

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-5-12>

УДК 511.2:528.9

## Геодезическое измерение деформаций несущих опор и конструкций здания Комаровского рынка при его эксплуатации

Канд. геогр. наук, доц. В. И. Михайлов<sup>1)</sup>, инж. Н. О. Куприенко<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2023  
Belarusian National Technical University, 2023

**Реферат.** Комаровский рынок – самый большой крытый рынок в Беларуси и Европе. Работать он начал в 1980 г. До 2000 г. эксплуатация здания рынка велась без учета уникальности и повышенных требований для объектов такого типа. Технические условия и правила эксплуатации сборно-монолитной железобетонной оболочки покрытия размерами 103×103 м не выполнены. Это привело к тому, что отдельные элементы находились в предаварийном состоянии. Учеными и специалистами БГПА (БНТУ) проведены работы по обследованию технического состояния и эксплуатационной пригодности здания Комаровского рынка. Рекомендовано не реже одного раза в квартал выполнять геодезический контроль прогибов оболочки покрытия, деформаций бортовых элементов и опор. Для этого создали геодезическое плановое и высотное обоснование по периметру здания рынка и на его антресолях, с которых измерялись деформации оболочки покрытия и бортовых элементов. Поэтому высотное положение антресолей проверяли нивелированием IV класса. Для математической обработки результатов высокоточных геодезических наблюдений на языке Visual Basic редактора Excel составлен комплекс «Геодезические программы», который размещен на сайте БНТУ и в локальной сети университета. В течение 21 года программный комплекс использовался авторами не только для решения научно-производственных задач, но и в учебном процессе. Целесообразно внедрение программ в других учебных заведениях и на производственных предприятиях Республики Беларусь для решения задач инженерной геодезии. Измерения осадок свайных фундаментов здания рынка проводили геометрическим нивелированием II класса прибором KoNi 007. Определение прогибов оболочки покрытия выполняли тригонометрическим нивелированием теодолитом 2Т2 и электронным тахеометром Leica TCR 1201 по специальной методике. Точность порядка 1–2 мм обеспечивалась короткими лучами визирования. Смещения бортовых элементов измеряли теодолитом и электронным тахеометром полярным способом и круговым приемом. За время геодезического контроля измеренные величины прогибов оболочки покрытия, деформаций бортовых элементов и свайных опор не превышали установленных допусков, что свидетельствует о стабильности всех несущих конструкций здания Комаровского рынка.

**Ключевые слова:** деформация сооружения, нивелир, теодолит, электронный тахеометр, геодезические программы для ПЭВМ

**Для цитирования:** Михайлов, В. И. Геодезическое измерение деформаций несущих опор и конструкций здания Комаровского рынка при его эксплуатации / В. И. Михайлов, Н. О. Куприенко // *Наука и техника*. 2023. Т. 22, № 1. С. 5–12. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-5-12>

## Geodetic Measurement of Deformations of Load-Bearing Supports and Structures of the Komarovsky Market Building during its Operation

V. I. Mikhailov<sup>1)</sup>, N. O. Kuprienko<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Komarovsky market is the largest covered market in Belarus and Europe. It started working in 1980. Until 2000, the operation of the market building was carried out without taking into account the uniqueness and increased

### Адрес для переписки

Михайлов Владимир Иванович  
Белорусский национальный технический университет  
ул. Ф. Скорины, 25/1,  
220114, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 368-85-17  
inggeod@bntu.by

### Address for correspondence

Mikhailov Vladimir I.  
Belarusian National Technical University  
25/1, F. Skoriny str.,  
220114, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 368-85-17  
inggeod@bntu.by

