

УДК 528.482

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-1-28-41

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ ЗДАНИЯ В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Юрий Александрович Новиков*

Тюменский индустриальный университет, 625001, Россия, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (904)496-91-18, e-mail: novikov.tiu@gmail.com

*Алексей Николаевич Краев*

Тюменский индустриальный университет, 625001, Россия, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, тел. (909)740-89-43, e-mail: kraev\_aln@mail.ru

В статье представлены результаты длительных натурных геодезических наблюдений за развитием осадок одного из жилых домов, построенного на естественном основании, на территории Тюменской области. Приведены графики развития осадок за период выполнения геотехнического мониторинга. Подробно описаны контролируемые параметры, методы и средства измерений, применяемые при геотехническом мониторинге на данном объекте. По данным инженерно-геологических изысканий выполнено сравнение фактических осадок с результатами прогноза развития средней осадки здания во времени согласно теории фильтрационной консолидации. Отмечено, что наличие неравномерности осадки здания за время наблюдения обусловлено разными инженерно-геологическими условиями основания. Результаты, полученные при выполнении геотехнического мониторинга исследуемого объекта, будут положены в основу систематизации массива данных и формирования общей базы наблюдений за осадками зданий на территории Тюменской области.

**Ключевые слова:** геодезические наблюдения, геотехнический мониторинг, осадка здания, деформации, геометрическое нивелирование, крен, датчики, прогноз, теория фильтрационной консолидации, метод послойного суммирования.

### *Введение*

Территория Тюменской области характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, где вблизи дневной поверхности преобладают слабые глинистые и заторфованные грунты [1]. Анализ причин деформаций зданий и сооружений, расположенных на таких грунтах, позволяет выделить ряд особенностей, среди которых отметим [2, 3]:

- высокую сжимаемость грунтов, что приводит к большим осадкам сооружений;
- большую длительность осадок, достигающую порой нескольких десятилетий.

Учитывая данные особенности территории, все более актуальным становится вопрос ведения системных наблюдений, позволяющих своевременно оценить характер деформационных процессов техногенного и природного проис-

хождения с целью предупреждения аварийных ситуаций и обеспечения безопасности зданий и сооружений.

### **Методы и материалы**

В период с 29.06.2016 по 01.08.2018 авторами статьи, специалистами межкафедральной научно-экспериментальной лаборатории Тюменского индустриального университета, в рамках договора на выполнение геотехнического мониторинга, проводились наблюдения за многоквартирным двухсекционным жилым домом, расположенным на территории города Тюмени. Размеры объекта наблюдения  $15,72 \times 89,36$  м. Конструктивная схема здания представляет собой полный каркас из монолитного железобетона. Фундамент здания – свайный с монолитным плитным железобетонным ростверком.

В соответствии с СП 11-105–97 и ГОСТ 20522–2012 [4, 5, 6] грунты площадки выделены в четыре инженерно-геологических элемента (ИГЭ), со следующими коэффициентами фильтрации, определенными по справочным и лабораторным данным:

- ИГЭ-1. Суглинки тугопластичные,  $k_f = 0,005 \div 0,0001$  м/сут;
- ИГЭ-2. Суглинки текучепластичные, с прослоями песка мелкого, средней плотности, водонасыщенного (переслаивание),  $k_f = 0,5 \div 0,05$  м/сут;
- ИГЭ-3. Пески мелкие, средней плотности, с прослоями плотных, водонасыщенные,  $k_f = 0,6 \div 1,0$  м/сут;
- ИГЭ-4. Суглинки мягкопластичные, с примесью органического вещества, с прослоями песка мелкого,  $k_f = 0,0005 \div 0,00001$  м/сут.

На основании полученных данных была составлена программа геотехнического мониторинга [7–13]. Согласно программе, в составе ежемесячных геодезических наблюдений, как системы инструментальных наблюдений при выполнении комплексного геотехнического мониторинга, в период с 29.06.2016 по 01.08.2018, выполнялись следующие работы:

- визуальный осмотр и оценка установленного геотехнического оборудования;
- оценка состояния опорной геодезической сети объекта;
- снятие отсчетов и выполнение периодических геодезических измерений по установленному геотехническому оборудованию;
- анализ наблюдений;
- геотехнический прогноз стабилизации осадки фундамента во времени;
- составление отчета по геотехническому мониторингу.

