

# ПРОВЕДЕНИЕ МОНИТОРИНГА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОТЕЛЕВИЗИОННОЙ ПЕРЕДАЮЩЕЙ СТАНЦИИ В ГОРОДЕ ВЛАДИКАВКАЗЕ

Д.В. КОНДРАШОВ  
Д.Ю. КОНЯШИН✉

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко  
АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

## Аннотация

*Введение.* Представлены материалы по мероприятиям, проводимым сотрудниками Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций имени В.А. Кучеренко, в период с июля 2022 г. по март 2024 г. в процессе монтажа радиотелевизионной башни высотой 210 м в г. Владикавказе. В наиболее напряженных элементах конструкции, находящихся на отм. +1,700 и +40,047, были установлены механические тензометры, с которых снимались показания для получения картины напряженного состояния конструкции в целом. При этом проводился анализ данных, полученных от заказчика по результатам геодезической службы, выполняющей работы при строительстве.

*Цель.* Проведение мониторинга по разработанной в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко методике для наблюдения за состоянием отдельных конструкций и ответственных узлов антенно-башенного сооружения, а также для заблаговременного предупреждения и своевременного предотвращения возможных нештатных ситуаций при его возведении.

*Материалы и методы.* В статье приведены чертежи КМ и представлены выполненные авторами статьи фотографии используемых на возводимых стальных конструкциях измерительных приборов.

*Результаты.* Проведение мониторинга в процессе монтажа стальных строительных конструкций башни обеспечивало механическую безопасность сооружения путем контроля напряжений его наиболее нагруженных конструкций, а также путем анализа их перемещений и деформаций.

*Выводы.* Измерения напряженно-деформированного состояния и проведенный по полученным данным анализ показали, что напряжения и имеющиеся отклонения от проектного положения контрольных точек не превышали допустимых величин, приведенных в нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** стальная конструкция, антенно-мачтовое сооружение, несущая способность, перемещения, деформации, жесткость, стержень

**Для цитирования:** Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Проведение мониторинга напряженного состояния конструкций радиотелевизионной передающей станции в городе Владикавказе. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2025;45(2):68–82. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-68-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-68-82)

## Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

## Финансирование

Исследование выполнялось за счет заказчика – РТРС.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 28.03.2025

Поступила после рецензирования 04.05.2025

Принята к публикации 15.05.2025

## STRESS-STRAIN STATE MONITORING FOR THE STRUCTURES OF THE RADIO AND TELEVISION TRANSMITTING STATION IN VLADIKAVKAZ

D.V. KONDRASHOV

D.Yu. KONYASHIN✉

*Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institut'skaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation*

### Abstract

*Introduction.* The article presents data on the activities carried by the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko from July 2022 to March 2024 during the installation of a 210 m high radio and television transmitting tower in Vladikavkaz, Russian Federation. The most stressed structural elements located at 1.700 and 40.047 elevations were equipped with mechanical strain gauges to collect data on the stress-strain state of the whole structure. In addition, data of the geodetic survey performed during construction were analyzed.

*Aim.* To conduct stress-strain state monitoring according to the method developed by the Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko for individual structures and critical components of an antenna tower, as well as for early warning and timely preventing possible emergency situations during its construction.

*Materials and methods.* The article presents drawings of metal structures and photographs of measuring instruments used during construction.

*Results.* Mechanical safety of the tower steel structures was ensured by monitoring the stresses of their most heavily loaded elements, as well as their movements and deformations.

*Conclusions.* The analysis of the stress-strain state measurements showed that the stresses and existing deviations of control points from the design position are within the permissible values specified in the regulatory documents in force on the territory of the Russian Federation.

**Keywords:** steel, steel structure, antenna mast structure, bearing capacity, movement, strain, rigidity, rod

**For citation:** Kondrashov D.V., Konyashin D.Yu. Stress-strain state monitoring for the structures of the radio and television transmitting station in Vladikavkaz. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;45(2):68–82. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2\(45\)-68-82](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-2(45)-68-82)

### Authors contribution statement

All authors made equal contributions to the study and the publication.

