



УДК 624.971: 693.564

Д. В. СТЕПАНОВ, ген. директор<sup>1</sup>; А. В. МАКАРОВ, зам. ген. директора<sup>1</sup>;  
Р. В. МАЕРШИН, гл. инженер проекта<sup>1</sup>; А. В. ВАЛОВ, ген. директор<sup>2</sup>;  
Е. С. ЗУБАНОВ, вед. инженер-проектировщик<sup>1</sup>; Е. Н. ОБЛЕТОВ, инженер-проектировщик<sup>1</sup>, аспирант, асс. кафедры теории сооружений и технической механики<sup>3</sup>

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕНИЯ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОМ РАСКОСЕ БАШНИ

<sup>1</sup>ООО «Союзстальконструкция»

Россия, 603155, г. Н. Новгород, ул. М. Горького, 262, оф. П250. Тел.: (831) 422-12-23;  
эл. почта: [soyzstal@mail.ru](mailto:soyzstal@mail.ru)

<sup>2</sup>ООО «Системы мониторинга»

Россия, 603152, г. Н. Новгород, ул. Ларина, 22, оф. 15; эл. почта: [a\\_valov@mail.ru](mailto:a_valov@mail.ru)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-96;  
эл. почта: [evg.obletov@gmail.com](mailto:evg.obletov@gmail.com)

*Ключевые слова:* антенно-мачтовое сооружение, предварительное напряжение, гибкие раскосы, период колебаний, акселерометр, сейсмометр, ПО СМИК БЕССЕЛЬ.

---

*Представлены результаты экспериментального исследования по определению зависимости периода собственных колебаний в гибком раскосе башни от преднапряжения элемента. Предложена методика по определению тяжений в предварительно напряженных раскосах антенно-мачтового сооружения.*

---

На сегодняшний день в крупных городах РФ эксплуатируются 68 башен центрального телевидения высотой 180 и 150 м, возведенных по типовым проектам 3713КМ, 3803КМ, 38084КМ в период с 1955 по 1973 годы. Большая часть раскосов в указанных башнях выполнена из круглой стали с предварительным напряжением.

Применение гибких раскосов из круглой стали с предварительным напряжением в антенно-мачтовых сооружениях (рис. 1 цв. вклейки) продиктовано рядом причин. Во-первых, можно получить существенную экономию стали в сравнении с типовыми сечениями (круглые трубы, уголки); во-вторых, это снижение ветровой нагрузки на ствол конструкции; в-третьих, увеличение жесткости конструкции на изгиб [1, 2]. Недостатками данного решения являются: увеличение трудоемкости сборки конструкции (нагрев раскосов до требуемой температуры замыкания или изготовление стяжных муфт), перераспределение внутренних усилий в поясах и распорках конструкции, а также изменение предварительного напряжения при длительном сроке эксплуатации сооружения.

Приведенные объекты находятся в эксплуатации 50-70 лет. Отсутствует информация как о монтажных натяжениях в раскосах, так и фактических действующих на данный момент.

Получение информации о реальных преднапряжениях в раскосах является важным этапом проведения технического обследования сооружения, без которого невозможно корректно выполнить поверочный расчет эксплуатируемой

**К СТАТЬЕ Д. В. СТЕПАНОВА, А. В. МАКАРОВА, Р. В. МАЕРШИНА,  
А. В. ВАЛОВА, Е. С. ЗУБАНОВА, Е. Н. ОБЛЕТОВА  
«МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕНИЯ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО  
НАПРЯЖЕННОМ РАСКОСЕ БАШНИ»**

