УДК 528.02+658.58

ВЫСОКОТОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ АКВАПАРКА

Андрей Аркадьевич Шоломицкий
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: sholomitskij@mail.ru

Елена Константиновна Лагутина
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: e.k.lagutina@ssga.ru

Екатерина Леонидовна Соболева
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: e.l.soboleva@mail.ru

В статье рассмотрена актуальность и проблемы геодезического мониторинга строящихся большепролетных сооружений и применяемые при этом методы мониторинга. Дано описание конструктивных и проектных особенностей строящегося объекта и инженерно-геологические характеристики грунта на месте строительства. Обоснована методика высокоточных геодезических работ при мониторинге состояния зданий и сооружений строящегося аквапарка. Измерения выполнялись комплексом «Визир 3D». Приведены данные предрасчета точности геодезических сетей и практического применения комплекса при выполнении высокоточных измерений. Выявлена корреляция деформаций железобетонных конструкций и температуры окружающей среды. Для учета изменения объекта при изменении параметров окружающей среды предлагается создание комплексной модели объекта, учитывающей эти параметры. Рассматриваются задачи геодезических измерений, которые требуют решения. Использование онлайнового геодезического комплекса «Визир 3D» позволило существенно сократить время полевых и камеральных работ и повысить точность измерений.

Ключевые слова: строительство, монтаж, мониторинг, моделирование, геодезические измерения, предрасчет точности.

Введение

В последние годы в России активно ведется строительство уникальных объектов [1], таких как олимпийские объекты, расположенные в г. Сочи. К этим объектам относятся ледовый дворец «Большой», керлинговый центр «Ледяной куб», крытый конькобежный центр «Адлер-арена», дворец зимнего спорта «Айсберг», ледовая арена «Шайба» и олимпийский стадион «Фишт» [2]. Кроме того, в различных городах России в рамках подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 г. осуществляются строительство и реконструкция стадионов.

В связи с увеличением количества аварий, обрушений зданий и сооружений с большепролетными конструкциями в России и других странах мира безопасность при строительстве и эксплуатации данных объектов является важнейшей задачей, которая решается с помощью геотехнического мониторинга.

К таким нарушениям строительных конструкций можно отнести разрушенный в 2004 г. купол «Трансвааль парка» в г. Москве, разрушенные в 2005 г. в аэропорту Парижа секции терминала, кровли катков в Германии и Австрии, а также кровлю Басманного рынка в г. Москве [3, 4].

Нормативно-техническая база по деформационному мониторингу инженерных сооружений, в основе которой лежит ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения», содержит целый ряд технических регламентов [5–15], а также правила обследования и мониторинга технического состояния [16]. Однако, в настоящее время, к сожалению, не существует единого нормативного документа, регулирующего процесс геодезического мониторинга строящихся и эксплуатируемых уникальных инженерных сооружений.

Анализ публикаций по мониторингу технического состояния объектов показал, что в настоящее время используются различные технологии мониторинга деформационных процессов [17–20], в том числе и автоматизированные [21–27]. Специфика строительства уникальных сооружений сопряжена с большими габаритами, сложной и неповторимой геометрией объекта. Поэтому в каждом конкретном случае разрабатывается и применяется индивидуальная технология геодезического мониторинга.

В октябре 2016 г. в г. Новосибирске закончено строительство уникального объекта – самого большого за Уралом всесезонного крытого аквапарка, аналога которому нет в России.

С марта 2015 г. по июль 2016 г., с целью своевременного выявления дефектов и предотвращения аварийных ситуаций в период строительства аквапарка, выполнялись геотехнический мониторинг железобетонных колонн, плит оснований сооружений, деревоклееных конструкций балок перекрытия и измерение крена трубы газовой котельной.

Основные конструкции аквапарка образуют геометрическую систему, которая должна обладать необходимой точностью взаимного расположения отдельных элементов. Деформация сооружений при эксплуатации в результате воздействия целого ряда факторов (неточности изготовления конструкций, их монтажа, усадки и релаксации бетона, осадки оснований, неравномерного нагрева и нагрузки, вибрации) может привести к случайным и систематическим отклонениям от проектной геометрии их расположения. В связи с этим с целью определения возможности дальнейшей эксплуатации аквапарка возникает задача нахождения проектного положения линий, плоскостей и поверхностей сооружений, а также деформационных характеристик конструкций, оценки величины этих деформаций в целом или его отдельных частей. Геометрические параметры аквапарка изменяются в зависимости от уровня воздействия внешних условий. Отсюда следует, что система, рассчитанная на оптимальный режим функционирования, вследствие изменения внешних условий перестает быть оптимальной, и для восстановления оптимального режима необходимо изменить некоторые параметры системы путем соответствующего регулирования.

Наблюдение за осадками и деформациями фундаментов и определение деформаций деревоклееных балок аквапарка являются основными видами геодези-

ческих работ, выполняемых при геотехническом мониторинге, на данном объекте. Мониторинг сооружений аквапарка осложнялся тем, что в период строительства, монтажа внутреннего оборудования и отделки помещений невозможно было применить методы стационарного мониторинга сооружений [21–27].