### Funding

The study was carried out at the expense of the customer Russian Television and Radio Broadcasting Network.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

*Received 28.03.2025*

*Revised 04.05.2025*

*Accepted 15.05.2025*

## Введение

В соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [1] мониторингу технического состояния подлежат уникальные здания и сооружения для повышения степени обеспечения их безопасного функционирования, а также для отслеживания степени и скорости изменения технического состояния их несущих конструкций и своевременного принятия в случае негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, экстренных мер по предотвращению их обрушений.

По терминологии Градостроительного Кодекса РФ [2] и статьи 15 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [3] к уникальным относятся здания и сооружения с высотой, превышающей 100 м, а также сооружения, где используются конструкции и конструктивные схемы с применением нестандартных или специально разработанных методов расчета или требующих проверки на физических моделях.

Радиотелевизионная передающая станция (РТПС), возводимая в г. Владикавказе, имеет уровень ответственности сооружения «повышенный», класс сооружения КС-3, высоту по проекту 210 м, поэтому она относится к уникальным сооружениям, подлежащим мониторингу.

Первым положительным опытом проведения мониторинга с использованием разработанных сотрудниками ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» приборов был мониторинг покрытия Большой спортивной арены (БСА) «Лужники», проводившийся с 1996 года [4, 5].



Рис. 1. Патенты на используемые при мониторинге приборы  
Fig. 1. Patents for monitoring instruments



**Рис. 2.** Прикрепление приборов ТМИ-500М к различным элементам конструкций  
**Fig. 2.** Attachment of TMI-500M instruments to various structural elements

## Используемые приборы

В процессе мониторинга в элементах конструкций радиотелевизионной передающей станции в г. Владикавказе [6] деформации (напряжения) измерялись запатентованными (рис. 1) ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко механическими тензотрами ТМИ-500М с использованием деформометров ИЧ-10 (рис. 2).

При определении деформаций учитывались поправки на температуру. Измерение температуры конструкции, штанги и калибра проводилось электронным контактным термометром ТК5-О1П, изготовленным фирмой Техно АС (рис. 3).

Пределы измерений термометра расположены в диапазоне от  $-20$  до  $+200$  °С.



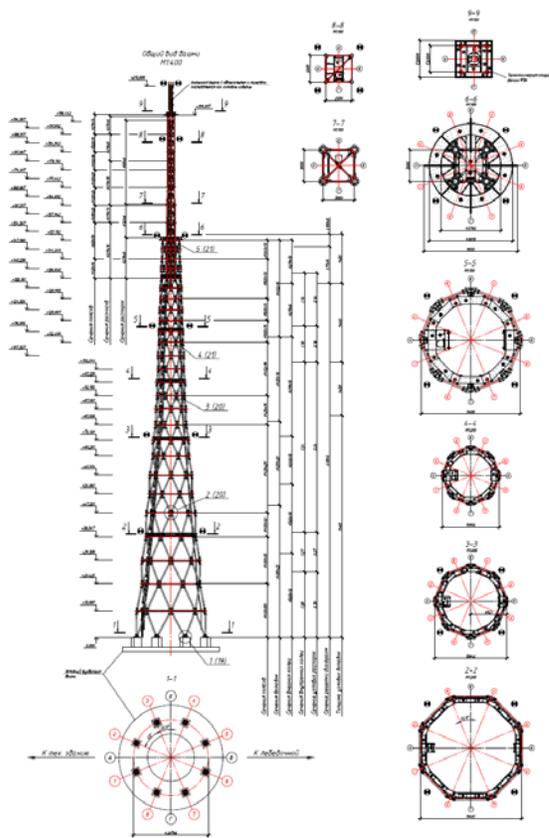
**Рис. 3.** Измерение температуры конструкции контактным термометром ТК5-01П  
**Fig. 3.** Temperature measurements with a TK5-01P contact thermometer

## Конструктивные особенности башни

Взамен устаревшей телевизионной вышки (рис. 4а) в 2022 г. в городе Владикавказе началось строительство новой башни. Радиотелевизионная передающая станция в городе Владикавказе по проекту представляет собой антенно-башенное сооружение – восьмиугольную решетчатую башню общей высотой 210 м с уменьшающимся кверху диаметром (от 28,766 м в основании и до 3 м вверху). Выше – квадратное сечение со стороной от 3 м, уменьшающееся по высоте до 2,5 м. Выше устанавливается готовая антенная ферма с обтекателями и панелями (рис. 4б).