requirements for objects of such type. The technical conditions and operating rules for the precast-monolithic reinforced concrete pavement shell with dimensions of 103×103 m have not been met. This led to the fact that individual elements were in a pre-emergency state. Scientists and specialists of the Belarussian State Polytechnical Academy carried out work on the examination of the technical condition and operational suitability of the Komarovsky market building. It is recommended to carry out geodetic control of coating shell deflections, deformations of side elements and supports at least once a quarter. To do this, a geodetic planned and high-altitude justification was created along the perimeter of the market building and on its mezzanines, from which deformations of the coating shell and side elements were measured. Therefore, the height position of the mezzanines was checked by the class-IV leveling. For mathematical processing of the results of high-precision geodetic observations in the Visual Basic language of the Excel editor, a complex "Geodetic Programs" was compiled, which is located on the Belarussian National Technical University website and in the local network of the University. For 21 years, the software package has been used by the authors not only to solve scientific and production problems, but also in the educational process. It is advisable to introduce programs in other educational institutions and industrial enterprises of the Republic of Belarus to solve the problems of engineering geodesy. The settlement measurements of the pile foundations of the market building were carried out by the class-II geometric leveling using KoNi 007 instrument. The coating shell deflections were determined by trigonometric leveling with a 2T2 theodolite and a Leica TCR 1201 electronic tacheometer according special technique. An accuracy of the order of 1–2 mm was ensured by short sighting beams. The displacements of the onboard elements were measured with a theodolite and electronic tacheometer using the polar method and circular technique. During the geodetic control, the measured values of deflections of the coating shell, deformations of the side elements and pile supports did not exceed the established tolerances, which indicates the stability of all load-bearing structures of the Komarovsky market building.

**Keywords:** structure deformation, level, theodolite, electronic tacheometer, geodetic software for PC

**For citation:** Mikhailov V. I., Kuprienko N. O. (2023) Geodetic Measurement of Deformations of Load-Bearing Supports and Structures of the Komarovsky Market Building during its Operation. *Science and Technique*. 22 (1), 5–12. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-5-12> (in Russian)

## Введение

Комаровский рынок, самый большой крытый рынок в Беларуси и Европе, спроектирован группой архитекторов под руководством профессора Н. С. Аладова [1] (рис. 1). Он считается памятником архитектуры и градостроительства. Сооружение такого рода – уникальное произведение архитектуры, возведенное на месте болота. Купол сделан из сборных легких бетонных панелей, которые крепятся особым образом. 37 канатов диаметром 40 мм стягивают по периметру края оболочки покрытия. В каждом канате 124 проволоки из высокопрочной стали. Разрывное усилие каната 300 т. Таким образом, канаты и держат весь купол. В верхней точке купол поднят над полом здания рынка на 26 м – это почти высота 10-этажного дома. Для эксплуатации рынок открыт в 1980 г.

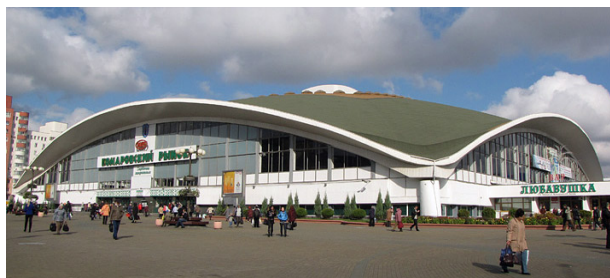


Рис. 1. Минский Комаровский рынок

Fig. 1. Minsk Komarovsky market

При обследовании технического состояния рынка в 2000 г. учеными и специалистами БГПА (БНТУ) выполнено измерение от пола до верхней точки купола. Оказалось, что она отклоняется от проектных данных на 10 см, т. е. равна 25,90 м. По-видимому, отклонение было допущено при монтаже оболочки покрытия или купол прогнулся под тяжестью многотонных металлических конструкций рекламных щитов, которые сейчас сняты.

До 2000 г. эксплуатация здания рынка велась без учета уникальности и повышенных требований для объекта такого типа. Технические условия и правила эксплуатации сборно-монолитной железобетонной оболочки покрытия размерами 103×103 м не выполнены. Это привело к тому, что отдельные элементы и участки оболочки покрытия находились в предаварийном состоянии.

Учеными и специалистами БГПА (БНТУ) проведены работы по исследованию технического состояния и эксплуатационной пригодности здания Комаровского рынка. Для дальнейшей безопасной работы обследуемого объекта рекомендовано не реже одного раза в квартал выполнять геодезический контроль прогибов оболочки покрытия, деформаций бортовых элементов и опор. Эти рекомендации согласуются с «Техническими условиями и правилами эксплуатации», разработанными в проекте строительства оболочки покрытия рынка.