Характеристика объекта мониторинга

Инженерно-геологические изыскания на площадке строительства оздоровительного комплекса с аквапарком и гостиницей показали, что в геоморфологическом отношении участок приурочен к пойменной части р. Оби. В геологическом строении территории принимают участие современные аллювиальные отложения поймы р. Оби, залегающие на коре выветривания гранитов мел-палеогенового возраста. Толщина аллювиальных отложений, представленная переслаиванием сероцветных суглинков, супесей и песков, залегает на отложениях коры выветривания. На дневной поверхности залегают современные отложения, представленные насыпными грунтами неоднородного сложения и почвенно-растительным слоем. Рельеф строительной площадки неровный, осложненный техногенными насыпями, и имеет небольшой уклон в сторону р. Оби.

Объемно-планировочное решение здания соответствует технологической схеме функционирования объекта и принятому архитектурному решению. Конструктивная схема здания каркасно-стеновая, основными вертикальными несущими конструкциями являются колонны и стены. Пространственная жесткость каркаса здания обеспечивается совместной работой жестких дисков перекрытий с колоннами и стенами. Расчет элементов железобетонных конструкций выполнен в соответствии со СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Купольная часть аквапарка спроектирована институтом ЦНИИСК им. Кучеренко, а проект фундамента и основания разработан ОАО «Фундаментпроект». Фундаменты аквапарка свайные с монолитным железобетонным ростверком. Сваи и ростверк запроектированы ОАО «Фундаментпроект». Расчетные модели расположения свай выполнены ООО «РенессансСтрой». В соответствии с проектом на площадке строительства были забиты около 5 000 свай и залит монолитный железобетонный ростверк, разделенный на части деформационными швами под объекты аквапарка: собственно здания аквапарка с куполом, гостиницы, вестибюля, паркинга и котельной.

В соответствии с требованиями нормативных документов [5–7], на стадии строительства и последующей эксплуатации таких сооружений необходимо выполнять геодезические измерения с целью определения деформационного состояния их конструкций. На стадии проектирования были определены критические места зданий и сооружений аквапарка, которые располагаются по контуру объектов и на границах их фундаментных плит.

Для выполнения высокоточного геометрического нивелирования в подвальных помещениях и на несущих конструкциях аквапарка были заложены осадочные марки (рис. 1).

а) *б*)

Рис. 1. Способ закрепления марок на конструкциях аквапарка:
а) стенная марка; *б*) светоотражательная пленка

При этом часть марок по наружному контуру объектов представляет собой отражательные пленки, наклеенные на несущие конструкции аквапарка. Наблюдение за этими марками производилось тригонометрическим нивелированием короткими лучами.

По требованию заказчика, с целью минимизации затрат, глубинные реперы на территории промышленной площадки не закладывались, так как согласно техническому заданию необходимо было определять только относительные осадки.

Для наблюдения за стенными марками в подвальных помещениях аквапарка предполагалась стандартная методика геометрического нивелирования II класса с использованием цифрового нивелира и штрих-кодовых реек. В услови-

ях строительной площадки такая методика позволяет измерять превышения на станциях с ошибкой порядка 0,15–0,20 мм.

Обоснование методики

Для обоснования точности тригонометрического нивелирования короткими лучами были выполнены моделирование методики геодезических измерений и предрасчет точности тригонометрического нивелирования.

Исследования последних лет [28, 29] показали, что с помощью тригонометрического нивелирования короткими лучами можно получить точности измерений, соответствующих по точности геометрическому нивелированию II класса.

Для оценки влияния формы геометрии геодезической сети в условиях строящегося объекта «Аквапарк» было выполнено моделирование сети и точности измерений. Оценка точности определения координат производилась с использованием программы уравнивания маркшейдерских и геодезических сетей и обработки съемок «МГСети» [30]. Эта программа позволяет выполнить моделирование геодезических измерений и предрасчет точности измерений с учетом геометрии сети.

На рис. 2 столбиковой диаграммой показаны ошибки определения плановых координат пунктов запроектированной сети при условии, что ошибки измерения горизонтальных углов и углов наклона равны 0,5", а расстояний – 1,0 мм.