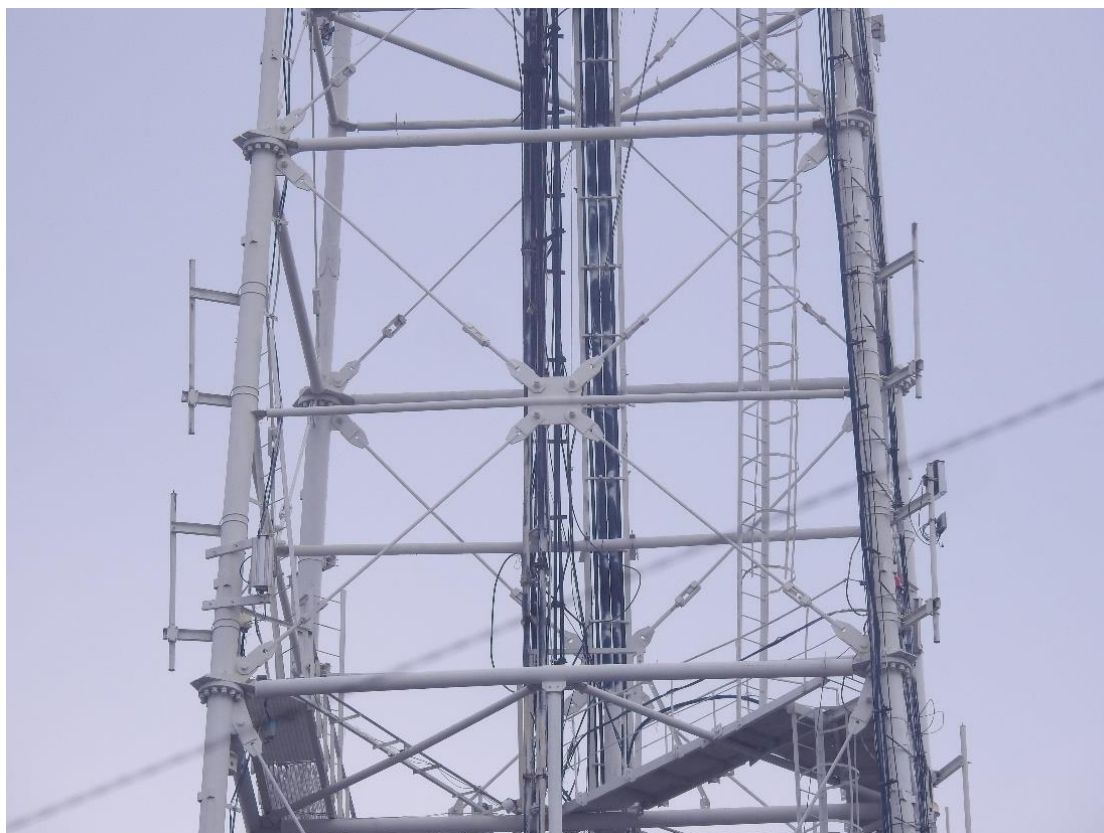


Рис. 1. Фрагмент башенной конструкции высотой 180 м. Раскосы выполнены из круглой стали с преднапряжением 400 – 900 кг/см<sup>2</sup>