В рамках выполнения геотехнического мониторинга на объекте были установлены светоотражательные марки для определения крена фундамента и наклона здания в целом, установлены датчики для определения уровня вибрации

здания в период строительства и после его завершения, пьезометрические скважины для определения изменения уровня подземных вод [14–21] (рис. 1).



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Геотехническое оборудование:

а), б) общий вид интеллектуального цифрового виброметра ZETLAB; в) общий вид светоотражательной марки; г) общий вид пьезометрической скважины

Отметки наблюдаемых деформационно-осадочных марок определялись геодезическим способом геометрическим нивелированием по программе II класса измерений в соответствии с «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов» ГКИНП (ГНТА)-03-010-03 [22]. В работе использовался высокоточный цифровой нивелир DiNi 03 в комплекте с рейками кодовыми LD 12 (рис. 2, б, в). Геометрическое нивелирование во всех циклах выполнялось по идентичной схеме измерений. Нивелирование выполнялось короткими лучами при равных расстояниях между плечами (из середины), места установки нивелира фиксировались. В каждом цикле измерений соблюдались следующие требования: применялись одни и те же инструменты и рейки; рейки нумеровались и устанавливались на одни и те же марки или реперы. Осадочные марки были изготовлены в виде обрезков арматуры, устроенных в цоколе строящегося здания, с фиксированной точкой для постановки пятки рейки (рис. 2, а).

Планово-опорная высотная сеть представляет собой три геодезических пункта, установленных вне зоны влияния строительных процессов (рис. 2, г).

Координаты пунктов определялись приемником Trimble R8, статическим методом, обсчет координат велся от сети базовых станций Тюменской области. Места закладки пунктов выбирались с условием обеспечения нормальных условий наблюдений, отсутствия закрытости и отражающих поверхностей, обеспечения долговременной сохранности центра и взаимной видимости, отсутствия вблизи пунктов мощных источников излучения, обеспечения доступа к пункту в любое время, независимо от погодных условий. По пунктам сети были проложены нивелирные ходы, выполнен анализ и уравнивание.



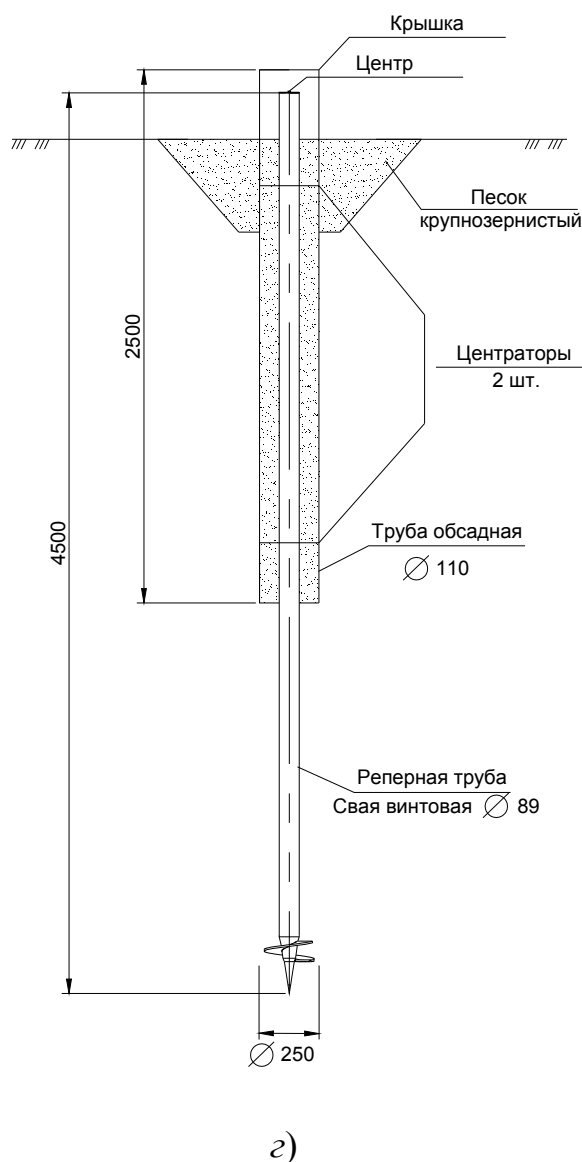
а)



б)



в)



з)

Рис. 2. Оборудование для выполнения нивелировочных работ:

а) общий вид деформационно-осадочной марки; б) нивелир DiNi 03; в) инварная рейка LD 12; з) конструкция пункта плано-опорной высотной сети

Системы замкнутых нивелирных ходов и полигонов увязывались по методу проф. Попова. Невязки в ходах и полигонах не превышали допусков, определяемых по формуле

$$fh_{\text{доп}} = \pm 0,5\sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $n$  – число станций в нивелирном ходе.