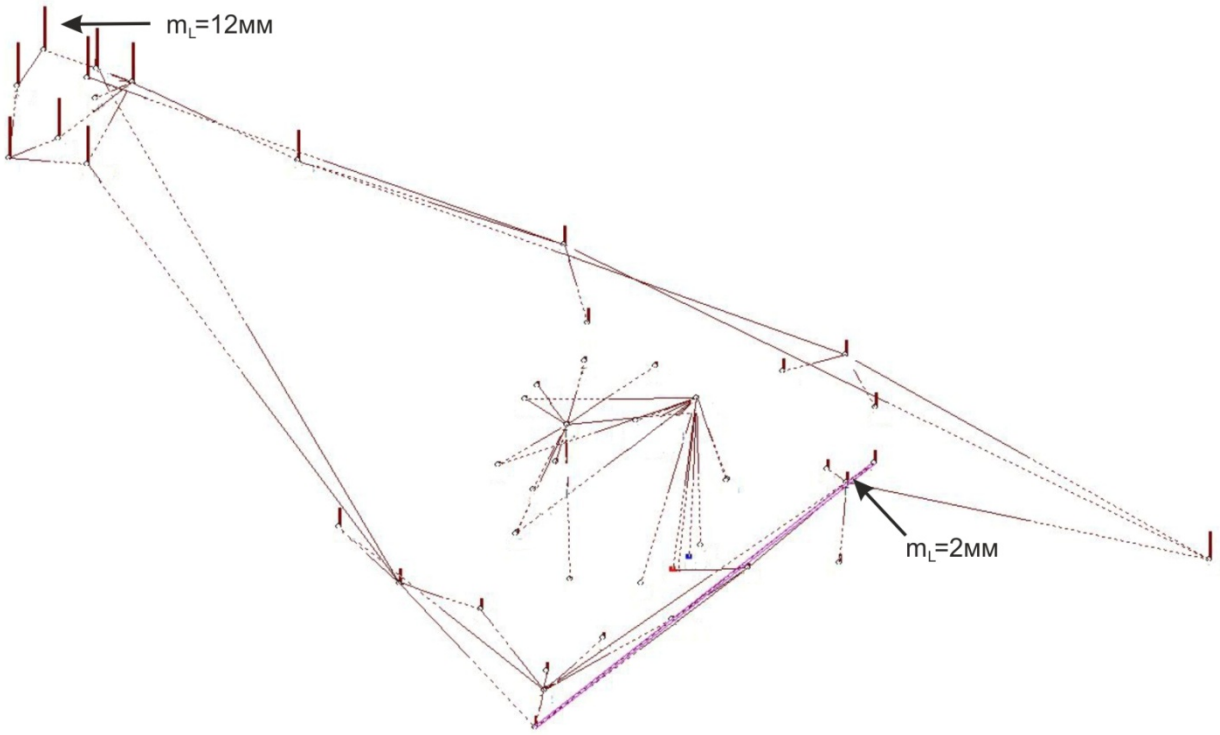

Рис. 2. Ошибки определения плановых координат пунктов

Такие параметры точности измерений обеспечивает электронный тахеометр Leica TM30. Анализ распределения плановых ошибок в сети показывает, что ошибки закономерно возрастают с юго-востока, где группой расположены опорные точки, на северо-запад; величины этих ошибок находятся в пределах от 1,0 до 12,0 мм. Величины таких ошибок обусловлены тем, что сеть представляет собой две отдельные группы осадочных марок, связанных между собой нивелирным ходом. Если выполнить моделирование геодезических измерений с учетом этих факторов, то ошибки определения плановых координат могут возрасти до 18–20 мм в северо-западной части промышленной площадки, где располагается котельная. В связи с этим необходимо отметить, что форма сети крайне неблагоприятна для определения плановых координат с более высокой точностью.

Анализ ошибок определения высот пунктов (рис. 3) показал, то они имеют такую же закономерность, т. е. возрастают с юго-востока на северо-запад, от 0,1 до 0,6 мм и в среднем составляют 0,3 мм. Причем на точность определения высот не оказывает значения поворот всей сети вокруг опорных точек в плане.

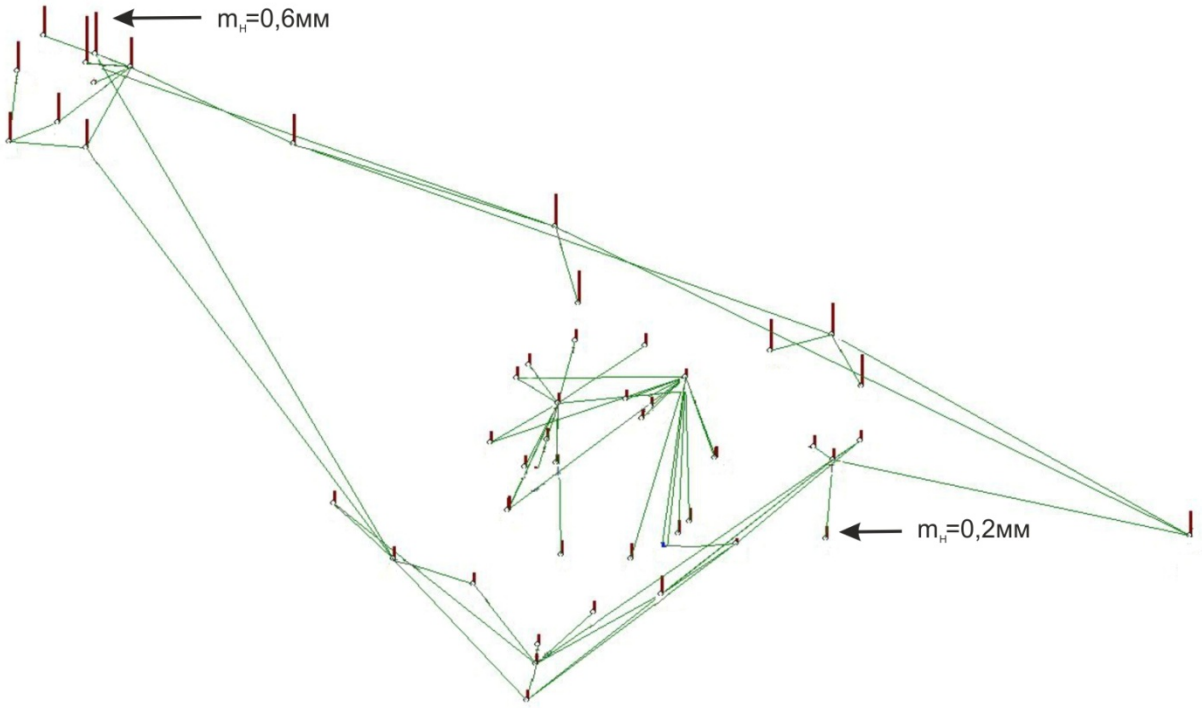

Рис. 3. Предрасчет определения ошибок высот пунктов

С целью уменьшения влияния вертикальной рефракции длины сторон на станции не превышали 120 м.

