



i praktika raschyotov stroitelstva sooruzheniy na seysmostoykost po akselerogrammam [The theory and practice of calculating building structures for earthquake resistance according to accelerograms] // Tezisy dokladov XI Rossiyskoy natsionalnoy konferentsii po seysmostoykomu stroitelstvu i seysmicheskomu rayonirovaniyu (s mezhdunarodnym uchastiem) [Abstracts of the XI Russian National Conference on Earthquake Engineering and Seismic Zoning (with international participation)]. – Moscow – 2015. – P. 131–132.

5. Zemletryaseniya v Rossii [Earthquakes in Russia]. – URL: <https://earthquaketrack.ru/country/ru/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

6. Emanov A. F., Emanov A. A., Leskova E. V., Kolesnikov Yu. I., Fateev A. V., Filina A. G. Chuyskoye zemletryasenie 27 sentyabrya 2003 goda s $MS=7.3$, $Kp=17$ (Gorny Altai) [Chui earthquake of September 27, 2003 with $MS=7.3$, $Kp=17$ (Gorny Altai) // Silnye i oschyutimye zemletryaseniya [Strong and tangible earthquakes] / Novosibirsk, 2003. – P. 326–343.

7. Wikipedia : svobodnaya entsiklopediya [Wikipedia : free encyclopedia]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

8. Federalnoe gosudarstvennoe budzhetnoe uchrezhdenie nauki Federalny issledovatel'skiy tsentr «Edinaya geofizicheskaya sluzhba Rossiyskoy akademii nauk [Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences"]. – URL: <http://www.ceme.gras.ru/new/about.htm/>. (data obrascheniya: 27.12.21).

9. Tsvetnova L. Yu. Sposoby gasheniy kolebaniy v stroitelnykh konstruktsiyakh [Methods of vibration damping in construction structures] // IX Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [IX All-Russian Science Festival. Collection of reports] / Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2019. – P. 218–221. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42331111_99612405.pdf.

10. SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilishchno-kommunal. khoz-va RF ot 24 maya 2018 g. № 309/pr : aktualizirivannaya redaktsiya SNiP II-7-81*. Data vved. 25 noyabrya 2018 g. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/550565571>.

© П. А. Хазов, Л. Ю. Тягунова, А. М. Гордеевцева, Н. М. Деулина, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 624.07:725.826

М. А. ОКУНЕВА¹, инженер; Д. В. САХАРОВА², магистрант кафедры теории сооружений и технической механики; П. А. ХАЗОВ², канд. техн. наук, доц. кафедры теории сооружений и технической механики

САМОСОГЛАСОВАННАЯ СИСТЕМА «НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ВАНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

¹Экспертная организация ООО «Диаформ»

Россия, 603086 г. Н. Новгород, ул. Мануфактурная, д. 14. Тел.: (831) 282-06-45; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru, saharok_ook@mail.ru

Приводится анализ работы системы, включающей в себя металлические консольные фермы покрытия стадиона, а также предварительно напряженные вантовые элементы, стабилизирующие систему и обеспечивающие ее удовлетворительную работу при проверке на второе предельное состояние. Уникальность рассматриваемой конструкции также обусловлена применением нового типа узлов тяжелых стальных ферм – узел с прорезающей стойкой, обеспечивающий восприятие значительных изгибающих моментов. Всестороннее исследование проведено с учетом деформативности основания под конструкциями пилонов, что позволяет считать задачу самосогласованной с комплексным учетом взаимного влияния всех вышеперечисленных конструкций на общее напряженно-деформированное состояние.

Множество крупных городов России имеют футбольные команды, в перспективе способные войти в элитный дивизион – Российскую премьер-лигу. Тем не менее зачастую клубы не оснащены современными футбольными аренами, удовлетворяющими требованиям РФПЛ. В последние годы неоднократно возникали ситуации, при которых клубы попадали в элиту по спортивным показателям, однако вынуждены были отказаться от участия по указанным выше причинам. Строительство спортивной арены такого уровня в г. Владимире поможет избежать данной проблематики и поспособствует увеличению популярности футбола в регионе.