Средняя квадратическая ошибка нивелирования определялась по формуле

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \sum \frac{d^2}{r}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество станций в ходе;

$d$  – разность прямых и обратных превышений в ходе, мм;

$r$  – длина хода.

Расчет устойчивости контрольных пунктов опорной геодезической сети производился по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum i(\Delta H_i^k)^2}{n-1}}; \quad (3)$$

$$\Delta H_i^k = h_i^k - h_0^k; \quad (4)$$

где  $\Delta H_i^k$  – превышение  $i$ -го пункта относительно опорного в  $k$ -м цикле.

### Результаты

Данные полевых измерений импортировались в программный комплекс КРЕДО (КРЕДО DAT, КРЕДО Нивелир, КРЕДО Деформации). По результатам обработки наблюдений за деформационно-осадочными процессами в программном комплексе КРЕДО строились графики развития осадки во времени, графики с градиентом изолиний вертикальных перемещений, выполнялось прогнозирование [23–26] (рис. 3, 4). На рис. 4 приведен график развития вертикальных перемещений, построенный по результатам геодезических наблюдений на последнем цикле измерений.

Помимо результатов прогнозирования в программном комплексе КРЕДО практическую ценность представляет аналитическая методика расчета средней осадки здания во времени.

Расчет средней осадки фундамента во времени выполнялся по скважине с наилучшими инженерно-геологическими условиями.

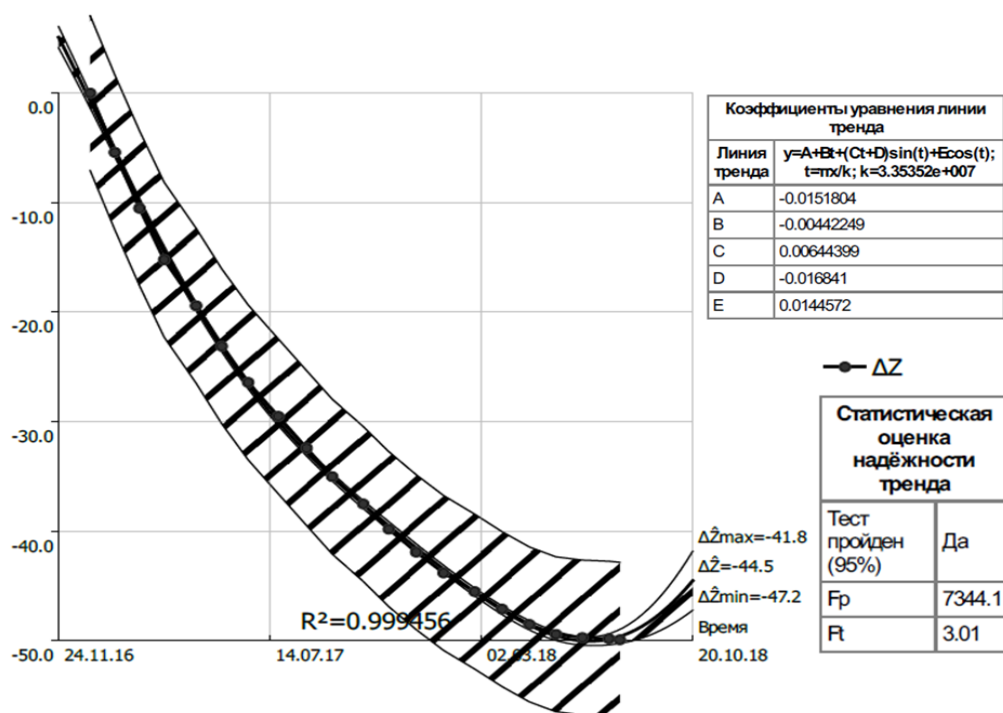


Рис. 3. График развития осадки во времени осадочной марки № 1 (мм)