Определение превышений производилось тригонометрическим нивелированием короткими лучами, параметры точности измерений показаны на рис. 4.

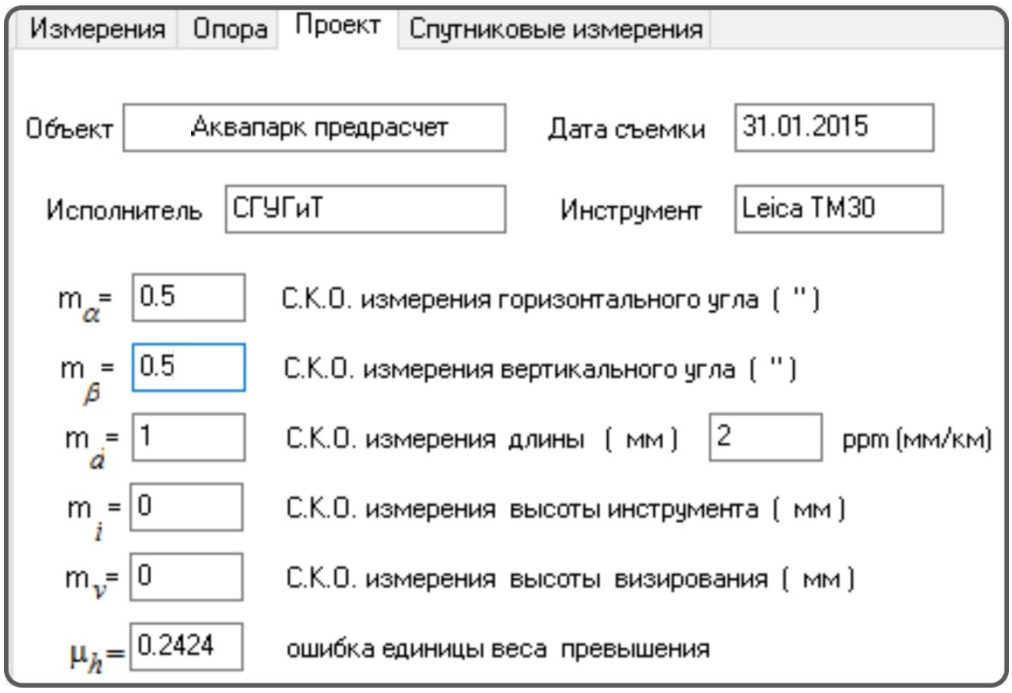

Рис. 4. Параметры точности измерений для предрасчета

Результаты наблюдений

В настоящей статье рассмотрены 12 циклов измерений. Условия измерений между циклами значительно отличались: в зимние месяцы температура опускалась до –18 ºС, а в летние – поднималась до +30 ºС (рис. 5, 6).

Рис. 5. Условия измерений

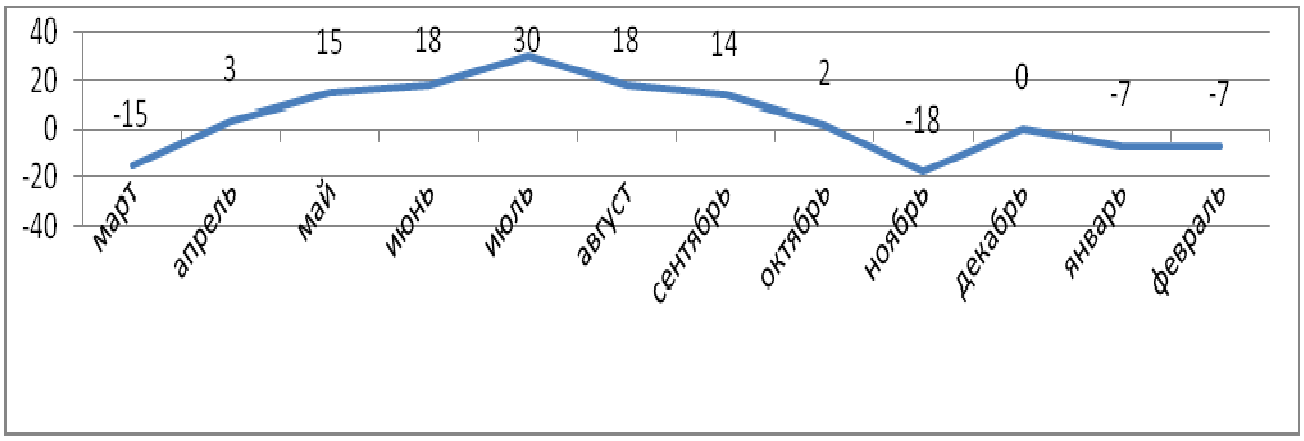

Рис. 6. Годовой график температур

Измерения выполнялись измерительным комплексом «Визир 3D» [31] пятью приемами, что позволило повысить точность определения отметок деформационных марок и значительно сократить время измерений.

На основании выполненных измерений можно сделать заключение, что положение наблюдательных марок z1–z10, закрепленных на верхнем ярусе железобетонной кольцевой балки, стабильно и определяется температурными деформациями бетонных конструкций. По мере нагружения кольца появились небольшие осадки, равные в среднем около 2–3 мм (рис. 7); их величины коррелируют с сезонными температурными изменениями.