Объектом исследования являются несущие конструкции проектируемого футбольного стадиона вместимостью 20 000 зрителей (рис. 1, рис. 1 цв. вклейки), предназначенного для проведения спортивных мероприятий: соревнований по футболу российской Премьер-лиги, а также соревнований международного уровня, поскольку может быть оценен по рейтингу FIFA как арена класса IV.

Конструктивная схема представляет собой массивные металлические консольно-вантовые фермы, выполненные из прокатных двутавров (рис. 2). Вылет ферм составляет 42 метра без промежуточных опор, что делает конструкцию уникальной [1].

Предложенное решение узлов сопряжения элементов фермы выполнено по разрезной схеме, в которой стойка разделяет элементы пояса (рис. 3). Раскосы упираются одновременно в пояс и стойку через распределительные пластины, способствующие снижению напряжений смятия. Распределительные пластины прикреплены к прокатным двутаврам с помощью полуавтоматической сварки заводского изготовления и соединены между собой высокопрочными болтами. Усилие натяжения болта принимается равным 40 % от его прочности на разрыв. В местах с максимальным коэффициентом концентрации напряжений конструкция узла усилена ребрами жесткости. Из-за сложной работы системы во время динамических нагрузок в элементах узлов и в болтах возможны как усилия растяжения, так и усилия сжатия. Принятая конструктивная схема узла является жесткой, что приводит к возникновению изгибающих моментов. Расчетные значения усилий в узлах указаны на рис. 3.

Основная сложность при проектировании уникальных большепролетных и консольных систем возникает при расчете по второму предельному состоянию [2], поскольку значительная доля расчетных нагрузок приходится на собственный вес конструкции. Как показывают исследования [3, 4, 5], увеличение сечений элементов слабо снижает или не снижает вовсе перемещения точек системы. Это приводит к необходимости решения самосогласованной итерационной задачи, в которой комплексно учитываются все особенности напряженно-деформированного состояния системы.

