

УДК 624.131

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Королева И.В. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Особенности геотехнического мониторинга уникальных зданий и сооружений

Аннотация

В статье приводятся особенности устройства системы геотехнического мониторинга комплекса зданий, расположенных на высоком склоне (площадка строительства представлена откосом высотой 60 м, с углом наклона 46°), а также спортивного сооружения – футбольного стадиона, построенного на намытых территориях. Описываются основные конструктивные особенности сооружений. Приводятся принципиальные схемы устройства систем мониторинга как надземной части здания, так и оснований фундаментов, а также методика оценки состояния элементов здания.

Ключевые слова: склон, безопасность здания, трехосное сжатие, устойчивость склона, система мониторинга.

Сотрудниками кафедры Оснований, фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии КГАСУ разработана система геотехнического мониторинга конструкций и оснований комплекса зданий на крутом откосе левого берега реки Казанка [3].

Кроме того, авторами разрабатывался эскизный проект системы мониторинга спортивного сооружения (футбольного стадиона) на стадии включения в работу всех конструкций.

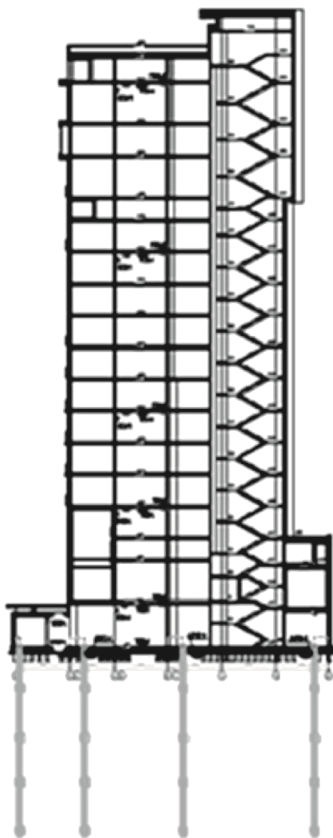


Рис. 1. Принципиальный разрез здания на склоне с системой измерения контрольных параметров

Система геотехнического мониторинга конструкций и оснований состоит из следующих разделов:

1. Автоматизированная система измерения напряжений и деформаций в конструкциях здания и основании. Система предполагает установку различных электронных датчиков на элементах конструкций зданий с целью определения влияния физического и силового воздействия на их прочность и деформируемость. Данная система обеспечивает передачу данных с контролируемых конструкций без визуального их осмотра.

2. Геодезическая система измерения. Выполняются с помощью нивелировки и позволяют определять перемещение объекта (здания или отдельных его частей) в пространстве, в том числе, измерять осадки и крены.

3. Георадиолокационные исследования. Метод георадиолокации является эффективным средством неразрушающего контроля. Основным преимуществом этого метода является высокая детальность и производительность. Использование данных георадиолокационных исследований позволяет сократить объемы бурения, и обеспечивает получение детальной информации о состоянии инженерных конструкций без нарушения целостности. Высокая чувствительность этого метода к незначительным изменениям в строении, структуре и состоянии материалов конструкции сооружения, делают его незаменимым для выявления дефектов, накапливающихся, развивающихся и проявляющихся под действием внешних нагрузок и обуславливающих снижение долговечности и несущей способности конструкций в целом. Основные задачи, решаемые с помощью георадара, можно разделить на несколько групп с характерными для каждой группы методиками исследований, способами обработки, типами отображения объектов исследования в поле электромагнитных волн и представления результатов. Первая группа включает в себя геологические задачи: картирование геологических структур – поверхности коренных пород под рыхлыми осадками; прослеживание уровня пластов, границ между слоями с различными характеристиками; определение мощности пластов; определение зоны суффозии. Вторая группа задач включает в себя поиск локальных объектов: полостей, заполненных насыпными грунтами; остатков фундаментов коммуникаций и других объектов в зоне разреза; выделение русел ручьев, рек и оврагов, заполненных техногенными отложениями и наносами разрушенных пород.