### Создание планового и высотного обоснования

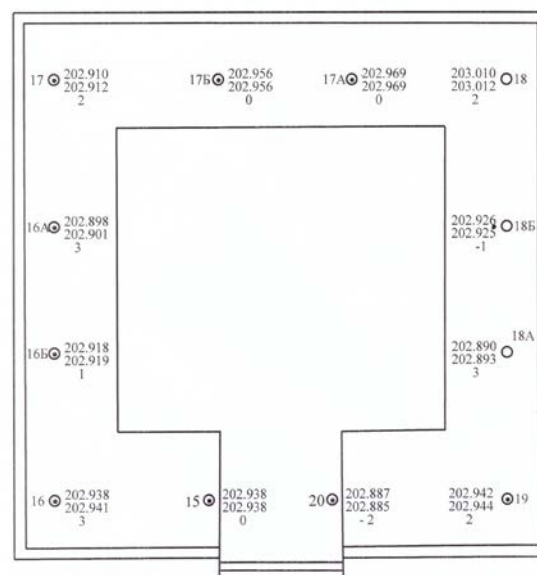
С этой целью по периметру рынка и внутри него создано оптимальное количество опорных геодезических пунктов на основе теодолитно-нивелирных ходов повышенной точности в системе координат г. Минска, которые закреплены монтажными дюбелями в твердом покрытии. В качестве исходных использовали пункты полигонометрии, заложенные в цокольной части дома № 5 по ул. В. Хоружей. Измерения горизонтальных углов осуществляли теодолитом 2Т2, длины линий – 50-метровой стальной лентой, отметки теодолитных точек – нивелиром KoNi 007.

В ходе геодезического контроля стабильности фундаментов и опор обследуемого здания проводили нивелирование IV класса опорных пунктов на антресолях рынка. Они использовались для проверки ее положения в высотном отношении и измерении прогибов оболочки покрытия и смещении бортовых элементов рынка. Для сравнения результаты нивелирования наносили на схемы. Так, на рис. 2 показаны отметки точек (м), определенные в июне и сентябре 2011 г., и их разности за этот период. Как следует из рисунка, деформации поверхности антресоли не превысили 3 мм, что свидетельствует о ее пригодности для геодезических измерений.

Для обработки результатов высокоточных наблюдений за деформациями здания рынка на языке Visual Basic редактора Excel составлены прикладные программы [2]. Они написаны открытым кодом, что позволяет вносить изменения и дополнения в построенный алгоритм. Ячейки с формулами защищены от случайного изменения и удаления. В течение 21 года программный комплекс активно использовался авторами не только для решения различных научно-производственных задач, но и в учебном процессе.

Целесообразно внедрение программ в других учебных заведениях Республики Беларусь. Они могут быть также применены на производственных предприятиях при решении задач инженерной геодезии. С этой целью программный комплекс «Геодезические программы»

размещен на сайте и в локальной сети БНТУ. Приведенные примеры на каждую из задач обеспечивают процесс освоения программ.



202.938 – отметки точек (м), определенные в июне 2011 г.;  
16 Ⓞ 202.941 – отметки точек (м), определенные в сентябре 2011 г.;  
3 (мм) – разности отметок за период с июня по сентябрь 2011 г.

Рис. 2. Результаты нивелирования опорных точек на антресолях рынка, используемых для наблюдений за прогибами оболочки покрытия (все отметки определены от стенового репера № 283)

Fig. 2. Results of reference points leveling on the mezzanines of the market used for observations behind the deflections of the coating shell (all marks are determined from wall benchmark No 283)

### Измерение осадок свайных фундаментов здания рынка

Для большинства стандартных и типовых сооружений точность определения осадок фундаментов обеспечивается геометрическим нивелированием II класса [3]. Закладку осадочных марок осуществляли в соответствии с СНБ 1.02.01–96 [4]. Всего по периметру здания рынка заложены 22 марки в виде монтажных дюбелей (рис. 3).

При геодезических наблюдениях за деформациями свайных фундаментов объекта использовали нивелир KoNi 007. Ежегодно прибор подвергали проверке в РУП «Белгеодезия» на предмет годности к применению с выдачей соответствующего свидетельства.

Высокоточный нивелир KoNi 007 перископической формы имеет оптико-механический компенсатор, автоматически устанавливающий

визирную ось горизонтально (рис. 4). Предназначен для нивелирования II и III классов.