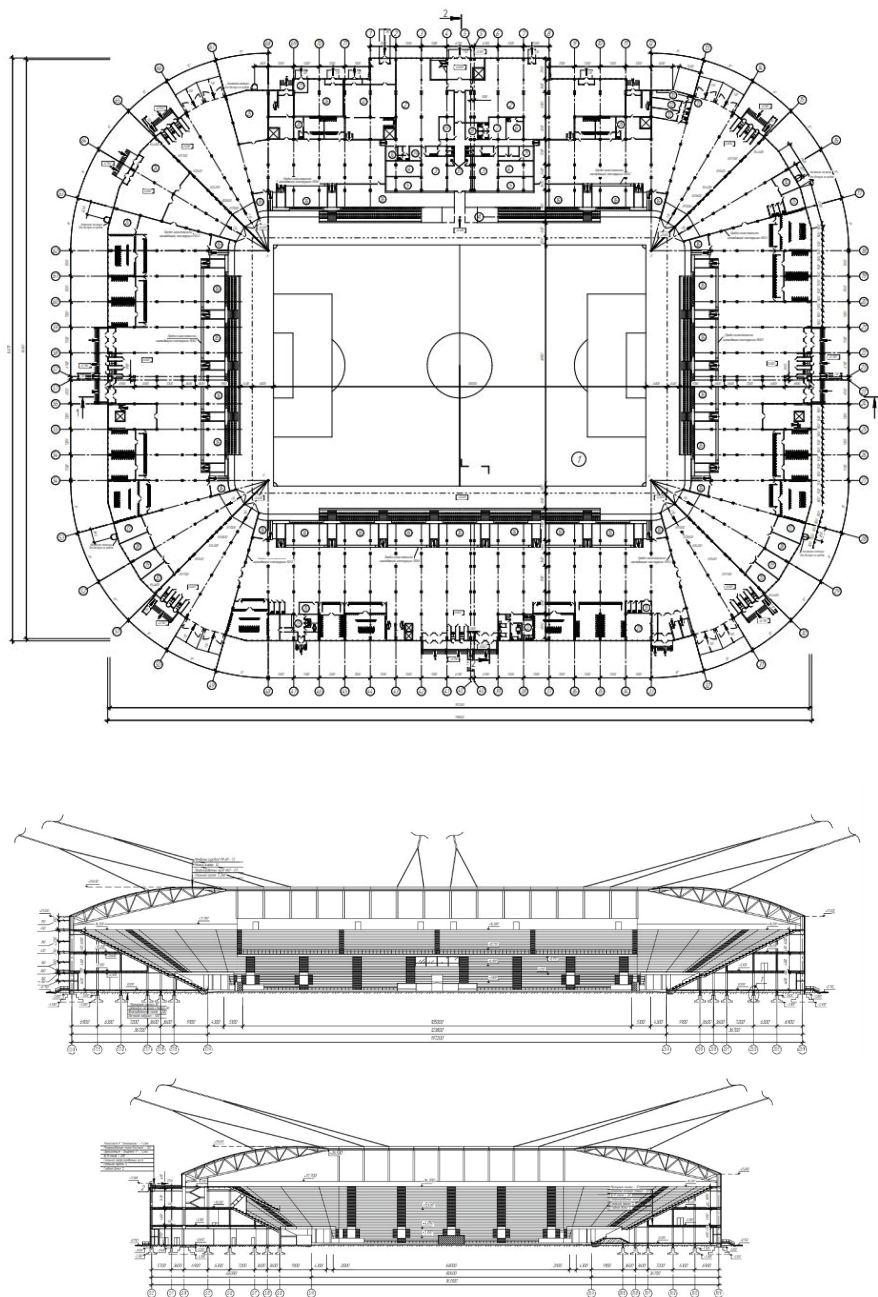


Рис. 1. План первого этажа, продольный и поперечный разрезы проектируемого стадиона