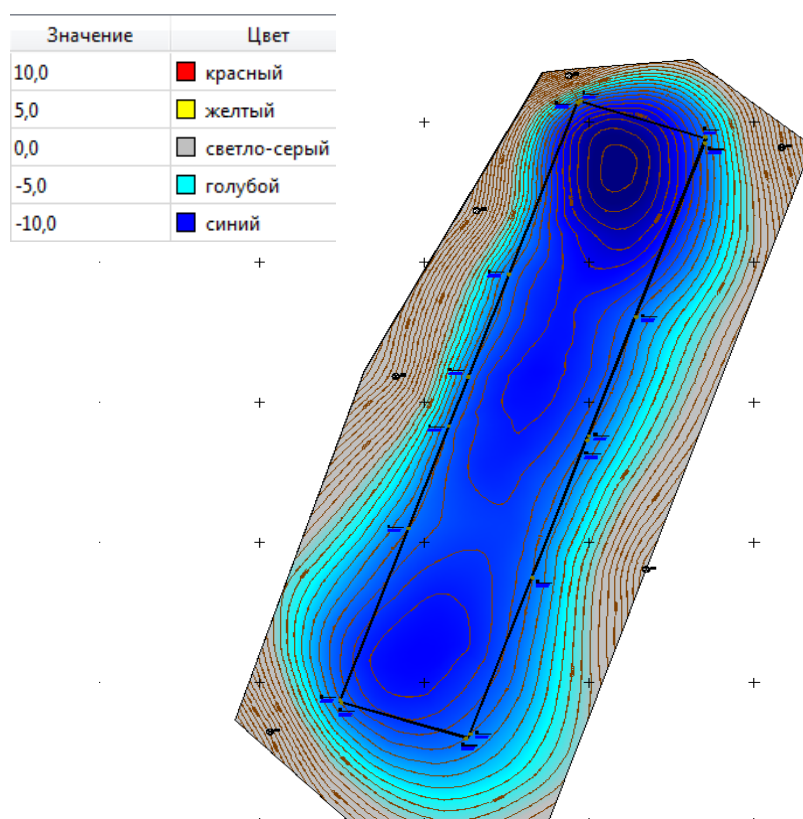


Рис. 4. График развития вертикальных перемещений осадочных марок на последнем цикле измерений (мм)

Расчет осадки условного фундамента производят методом послойного суммирования деформаций линейно-деформируемого основания с условным ограничением сжимаемой толщи, согласно СП 24.13330.2011 [27] по формуле

$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} \cdot h_i}{E_{e,i}} \quad (5)$$

Поскольку глубина котлована  $h < 5$  м, второе слагаемое в формуле не учитывалось.

Нормативная нагрузка на уровне подошвы условного фундамента составляла 227,3 кПа. Вертикальное напряжение от собственного веса грунта на уровне подошвы условного фундамента определялось из следующего выражения:

$$\sigma_{zg,0} = 4,08 \cdot 10 + 8,6 \cdot 10,2 + 2,82 \cdot 10,12 = 157,06 \text{ кПа.}$$

Расчет осадки фундамента представлен в таблице. Ширина фундамента, принятая в расчетах,  $b = 19,62$  м.

#### Расчет осадки фундамента по скважине № 9

Z, м	$h_i$	$G_{zp}$	$G_z$	$G_{zg}$	$0,5G_{zg}$	$E_i$	$2z/b$	$a$	$G_{zp}$ , ср	$G_{zy}$ , ср	S, см
0	0	227,30	157,06	157,06	78,53	0	0	0			
7	7	222,07	153,45	227,9	113,95	28000	0,71	0,977	224,69	155,2538	1,388645
9,58	2,58	200,25	138,37	254,0096	127,0048	28000	0,98	0,881	211,16	145,9087	0,481008
12,58	3	171,38	118,42	284,0096	142,0048	7000	1,28	0,754	185,82	128,3966	1,968727
14,08	1,5	147,75	102,09	299,0096	149,5048	7000	1,44	0,65	159,56	110,2561	0,845288
											4,683667

Осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента составила

$$\Delta S_p = 0,0027 \text{ м.}$$

Осадка за счет сжатия ствола свай составила

$$\Delta S_c = \frac{P \cdot (l - a)}{E \cdot A} = \frac{227,3 \cdot (15,5 - 1,0)}{3,06 \cdot 10^7 \cdot 0,09} = 0,001 \text{ м.}$$

Итого осадка условного фундамента

$$S = S_{ef} + \Delta S_p + \Delta S_c = 4,68 + 0,27 + 0,1 = 5,05 \text{ см.}$$

Нестабилизированная осадка сжимаемой толщи основания  $S_t$  определялась по формуле

$$S_t = S \cdot U, \quad (6)$$

где  $S$  – конечная (полная) стабилизированная осадка слоя грунта;

$U$  – степень консолидации (уплотнения) грунтовой толщи.

Степень консолидации, согласно теории фильтрационной консолидации определялась по формуле

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot \left( e^{-N} + \frac{1}{9} \cdot e^{-9N} + \frac{1}{25} \cdot e^{-25N} + \frac{1}{49} \cdot e^{-49N} + \frac{1}{81} \cdot e^{-81N} + \dots \right). \quad (7)$$

Значение  $N$  вычислялось по формуле

$$N = \frac{\pi^2 \cdot c_v \cdot t}{4 \cdot h^2}. \quad (8)$$

Значение времени  $t_i$  при различных значениях  $N$  и величинах степени консолидации определялось по формуле

$$t = \frac{4 \cdot h^2 \cdot N}{\pi^2 \cdot c_v}, \quad (9)$$

где  $c_v$  – коэффициент консолидации, определяемый по формуле

$$c_v = \frac{k_f}{m_v \cdot \gamma_w}, \quad (10)$$

где  $k_f$  – коэффициент фильтрации грунта, см/год;  $\gamma_w = 10 \text{ кН/м}^3$  – удельный вес воды.

Поскольку в пределах сжимаемой толщи вертикальные напряжения под центром здания слабо рассеиваются (мощность сжимаемых слоев грунта близка или меньше ширины здания), рассматривалась одномерная задача консолидации для оси здания. Для одномерной задачи уплотнения эпюра уплотняющих напряжений принимается в виде прямоугольника, что относят к случаю 0.

Значения  $U$  в зависимости от  $N$  приводятся в [27, 28]. По значениям  $N$  при различных величинах степени консолидации  $U$  (от 0 до 1) вычислялось время  $t_i$ , соответствующее сформированным нестабилизированным осадкам  $S_{t,i}$ .

По результатам вычислений построен график  $s = f(t)$  (рис. 5).