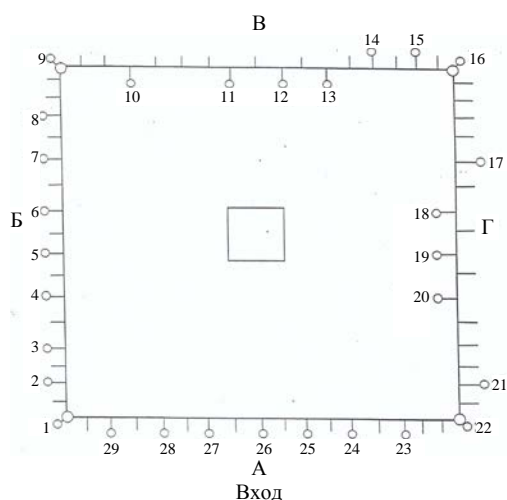


Рис. 3. Схема расположения осадочных марок на свайных фундаментах по периметру здания рынка:

$\text{Q}_4$  – осадочная марка и ее порядковый номер

Fig. 3. Scheme of the location of sedimentary marks on pile foundations along the perimeter of the market building:

$\text{Q}_4$  – sedimentary mark and its serial number



Рис. 4. Нивелир KoNi 007

Fig. 4. Level KoNi 007

Использование нивелира KoNi 007 в производственных цехах и закрытых помещениях имеет ряд преимуществ. По сравнению с цифровыми нивелирами он более устойчив, менее подвержен влиянию вибрации работающих механизмов. Обладая отличной немецкой оптикой, нивелир позволяет брать отсчеты по инварной рейке в затемненных и задымленных прост-

ранствах в радиусе 50 м. Как показало сравнительное нивелирование одного и того же цеха KoNi 007 и цифровым нивелиром DNA 03, время, затраченное на выполнение геодезических измерений, практически одинаковое [5].

При геометрическом нивелировании II класса применяли односторонние специальные рейки длиной 1,8 м, на лицевой стороне которых смонтирована инварная лента. На ленте имеют-

ся две шкалы с ценой деления 5 мм, которые смещены относительно друг друга на 2,5 мм. Рейки снабжены круглыми уровнями.

С целью периодических измерений деформаций осадочных марок разработали порядок геодезических наблюдений каждого объекта в виде замкнутых ходов при одном горизонте в прямом и обратном направлениях. Последующее нивелирование выполняли по одной и той же схеме. В висячем ходе допускалось не более двух станций. Высота визирного луча над поверхностью земли или фундамента была не менее 0,5 м. Неравенство расстояний от нивелира до реек допускалось не более одного метра. Длина визирного луча не превышала 30 м.

После окончания геодезических измерений превышения вычисляли по известной формуле

$$h = a - b, \quad (1)$$

где  $a, b$  – отсчет по задней и передней рейкам соответственно.

Предельное расхождение между вычисленными превышениями по основной и дополнительной шкалам на превышало 4–5 делений барабана. Для получения превышения в миллиметрах необходимо его среднюю величину разделить на 20. Допустимую невязку в замкнутом полигоне подсчитывали по формуле

$$f = l\sqrt{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число станций.

Высоты промежуточных точек определяли через превышение между задней связующей точкой и промежуточной. Если вычисленная невязка находилась в допуске, она распределялась в виде поправок с обратным знаком пропорционально числу средних вычисленных превышений.

В табл. 1 приведена ведомость отметок и деформаций осадочных марок свайных фундаментов здания рынка за период с августа 1999 г. по июнь 2000 г. Как следует из таблицы, большинство вычисленных осадок колеблются в пределах одного миллиметра. Это свидетельствует об отсутствии каких-либо деформаций фундамента этого объекта за рассматриваемый период времени.

Таблица 1

Ведомость отметок и деформаций осадочных марок  
свайного фундамента здания рынка  
с августа 1999 г. по июнь 2000 г.

List of marks and deformations of sedimentary marks  
of pile foundation of the market building  
from August 1999 to June 2000

Номер марки	Отметка, мм		Деформация, мм
Репер 823	200503,0	200503,0	
1	908,9	200908,2	-0,7
2	786,9	787,1	0,1
3	786,2	786,2	0,0
4	730,2	730,8	0,6
5	839,0	840,1	1,1
6	713,5	714,3	0,8
7	721,4	720,8	-0,6
8	700,0	700,5	0,5
10	590,2	590,8	0,6
11	570,6	570,7	0,1
12	586,6	587,5	0,9
13	507,5	508,2	0,7
14	997,8	998,0	0,2
15	955,5	955,7	0,2
16	939,7	939,9	0,2
18	610,1	610,1	0
19	510,1	510,1	0
20	871,2	872,6	1,4
21	201019,5	201020,5	1,0
22	057,2	056,9	-0,3
23	200932,3	200931,4	-0,9
26	201872,7	201871,3	-1,4
27	852,1	852,7	0,6
28	200921,0	200920,5	-0,5
29	946,6	945,7	-0,9