4. Геофизические исследования. Геофизические исследования грунтов (сейсморазведка) проводятся с целью получения сейсмограмм, которые после обработки преобразуются во временной или глубинный разрез. В основе сейсмических методов лежит возбуждение упругих волн при помощи специального источника. В результате геологическая среда реагирует возникновением периодического колебательного процесса и образованием упругой волны. Распространяясь в объеме горных пород, упругая волна попадает на границы раздела, изменяет направление и динамические свойства, образуются новые волны. На пути следования волн размещаются точки наблюдения, где при помощи специальных приборов – сейсмоприемников – определяются свойства колебательных процессов. Из полученных данных извлекается полезная информация о строении и составе изучаемой среды.

5. Исследование отклонения от вертикали конструкций здания и сооружения и смещения склона. Производится с помощью инклинометров (датчики наклона). Датчики наклона конструкций устанавливаются на вертикальные и горизонтальные элементы сооружений. Инклинометры для регистрации смещения склона устанавливаются в специально пробуренные скважины. Датчики наклона по направляющим роликам устанавливаются в алюминиевую встроенную направляющую трубу. Датчики наклона соединяются с блоком внешних сканеров.

6. Оценка результатов мониторинга. В общем случае для определения категории технического состояния несущих строительных конструкций, оснований, фундаментов и подпорных стенок результатам геотехнического мониторинга используются общепринятые условия:

$$S \leq [S_u], \quad (1)$$

$$i \leq [i_u], \quad (2)$$

$$\Delta S \leq [\Delta S_u], \quad (3)$$

$$\delta \leq [\delta_u], \quad (4)$$

где S , i , ΔS , δ – фактическое значение осадок оснований фундаментов, крена здания и подпорных стенок, разности осадок фундаментов, горизонтальных смещений грунтового массива склонов, полученные в процессе геотехнического мониторинга с момента начала строительства; $[S_u]$, $[i_u]$, $[\Delta S_u]$, $[\delta_u]$ – предельно допустимы значения этих же параметров состояния.

Площадки строительства рассмотренных объектов имели следующие особенности инженерно-геологического и инженерно-гидрологических условий.

Жилой комплекс, состоящий из шести зданий по улице Гоголя в г. Казани, располагается на крутом склоне левого берега реки Казанка. Геологический разрез склона представлен песками, суглинками и супесями, некоторые слои суглинков и супесей являются просадочными. Склон является неустойчивым даже в природном состоянии в случае замачивания грунтов.

Площадка строительства Футбольного стадиона на 45000 зрителей по ул. Чистопольская в г. Казани сложена водонасыщенными песками на глубину до 12 м к основаниям и фундаментам предъявляются особые требования по оценке несущей способности и осадок грунтовых оснований. Кроме того, результаты работ по сейсмическому микрорайонированию площадки строительства показывают, что сейсмическая активность площадки при данных грунтах основания оценивается как 7,0 баллов по шкале MSK 64 с ускорением $143 \text{ см}^2/\text{сек}$ при коротких и средних периодах колебаний. Известно, что при сейсмическом воздействии происходит виброразжижение таких грунтов. Кроме того переменный уровень грунтовых вод, гидравлически связанный с уровнем вод Волжского водохранилища, приводит к систематическому изменению напряженно-деформированного состояния водонасыщенных песчаных грунтов и, как следствие, фундаментов и надземных конструкций.

При определенных условиях изменения деформаций и напряжений в грунтах оснований указанных объектов могут превышать допустимые величины, что может привести к дефектам и повреждениям в надземных конструкциях.

В связи с этим возникает необходимость проведения расширенного геотехнического мониторинга за поведением оснований, фундаментов и надземных конструкций жилого комплекса и стадиона.

Цель мониторинга – проведение наблюдений за состоянием, своевременным выявлением и развитием имеющихся отклонений в поведении надземных конструкций стадиона и жилого комплекса, оснований его фундаментов и окружающего массива грунта от проектных данных, а также сохранение окружающей природной среды; разработка прогноза состояния объекта, воздействия его на атмосферную, геологическую, гидрогеологическую и гидрологическую среду в период строительства и последующие годы эксплуатации для оценки изменений их состояния, своевременного выявления дефектов, предупреждения и устранения негативных процессов, а также оценки правильности принятых методов расчета, проектных решений и результатов прогноза.