a (a)



б (b)

**Рис. 4.** Устаревшая мачта (a) и геометрическая схема новой башни радиотелевизионной передающей станции (б) в г. Владикавказ

**Fig. 4.** Obsolete mast (a) and geometric scheme of a new radio and television transmitting tower (b) in Vladikavkaz

Сечения элементов башни – из круглых труб, собираемых в узлах на болтовых фланцевых соединениях. Узлы конструкции и стержни башни поставлялись заводом в готовом виде с фланцами (рис. 5). Конструкция монтировалась на каждом уровне по периметру башни с помощью кранов (рис. 6).

### Организация и методика проведения измерений

Как известно, в случае использования электромеханических или электронных систем измерений возможна реальная угроза повреждения или утраты закрепленных на конструкциях самих приборов или соединительных кабелей для электромеханических датчиков. Также может привести к их повреждению воздействие на электромеханические или электронные датчики атмосферных осадков и электромагнитного излучения от сварочных работ или другого строительного-монтажного оборудования.

Принятая для проведения измерений система регистрации напряжений в элементах конструкций РТПС в г. Владикавказе с помощью механических тензометров типа ТМИ со съемными деформометрами является более надежной.

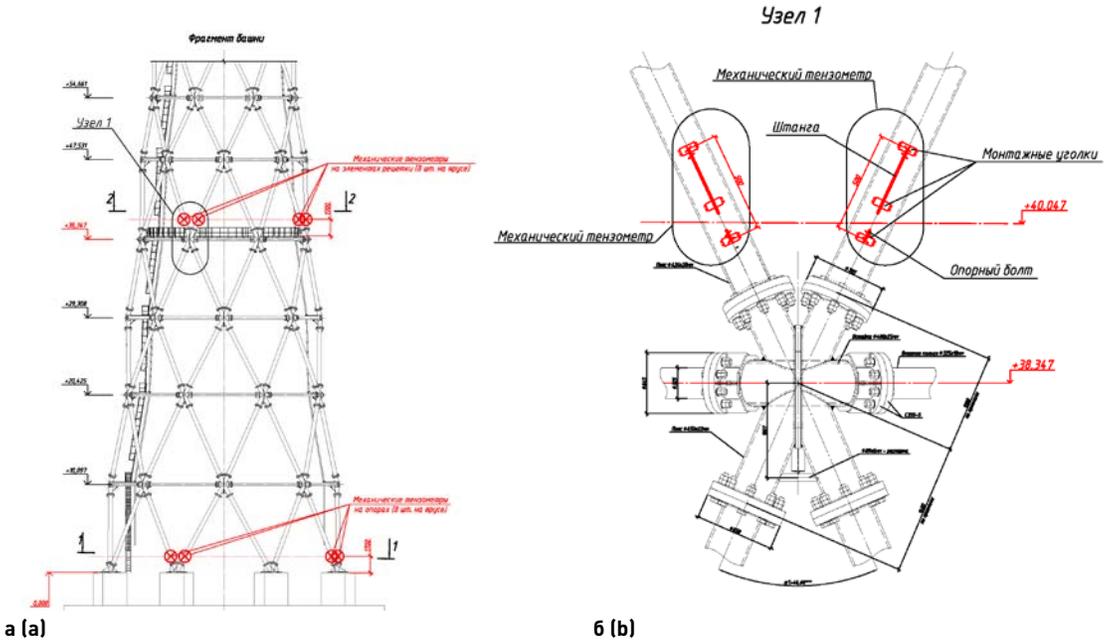


**Рис. 5.** Готовые к монтажу узлы и элементы и начало сборки конструкции башни  
**Fig. 5.** Ready-to-install units and components and start of tower assembly