### Определение прогибов оболочки покрытия здания рынка

Способ тригонометрического нивелирования позволяет определять осадки точек, расположенных на разных высотах и в труднодоступных местах. Точность порядка 1–2 мм обеспечивается при коротких лучах визирования (до 100 м) с применением теодолита 2Т2 и специальной методики наблюдений [6]. Именно такие условия для измерений существуют в здании Комаровского рынка. Для про-

ведения геодезических наблюдений на оболочке покрытия нанесена 21 контрольная точка (рис. 5), точки равномерно расположены по всему своду [7]. Для определения координат этих точек с геодезических пунктов 18 и 19 (рис. 2) выполнены прямые угловые засечки, а затем решением обратных геодезических задач вычислены расстояния до них.

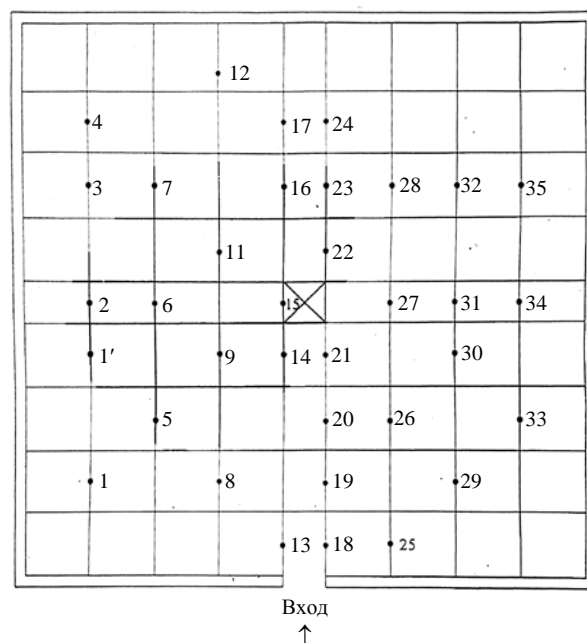


Рис. 5. Схема расположения контрольных точек на оболочке покрытия здания рынка, используемых для изучения ее прогибов:

• 1 – контрольные точки на оболочке и их номера

Fig. 5. Checkpoint layout on the shell covering the market building used to study its deflections:

• 1 – control points on the shell and their numbers

Проводимые геодезические наблюдения за деформациями с постоянных пунктов 18 и 19 повышают точность и достоверность получаемых результатов и исключают элемент случайности при их интерпретации. С этих пунктов точным теодолитом 2Т2 измеряли зенитные расстояния до контрольных точек на своде здания рынка и вычисляли соответствующие им углы наклона.

Для расчета превышений использовали известную формулу  $h = dtg\alpha + i - v$  [6].

Теодолит 2Т2 (рис. 6) относится к точным геодезическим приборам. Используется для измерения углов в государственных сетях триангуляции и полигонометрии III и IV классов,

в сетях сгущения, в прикладной геодезии, для астрономических наблюдений, измерения расстояний по нитяному дальномеру зрительной трубы и определения магнитных азимутов.

Электронный тахеометр Leica TCR 1201 (рис. 7) – высокоточный и роботизированный прибор, оснащен двумя дальномерами: традиционным ИК-дальномером и безотражательным (RL) дальностью до 1000 м повышенной мощности. Точность измерения расстояний с отражателем составляет 2 мм за 1,5 с, в безотражательном режиме – 3 мм за 3–6 с. Предназначен для выполнения инженерно-геодезических работ любой сложности, может работать в четырех режимах: разделенном, полуавтоматическом, автоматическом и в режиме слежения.



Рис. 6. Теодолит 2Т2  
Fig. 6. Theodolite 2T2



Рис. 7. Электронный тахеометр TCR 1201  
Fig. 7. Electronic tachymeter TCR 1201

Тригонометрическое нивелирование осадочных марок коротким лучом (до 30 м) электронным тахеометром TCR 1201 может успешно конкурировать с традиционным геометрическим методом. Как показали экспериментальные измерения, средняя квадратическая погрешность составила всего 0,2 мм. Это дает возможность повысить производительность при больших перепадах высот, где заложены марки, отпадает необходимость в использовании инварных реек, измерения могут выполняться одним исполнителем [8, 9].