В задачи мониторинга входит обеспечение надежности системы «основание – фундамент – сооружение», недопущение негативных изменений окружающей среды, разработка технических решений предупреждения и устранения отклонений, превышающих значения, предусмотренные в проекте.

При создании системы мониторинга ставятся и решаются следующие основные задачи:

- выбор конструктивных элементов (объектов контроля), определение в них основных сечений и назначение контрольных точек на объектах наблюдения;
- разработка методов определения контролируемых параметров, выбор серийных технических средств контроля, изготовление и установка их на объекте;
- проведение визуальных, инструментальных наблюдений и определение фактических перемещений, деформаций, напряжений, усилий в контролируемых конструктивных элементах;
- оценка технического состояния конструкций по данным сопоставления натуральных наблюдений с результатами расчетов или с критериальными характеристиками.

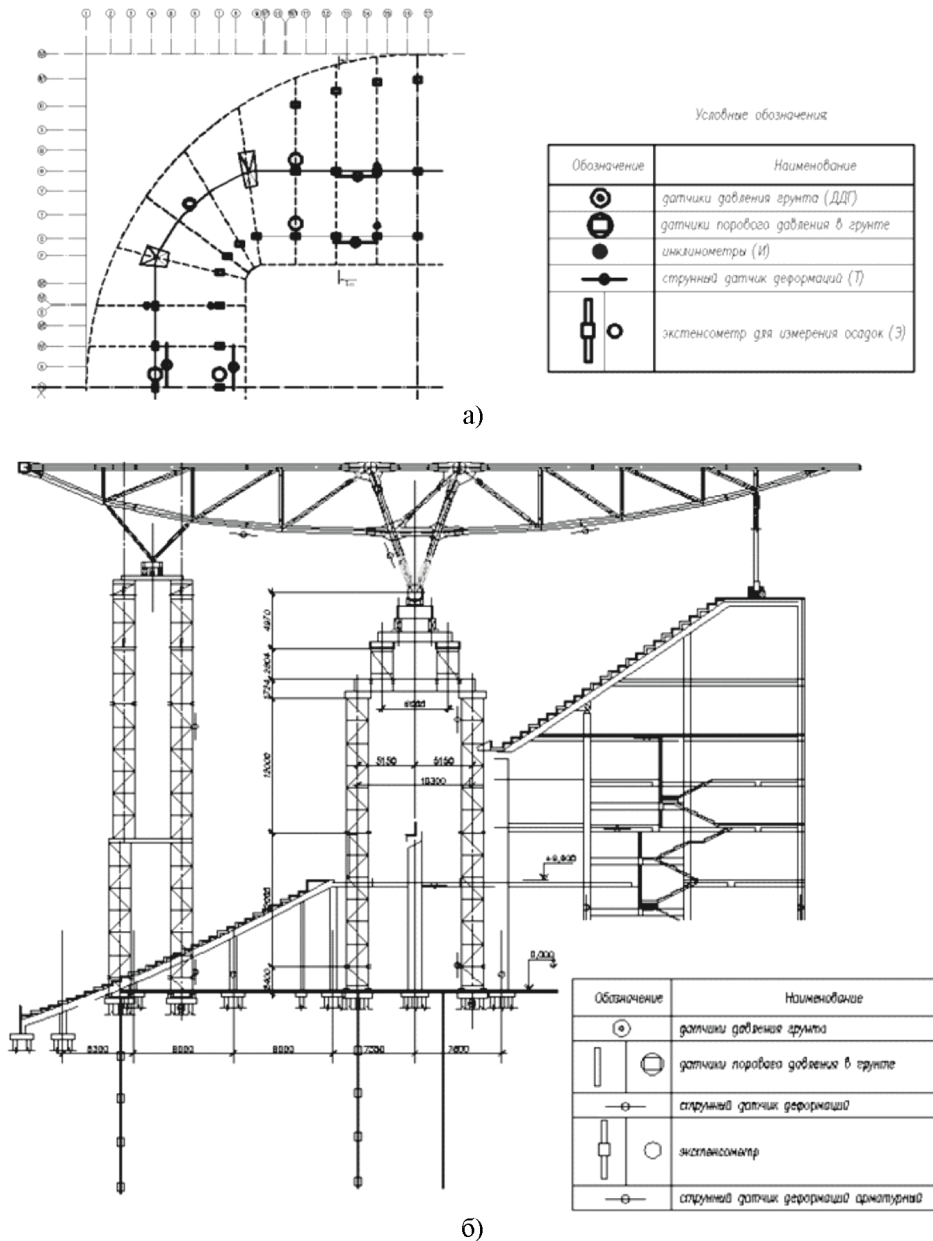


Рис. 2. Футбольный стадион.

Принципиальная схема мониторинга и схема расположения измерительного оборудования:
 а) в горизонтальной плоскости (фрагмент); б) в вертикальной плоскости

В соответствии с нормами техническое состояние объекта мониторинга можно считать:

- исправным, когда выполняются все требования действующих норм и проекта;
- работоспособным, при котором обеспечивается нормальная эксплуатация здания в конкретных условиях с отсутствием дефектов и повреждений, несмотря на выявленные отступления от норм;

- ограниченно работоспособным;
- неработоспособным (недопустимым).

Контролируемые параметры выбраны из условия получения характеристик НДС для оценки действительного состояния конструкций, оснований и фундаментов. В качестве наблюдаемых параметров принимали следующие:

