

В. А. Калюзин¹, А. С. Сидорова^{2}*

Методика точного тригонометрического нивелирования на примере спортивных площадок

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: sidorasinka@gmail.com

Аннотация. Указывается, что в рамках Стратегии развития физической культуры и спорта в России стали активно восстанавливать и строить открытые спортивные площадки. Отмечается, что это обуславливает осуществление геодезического контроля качества работ по строительству таких объектов. Выполнен расчет обоснования точности геодезического контроля вертикальной планировки игрового поля открытых спортивных площадок. Доказано, что его можно выполнить геометрическим или геодезическим (тригонометрическим) методом на уровне точного нивелирования. С появлением электронных тахеометров на практике наиболее широкое применение получают геодезическое нивелирование. Проведены вычислительный и производственный эксперименты тригонометрического нивелирования способом нивелирования «вперед» и «из середины». Подтверждено, что тригонометрическое нивелирование способом «из середины» позволит достичь уровня точного нивелирования. Разработана технологическая схема точного геодезического нивелирования игрового поля открытых спортивных площадок. Выполнена апробация этой схемы на хоккейной коробке и доказана ее эффективность. В программном обеспечении Surfer построены модели поверхности игрового поля. Выявлены водосборные области на поверхности спортивной площадки и даны рекомендации по улучшению условий дренирования.

Ключевые слова: спортивные площадки, эксплуатационные требования, геодезический контроль, точное тригонометрическое нивелирование, эксперименты, технологическая схема

V. A. Kaluzhin¹, A. S. Sidorova¹

Technique for accurate geodetic leveling of outdoor sports grounds

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: sidorasinka@gmail.com

Abstract. It is indicated as part of the Strategy for the development of physical education and sports in Russia, they began to actively restore and build outdoor sports grounds. It is noted that this determines the implementation of geodetic quality control of works on the construction of such facilities. The calculation of the justification of the accuracy of geodetic control of the vertical layout of the playing field of outdoor sports grounds is carried out. It is proved that it can be performed by geometric or geodetic (trigonometric) method at the level of precise leveling. With the advent of electronic total stations, geodetic leveling has become widely used in practice. Computational and production experiments of trigonometric leveling by the method of leveling "forward" and "out of the middle" were carried out. It was confirmed that the method of trigonometric leveling "from the middle" will allow achieving the level of accurate leveling. A technological scheme of accurate geodetic leveling of the playing field of outdoor sports grounds was developed. This scheme was approbation on a hockey box and its effectiveness was proven. Models of the playing field surface

were built in the Surfer software. The catchment areas of the sports ground were determined and recommendations were made to improve drainage conditions.

Keywords: sports grounds, operational requirements, geodetic control, accurate trigonometric leveling, experiments, technological scheme

Введение

Правительство Российской Федерации уделяет большое внимание здоровью нации, в том числе удовлетворению спроса граждан на оздоровительные и спортивно-развлекательные виды досуга. В рамках Стратегии развития физической культуры и спорта до 2030 года стали активно строить и восстанавливать открытые спортивные площадки [1].

Это обуславливает проведение геодезического контроля строительства этих объектов, в частности – контроль вертикальной планировки поверхности игрового поля. В зависимости от назначения открытых спортивных площадок и схемы вертикальной планировки поверхности игрового поля, должно соблюдаться следующее эксплуатационное требование: продольные и поперечные уклоны поверхности игрового поля должны находиться в диапазоне от 0,002 до 0,01 м [2].

Методы и материалы

Опираясь на методику назначения точности геодезического контроля Б.Н. Жукова [3], было определено, что для спортивной площадки размером 30x60 м при односкатной схеме вертикальной планировки поверхности игрового поля, точность измерения превышений на станции при контроле вертикальной планировки должна находиться на уровне точного нивелирования: 2,8–5,7 мм.

Как известно, превышения определяют геометрическим и тригонометрическим методами. С появлением современных электронных тахеометров стали широко применять тригонометрическое (геодезическое) нивелирование.