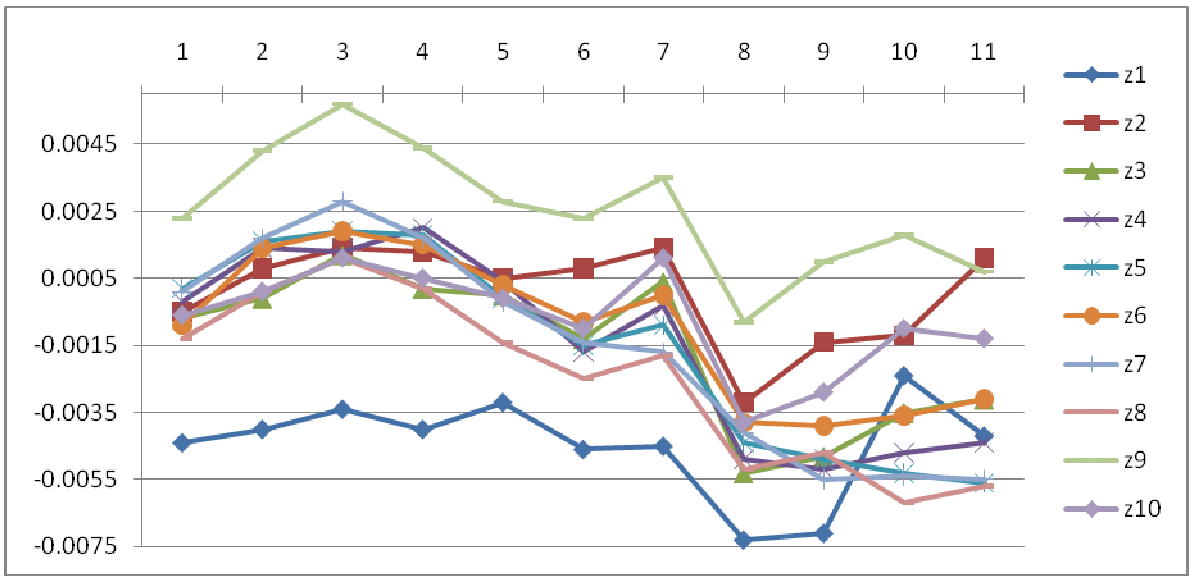

Рис. 7. Годовой график оседаний марок железобетонной кольцевой балки

Осадки вестибюля (рис. 8) и других частей аквапарка имеют практически равномерный характер, достигают 10–12 мм и обусловлены возрастанием нагрузок.

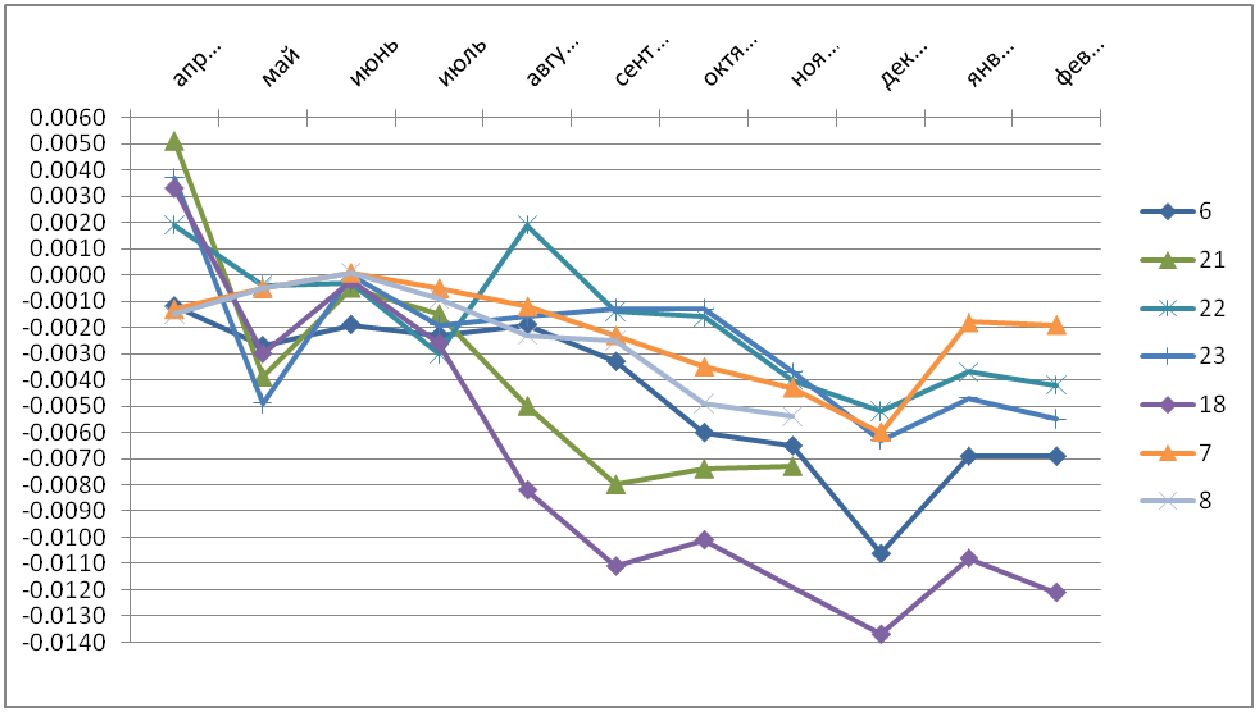

Рис. 8. Величины осадок марок вестибюля

Наблюдения за опорными конструкциями труб котельной показали, что крены осей трубчатых опорных конструкций значительно меньше допустимых [32] значений и находятся в диапазоне от 20,0 до 40,0 мм. Причиной возникновения крена является, в основном, ветровая нагрузка.