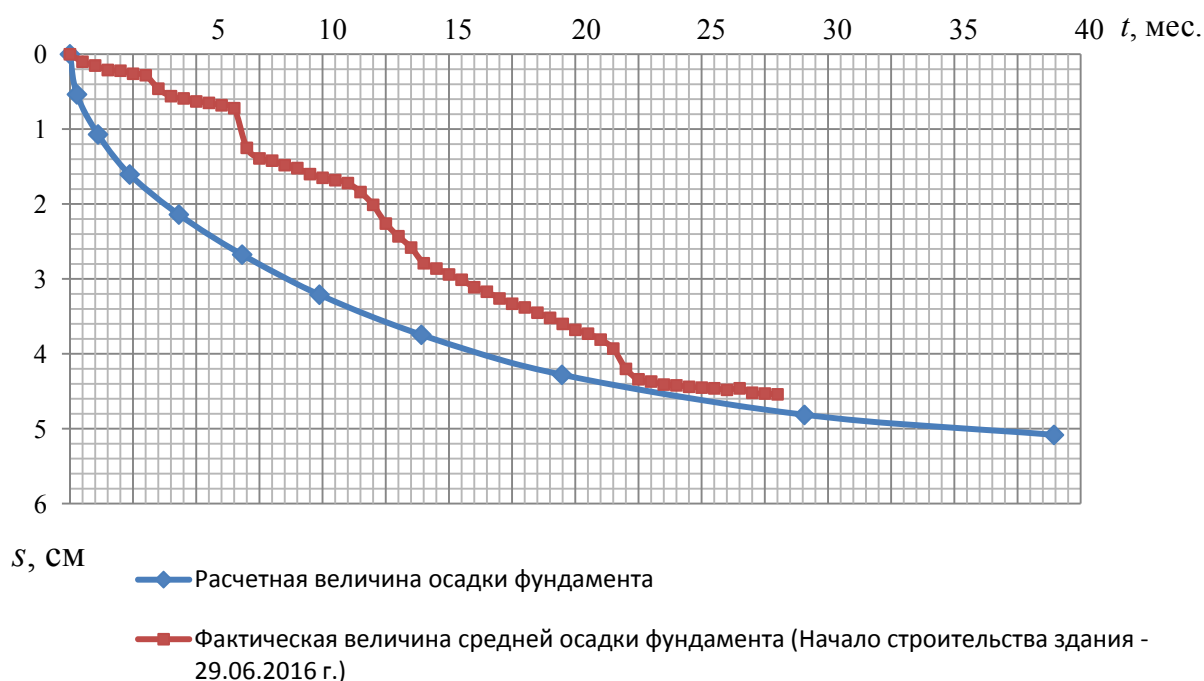


Рис. 5. Сопоставление графиков развития средней осадки фундамента здания во времени

### Заключение

Анализ результатов расчета в программном комплексе КРЕДО и сопоставление данных аналитического расчета осадки фундамента во времени позволили сделать следующие выводы:

- на период написания статьи фактическая средняя осадка здания на 11 % меньше полученной расчетом осадки во времени по теории фильтрационной консолидации, что указывает на хорошую сжимимость;

- неравномерность осадок здания за время наблюдения составила 3,7 мм, что обусловлено разными инженерно-геологическими условиями основания здания и является существенным критерием для косвенной оценки кренов здания;

- аналитический прогноз развития крена здания во времени необходимо оценивать путем расчета осадок здания по наилучшим и наихудшим инженерно-геологическим условиям, изменяющимся в основании здания;

- результаты, полученные при выполнении геотехнического мониторинга исследуемого объекта, будут положены в основу систематизации массива данных и формирования общей базы наблюдений за осадками зданий на территории Тюменской области. Это позволит уточнить теоретические предпосылки по прогнозу развития осадок во времени, так как, по мнению многих авторов, оп-

ределение осадки зданий на слабых глинистых грунтах без учета фактора времени лишено физического смысла.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гвоздецкий Н. А. Физико-географическое районирование Тюменской области. – М. : МГУ, 1973. – 147 с.
2. Абелев М. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах. – М. : Стройиздат, 1983. – 248 с.
3. Вяткина Е. И., Шушакова О. Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах // Наука и молодежь. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – 48 с.
4. СП 11-105–97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М. : ПНИИИС Госстроя России, 1997.
5. ГОСТ 20522–2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М. : Стандартинформ, 2013.
6. СП 22.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная версия СНиП 11-02–96. – М. : Стандартинформ, 2017.
7. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила геотехнического мониторинга при строительстве – М. : Стандартинформ, 2018.
8. Малков А. Г., Кобелева Н. Н. Разработка программы наблюдения за осадками сооружений на основе системного подхода // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 26–30.
9. Novikov Y. A., Shchukina V. N. Preparatory stage for instrumental monitoring and structural inspection of buildings and structures // Proceedings of the International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» 2017 (AIME 2017). – С. 773–778.
10. МРДС 02-08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293834/4293834435.pdf>.
11. Руководство по наблюдениям за деформациями основания и фундаментов зданий и сооружений. – М. : Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова, 1975.
12. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] : федер. закон № 384–ФЗ от 30.12.2009. – Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
13. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М. : Стандартинформ, 2014.
14. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Желтко Ч. Н. Определение крена инженерного сооружения с использованием безотражательного тахеометра // III Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России» : сб. материалов. – 2009. – С. 147–149.
15. Малков А. Г., Кобелева Н. Н. Системное исследование деформаций сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 221–227.
16. Local deformation and rheological parameters by measurements in Italaya station gallery (Baikal region) / V. Yu. Timofeev, O. K. Masalsky, D. G. Ardyukov, A. V. Timofeev // Geodynamics & tectonophysics. – 2015. – Vol. 6. – С. 245–253.