Значительный вклад в исследования высокоточного тригонометрического нивелирования внесли следующие отечественные ученые: Изотов А.А., Пеллинен Л.П., Струве В.Я., Цингеру Н.Я., Померанцев И.И., Пискунов М.Е., Уставич Г.А., Никонов А.В. и другие [4–10].

Вместе с тем точное тригонометрическое нивелирование проработано недостаточно полно и его исследование имеет важное научно-практическое значение. В связи с этим поставлена цель: разработать методику точного тригонометрического (геодезического) нивелирования для контроля вертикальной планировки открытых спортивных площадок.

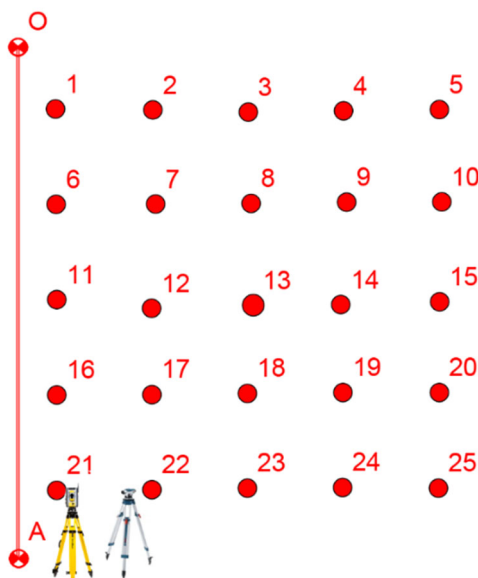
Результаты

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проанализированы общие сведения об открытых спортивных площадках и определена точность геодезического контроля плоскости игрового поля; проведены вычислительный и производственный эксперименты тригонометрического нивелирования поверхности открытых спортивных площадок; разработана технологическая схема точного тригонометрического нивелирования спортивной пло-

щадки и выполнена ее апробация на хоккейной коробке Сибирского государственного университета геосистем и технологий (СГУГиТ).

В качестве методов исследования применены системный анализ и обработка результатов экспериментов.

В вычислительном и производственном экспериментах модель территории игрового поля имела следующие характеристики: поле, размером 20x20 м, разделили на 16 квадратов (рис. 1); угол наклона поверхности не превышал 1° .



A – станция; 1–25 – съемочные точки

Рис. 1. Модель территории игрового поля

Для имитации ошибок тригонометрического нивелирования способом «вперед» применялась модель средней квадратической погрешности (СКП),

$$m_h^2 = \operatorname{tg}^2 \vartheta m_s^2 + \frac{S^2}{\cos^4 \vartheta} \cdot \frac{m_g^2}{\rho^2} + 2m_{iv}^2, \quad (1)$$

где ϑ – угол наклона; S – расстояние (30 м); m_{iv} – средняя квадратическая погрешность измерения высоты прибора и визирования (1 мм); m_g – средняя квадратическая погрешность измерения угла наклона ($6''$); m_s – средняя квадратическая погрешность определения горизонтального проложения ($2 + 2ppm$).

Кроме этого, задавалась систематическая погрешность в диапазоне от ± 1 до ± 4 мм.

Основные результаты вычислительного эксперимента приведены в табл. 1. В этой таблице представлен случай, когда была задана систематическая ошибка +4 мм. Средняя квадратическая погрешность измерения превышения по схеме нивелирования «вперед» и «из середины» составила 1,7 мм. Величина система-

тической ошибки по второй схеме уменьшилась до 6 % от значения СКП. Здесь следует отметить, что это характерно для всех вычислительных испытаний.

Таблица 1

Результаты вычислительного эксперимента

Нивелирование «вперед», мм		Нивелирование «из середины», мм	
СКП	Систематическая ошибка	СКП	Остаточная сист. ошибка
1,7	+4,0	1,7	- 0,1

В производственном эксперименте нивелирование поверхности поля выполнялось геометрическим и тригонометрическим методами цифровым нивелиром Sprinter 100 М и электронным тахеометром GTS 236.