Выводы

Анализ деформационного состояния наблюдаемых сооружений показывает, что величины их оседания меньше допустимых, представленных в таблице, и не превышают 60 % для объекта «Вестибюль».

Допустимые прогибы плиты

№ п/п	Название объекта	Допустимый прогиб, мм
1	Паркинг	20,53
2	Гостиница	20,62
3	Вестибюль	20,40
4	Аквапарк	17,64

Для других объектов осадки марок составляют от 10 до 30 % от допустимых величин.

Осадки большинства объектов аквапарка имеют четкую корреляцию с температурой окружающей среды (см. рис. 6, 7), причем температурная составляющая деформаций для разных объектов составляет от 15 до 50 %. Поэтому модель реакции объекта на изменяющиеся условия внешней среды должна быть неотъемлемой частью проекта сооружения. К сожалению, в представленном проекте данного сооружения не было не только модели возникновения деформаций под воздействием факторов внешней среды, но и проекта деформационного мониторинга в целом.

Первые два цикла выполнялись в традиционном режиме геодезических измерений – производились измерения с записью в память тахеометра с последующей обработкой в камеральных условиях. Затем стали использовать геодезические измерения с помощью программного комплекса «Визир 3D», что позволило сократить время измерений почти в два раза и повысить точность измерений, за счет контроля измерений в процессе их выполнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумейко В. И., Кудинов О. А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник. Дон. электронный научный журнал. – 2013. – № 4 (27). – С. 281 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://elibrary.ru/item.asp?id=21452385.

2. Шахраманьян А. М., Колотовичев Ю. А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. – 2015. – № 12. – С. 92–105.

3. Гурьев В. В., Стражников А. М. О проблемах безопасной эксплуатации большепролетных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 5. – С. 35–36. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.pgs1923.ru/russian/rindex.htm.

4. Могильный С. Г. , Шоломицкий А. А., Шморгун Е. И. Проект автоматизированной системы геодезического мониторинга стадиона // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна. – 2010. – Випуск 12 (173). – С. 3–14. – рус.

5. МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/415921552.

6. 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.

7. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200084710.

8. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/871001219.

9. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200097510.

10. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200096789.

11. СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_306.html.

12. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М. : ЦНИИГАИК, 2004. – 226 с.

13. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/gost-24846-2012.

14. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200084848/.

15. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/1200042296.

16. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937-2011_.pdf.

17. Горпинченко В. М., Егоров М. И. Мониторинг технического состояния конструкций социально значимых большепролетных сооружений Москвы // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 8. – С. 16–19.

18. Lambrou E, Pantazis G, Nikolitsas K. Special Marking of 3D Networks' Points for the Monitoring of Modern CONSTRUCTIONS // Proceedings of «13th FIG Symposium on Deformation measurements and Analysis – Measuring the changes - 4th IAG symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering» (Portugal, Lisbon 12-15 May 2008). – Portugal, Lisbon 2008. – P. 1–10. – Англ.

19. Новиков В. Ю. Применение деформационного мониторинга для предотвращения аварий промышленных объектов // Экология и промышленность России. – 2014. – № 2. – С. 46–48.

20. Болдырев Г. Г., Живаев А. А. Геотехнический мониторинг // Инженерные изыскания. – 2013. – № 10–11.– С. 22–27.

21. Практический опыт устройства стационарных автоматизированных систем мониторинга строительных конструкций на олимпийских объектах в городе Сочи / И. Е. Штунцайгер, Д. А. Лысов, А. С. Денисов, А. О. Слободенюк, А. И. Кугачев // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 4 (60). – С. 67–71.

22. Марков С. В., Галубка А. И., Синютин А. В. Автоматизированный мониторинг несущих конструкций большепролетных зданий / // Научное обозрение. – 2014. – № 7–1. – С. 125–129.

23. Богданец Е. С., Черемухина О. О. Изучение процессов деформаций с использованием автоматизированной системы мониторинга // Master's Journal. – 2014. – № 1. – С. 82–90.

24. Хиллер Б., Ли В. Т., Сухов И. В. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // Инженерная защита. – 2014. – № 4 (4). – С. 36–43.

25. Дорофеев В. М., Лысов Д. А., Денисов А. С. Особенности проектирования автоматизированных стационарных систем мониторинга технического состояния несущих конструкций большепролетных спортивных сооружений Олимпиады-2014 в Сочи // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 12. – С. 46–48.

26. Автоматизированный контроль конструктивной безопасности уникальных объектов, включая высотные и широкопролетные / В. В. Гурьев, В. М. Дорофеев, Д. А. Лысов,

Н. В. Назьмов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – № 2. – С. 55–61.

27. Главинский Д. В. Методика непрерывного автоматизированного мониторинга строительных конструкций покрытия в ледовом дворце «Уральская молния» // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 3. – С. 64–68.