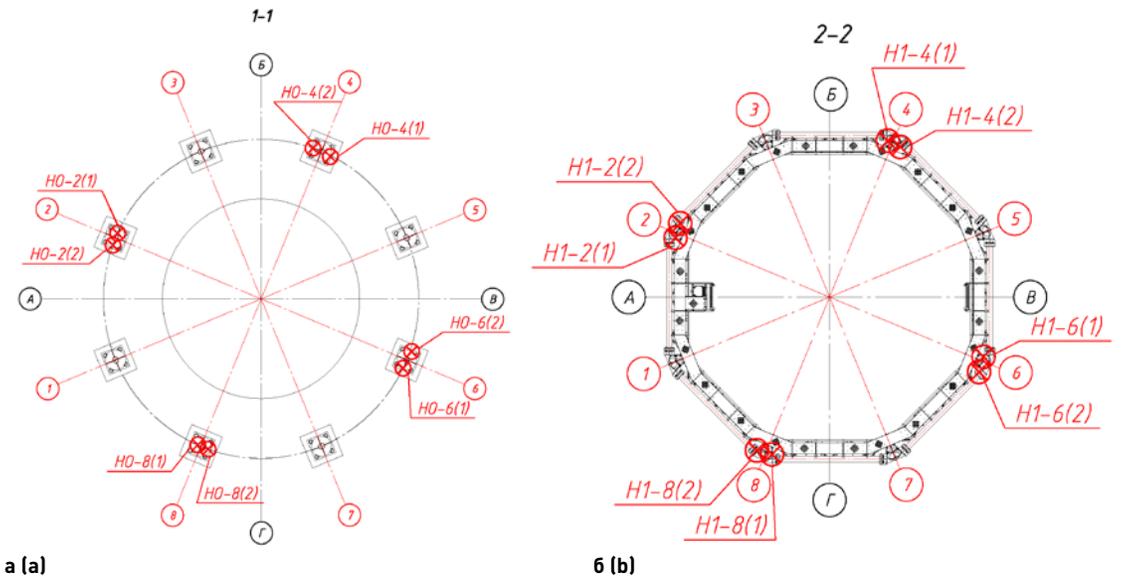




**Рис. 6.** Процесс монтажа уникальной башни радиотелевизионной передающей станции в г. Владикавказе  
**Fig. 6.** Installation of a unique radio and television transmitting tower in Vladikavkaz



**а (a)** **б (b)**  
**Рис. 7.** Общий вид фрагмента башни с местами установки тензометров (а) и типовой узел фиксации их на высоте 1,7 м от отм. 0,000 и от отм. +38,347 (б)  
**Fig. 7.** General view of a tower fragment with locations of strain gauges (a) and typical unit for fixing them at a height of 1.7 m from 0.000 and +38.347 elevations (b)



**а (a)** **б (b)**  
**Рис. 8.** Схемы расположения механических тензометров на высоте 1,7 м от отм. 0,000 (а) и от отм. + 38,347 (б)  
**Fig. 8.** Schemes of arranging mechanical strain gauges at the height of 1.7 m from 0.000 (a) and +38.347 elevations (b)

Места расположения измерительных механических тензометров для проведения работ по мониторингу напряженного состояния конструкций башни в процессе монтажа представлены на рис. 7 и 8.

Установка приспособлений под механические тензометры типа ТМИ со съёмными деформометрами и защитными устройствами для них показана на рис. 9.

Тензометр ТМИ-500М представляет собой базу с удлиненным стержнем, стационарно закрепляемую на исследуемой строительной конструкции, и съёмное измерительное устройство (деформометр), выполненное на основе серийного индикатора часового типа ИЧ-10, с помощью которого определяется изменение длины измерительной базы, принятой для данного типа тензометра (500 мм).

Тарировка механического деформометра производится при помощи специально изготовленного в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко калибра (рис. 10 и 11) и осуществляется при проведении каждого цикла измерений.

После каждого этапа монтажа башни с деформометров снимались показания (рис. 12), которые сравнивались с нулевыми. По результатам измерений деформаций с помощью деформометров по закону Гука определялись напряжения в элементах башни. При этом учитывалась вся история нагружения конструкции с момента ее возведения до проведения измерения на текущем этапе.

Показание деформометра в составе механического тензометра позволяет определить напряжение, возникающее в месте установки прибора, по закону Гука:

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где  $\sigma$  – напряжение в конструкции;

$E$  – модуль упругости материала;

$\varepsilon = \Delta L/L$  – относительная деформация;

$\Delta L$  – абсолютная деформация;

$L$  – измерительная база прибора (в данном случае 50 см).