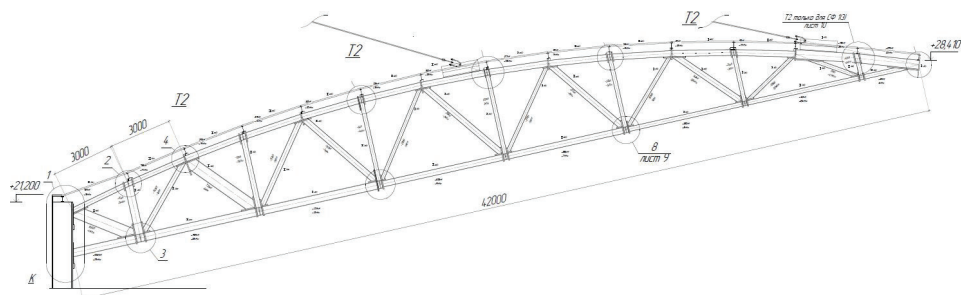


Рис. 2. Тяжелая ферма покрытия вылетом 42 метра

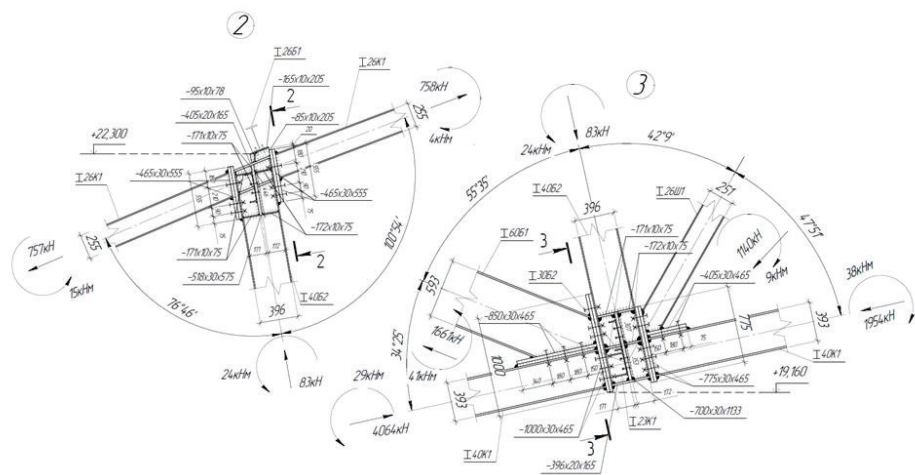


Рис. 3. Узлы сопряжения элементов фермы

Классические подходы строительной механики, при которых схема упрощается до отдельных элементов, не позволяет с какой-либо удовлетворительной точностью оценить реальное распределение напряжений и деформаций. Таким образом была построена конечно-элементная модель, включающая в себя (рис. 2 цв. вклейки):

- пространственную стальную систему колонн, консольных ферм, а также связевых меридиональных ферм;
- систему предварительно напряженных вантовых элементов, выходящих из шести пилонов, расположенных на расстоянии 40–60 метров от стадиона, но не выходящих за пределы спортивного комплекса. Точки крепления вантовых элементов равномерно расположены на поверхности кровли;
- конструкции фундаментов и упругое основание, которые в значительной мере влияют на итоговое распределение перемещений кровли. Грунтовые условия площадки строительства представлены на рис. 4.

**К СТАТЬЕ М. А. ОКУНЕВОЙ, Д. В. САХАРОВОЙ, П. А. ХАЗОВА
«САМОСОГЛАСОВАННАЯ СИСТЕМА «НЕСУЩИЕ
КОНСТРУКЦИИ – УПРУГОЕ ОСНОВАНИЕ» С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ВАНТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ»**



