



УДК 69.058

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Хасанов Р.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: rubis.hasanov@yandex.ru

Сафин Д.Р. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: d.safin@list.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Геотехнический мониторинг жилого комплекса по ул. Шульгина г. Казани

Аннотация

В статье приводятся результаты выполненных работ по разработке системы мониторинга строительных конструкций, оснований, фундаментов, ограждающей конструкции глубокого котлована жилого комплекса по ул. Шульгина Кировского района г. Казани и зданий окружающей застройки. Запроектированная система мониторинга предполагает использование двух взаимосвязанных методик:

- геодезические измерения, выполняемые путем геометрического и тригонометрического нивелирования для определения осадок, кренов и горизонтальных перемещений отдельных конструктивных элементов и зданий в целом;
- автоматизированные измерения, выполняемые путем получения информации о действительном напряженно-деформированном состоянии строительных конструкций, оснований и фундаментов по показаниям электронных датчиков в режиме реального времени.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, деформации, напряжения, осадка, перемещения, автоматизированная система.

Новые тенденции развития мегаполисов предъявляют современные требования к строительству зданий и сооружений в условиях стесненной городской застройки в части максимального использования строительных площадей и подземного пространства и порождают новые задачи обеспечения безопасности жизнедеятельности. В то же время, увеличение количества надземных и подземных этажей, стесненность условий строительства приводят к резкому увеличению негативного техногенного воздействия на существующие здания в зоне влияния нового строительства. При эксплуатации современных зданий на первое место выходят вопросы системного контроля и оценки технического состояния оснований, фундаментов и строительных конструкций в целях своевременного предупреждения возникновения техногенных аварий.

Наряду с самыми бурно развивающимися городами страны, в г. Казани также набирает обороты строительство высотных зданий и сооружений. Авторами статьи был разработан проект геотехнического мониторинга жилого комплекса по ул. Шульгина г. Казани, который представляет собой два 26-и этажных жилых дома, объединенных между собой 3-х этажным подземным паркингом. Инженерно-геологические условия строительной площадки оценены как II категории сложности. Согласно требованиям СП 22.13330.2011 геотехническому мониторингу в жилом комплексе подлежат строительные конструкции, основания и фундаменты, т.к. здания имеют высоту более 75 м. Кроме того, в связи с тем, что глубина котлована превышает 10 м, контролю также подлежит ограждающая стенка котлована. По требованиям п. 12.5 СП 22.13330.2011 геотехнический мониторинг должен распространяться и на здания окружающей застройки. В данном случае, при использовании ограждающей стенки котлована из монолитного железобетона с креплением стальными распорками, зона влияния будет определяться в зависимости от глубины котлована $3 \cdot H_k = 3 \cdot 11 \text{ м} = 33 \text{ м}$. Как видно по рис. 1, в зону влияния нового строительства попадают существующие жилые дома по ул. Димитрова, д. 8, по ул. Ст. Халтурина, д. 11/10 и здание гимназии № 50 по ул. Шульгина, д. 19. Предельные дополнительные деформации для существующих

зданий окружающей застройки назначены в соответствии с требованиями СП 22.1330.2011:

- максимальная дополнительная осадка $S_{ad,u}^{\max} = 3 \text{ см}$;
- относительная разность осадок $(\Delta S/L)_u = 0,001$;
- крен $i = 0,001$.

Максимальное значение горизонтального перемещения верха для ограждающей конструкции котлована установлено $u = 3 \text{ см}$.