- геодезический контроль (измерения наклонов и осадок различных частей зданий);
- скважинные измерения осадок в грунтах;
- измерения порового давления и вариации уровня грунтовых вод;
- определения нагрузок на грунт и напряжений в фундаментной плите и сваях;

- измерение напряжений в конструкциях: стенах, плитах и колоннах;
- наблюдение колебаний здания;
- наблюдение изменений уровня и состава грунтовых вод;
- измерение оползневых деформаций грунтового массива и подпорных стен.

Ниже приводятся общая система установки датчиков, контролирующих напряженно-деформируемое состояние отдельных элементов и сооружения в целом (рис. 2 и 3).

Система электронных датчиков позволяет контролировать рост напряжений и зарождение деформаций в конструкциях зданий, отклонение от вертикали, горизонтальные смещения на определенном горизонте, оценивать величину давления объекта на подстилающие породы и грунты, осуществлять контроль инженерно-геологической и гидрогеологической обстановки в основании здания. Основу геометрии размещения датчиков составляют результаты расчетов статике и динамики зданий. Датчики размещаются в наиболее нагруженных элементах конструкций и подключаются к 50 канальным устройствам сбора аналоговых сигналов, которые преобразовывают аналоговые сигналы с датчиков в цифровой вид и далее в режиме реального времени передают информацию по проводам на центральный сервер (на стационарную станцию мониторинга).

В общую схему добавлены тензометрические датчики, позволяющие контролировать зарождение деформаций в силовых, несущих, опорных элементах. Они контролируют знак и характер деформации плитного ростверка, изменения напряжений и деформаций в колоннах и плитах перекрытий.