Рис. 1. Проектируемый стадион вместимостью 20 000 зрителей – видовые точки

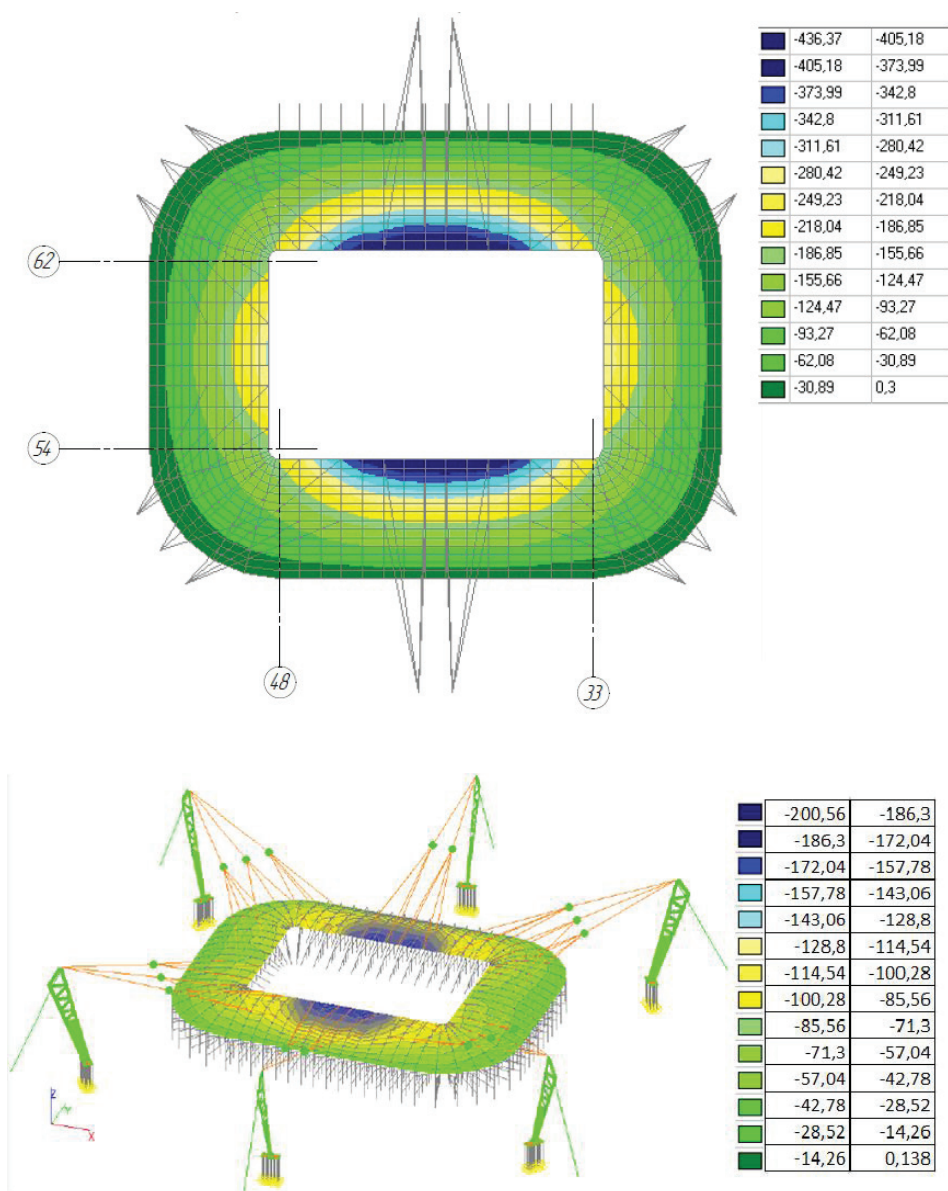


Рис. 2. Вертикальные перемещения покрытия: *а* – до стабилизации вантовыми элементами; *б* – с учетом стабилизации вантовыми элементами

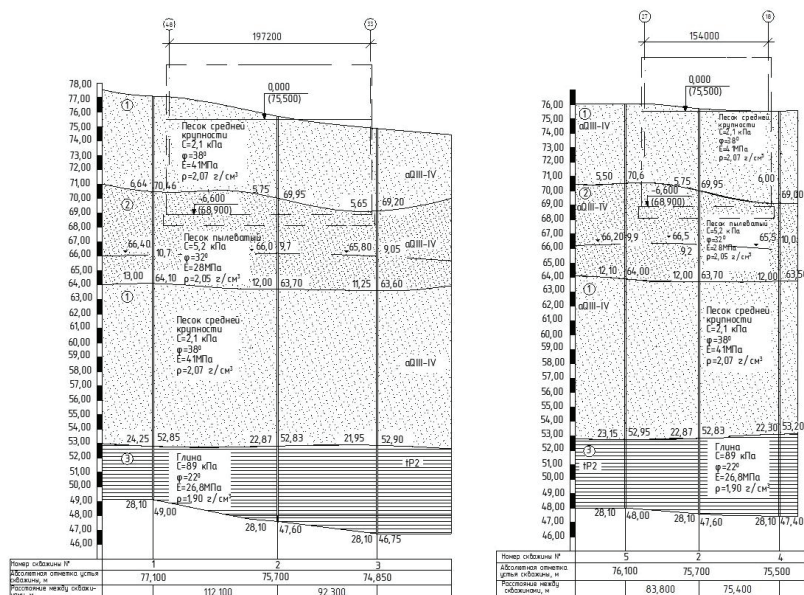


Рис. 4. Грунтовые условия строительной площадки

На рис. 2 цв. вклейки показаны значения вертикальных перемещений при нормативных значениях постоянных и длительных нагрузок. Добиться удовлетворительных результатов удалось с помощью регулирования усилий предварительного напряжения вантовых элементов [5, 6, 7]. Усилия подбирались из следующих условий: ферма приводилась в положение, превышающее проектное на величину перемещений от постоянных нагрузок и половину от величины перемещений от длительных нагрузок. В результате этого в период эксплуатации ферма будет отступать от проектного положения не более, чем на 200 мм, что удовлетворяет требованиям второй группы предельных состояний.