Определение прогибов оболочки покрытия здания рынка электронным тахеометром TCR 1201 выполняется в разделенном ре-

жиме (только углы наклона, как теодолитом 2Т2). Результаты этих измерений в сравнении с аналогичными, полученными в декабре 2014 г., приведены в табл. 2. Как следует из таблицы, все значения деформаций оболочки за указанный период колеблются от 0 до  $\pm 4$  мм и находятся в пределах нормы.

Таблица 2

Ведомость отметок и деформаций оболочки покрытия здания рынка, полученных с помощью 2Т2 и Leica TCR 1201

List of marks and deformations of the shell of the market building coating obtained using 2T2 and Leica TCR 1201

Номер точки	Отметка, м, определенная с помощью Т.18		Деформация, мм, с декабря 2014 г. по июль 2016 г.
	Декабрь 2014 г. (2Т2)	Июль 2016 г. (Leica)	
1	213,876	213,880	4
2	219,538	219,537	-1
3	217,739	217,743	4
4	215,221	215,222	1
5	220,747	220,751	4
6	222,492	222,491	-1
7	220,730	220,729	-1
8	220,207	220,208	1
9	224,026	224,029	3
12	217,538	217,537	-1
18	217,509	217,512	3
19	221,012	221,013	1
20	223,489	223,489	0
21	224,853	224,857	4
22	224,864	224,868	4
23	223,517	223,515	-2
24	221,065	221,067	2
29	218,170	218,174	4
30	222,076	222,079	3
31	222,482	222,485	3
32	220,718	220,720	2
35	217,707	217,707	0

### Определение деформаций бортовых элементов здания рынка

Основой для наблюдений за горизонтальными смещениями бортовых элементов является схема расположения опорных пунктов с известными координатами и контрольных точек (по семь с каждой стороны здания рынка) через одну колонну (рис. 8).

Для выполнения высокоточных геодезических измерений применяли теодолит 2Т2 и электронный тахеометр Leica TCR 1201. В первом случае использовали способ круговых приемов, который позволил с опорных пунктов 16–19 определить горизонтальные углы на все обозначенные на схеме колонны боковых элементов.

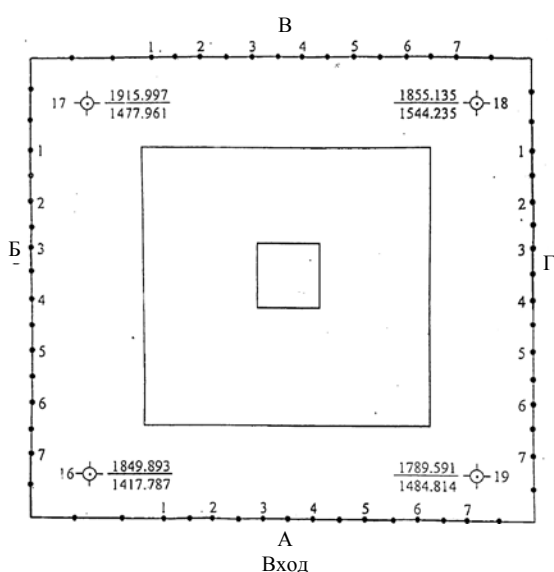


Рис. 8. Схема расположения контрольных точек по периметру здания рынка для измерения смещений бортовых элементов (система координат г. Минска)

Fig. 8. Checkpoint layout along the perimeter of the market building to measure displacements of onboard elements (Minsk coordinate system)

С помощью электронного тахеометра полярным способом измеряли горизонтальные углы и проложения до этих же точек в автоматическом режиме, которые заносили в память тахеометра [10].