Если одно деление шкалы прибора ИЧ-10 ( $\Delta L$ ) составляет 0,01 мм, или 0,001 см, абсолютная деформация, соответствующая одному делению шкалы прибора, будет соответствовать напряжению  $\sigma = 2,1 \times 10^6 \times (0,001/50) = 42 \text{ кг/см}^2 = 4,2 \text{ МПа}$ .

При определении деформации волокна сечения элемента конструкции, полученная от внешних нагрузок, при измерении ее механическим тензометром ТМИ-500М, суммировалась с температурными деформациями.

Учет температурных поправок вводится из-за того, что температура самой конструкции, температура штанги базы механического тензометра и температура контрольного калибра прибора могут различаться. В общем виде база тензометра, штанга и скоба калибра характеризуются длиной ( $L$ ,  $L_{\text{ш}}$ ,  $L_{\text{к}}$ ) и температурой ( $t$ ,  $t_{\text{ш}}$ ,  $t_{\text{к}}$ ) соответственно.

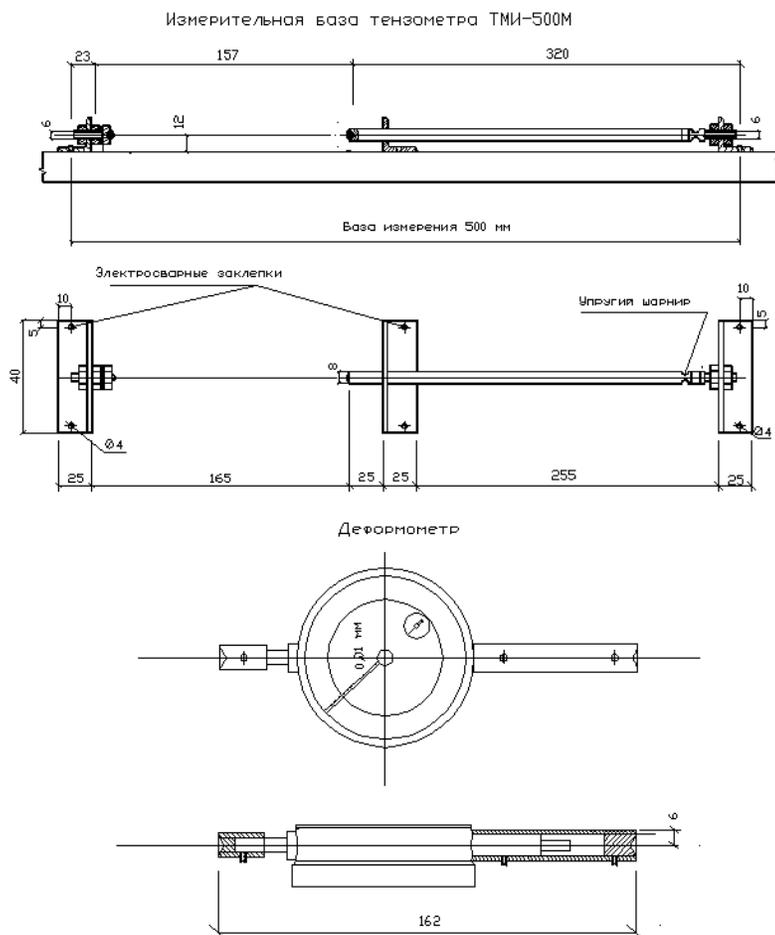
Штанга, база тензометра и контрольный калибр изготовлены из одинаковой стали и имеют коэффициент линейного расширения, равный  $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ . В зависимости от базы тензометра длина штанги  $L_{\text{ш}} = \beta \times L$  и длина калибра  $L_{\text{к}} = \xi \times L$ . Здесь  $\beta$  и  $\xi$  – части базы тензометра,  $\beta + \xi = 1$ .

Разность температуры базы тензометра и штанги  $\Delta t_{\text{ш}} = t - t_{\text{ш}}$ . Деформация штанги от действия температуры будет равна  $\Delta_{\text{ш}} = \alpha \times \Delta t_{\text{ш}} \times L_{\text{ш}}$ .