В дальнейшем предлагается выполнить исследования по следующим направлениям:

1. Оценка истинного напряженно-деформированного состояния узлов сопряжения элементов фермы методами численного и экспериментального моделирования.
2. Предложение инженерной методики конструирования и расчета данного типа узлов.
3. Разработка рекомендаций по назначению усилий предварительного напряжения вантовых элементов в консольно-вантовых системах в зависимости от параметров сооружения – вылета ферм, межпоясного расстояния и пр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 304.1325800.2017. Конструкции большепролетных зданий и сооружений : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 октября 2017 г. № 1480/пр : введен в действие с 26 апреля 2018 г. – Москва : Минстрой России, 2018. – 49 с. – Текст : непосредственный.
2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации



от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : введен в действие с 28 августа 2017 г. : актуализированная редакция СНиП 2.23.81*. – Москва : Минстрой России, 2017. – 306 с. – Текст : непосредственный.

3. Воздействие ветровых и снеговых нагрузок на большепролетные покрытия / Н. А. Попов, И. В. Лебедева, Д. С. Богачев, М. М. Березин. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 12. – С. 71–76.

4. Аэродинамика большепролетных зданий / П. А. Хазов, А. М. Анущенко, Ю. Д. Щелокова, А. М. Гордеевцева. – Текст : электронный // X Всероссийский фестиваль науки : сборник докладов / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2020. – № 10. – С. 14–21. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44431103_48241708.pdf.

5. Калиева. И. Формирование большепролетных конструкций в архитектуре спортивных зданий на примере России / И. Калиева. – Текст : электронный // Молодой ученый. – Казань, 2021. – № 49. – С. 52–56. – URL: <https://moluch.ru/archive/391/86250/>.

6. Кужахметова, Э. Р. Методы расчета вант и вантовых конструкций / Э. Р. Кужахметова. – Текст : непосредственный // Вестник Белгородского государственного технологического университета БГТУ им. В. Г. Шухова. – Калининград, 2019. – № 2. – С. 39–48.

7. Перельмутер, А. В. Основы расчета вантово-стержневых систем: монография / А. В. Перельмутер. – Москва: Стройиздат, 1969. – 190 с. – Текст : непосредственный.

OKUNEVA¹ Marina Aleksandrovna, engineer; SAKHAROVA² Darya Vladimirovna, undergraduate student of the chair of theory of structures and technical mechanics; KHAZOV² Pavel Alekseevich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theory of structures and technical mechanics

SELF-CONSISTENT SYSTEM "LOAD-BEARING STRUCTURES – ELASTIC BASE" WITH THE USE OF PRESTRESSED CABLE-STAYED ELEMENTS

¹Expert organization JSC “Diaform”

14, Manufakturnaya St., Nizhny Novgorod, 603086, Russia. Tel.: +7 (831) 282-06-45;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;
e-mail: khazov.nngasu@mail.ru, saharok_ook@mail.ru

The article analyses operation of a system, which includes metal cantilever trusses of the stadium's roofing, as well as pre-stressed cable elements that stabilize the system and ensure its satisfactory operation when checking for the second limit state. The uniqueness of the design under consideration is also due to the use of a new type of heavy steel truss assemblies – a node with a cutting through rack that takes upon itself significant bending moments. A comprehensive study was carried out taking into account the deformability of the base under the structures of the pylons, which allows us to consider the problem self-consistent that considers totally the mutual influence of all the above structures on the overall stress-strain state.