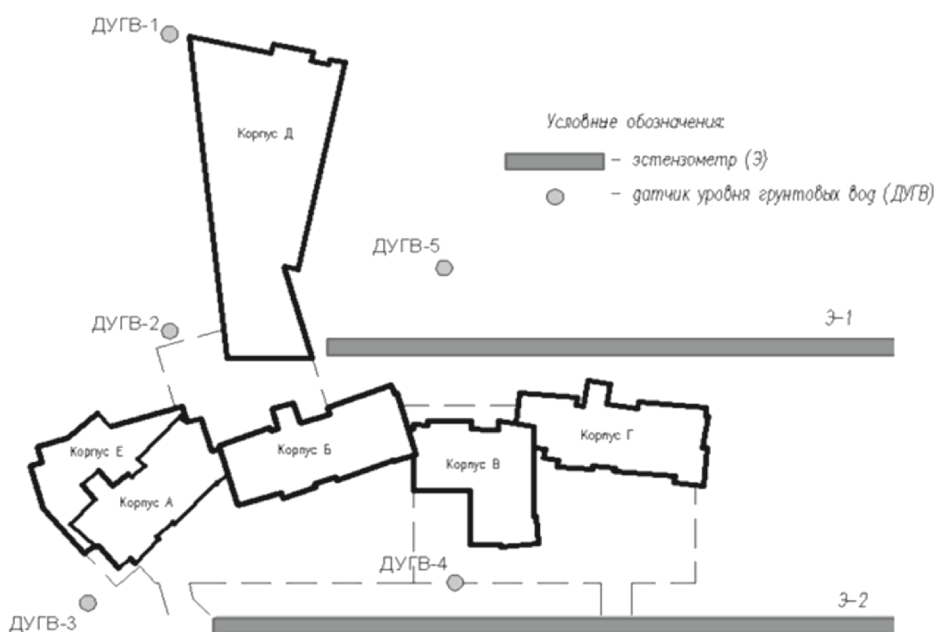
Информационный обмен между внешними сканерами и стационарной станцией мониторинга осуществляется с использованием слаботочной кабельной сети по многофункциональному кабелю типа «витая пара».

Система предназначена для оценки текущего состояния несущих конструкций и оснований зданий в процессе их эксплуатации и обеспечивает выполнение следующих функций:

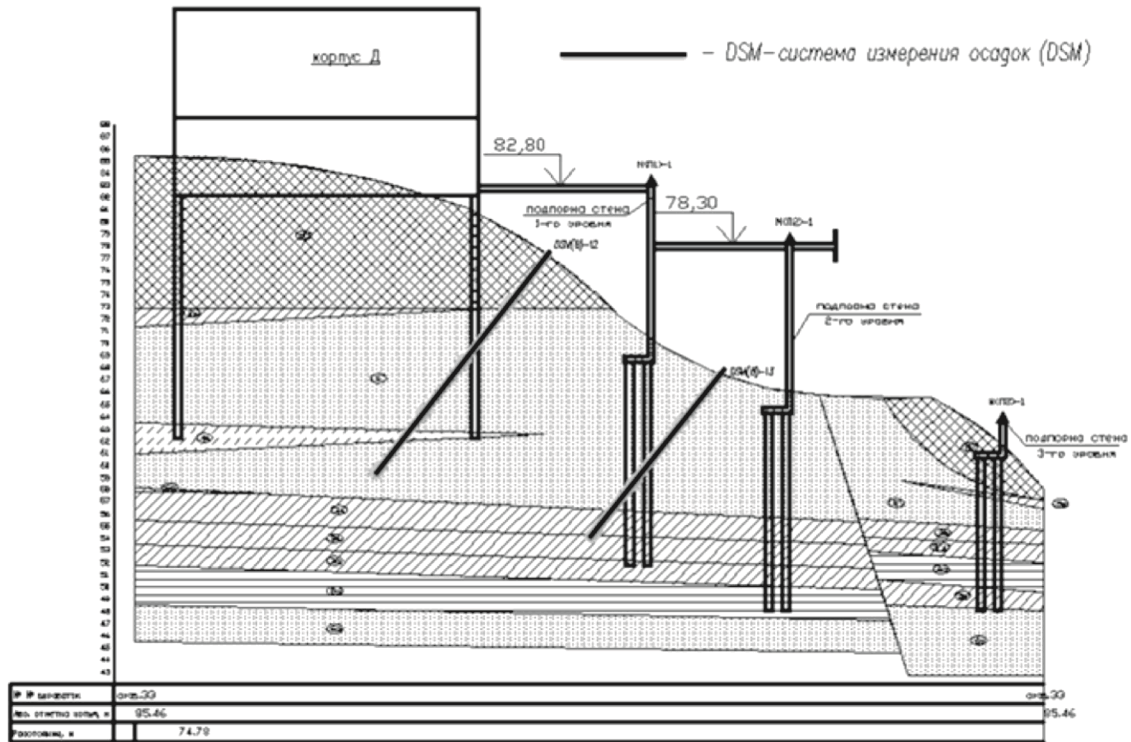
1. Периодический контроль напряженно-деформированного состояния элементов монолитных пространственных каркасов зданий, комбинированных свайно-плитных фундаментов, оснований и подпорной стенки.