Неравенство расстояний на станции геометрическим и тригонометрическим методами нивелирования способом «из середины» находилось в интервале от двух до трех метров. Результаты сопоставления этих методов и способов нивелирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты производственного эксперимента

Нивелирование «вперед», мм		Нивелирование «из середины», мм	
СКП	Остаточная сист. ошибка	СКП	Остаточная сист. ошибка
1,3	+ 3,7	1,2	+ 0,2

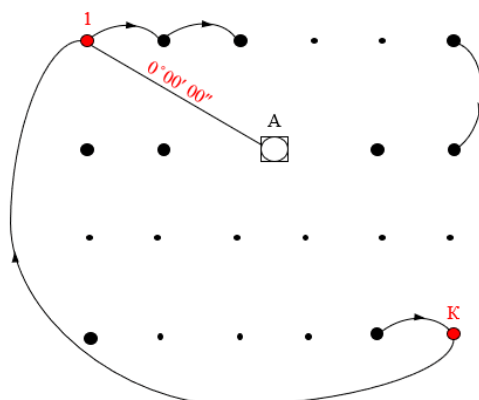
Анализ результатов производственного эксперимента (табл. 2) показал, что точность тригонометрического нивелирования способом «вперед» электронным тахеометром GTS 236 по сравнению с геометрическим нивелированием цифровым нивелиром Sprinter 100 М составляет 1,3 мм. При этом была выявлена значительная остаточная систематическая ошибка, которая, скорее всего, была получена из-за ошибки измерения высоты прибора.

При нивелировании способом «из середины» точность тригонометрического нивелирования (GTS 236) повысилась на 8 %, а систематическая погрешность существенно уменьшилась и составила 17 % от величины СКП (табл. 2).

Из результатов вычислительного и производственного экспериментов следует, что тригонометрическое нивелирование электронным тахеометром GTS 236 способом «из середины» может обеспечить точность определения превышения в пределах 1,5–2,0 мм.

Для проведения геодезического контроля вертикальной планировки игрового поля открытых спортивных площадок предлагается следующая технологическая схема:

1) Выполняется внешний осмотр площадки и отмечают места установки вешки-отражателя (рис. 2);



1, К – первая и последняя съемочные точки; А – станция; линия А-1 – линия нивелирования

Рис. 2. Схема нивелирования поверхности игрового поля

2) Тахеометр устанавливается в середине игрового поля спортивной площадки (станция А, см. рис. 2). К нижней части вешки прикрепляется «пятка». Определяется высота инструмента, задается условная отметка станции и высота вешки-отражателя. При тригонометрическом нивелировании высота инструмента и визирования должны быть равны;

3) Нивелирование выполняется двумя приемами, каждый из которых включает в себя два горизонта. На первом горизонте вешка-отражатель последовательно устанавливается, начиная, с первой до последней точки в следующем порядке: слева направо; сверху вниз. Затем меняется высота инструмента и определяются отметки последней и первой точки поверхности игрового поля повторно (см. рис. 2);

4) Определяются превышения по формуле

$$h_{ij} = H_{п(j)} - H_{з(i)}, \quad (2)$$

где $H_{п(j)}$, $H_{з(i)}$ – отметки передней и задней точек поверхности игрового поля.

Разность полученных из двух горизонтов превышений (по модулю) между одноименными точками не должна превышать 6,00 мм.

Сумма средних превышений по ходу не должна превышать предельно допустимого значения,

$$f_h = 4\sqrt{n} \text{ (мм)}, \quad (3)$$

где n – количество штативов,

Если условие выполняется, тогда производится уравнивание и вычисление отметок поверхности игрового поля относительно первой точки.