REFERENCES

1. SP 304.1325800.2017. Konstruktsii bolsheprolyotnykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of long-span buildings and structures] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilishno-kommun. khoz-va RF ot 25 oktyabrya 2017 g. № 1480/pr : vved. v deystvie s 26 aprelya 2018 g. – Moscow: Ministroy Rossii, 2018, 49 p.

2. SP 16.13330.2017. Stalnye konstruktsii [Steel structures] : svod pravil : utverzhd. prikazom Min-va stroit. i zhilishno-kommun. khoz-va RF ot. 27 fevralya 2017 g. № 126/pr : vved. v deystvie s 28 avgusta 2017 g. : aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.23.81*. Moscow : Ministroy Rossii, 2017, 306 p.



3. Popov N. A., Lebedeva I. V., Bogachyov D. S., Berezin M. M. Vozdeystvie vetrovykh i snegovykh nagruzok na bolsheprolyotnye pokrytiya [The impact of wind and snow loads on long-span coatings]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2016. № 12. P. 71–76.
4. Khazov P. A., Anuschenko A. M., Schyolokova Yu. D., Gordeevtseva A. M. Aerodinamika bolsheprolyotnykh zdaniy [Aerodynamics of long-span buildings]. X Vserossiyskiy festival nauki. Sbornik dokladov [The X All-Russian festival of science. Collection of reports]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2020. № 10. P. 14–21. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44431103_48241708.pdf.
5. Kalieva I. Formirovanie bolsheprolyotnykh konstruksiy v arkhitekture sportivnykh zdaniy na primere Rossii [Formation of large-span structures in the architecture of sport buildings on the example of Russia]. Molodoy uchyony [Young scientist]. Kazan, 2021. № 49. P. 52–56. – URL: <https://moluch.ru/archive/391/86250/>.
6. Kuzhakhmetova E. R. Metody raschyota vant i vantovykh konstruksiy [Methods of calculating cables and cable structures]. Vestnik Belgorod. gos. tekhnologich. un-ta BGUTU im. V. G. Shukhova [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. Kaliningrad, 2019. № 2. P. 39–48.
7. Perelmuter A. V. Osnovy raschyota vantovo-sterzhnevnykh sistem [Fundamentals of calculation of cable-rod systems]: monografiya. – Moscow: Stroyizdat, 1969, 190 p.

© М. А. Окунева, Д. В. Сахарова, П. А. Хазов, 2022

Получено: 27.12.2021 г.

УДК 528.482

Г. А. ШЕХОВЦОВ, д-р техн. наук, проф. кафедры геоинформатики, геодезии и кадастра; **Ю. Н. РАСКАТКИН**, канд. техн. наук, доц. кафедры технологии строительства

ВАРИАНТЫ КАЛИБРОВКИ ФОТОКАМЕР С ЦЕЛЮ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 434-05-26;
эл. почта: kochetova@nngasu.ru

Ключевые слова: базис, калибровка, коэффициент, ошибка, пиксель, снимок, фотокамера.

Рассматривается методика использования аналитической зависимости между измеряемым расстоянием и числовыми характеристиками в пикселях. Эти характеристики представляют собой коэффициент А и количество пикселей, соответствующих этому расстоянию. Их получают в результате калибровки фотокамеры с последующей компьютерной обработкой сделанных снимков. Приведены результаты такой калибровки путем фотографирования вертикального 3-метрового базиса через 5 м в диапазоне 5–200 м горизонтальной линии. Показаны три способа определения коэффициента А, обеспечивающие практически одинаковую точность определения расстояния. Установлено, что для каждой фотокамеры значение А и отношение разности размеров пикселя в конце и начале линии калибровки на ее длину есть величины постоянные. Доказано, что пределы фотографического способа измерения расстояний не ограничиваются длиной линии калибровки, а могут быть значительно больше ее, обеспечивая точность измерений в пределах 0–1 %.