17. Болдырев Г. Г., Живаев А. А. Геотехнический мониторинг // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11. – С. 22–27.
18. Хорошилова Ж. А., Хорошилов В. С. Деформационный мониторинг инженерных объектов как составная часть геодезического мониторинга // Интерэкспо Гео-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 77–80.
19. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
20. Хиллер Бернд. Технология геодезического деформационного мониторинга – опыт применения // Открытый градостроительный форум, сессия «Безопасность строительства и эксплуатации объектов». – Новосибирск, 2010. – С. 111–115.
21. Хиллер Бернд, Староверов С. В., Мясников Я. В. О возможности использования цифровой инклинометрии для геодезического мониторинга инженерных сооружений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 86–87.
22. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила. Инструкция по нивелированию 1, 2, 3-го и 4-го классов. – М. : ЦНИИГАиК, 2004.
23. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.
24. Кобелева Н. Н., Хорошилов В. С. Построение по геодезическим данным прогнозной модели процесса перемещений гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС (на этапе эксплуатации 2007–2009 гг.) // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 5–12.
25. Васенин В. А. Оценка развития осадок исторической застройки Санкт-Петербурга по результатам наблюдений с конца XIX века // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2013. – № 4. – С. 2–7.
26. Васенин В. А. Разработка геоинформационной системы по оценке длительных осадок зданий исторического центра Санкт-Петербурга // Инженерные изыскания. – 2016. – № 10–11. – С. 62–70.
27. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс».
28. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*. – М. : Стандартинформ, 2017.

Получено 16.01.2019

© Ю. А. Новиков, А. Н. Краев, 2019

## **GEODETC OVERSEEING BY BUILDING SETTLEMENTS WITHIN CARRYING OUT GEOTECHNICAL MONITORING**

*Yurii A. Novikov*

Industrial University of Tyumen, 2, Lunacharsky St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and cadastral activity, phone: (904)496-91-18, e-mail: novikov.tiu@gmail.com

*Alexey N. Kraev*

Industrial University of Tyumen, 2, Lunacharsky St., Tyumen, 625001, Ph. D., Associate Professor, Department of Building Constructions, phone: (909)740-89-43, e-mail: kraev\_aln@mail.ru

Results of the long natural geodetic overseeing by development of settlements of one of houses constructed on the natural basis on the territory of the Tyumen region are presented in article. Schedules of development of settlements during realization of geotechnical monitoring are provided. Explicitly the method and measuring instruments controlled parameter applied at geotechnical monitoring on this object is described. According to engineering-geological researches comparison of the actual settlements with results of the forecast of development of average draft of the building in time according to the theory of filtrational consolidation is executed. It is noted that existence of nonuniformity of settling of the building, during observation, is caused by different engineering-geological conditions of the basis. The results received when performing geotechnical monitoring of the studied object will be the basis for systematization of data array and formation of the general base of overseeing by settlements of buildings in the territory of the Tyumen region.

**Key words:** geodetic observations, geotechnical monitoring, settling of the building, deformation, geometrical leveling, list, sensors, forecast, theory of filtrational consolidation, method of layer-by-layer toting.

## REFERENCES

1. Gvozdetsky, H. A. (1973). *Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie Tyumenskoj oblasti. [Physiographic division into districts of the Tyumen region]*. Moscow: MSU Publ., 147 p. [in Russian].
2. Abelian, M. Yu. (1983). *Stroitel'stvo promyshlennyh i grazhdanskikh sooruzhenij na slabyyh vodonasyshchennyh gruntah [Construction of industrial and civil constructions on weak water-saturated soils]*. Moscow: Strojizdat Publ., 248 p. [in Russian].
3. Vyatkina, E. I., & Shushakova O. Yu. (2007). Construction of industrial and civil constructions on weak water-saturated soils. In *Nauka i molodezh' [Science and Youth]*. Barnaul: ALTGTU Publ., 48 p. [in Russian].
4. SP 11-105-97. (1997). Engineering geological site investigations for construction. Moscow: PNIIS of the State Committee for Construction of Russia [in Russian].
5. GOST 20522-2012. (2013). Soils. Methods of statistical processing of test data. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
6. SP 22.13330.2016. (2017). Soil bases of buildings and structures. Original positions. The updated version Construction norms and regulations 11-02-96. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
7. SP 305.1325800.2017. (2018). Buildings and structures. The rules of geotechnical monitoring under construction. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
8. Malkov, A. G., & Kobeleva, N. N. (2016). The development of a programme for monitoring precipitation structures based on system approach system study of deformations of structures. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2016: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 26–30). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
9. Novikov, Y. A., Shchukina, V. N. (2017). Preparatory stage for instrumental monitoring and structural inspection of buildings and structures. In *Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017)* (pp.773–778).
10. MRDS 02-08. (n. d.). Manual on scientific and technical support and monitoring of buildings and structures under construction, including large-span, high-rise and unique. Retrieved from <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293834/4293834435.pdf> [in Russian].
11. Guidelines for monitoring deformations of the base and foundations of buildings and structures. (1975). Moscow: N. M. Gersevanov Research Institute of foundations and underground structures [in Russian].

