прикладной программой портативного инклинометрического комплекта, или можно передавать по электронной почте для обработки в камеральных условиях.

13.3 Результаты выдаются в виде таблиц и инклинограммы (рисунок 16).

13.4 После обработки они сравниваются с первичными данными, определяется величина осадки насыпи и скорость прироста за истекший срок [4].

13.5 По результатам измерений составляется отчет с выводами о состоянии грунтового основания насыпи, о динамике развития осадок, о ходе консолидации слабых грунтов и возможности устройства дорожного покрытия;

13.6 В случае, если осадки больше не растут или их прирост составил не более 20 мм в год, периодичность проведения измерений увеличивается или измерения прекращаются вообще [3].

Расстояние, м	Вертикальные перемещения, мм Скважина №2				
	15.05.2018	15.06.2018	15.07.2018	22.08.2018	14.09.2018
0	-3,06	3,08	1,34	-0,19	0,81
0,5	-3,11	3,08	1,12	0,21	0,93
1	-2,72	3,16	1,61	0,74	1,49
1,5	-2,52	3,15	1,80	1,11	1,76
2	-2,29	3,09	1,88	1,41	2,02
2,5	-2,08	3,03	2,01	1,79	2,41
3	-1,89	2,96	2,15	2,15	2,73
3,5	-1,76	2,84	2,12	2,29	2,85
4	-1,59	2,77	2,09	2,56	3,13
4,5	-1,47	2,66	2,06	2,78	3,30
5	-1,28	2,60	2,02	2,99	3,51
5,5	-1,12	2,51	1,99	3,28	3,77
6	-0,92	2,37	2,05	3,61	4,06
6,5	-0,77	2,24	2,01	3,79	4,24
7	-0,68	2,05	1,91	3,96	4,36
7,5	-0,55	1,88	1,81	4,11	4,46
8	-0,45	1,68	1,75	4,28	4,61
8,5	-0,40	1,50	1,65	4,42	4,76
9	-0,25	1,36	1,66	4,60	4,92

Окончание таблицы

9,5	-0,71	1,20	1,56	4,65	4,93
10	-0,70	1,05	1,41	4,58	4,87
10,5	-0,65	0,92	1,28	4,45	4,72
11	-0,64	0,82	1,13	4,22	4,48
11,5	-0,66	0,68	0,91	3,91	4,18
12	-0,75	0,54	0,54	3,30	3,57
12,5	-0,73	0,48	0,38	2,98	3,25
13	-0,81	0,35	0,10	2,39	2,68
13,5	-0,81	0,27	-0,01	2,10	2,34
14	-0,81	0,26	-0,13	1,69	1,97
14,5	-0,78	0,20	-0,20	1,46	1,74
15	-0,95	0,14	-0,47	0,58	0,85
15,5	-1,02	0,07	-0,54	0,22	0,50
16	-0,96	-0,02	-0,59	-0,02	0,23
16,5	-0,90	-0,06	-0,57	-0,11	0,11
17	-0,80	-0,03	-0,51	-0,09	0,16
17,5	-0,75	-0,06	-0,52	-0,13	0,07
18	-0,65	-0,06	-0,43	0,00	0,15
18,5	-0,55	-0,03	-0,35	0,11	0,24
19	-0,42	-0,05	-0,23	-0,18	-0,11
19,5	-0,29	-0,04	-0,09	-0,10	-0,09
20	-0,08	0,03	0,02	0,27	0,30
20,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

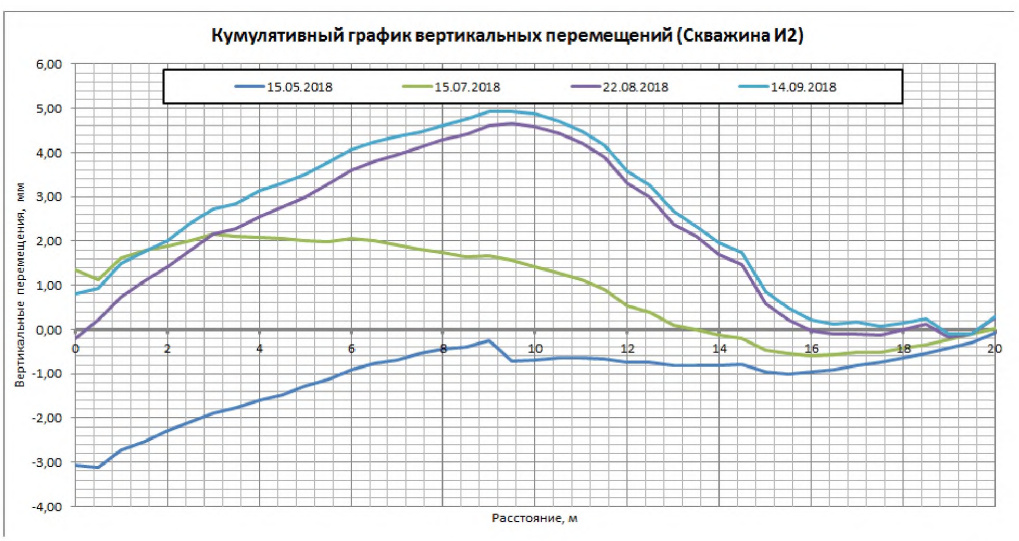


Рисунок 16 - Пример таблицы и графика инклинометрических измерений осадок насыпи

13.7 В отдельных случаях, по решению Заказчика, наблюдения могут быть продлены и в период эксплуатации, или изменена периодичность их проведения.

Библиография

1.	СП 126.13330.2017	«СНиП геодезические работы в строительстве».- М.: Минстрой России, 2017.-66с.
2.	СП 305.1325800.2017	Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.- М: Минстрой России, 2017.-58с.
3.	Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах	М.: Минтранс РФ, 2003.-218с.
4.	Отчет о проведении геотехнического мониторинга на объекте: «Реконструкция мостового перехода через р. Печенгу на км 1517автомобильной дороги М-18 «Кола» от Санкт-Петербурга через Петрозаводск, Мурманск, Печенгу до границы с Норвегией (международный автомобильный пункт пропуска «Борисоглебск») в Мурманской области (Отчетный период: с 21.11.2012 по 13.12.2012) Шифр: СП/ПБ26-1/5.	СПБ.: ООО «Геострой», 2012.-74с
5.	Отчет о проведении геотехнического мониторинга съезда №2 на объекте: «Автомобильная дорога Пискаревский проспект от ул. Руставели до КАД» по титулу «Строительство продолжения Пискаревского проспекта от ул. Руставели до КАД с	СПБ.: ООО НТЦ «Геотехнологии СПБ», 2008.-38с.

устройством путепровода через ж.д. пути ст. Ручьи транспортной развязки на КАД»

6. Метод геотехнического мониторинга с использованием глубинных микромеханических датчиков наклона — Денисов В.М. //Инженерные изыскания.- 2013.-№8.-с.110-114.

7. Основные принципы инклинометрии скважин. — [Электронный ресурс], - gost.e-ecolog.ru

Ключевые слова: насыпь автомобильных дорог, геофизический метод измерений, геотехнический мониторинг, инклинометр, инклинометрические измерения, инклинометрический измерительный канал, измерение деформаций земляного полотна инклинометром, инклинограмма.

gost.e-ecolog.ru