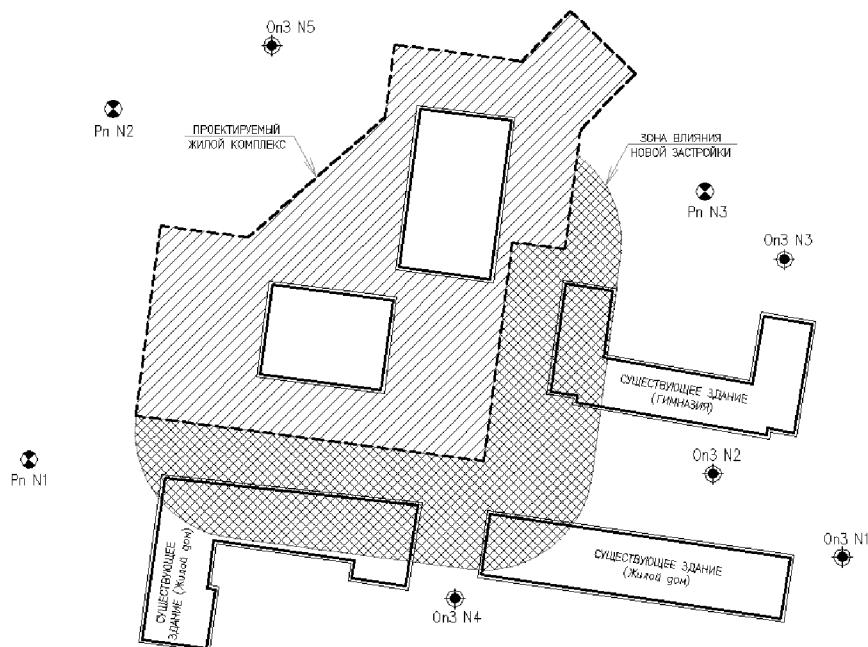


Рис. 1. Схема расположения зданий с указанием мест КИА для проведения геодезических измерений

Периодичность наблюдений для зданий окружающей застройки во время строительства устанавливается в зависимости от разных этапов строительства по мере выполнения отдельных видов работ, но не реже одного раза в месяц:

- промежуточные этапы экскавации грунта через каждые 1 м разработки;
- возведение подземных этажей;
- демонтаж распорной системы;
- возведение каждого третьего надземного этажа.

Наблюдения за проектируемым жилым комплексом необходимо производить после возведения каждого 3-го этажа, но не реже одного раза в месяц. Периодичность наблюдений после сдачи жилого комплекса в эксплуатацию: через каждый месяц в течение полугода, затем через три месяца и через каждые полгода до стабилизации напряженно-деформированного состояния грунтов основания.

Наблюдения за проектируемой конструкцией ограждения котлована необходимо производить по мере выполнения отдельных видов работ, но не реже двух раз в месяц:

- каждые 1 м разработки грунта в котловане;
- возведение каждого подземного этажа;
- демонтаж распорной системы.

Разработанный проект геотехнического мониторинга предполагает использование следующих двух методик:

1. Геодезические измерения. Выполняются с помощью геометрического и тригонометрического нивелирования для определения осадок, кренов и горизонтальных перемещений отдельных конструктивных элементов и зданий в целом. Получаемые данные соответствуют состоянию на момент измерений, т.е. при редких по времени замерах методика подробной динамики поведения объекта не дает. Данные измерения

ориентированы в основном для контролирования состояния зданий окружающей застройки и ограждающей стенки котлована.

2. Автоматизированные измерения. Выполняются путем получения информации о действительном напряженно-деформированном состоянии строительных конструкций, оснований и фундаментов по показаниям электронных датчиков в режиме реального времени. Предназначены для контролирования технического состояния строящегося жилого комплекса.

Геодезические наблюдения за деформациями конструкций в целом следует производить в следующей последовательности:

- установка исходных геодезических знаков высотной и плановой основы (рис. 1), здесь в качестве основы для измерения вертикальных деформаций приняты глубинные реперы (рис. 2), а в качестве основы для измерения горизонтальных перемещений принят опорные знаки (рис. 2);
- установка деформационных марок на зданиях и сооружениях (рис. 3);
- инструментальные измерения величин вертикальных и горизонтальных перемещений и кренов;
- обработка и анализ результатов наблюдений.