12. Federal Law of December 12, 2009 No 384-FZ. Technical regulations on the safety of buildings and structures. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
13. GOST 31937-2011. (2014). Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of structural state. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].
14. Shevchenko, G., Gura, D., & Zheltko, C. H. (2009). Determination of the roll of engineering structures using non-reflective total station. In *Sbornik materialov III Nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh «Molodezh' i nauchno-tekhnicheskij progress v dorozhnoj otrasli yuga Rossii [Proceedings of III Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists: Youth and Scientific and Technical Progress in the Road Sector of the South of Russia]* (pp. 147–149) [in Russian].
15. Malkov, A. G., & Kobeleva, N. N. (2015). The development of a programme for monitoring precipitation structures based on system approach system study of deformations of structures. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 221–227). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
16. Timofeev, V. Yu., Masalsky, O. K., Ardyukov, D. G., & Timofeev, A. V. (2015). Local deformation and rheological parameters by measurements in Italaya station gallery (Baikal region). *Geodynamics & Tectonophysics*, 6, 245–253.
17. Boldyrev, G. G., & Zhivaev, A. A. (2013). Geotechnical monitoring. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Researches]*, 10–11, 22–27 [in Russian].
18. Khoroshilova, Z. A., & Khoroshilov, V. S. (2012). Engineering structures deformation monitoring as a component of geodetic monitoring. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 77–80). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
19. Nikonov, A. V. (2013). Modern geodetic instruments: features of application for observing power plants buildings and structures settlement and deformation. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 4(24), 12–18 [in Russian].
20. Hiller, Bernd. (2010). Technology of geodetic deformation monitoring-application experience. In *Otkrytyj gradostroitel'nyj forum, sessiya «Bezopasnost' stroitel'stva i ehkspluatacii ob"ektov» [Proceedings of Open Urban Forum, Session "Safety of Construction and Operation of Facilities"]* (pp. 111–115). Novosibirsk [in Russian].
21. Hiller, Bernd, Staroverov, S. V., & Myasnikov, Y. V. (2015). On the possibility of using digital survey for geodetic monitoring of engineering structures. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aehrofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 1, 86–87 [in Russian].
22. GCINP (GNTA)-03-010-03. (2004). Surveying, mapping instructions, rules and regulations. Instructions for leveling 1, 2, 3 and 4 classes. Moscow. TSNIIGAIK Publ. [in Russian].
23. Gulyaev, Yu. P. (2008). *Prognozirovanie deformacii sooruzhenij na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudenij [Prediction of deformations of structures based on the results of geodetic observations]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 256 p. [in Russian].
24. Kobeleva, N. N., & Khoroshilov, V. S. (2015). Construction according to geodetic data of expected model of process movements of the crest of the dam of sayano-shushenskaya hydroelectric power station (at the stage operation of 2007-2009). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SUGGT]*, 4(32), 5–12 [in Russian].
25. Vasenin, V. A. (2013). Estimation of continuing settlements in historic developments of Saint Petersburg based on observations conducted since the close of the xix century. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [Soil Mechanics and Foundation Engineering]*, 4, 2–7 [in Russian].

26. Vasenin, V. A. (2016). Development of a geoinformation system on assessment of long-term settlements of buildings in the historical center of Saint Petersburg. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Researches]*, 10-11, 62–70 [in Russian].

27. SP 24.13330.2011. Pile foundations. Revised edition Construction Norms and Regulations 2.02.03-85. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].

28. SP 22.13330.2016. (2017). Soil bases of buildings and structures. Revised edition Construction Norms and Regulations 2.02.01-83\*. Moscow: Standartinform Publ. [in Russian].

Received 16.01.2019

© Y. A. Novikov, A. N. Kraev, 2019