2. При превышении измеренных значений напряжений и деформаций предельных значений система формирует сигналы опасности и выдает информации о месте превышения предельных значений прочности и деформации.

3. Автоматическая регистрация событий в оперативной памяти системы, выдача отчетов о событиях в соответствии с запросом, а при наступлении событий по п. 2 – автоматически.



а)



б)

Рис. 3. а) Принципиальная схема установки экстензометров и датчиков уровня грунтовых вод жилого комплекса; б) Принципиальная схема мониторинга и схема расположения измерительного оборудования деформаций откоса (жилой комплекс)

При недопустимых значениях напряжений и деформаций в элементах монолитных пространственных каркасов зданий, комбинированных свайно-плитных фундаментах, основаниях и подпорных стенках выполняется передача информации в соответствующие службы города и оповещение об эвакуации людей.

Оценка технического состояния основных несущих конструкций, оснований, фундаментов, подпорных стен по результатам мониторинга будет проводиться по характеру изменения графиков контролируемых параметров, приведенных в формулах 1-4, во времени. Для увеличения степени точности и возможности оперативного вмешательства в случае обнаружения нештатных ситуаций, периодичность замера контролируемых параметров в начальной стадии – через один месяц в течении полугодия, затем через три месяца и через полгода до полной стабилизации напряженно-деформированного состояния системы.

Если развитие контролируемых параметров в течении расчетного периода стабильное или близко к стабильному т.е. $d\Pi/dt \rightarrow 0$ (где Π – контролируемый параметр), то техническое состояние рассматриваемых элементов и всей системы оценивается как исправное 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, состояния грунтов основания, уровня грунтовых вод и т.д.

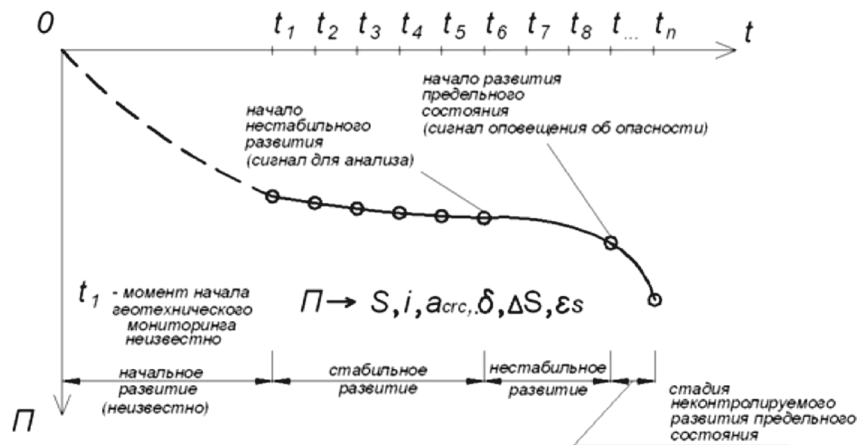


Рис. 4. Графики изменения контролируемых параметров во времени эксплуатации (мониторинга)

При превышении измеренных значений контролируемых величин проводятся численные исследования путем математического моделирования работы всей системы при фактических значениях нагрузок, физико-механических характеристик строительных материалов и грунтов, а также обнаруженных дефектов и повреждений.

Оценка состояния элементов здания рассмотрена на примере анализа развития осадок основания. По результатам мониторинга определяется фактическое значение

осадки $S_t^{факт}$ к моменту времени t . Исходя из формулы $S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{zi} \cdot h_i$, определяем общее

приращение деформаций ε_{zi} , вызывающих такую осадку. Используя ниже приведенный алгоритм, полученный в работе [1], получаем величины напряжений, действующих в массиве грунта основания σ_{zi} и вызывающих такую деформацию.

Определяем условные модули, характеризующие переход из природного состояния основания в состояние после приложения местной нагрузки:

$$K_V = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_V}, G_V = \frac{\Delta\sigma_i}{3\Delta\varepsilon_i}. \tag{5}$$

Модули (5) могут быть представлены параметрами закона Гука в приращениях напряжений и деформаций для шага нагружения.