28. Никонов А. В., Бабасов С. А. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 71–77.

29. Уставич Г. А., Никонов А. В., Бабасов С. А. Методика выполнения обратного тригонометрического нивелирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 51–56.

30. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А. Программный комплекс для подземных маркшейдерских сетей // Уголь Украины. – 2011. – № 5. – С. 17–22.

31. Измерительный комплекс «Визир 3D» на предприятиях Украины: геодезический контроль и выверка технологического оборудования / С. Г. Могильный, А. А. Шоломицкий, В. Н. Ревуцкий, В. А. Пригаров // Геопрофиль. – 2009. – № 3 (6). – С. 12–19.

32. ПБ 03-445-02. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.volgograd-vdpo.ru/file/rule_smogpipe.pdf.

Получено 20.06.2017

© А. А. Шоломицкий, Е. К. Лагутина, Е. Л. Соболева, 2017

HIGH PRECISION GEODETIC MEASUREMENTS AT DEFORMATION MONITORING OF AQUAPARK

Andrei A. Sholomitsky
Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Dr. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Surveying Business, phone: (383)343-29-55, e-mail: sholomitskij@mail.ru

Elena K. Lagutina
Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Senior Teacher, Department of Engineering Geodesy and Surveying Business, phone: (383)343-29-55, e-mail: e.k.lagutina@ssga.ru

Ekaterina L. Soboleva
Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Surveying Business, phone: (383)343-29-55, e-mail: e.l.soboleva@mail.ru

The article considers the urgency and problems of geodetic monitoring of large-span structures under construction and the methods of monitoring used. A description of the design of the object under construction and the geotechnical characteristics of the soil at the construction site are given. The article proves the method of precision geodetic works in monitoring the state of build-

ings and structures of Aquapark Novosibirsk. The measurements were carried out by on-line measuring complex "Vizir 3D". Data accuracy precalculation of geodetic networks and practical application of the complex by high-precision measurements are provided. Correlation of deformations of reinforced concrete structures and ambient temperature is revealed. To account for the change in the object when the environmental parameters are changed, it is proposed to create a complex model of the object that takes into account these parameters. Problems which require the solution are defined. Using the online geodetic complex "Vizir 3D" allowed to significantly reduce the time of field and computational work and improve the accuracy of measurements.

Key words: building, installing, monitoring, modeling, geodetic measurements, accuracy precalculation.

REFERENCES

1. Shumeyko, V. I., & Kudinov, O. A. (2013). On the design features a unique, long-span and high-rise buildings and structures. *Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering Journal of Don]*, *4*(27), 281 p. Retrieved from: http://elibrary.ru/item.asp?id=21452385 [in Russian].

2. Shakhraman'yan, A. M., & Kolotovichev, Yu. A. (2015). Experience of using automated monitoring systems of the strain state of bearing structures on the olympic objects Sochi-2014. *Vestnik MGSU [Vestnik MGSU], 12*, 92–105 [in Russian].

3. Gurjev, V. V., Dorofeev, V. M., & Strazhnikov A. M. (2007). The problems of safe operation of large-span buildings and structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*, *5*, 35–36. Retrieved from http://www.pgs1923.ru/russian/rindex.htm [in Russian].

4. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., & Shmorgun, E. I. (2010). Automated system project of geodetic monitoring for stadiums. *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnichnogo universytetu. Serija: Girnycho-geologichna [Proceedings of Donetsk National Technical University. Series: Mining and Geology]*, *12*(173), 3–14 [in Russian].

5. Guidance Documentation in Construction. (2010). *Metodika geodezicheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vysotnykh i unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy (MDS 13-22.2009) [Methods of geodetic monitoring of a technical condition of high-rise and unique buildings and structures]*. Retrieved from http://docs.cntd.ru/document/415921552 [in Russian].

6. Guidance Documentation in Construction. (2008). *Posobie po nauchno-tekhnicheskomu soprovozhdeniyu i monitoringu stroyashchikhsya zdaniy i sooruzheniy, v tom chisle bol'sheproletnykh, vysotnykh i unikal'nykh (MRDS 02-08) [Handbook for scientific and technical support and monitoring of buildings and structures under construction, including large-span, high-rise and unique structures and buildings]*. Retrieved from http://www.gostrf.com/normadata/1/4293834/4293834435.pdf [in Russian].

7. Rulebook. (2011). *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy (SP 22.13330.2011) [Soil bases of buildings and structures]*. Retrieved from at: http://docs.cntd.ru/document/1200084710 [in Russian].

8. Code of practice. (1997). *Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva (SP 11-104-97) [Engineering geodesical survey for construction]*. Retrieved from http://docs.cntd.ru/ document/871001219 [in Russian].

9. Rulebook. (2012). *Nesushchie i ograzhdayushchie konstruktsii (SP 70.13330.2012) [Load-bearing and separating constructions]*. Retrieved from http://docs.cntd.ru/document/1200097510 [in Russian].

10. Rulebook. (2012). *Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya (SP 47.13330.2012) [Engineering survey for construction. Basic principles]*. Retrieved from http://docs.cntd.ru/document/1200096789 [in Russian].

11. Building codes and regulations (2001). *Bezopasnost' truda v stroitel'stve: Chast' 1, Obshchie trebovaniya (SNiP 12-03-2001) [Job safety in construction: Part 1, General requirements]*. Retrieved from http://www.tehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_306.html. [in Russian].