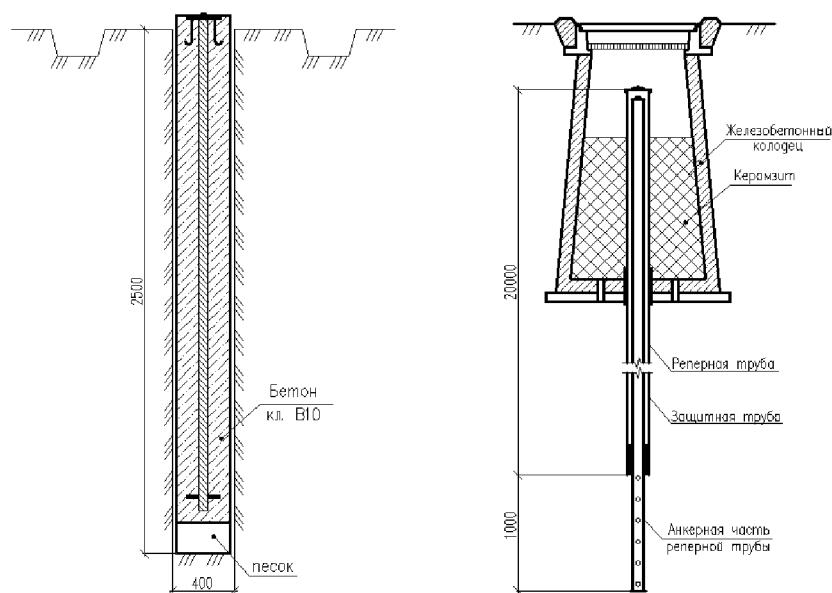


Рис. 2. Конструкция опорного знака и глубинного репера

Размещение деформационных марок в зданиях выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 24846-2012. Марки устанавливаются по периметру зданий, в том числе на углах, в местах примыкания продольных и поперечных стен. Схема расположения деформационных марок на примере существующего жилого дома показано на рис. 3.

Для удобства измерений деформационные марки для измерений вертикальных перемещений конструктивных элементов устанавливаются выше уровня земли на 0,5 м. Основным методом для измерений вертикальных перемещений принят метод геометрического нивелирования, класс точности измерений – II.

Осадка за прошедший период между циклами наблюдений определяется:

$$S = H_t - H_0, \quad (1)$$

где H_t, H_0 – высота точки в разных циклах наблюдений.

Относительная разность осадок между двумя n, k точками наблюдений:

$$\frac{\Delta S}{L} = \frac{S_n - S_k}{L}, \quad (2)$$

где L – расстояние между двумя точками наблюдений.

Для измерений горизонтальных перемещений конструкций устанавливается пара деформационных марок: на уровне верха и низа стен. Горизонтальные перемещения

деформационных марок в зависимости от расположения зданий предлагается измерять методом створных наблюдений и отдельных направлений, класс точности измерений – II. Отклонение деформационной марки от заданного створа во времени следует измерять способами измерения малых углов при неподвижной визирной цели или струны.

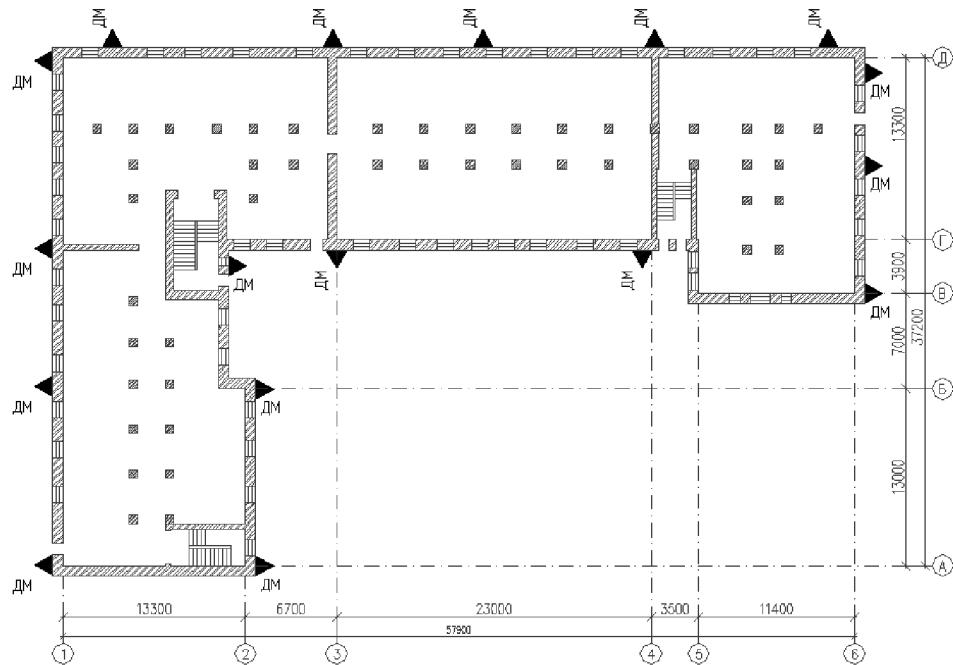


Рис. 3. Схема установки деформационных марок

Сдвиг, т.е. изменение положения контролируемой точки в плане определяется по формуле:

$$U = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}, \quad (3)$$

где d_x, d_y – смещения по осям координат.