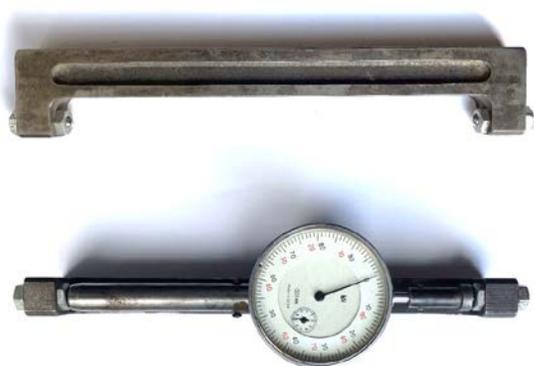


Рис. 9. Приварка элементов базы тензометра к конструкции башни и его настройка. Установка защитного устройства на тензомер

Fig. 9. Welding of strain gauge elements to the tower structure and its adjustment. Installation of a protective device on a strain gauge



**Рис. 10.** Схема и общий вид механического тензомера ТМИ-500М и деформометра типа ИЧ-10  
**Fig. 10.** Scheme and general view of the TMI-500M mechanical strain gauge and ICH-10 strainmeter



**Рис. 11.** Вид калибра и тарировка деформометра с его помощью  
**Fig. 11.** Calibrating device and strain gauge calibration

Разность температуры базы тензомера и калибра  $\Delta t_c = t - t_c$ . Деформация калибра от действия температуры  $\Delta \epsilon_c = \alpha \times \Delta t_c \times L_c$ .

Общая деформация от действия температуры  $\Delta t = \Delta_{III} + \Delta_c$ , или:

$$\Delta t = \alpha \times (t - t_{III}) \times \beta \times L + \alpha \times (t - t_c) \times \xi \times L = \alpha \times L \times [t(\beta + \xi) - \beta \times t_{III} - \xi \times t_c].$$

Учитывая, что  $\beta + \xi = 1$ , а одно деление деформометра ТМИ-500М составляет 0,01 мм, температурную деформацию следует вычислять по формуле:

$$\Delta t = 100 \times \alpha \times L \times (t - \beta \times t_{III} - \xi \times t_c).$$



**Рис. 12.** Снятие показаний с деформометров  
**Fig. 12.** Taking readings from strain gauges

Для механического тензометра ТМИ-500М (при  $L = 500$  мм;  $L_{ш} = 305$  мм;  $L_c = 195$  мм;  $\alpha \times L = 12 \times 10^{-6} \times 500 = 0,006$  мм;  $\beta = 0,61$ ;  $\xi = 0,39$ ) формула для вычисления температурной деформации принимает вид:

$$\Delta t = 0,234 \times (t - t_c) + 0,366 \times (t - t_{ш}),$$

здесь  $\Delta t$  измеряется в количестве делений индикатора.

## Результаты измерений напряженного состояния

В период проведения мониторинга **снятие отсчетов** производилось с деформометров, установленных на фактических местах: на отм. +1,700 и на отм. +40,047 (отметка 1,7 м принята исходя из удобства расположения приборов во время монтажа и дальнейшей работы по выполнению замеров), и фиксировалось в промежуточных отчетах по 9-ти этапам.

В результате анализа полученных данных было выявлено, что элементы башни испытывают сжатие от веса вышевозведенных элементов. Фактическая ветровая нагрузка не оказывала существенного влияния на напряженное состояние башни на момент проведения измерений. Однако на отдельных элементах она начинает уменьшать сжатие от собственного веса элементов башни. С увеличением высоты сооружения этот факт более нагляден.

Максимальные напряжения в элементах конструкции (без учета сейсмической нагрузки) составили  $462$  кгс/см<sup>2</sup>, что позволяет прогнозировать обеспечение несущей способности конструкции при возможном увеличении действующих нагрузок.

Геодезическое наблюдение за состоянием конструкций башни выполнялось с периодичностью, совпадающей с периодичностью мониторинга напряженного состояния.

Для оценки перемещений конструкции башни был выполнен анализ данных геодезических измерений, проводимых ПСК «БелЭнергоСтрой» [7], где представлены исполнительные геодезические схемы вертикальности ствола секций от 0,2 до 199,967 м по высоте, а также выполнена съемка вертикальности всех конструкций башни.

Анализ представленных результатов съемки в период мониторинга показал, что измеренные реальные величины отклонений не превышали предельных допустимых значений, указанных в СП 70.13330.2012 [8].