Апробация разработанной технологической схемы точного тригонометрического нивелирования была осуществлена на хоккейной площадке СГУГиТ. Она подтвердила точность и эффективность тригонометрического нивелирования. По результатам полученных отметок были созданы модели поверхности игрового поля в программе Surfer (рис. 3).

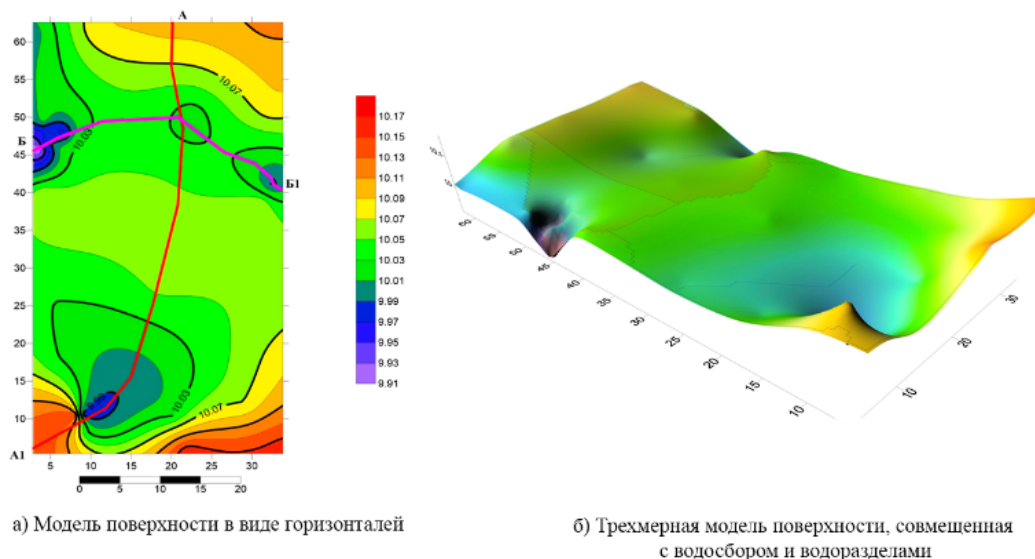


Рис. 3. Модели микрорельефа хоккейной коробки СГУГиТ

Анализ моделей микрорельефа хоккейной коробки СГУГиТ показал (см. рис. 3), что на поверхности игрового поля существуют три области водосбора: в южной, восточной и западной частях площадки. В двух последних протекает интенсивный процесс разрушения верхнего слоя насыпного грунта, в связи с этим рекомендовано выполнить корректуру вертикальной планировки в указанных зонах.

Выводы

Таким образом, разработанная методика точного тригонометрического (геодезического) нивелирования позволяет повысить точность и оперативность контроля качества вертикальной планировки игрового поля открытых спортивных площадок, а полученные в работе модели поверхности хоккейной коробки СГУГиТ создают основу для выбора оптимальных условий дренирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства РФ от 24 ноября 2020 г. № 3081-р «Об утверждении Стратегии развития физической культуры и спорта в РФ на период до 2030 года».
2. СП 31-115-2006 Открытые плоскостные физкультурно-спортивные сооружения СП (Свод правил) от 03.07.2006 N31-115-2006.

3. Жуков Б.Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
4. Никонов А.В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины [Текст] / А.В. Никонов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
5. Никонов А.В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров [Текст] / А.В. Никонов // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
6. Никонов А.В. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях [Текст] / А.В. Никонов, С.А. Бабасов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX 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. 71–78.
7. Никонов А.В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования [Текст] / А.В. Никонов // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
8. Пискунов М.Е. «Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений». – М.: Недра, 1980. 248 с.
9. Уставич Г.А. Методика выполнения обратного тригонометрического нивелирования [Текст] / Г.А. Уставич, А.В. Никонов, С.А. Бабасов // 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.
10. Яковлев Н.В. Высшая геодезия: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1989. – 445 с.: ил.

© А. С. Сидорова, В. А. Калюжин, 2024