На основании полученных величин способом прямой угловой засечки на ПК вычисляли координаты контрольных точек бортовых элементов, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Ведомость деформаций бортовых элементов здания рынка, определенных теодолитом 2Т2 и электронным тахеометром Leica TCR 1201**

**List of deformations of the onboard elements of the market building, determined by theodolite 2T2 and electronic tacheometer Leica TCR 1201**

Но- мер точки	Координата, м				Деформа- ция, мм, с декабря 2014 г. по июль 2016 г.	
	Декабрь 2014 г. (2Т2)		Июль 2016 г. (Leica)			
	x	y	x	y	$\Delta x$	$\Delta y$
1	2	3	4	5	6	7
<b>Сторона А</b>						
1	1836,779	1422,615	1836,776	1422,618	3	-3
2	1828,713	1431,466	1828,717	1431,469	-4	-3
4	1812,373	1449,532	1812,371	1449,528	2	4
5	1804,516	1458,073	1804,520	1458,069	-4	4
6	1796,403	1466,950	1796,401	1466,952	2	-2
<b>Сторона Б</b>						
1	1911,292	1465,998	1911,293	1465,999	-1	-1

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
2	1902,433	1457,934	1902,435	1457,935	-2	-1
4	1884,404	1441,526	1884,401	1441,524	3	2
5	1875,823	1433,741	1875,822	1433,740	1	1
6	1866,898	1425,676	1866,901	1425,680	-3	-4
<b>Сторона В</b>						
1	1912,236	1491,689	1912,239	1491,688	-3	1
3	1896,105	1509,444	1896,102	1509,447	3	-3
4	1888,080	1518,344	1888,077	1518,346	3	-2
5	1879,980	1527,179	1879,978	1527,177	2	2
6	1871,916	1536,049	1871,914	1536,052	2	-3
<b>Сторона Г</b>						
2	1837,729	1537,435	1837,727	1537,436	2	-1
3	1828,821	1529,351	1828,818	1529,350	3	1
4	1820,256	1521,564	1820,257	1521,563	-1	1
6	1802,179	1505,172	1802,181	1505,174	-2	-2
7	1793,335	1497,113	1793,333	1497,114	2	-1

Как следует из таблицы, деформации бортовых элементов не превышают 2–4 мм и находятся в пределах нормы.

#### ВЫВОДЫ

1. Для проведения постоянного контроля состояния различных несущих конструкций здания Комаровского рынка создана густая геодезическая сеть вокруг него и внутри сооружения.

2. Разработан комплекс «Геодезические программы», который позволяет автоматизировать процессы математической обработки результатов высокоточных геодезических измерений, проводимых на территории рынка.

3. При контроле прогибов оболочки покрытия применен модифицированный способ тригонометрического нивелирования, который заключается в следующем. Длина визирного луча не превышала 100 м, геодезические наблюдения велись с двух опорных пунктов, закрепленных на антресолях здания рынка. Это исключало элемент случайности и повышало точность наблюдений до 1–2 мм. Осуществлен постепенный переход в измерениях от теодолита 2Т2 к электронному тахеометру Leica TCR 1201.

4. В связи с расположением здания рынка на болотистой местности и в зоне интенсивного движения транспорта авторами предложено проводить наблюдения осадочных деформаций свайного фундамента и угловых опор методом геометрического нивелирования II класса с использованием компенсаторного нивелира KoNi 007.

5. За 21 год проведения геодезического контроля все результаты деформаций несущих конструкций здания рынка с миллиметровой точностью, полученные оптико-механическими приборами, подтверждены измерениями высокоточным электронным тахеометром Leica TCR 1201. Это может свидетельствовать о правильной и эффективной методике геодезических наблюдений за стабильностью важного общественного объекта, которые будут продолжаться при дальнейшей его эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аладов, В. Н. Архитектура предприятий общественного питания для стабильных коллективов / В. Н. Аладов. Минск: Вышэйш. шк., 1987. 188 с.
2. Михайлов, В. И. О разработке комплекса геодезических программ для студентов строительных специальностей / В. И. Михайлов, Г. В. Скребков // Наука – образованию, производству, экономике: матер. 10-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2012. Т. 3. С. 24.
3. Геодезические работы в строительстве. Правила проведения: ТКП 45-1.03-26–2006. Введ. 01.07.2006. Минск: Минстройархитектуры, 2006. 33 с.
4. Инженерные изыскания для строительства: СНБ 1.02.01–96. Минск: Минстройархитектуры, 1996. 113 с.
5. Михайлов, В. И. Измерение осадочных деформаций производственных зданий и сооружений ОАО «Гродно Азот» / В. И. Михайлов, Е. Ю. Мысливчик // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: матер. Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2020. С. 255–259.
6. Инженерная геодезия / Е. Б. Ключин [и др.]; под ред. Д. Ш. Михелева. М.: Академия, 2000. 464 с.
7. Михайлов, В. И. Геодезический контроль прогибов оболочки покрытия, деформаций бортовых элементов и опор здания Комаровского рынка / В. И. Михайлов, Н. О. Куприенко, А. К. Шарыгина // Наука – образованию, производству, экономике: матер. 15-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск: БНТУ, 2017. Т. 3. С. 278.
8. Михайлов, В. И. Сравнительный анализ точности измерения вертикальных перемещений сооружений высокоточным нивелированием и электронным тахеометром / В. И. Михайлов, Г. В. Скребков // Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостов и подземных сооружений: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Минск: БНТУ, 2010. С. 126–128.
9. Михайлов, В. И. Деформационный мониторинг здания «Государственный музей истории театральной и музыкальной культуры Республики Беларусь» / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, В. С. Студенко // Наука – образованию, производству, экономике: матер. 15-й Междунар. науч.-практ. конф. БНТУ. Минск: БНТУ, 2017. Т. 3. С. 277.
10. Михайлов, В. И. Экспериментальные измерения крена башенных сооружений электронным тахеометром / В. И. Михайлов, С. И. Кононович, Ю. Н. Чиберкус // Наука и техника. 2015. № 2. С. 42–47.