Величина смещения в одной плоскости одной из контролируемых точек относительно другой точки (закрепленной на другом уровне):

$$u = U_n - U_k. \quad (4)$$

Крен, т.е. тангенс угла наклона объекта определяется по формуле:

$$i = \frac{u}{h}, \quad (5)$$

где h – расстояние по вертикали между контролируемыми точками.

По итогам наблюдений составляется краткий экспресс-отчет. В состав отчета должны быть включены:

- информация о цикле наблюдений;
- ведомость вычисления деформационных характеристик;
- план объектов мониторинга с указанием мест расположения деформационных марок, текущих и суммарных значений деформационных характеристик;
- графики деформаций.

Зaproектированная автоматизированная система мониторинга представляет собой комплекс электронных датчиков, подключаемых к внешним сканерам для считывания информации и дальнейшей передачи её в режиме реального времени на компьютер. Размещение датчиков (рис. 4) производилось в соответствии с результатами расчета монолитного каркаса и оснований фундаментов, в наиболее нагруженных участках несущих элементов.

На этапе возведения подземной части здания проектом предусматривается контроль отклонения ограждающей конструкции котлована путем установки инклинометров (датчиков наклона). Напряжения в элементах распорной системы

контролируются тензодатчиками сопротивления, собранные на базе из нержавеющей стали и закрепленные на поверхности стальных труб точечной сваркой. Изменение уровня грунтовых вод контролирует волоконно-оптический датчик уровня грунтовых вод, установленный заранее пробуренной скважине. Контактное напряжение под подошвой плитного фундамента фиксируется с помощью датчиков давления грунта, позволяющих производить измерения в диапазоне до 500 кПа. Осадки зданий замеряются с помощью скважинной системы измерения осадки (экстензометра). Глубина заложения анкерной части экстензометра определена с учетом сжимаемой толщи грунта под фундаментами. Для измерения деформаций в рабочей арматуре колонн, плит перекрытий, фундамента предусмотрены волоконно-оптические датчики деформаций.

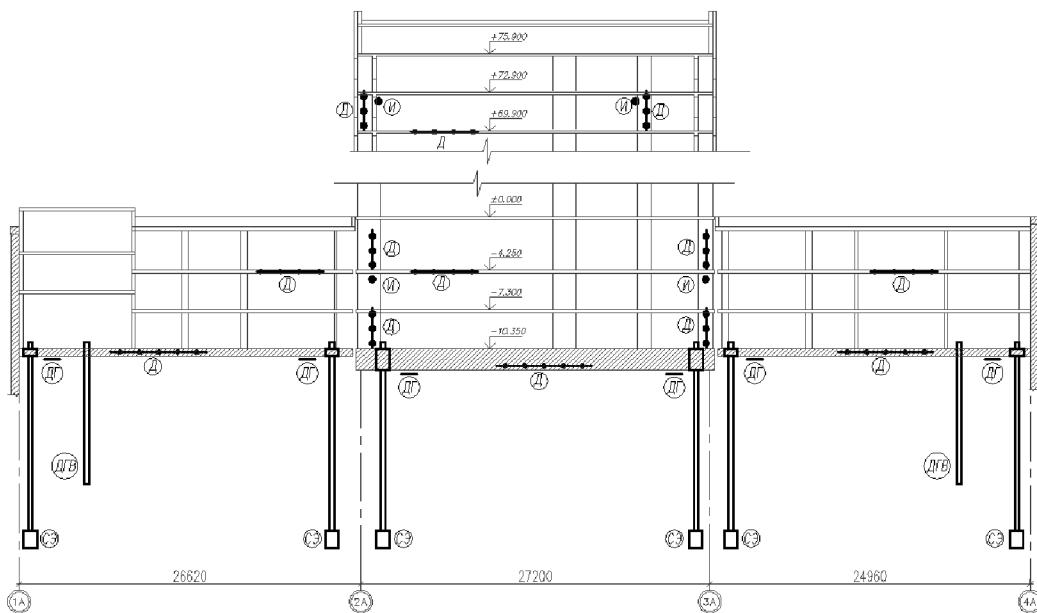


Рис. 4. Схема расположения электронных датчиков автоматизированной системы измерений:
ДГВ – датчик уровня грунтовых вод, СЭ – скважинный экстензометр,
ДГ – датчик давления грунта, Д – оптико-волоконный датчик деформаций, И – инклинометр