12. Geodesic, cartographic instructions, standards and rules. (2004). *Instrukcija po nivelirovaniju I, I, III i IV klassov (GKINP (GNTA)-03-010-03) [Manual leveling I, II, III and IV classes]*. Moscow: CNIIGAIK [in Russian].

13. State standard. (2012). *Grunty. Metody izmereniya deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy (GOST 24846-2012) [Soils. Measuring methods of strains of structures and building bases]*. Retrieved from http://docs.cntd.ru/document/gost-24846-2012 [in Russian].

14. Rulebook. (2011). *Nagruzki i vozdeystviya (SP 20.13330.2011) [Loads and actions]*. -Retrieved from http://dokipedia.ru/document/5140596 [in Russian].

15. Moscow city's construction standards. (2005) *Vremennye normy i pravila proektirovaniya mnogofunktsional'nykh vysotnykh zdaniy i zdaniy-kompleksov v gorode Moskve (MGSN 4.19-2005) [Temporary norms and rules for design of multifunctional high-rise buildings and complexes of buildings in Moscow]*. Retrieved from http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46475/ [in Russian].

16. State Standard. (2011). *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya (GOST 31937-2011) [Buildings and constructions. Rules of inspection and of the technical condition]*. Retrieved from http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937-2011_.pdf [in Russian].

17. Gorpinchenko, V. M., & Yegoroy, M. I. (2006). Monitoring the technical conditions of structures used for socially- significant large-span buildings in Moscow. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and Civil Engineering]*, *8*, 16–19 [in Russian].

18. Lambrou, E., Pantazis, G., & Nikolitsas, K. (2008). Special Marking of 3D Networks' Points for the Monitoring of Modern CONSTRUCTIONS. *Proceedings of 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis & 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering* (pp. 1–10). Portugal: Lisbon.

19. Novikov, V. J. (2014). The application of deformation monitoring to prevent accidents of industrial facilities. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]*, *2*, 46–48 [in Russian].

20. Boldyrev, G. G., & Zhivaev, A. A. (2013). Geotechnical monitoring. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Surveys]*, *10–11*, 22–27 [in Russian].

21. Stuntsaiger, I., Lysov, D., Denisov, A., Slobodenyuk, A., & Kugachev, A. (2015). Device practice of stationary automated monitoring systems of constructions on the Olympic sites in Sochi. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Building and reconstruction]*, *4*(60), 67–71 [in Russian].

22. Markov, S. V., Galubka, A. I., & Sinyutin, A. V. (2014). Automated monitoring of the bearing constructions of large-span buildings. *Nauchnoe obozrenie [The Scientific Review]*, 7–1, 125–129 [in Russian].

23. Bogdanets, E. S., & Cheryomukhina, O. O. (2014). Research in deformation processes with the application of automatic monitoring system. *Master's Journal [Master's Journal]*, *1*, 82–90 [in Russian].

24. Hiller, B., Li, V. T., & Sukhov, I. V. (2014). Automated deformation monitoring system (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya HPP. *Inzhenernaya zashchita [Engineering Protection]*, *4*(4), 36–43 [in Russian].

25. Dorofeev, V. M., Lisov, D. A., & Denisov, A. S. (2011). Features of Design of Automated Stationary Systems for Monitoring of Technical State of Bearing Structures of Long-Span Sports Facilities of Olympic Games-2014 in Sochi. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, *12*, 46–48 [in Russian].

26. Guriev, V. V., Dorofeev, V. M., Lisov, D. A, & Nazmov, N. V. (2011). Automated inspection of structural safety of high-rise and wide-span unique buildings. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy [Structural Mechanics of Enginiring Constructions and Buildings]*, *2*, 55–61 [in Russian].

27. Glavinsky, D. V. (2011). Methods of the roofs constructions` automated monitoring in the Ice Palace "Uralskaya Molniya". *Monitoring. Nauka i bezopasnost' [Monitoring. Science and Safety]*, *3*, 64–68 [in Russian].

28. Nikonov, A. V., & Babasov, S. A. (2013). Research of trigonometric leveling in field conditions. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine surveying]* (pp. 71–77). Novosibirsk: SSUGT [in Russian].

29. Ustavich, G. A., Nikonov, A. V., & Babasov, S. A. (2014). Methods of inverse trigonometric leveling. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine surveying]* (pp. 51–56). Novosibirsk: SSUGT [in Russian].

30. Mogilny, S. G., & Sholomitsky, A. A. (2011). Software for underground mine networks. *Ugol' Ukrainy [Coal of Ukraine]*, *5*, 17–22 [in Russian].

31. Mogilny, S. G., Sholomitsky, A. A., & Revutsky, V. A. (2009). Software "Vizir 3D" at the enterprises of Ukraine: Geodetic control and reconciliation process equipment. *Geoprofil' [Geoprofil]*, *3*(6), 12–19 [in Russian].

32. Safety regulations. (2002). *Pravila bezopasnosti pri ekspluatatsii dymovykh i ventilyatsionnykh promyshlennykh trub (PB 03-445-02) [Guide to Operation of Industrial Smokestacks and Ventilation Pipes]*. Retrieved from: http://www.volgograd-vdpo.ru/file/rule_smogpipe.pdf [in Russian].

Received 20.06.2017

© A. A. Sholomitsky, E. K. Lagutina, E. L. Soboleva, 2017