#### REFERENCES

1. Aladov V. N. (1987) Catering Architecture for Stable Teams. Minsk, Vysheyschaya Shkola Publ. 188 (in Russian).
2. Mikhailov V. I., Skrebkov G. V. (2012) On the Development of a Complex of Geodetic Programs for Students of Construction Specialties. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Mater. 10-i Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science for Education, Production, Economy: Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk, BNTU, 24 (in Russian).
3. ТКП [Technical Code of Common Practice] 45-1.03-26–2006. *Geodetic Works in Construction. Rules for Their Conduct*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2006. 33 (in Russian).
4. SNB [Construction Standards of the Republic of Belarus] *Engineering Surveys for Construction*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 1996. 113 (in Russian).
5. Mikhailov V. I., Myslivchik E. Yu. (2020) Measurement of Sedimentary Deformations of Industrial Buildings and Structures of JSC “Grodno Azot”. *Dorozhnoe Stroitelstvo i ego Inzhenernoe Obespechenie: Mater. Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf.* [Road Construction and its Engineering Support: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU, 255–259 (in Russian).
6. Klyushin E. B., Kiselev M. I., Mikhelev D. Sh., Fel'dman V. D. (2000) *Engineering Geodesy*. Moscow, Akademiya Publ. 464 (in Russian).
7. Mikhailov V. I., Kuprienko N. O., Sharygina A. K. (2017) Geodetic Control of Coating Shell Deflections, Deformations of Elements and Supports of the Komarovsky Market Building. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Mater. 15-i Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science for Education, Production, Economy: Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk, BNTU, 278 (in Russian).
8. Mikhailov V. I., Skrebkov G. V. (2010) Comparative Analysis of the Accuracy of Measuring Vertical Displacements of Structures by High-Precision Leveling and an Electronic Tacheometer. *Perspektivnye Napravleniya Proektirovaniya, Stroitel'stva i Ekspluatatsii Dorog, Mostov i Podzemnykh Sooruzhenii: Mater. Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Promising Areas of Design, Construction and Operation of Roads, Bridges and Underground Structures: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, BNTU, 126–128 (in Russian).
9. Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Studenko V. S. (2017) Deformation Monitoring of the Building “State Museum of the History of Theater and Musical Culture of the Republic of Belarus”. *Nauka – Obrazovaniyu, Proizvodstvu, Ekonomike: Mater. 15-i Mezhdunar. Nauch.-Tekhn. Konf. T. 3* [Science for Education, Production, Economy: Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference. Vol. 3]. Minsk, BNTU, 277 (in Russian).
10. Mikhailov V. I., Kononovich S. I., Tchiberkus Yu. N. (2015) Experimental Measurements of Tower Construction Tilt Using Electronic Tacheometer. *Nauka i Tekhnika = Science & Technique*, (2), 42–47 (in Russian).

Поступила 04.10.2022

Подписана в печать 06.12.2022

Опубликована онлайн 31.01.2023

Received: 04.10.2022

Accepted: 06.12.2022

Published online: 31.01.2023