Режим работы запроектированной системы – круглосуточный. Автоматизированный опрос датчиков происходит с заданной периодичностью. При каждом опросе датчиков система должна автоматически регистрировать данные показаний контрольно-измерительной аппаратуры в оперативной памяти. С определенной периодичностью, на разных этапах возведения здания, рассмотренных выше, составляется краткий экспресс-отчет по показаниям датчиков. По приведенным в экспресс-отчете показаниям датчиков анализируется напряженно-деформированное состояние конструкций и оснований зданий, и производится оценка технического состояния объекта.

Оценка технического состояния основных несущих конструкций, оснований и фундаментов будет проводиться по характеру изменения графиков вышеназванных контролируемых параметров во времени, которые должны быть представлены в экспресс-отчетах автоматизированной системы или геодезических измерений. Если развитие контролируемых параметров в течение расчетного периода стабильное или близко к стабильному, то техническое состояние рассматриваемых элементов и всей системы оценивается как нормативное или работоспособное.

Начало увеличения скорости изменения контролируемых параметров, является признаком перехода какого-то из элементов системы или всей системы в другое состояние и в этом случае требуется проведение более детального анализа напряженно-деформированного состояния системы.

В случае превышения измеренных значений напряжений и деформаций в конструкциях каркаса от проектных значений, превышения предельных значений деформаций осадок оснований, подъеме уровня грунтовых вод, отклонений колонн

здания от вертикали на величину более установленной система переходит к постоянному контролю напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и оснований. При этом система автоматически должна формировать сигналы опасности, выдать информацию о месте превышения предельных значений прочности и деформации и составить отчет об аварийной ситуации.

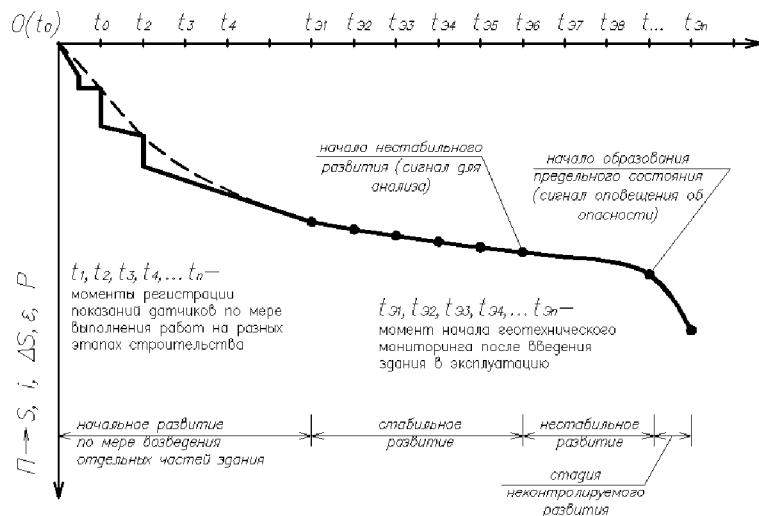


Рис. 5. График изменения контролируемых параметров во времени

Заключение

Выполнение в полном объеме требований разработанного проекта геотехнического мониторинга обеспечивает:

1. Безопасные условия производства работ, что особенно важно при производстве работ в глубоком котловане. При выявлении несоответствий выбранных параметров несущих элементов действительному напряженно-деформированному состоянию строительных конструкций и основания система позволяет внести соответствующие изменения в рабочую документацию в процессе строительства.

2. Безопасную эксплуатацию проектируемого жилого комплекса и зданий окружающей застройки за счет периодического контроля технического состояния строительных конструкций, оснований и фундаментов. Проект мониторинга включает в себя алгоритм действий эксплуатирующих служб в случае несоответствия технического состояния зданий окружающей застройки действующим нормам.

В случае непредвиденных ситуаций техногенного характера система геомониторинга способна оперативно информировать о возникшей опасности с указанием места и масштабов возникшей угрозы.