## Выводы

1. Элементы смонтированных стальных конструкций радиотелевизионной башни в г. Владикавказе испытывали в основном сжимающие напряжения от собственного веса конструкции башни.
2. Ветровая нагрузка в момент измерений не оказывала существенного влияния на несущую способность элементов башни.
3. Сейсмическая нагрузка на башню на момент измерений не зафиксирована.
4. Максимальные напряжения в элементах конструкции (без учета сейсмической нагрузки) составили  $462$  кгс/см<sup>2</sup>.
5. Измерения параметров деформированного состояния и проведенный по полученным данным анализ показали, что имеющиеся отклонения от проектного положения контрольных

точек не превышали допустимых величин, приведенных в нормативных документах, действующих на территории Российской Федерации.

6. Работу по измерению напряженно-деформированного состояния следует считать завершенной. Каркас башни успешно собран и ее несущая способность **обеспечена**.

7. Результаты научно-технического сопровождения (в т. ч. мониторинга) строительства башни позволили считать техническое состояние смонтированной башни **исправным** (по ГОСТ 31937-2011 [1]).

## Список литературы

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.
2. Градостроительный Кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>.
3. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Ст. 15 [интернет]. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>.
4. Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю. Апробированная методика проведения мониторинга в зданиях и сооружениях. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;28(1):110–123. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-110-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123).
5. Егоров М.И., Баранов Д.С. Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций уникальных сооружений Москвы. Промышленное и гражданское строительство. 2001;(10):14–17.
6. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство». Программа проведения работ по мониторингу конструкций антенно-мачтового сооружения высотой 210 м объекта «Строительство радиотелевизионной передающей станции (РТПС) в г. Владикавказе. Москва; 2022.
7. ООО «ПСК «БелЭнергоСтрой». Строительство радиотелевизионной передающей станции (РТПС) в городе Владикавказе. Шифр ДТР-257-15-1-КМ. Исполнительные схемы геодезического контроля: положения вертикальности ствола с отм. +0.200 до отм. +199.967м. Исполнительные схемы №1/С21-2024 г.
8. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Москва: Минрегион России; 2012.

## References

1. State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. (In Russian).
2. Urban Development Code of the Russian Federation of December 29, 2004 No. 190-FZ [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489371>. (In Russian).
3. Federal Law of December 30, 2009 No. 384-FZ “Technical regulations on the safety of buildings and structures”. Article 15 [internet]. Available at: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475858>. (In Russian).
4. Farfel M., Gukova M., Kondrashov D., Konyashin D. Proven methods of monitoring in buildings and structures. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2021;28(1):110-123. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1\(28\)-110-123](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-1(28)-110-123).
5. Egorov M.I., Baranov D.S. Monitoring the stress-strain state of load-bearing structures of unique buildings in Moscow. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2001;(10):14–17. (In Russian).
6. Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction. Program for monitoring the structures of a 210-meter-high antenna-mast structure of the “Construction of a radio and television transmitting station (RTPS) in Vladikavkaz”. Moscow; 2022. (In Russian).

**7.** BelEnergostroy PSC LLC. Construction of a radio and television transmitting station (RTPS) in Vladikavkaz. Code DTR-257-15-1-КМ. Executive schemes of geodetic control: shaft verticality positions from elevation +0.200 to elevation +199.967 m. Executive schemes No. 1/С21-2024. (In Russian).

**8.** SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. Updated version of SNiP 3.03.01-87. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia; 2012. (In Russian).

## **Информация об авторах / Information about the authors**

**Дмитрий Владимирович Кондрашов**, ведущий научный сотрудник отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dkondras@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-73-25

**Dmitry V. Kondrashov**, Leading Researcher, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dkondras@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-73-25

**Дмитрий Юрьевич Коняшин**<sup>✉</sup>, старший научный сотрудник отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: dkon10@yandex.ru

тел.: +7 (499) 174-77-93

**Dmitry Yu. Konyashin**<sup>✉</sup>, Senior Researcher, Department of Metal Structures, Research Institute of Building Constructions named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: dkon10@yandex.ru

tel.: +7 (499) 174-77-93

<sup>✉</sup>Автор, ответственный за переписку / Corresponding author