Тогда приращение осевой деформации, представляется в виде:

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{G_V} - \Delta\sigma \cdot \frac{3K_V - G_V}{3K_V \cdot G_V}. \tag{6}$$

Затем учитывается влияние длительности действия нагрузки. Для этого модули $K_V(t)$ и $G_V(t)$ представляются в виде:

$$K_V(t) = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_V + \Delta\varepsilon_V(t)}, G_V(t) = \frac{\Delta\sigma_i}{3(\Delta\varepsilon_i + \Delta\varepsilon_i(t))}, \tag{7}$$

где $\Delta\varepsilon_i(t) = \sigma_i \cdot K_V(t, \tau)$; $\Delta\varepsilon_V(t) = \sigma \cdot K_V(t, \tau)$.

После этого напряжения в каждой точке сравниваются с предельными напряжениями, определяемыми исходя из уравнения [2]:

$$4 \cdot [\sigma_V(t) \cdot A_{sh} \cdot \cos \alpha_1(t) + \tau_V(t) \cdot A_{sh} \cdot \sin \alpha_1(t)] \geq \sigma_1 \cdot A_1. \tag{8}$$

Если условие (8) выполняется в каждой рассматриваемой точке основания, напряжения в основании меньше предельных и его техническое состояние оценивается как работоспособное.

Аналогичные моделирование и анализ состояния можно проводить для каждого элемента здания.

В необходимых случаях принимаются конкретные целенаправленные решения по стабилизации ситуации и выполняются адекватные компенсирующие мероприятия.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии. // Известия КГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 167-172.
2. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов. // Научно-технический журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов», 2011, № 4. – С. 16-23.
3. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р., Попов А.О. Система геотехнического мониторинга конструкций и оснований жилого комплекса по ул. Гоголя г. Казани. Пояснительная записка к проекту. – Казань, 2008. – 51 с.

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

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Koroleva I.V. – candidate of technical sciences, senior lecturer

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Geotechnical monitoring features of unique buildings and structures**Resume**

The article provides geotechnical monitoring features of unique buildings – conducting observations of the state, timely identification and development of existing deviations in the behavior of above-ground structures stadium and residential complex, bases its foundations and the surrounding soil mass on the configuration and the preservation of the environment, development of forecasting the state object, its impact on the atmospheric, geological, hydrogeological and hydrological environment during the construction and operation of the following years to assess changes in their condition, early defect detection, prevention and elimination of negative processes and the evaluation of the correctness of the accepted methods of calculation, design solutions and the results of the forecast.

Geotechnical monitoring system of structures and foundations consists of the following sections:

1. An automated system for measuring stress and strain in the construction of the building and the ground. The system involves a variety of electronic sensors on the structural elements of buildings to determine the effects of physical and impacts to their strength and deformability.
2. Geodetic measurements. Performed using leveling and allow you to define the movement of the object (building or parts of it) in the space, including the measurement of precipitation and rolls.
3. GPR survey. GPR method is an effective non-destructive testing. The main advantage of this method is the high detail and performance.
4. Geophysical studies. Geophysical studies of soils (seismic) are carried out to obtain seismograms, which after processing is converted into a temporary or a deep cut.
5. The study deviation from the vertical structures of buildings and the displacement of the slope. Produced by inclinometers (tilt sensors).
6. Evaluation of the results of monitoring.

Assessment of building elements considered by analyzing the development of sediment mainly with regard to the spatial stress-strain state and the duration of the load.

Keywords: slope, the safety of the building, triaxial, slope stability monitoring system.

Reference list

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Study of strong and deformability clay soil for long triaxial compression. // News of the KSUAE, 2009, № 2 (12). – P. 167-172.
2. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil. // Scientific and technical magazine «OFMG», 2011, № 4. – P. 16-23.
3. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R., Safin D.R., Popov A.O. Geotechnical monitoring system of structures and foundations of residential complex on the street Gogol in Kazan city. The explanatory note to the draft. – Kazan, 2008. – 51 p.