Список библиографических ссылок

- Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Особенности геотехнического мониторинга уникальных зданий и сооружений // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С.147-154.
- Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Система геотехнического мониторинга конструкций и оснований жилого комплекса по ул. Шульгина г. Казани и окружающей застройки. Пояснительная записка к проекту. – Казань, 2015. – 64 с.
- Мирсаяпов И.Т., Сафин Д.Р. Экспериментальные исследования НДС грунтового массива при совместном деформировании с ограждающей конструкцией консольного типа в процессе поэтапной разработки котлована // Известия КГАСУ, 2011, № 3 (17). – С. 79-84.
- Отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте: «Жилой комплекс с двухуровневыми подземными гаражами по ул. Шульгина в Кировском районе г. Казани РТ», ООО ПСФ «ВАН». – Казань, 2014.

5. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Ограждающая конструкция котлована жилого комплекса по ул. Шульгина г. Казани. Пояснительная записка к проекту. – Казань, 2015. – 60 с.
6. Проект жилого комплекса по ул. Шульгина в Кировском районе г. Казани. Раздел КЖ. ООО «Альфа-Стройпроект». – Казань, 2015.
7. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Проектирование ограждения глубокого котлована жилого комплекса в условиях стесненной городской застройки // Известия КГАСУ, 2015, № 2 (32). – С. 183-191.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundation's ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Khasanov R.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: rubis.hasanov@yandex.ru

Safin D.R. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: d.safin@list.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Geotechnical monitoring of the housing estate on Shulgin street in Kazan

Rezume

The authors of article have developed the project of the geotechnical supervisory control of a housing estate on Shulgin street in Kazan. The developed project of the geotechnical supervisory control uses following two methods:

1. Geodetic measurements are carried out by means of geometrical and a trigonometrical levelling for definition of depths of immersion and skewes of separate structural components and buildings as a whole. The given measurements are focused basically for monitoring of a condition of buildings of surrounding site development and a non-load-bearing wall of a foundation ditch.

Geodetic supervision over deformations of designs as a whole should be made in the following sequence:

- installation of basic geodetic signs;
- installation of deformation marks on buildings;
- tool shed measurements;
- processing and the analysis of results of supervision.

2. The automated measurements are carried out by reception of the information on a technical condition of building designs, the bases and foundations under indications of electronic detecting devices. They are intended for monitoring of a technical condition of a projected housing estate.

At the stage of erection of an underground part of a building the project provides the supervisory control of a deflexion of a non-load-bearing design of a foundation ditch by installation of detecting devices of a skew, pressure in elements the keeping systems are supervised by resistance tensiometers. Contact pressure under a sole foundation is fixed by means of pressure sensors. Deposits of buildings are measured with the help systems of measurement of depth of immersion (extensometers). For measurement of deformations in a principal reinforcement of columns, slabs of floorings, foundation fiber-optical detecting devices of deformations are established.

Keywords: geotechnical monitoring, deformations, pressure, depth of immersion, movements, the automated system.

Reference list

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Geotechnical monitoring features of unique buildings and structures // Izvestiya KGASU, 2013, № 4 (26). – P. 147-154.
2. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R. System of geotechnical monitoring of structures and foundations of residential complex on Shulgin's street of Kazan and surrounding building. The explanatory note to the project. – Kazan, 2015. – 64 p.
3. Mirsayapov I.T., Safin D.R. Experimental surveys of deflected state of soil body consistent with rabbit in the process of graded excavation of ditch // Izvestiya KGASU, 2011, № 3 (17). – P. 79-84.
4. Report on the engineering and geological surveys on the subject: «The residential complex with two-level underground parking on the Shulgin st. in the Kirov district of Kazan RT», Ltd MCF «VAN». – Kazan, 2014.
5. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R. Fence of deep excavation of the residential complex on Shulgin's st. of Kazan. The explanatory note to the project. – Kazan, 2015. – 60 p.
6. The project of the residential complex on Shulgin's st. in the Kirov district of Kazan. Section QOL. «Alfa-Stroyproekt». – Kazan, 2015.
7. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R. Design fence of deep foundation pit of the residential complex in a congested urban area // Izvestiya KGASU, 2015, № 2 (32). – P. 183-191.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundation's ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.