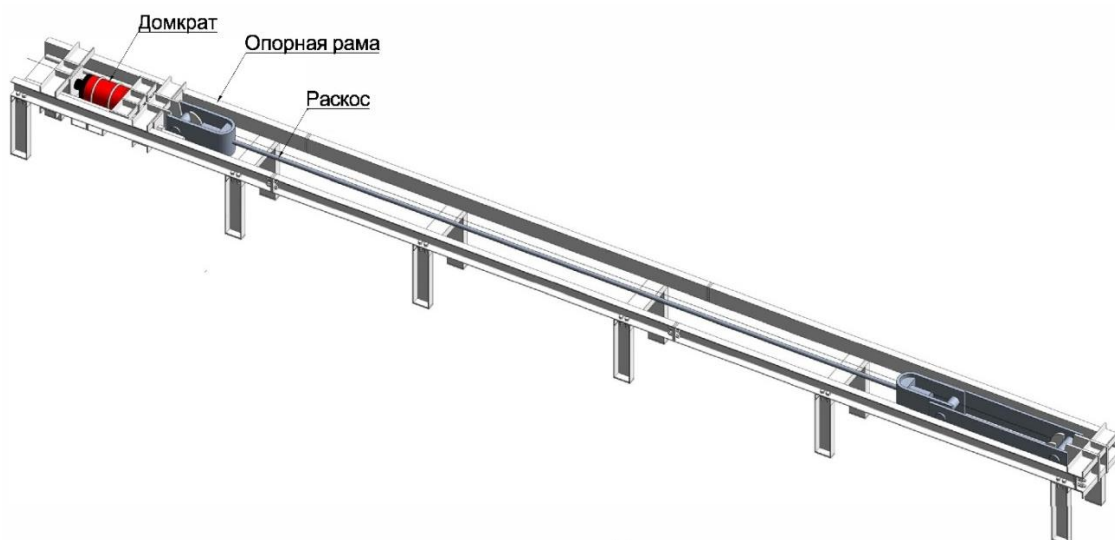


Рис. 2. Принципиальная схема стенда для эксперимента

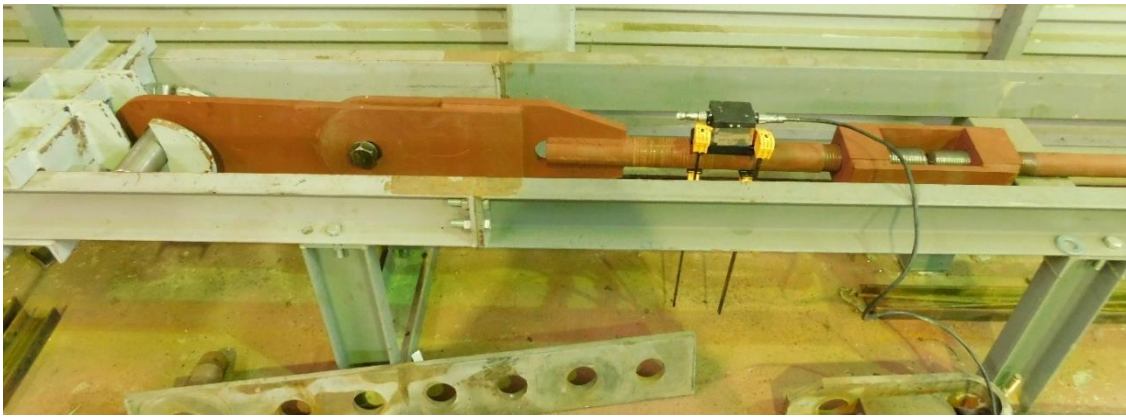


Рис. 3. Шарнирное закрепление раскоса на испытательном стенде



Рис. 4. Жесткое закрепление раскоса на испытательном стенде

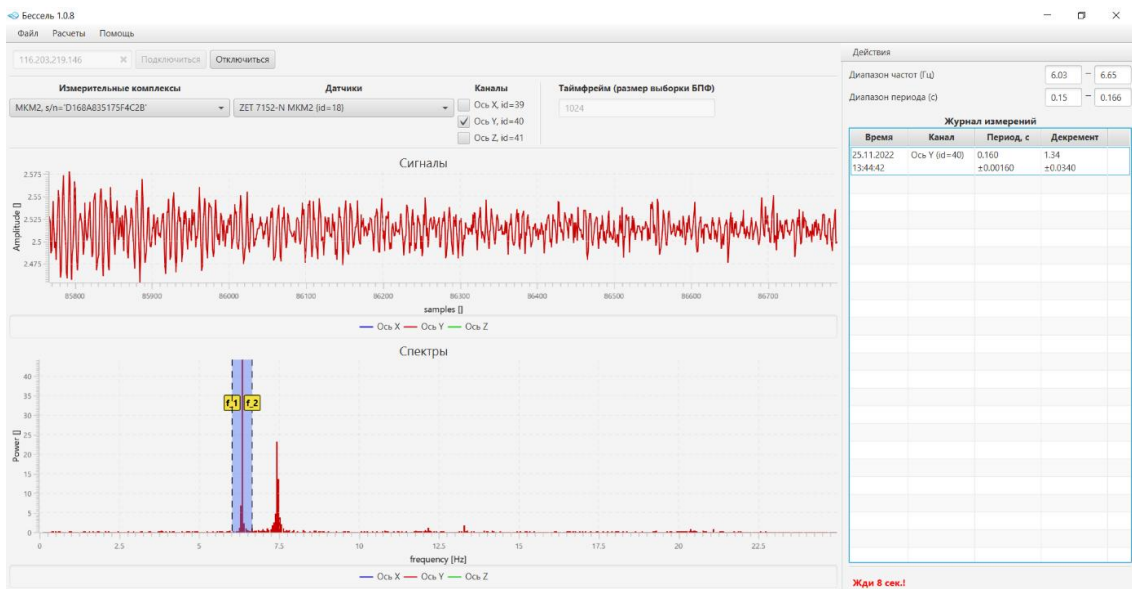


Рис. 5. Определение периода собственных колебаний раскоса при тяжении 8 тс по средствам датчиков и ПО СМИК БЕССЕЛЬ

конструкции и присвоить объекту категорию технического состояния, так как в зависимости от начального преднапряжения раскосов результаты поверочного расчета для отдельных элементов конструкции могут отличаться более чем на 30 %.

Теоретические и экспериментальные исследования зданий и сооружений на динамические воздействия были начаты в СССР в начале 60-х годов прошлого века. Это было продиктовано массовым строительством жилых и общественных зданий в городах, расположенных в районах с высокой сейсмической активностью, а также в связи со строительством уникальных и ответственных сооружений в тех же районах (высокие плотины, атомные электростанции, другие промышленные объекты).

Большой вклад в развитие теоретических и экспериментальных методов динамических исследований зданий и сооружений внесли Айзенберг Я. Н., Варданян Г. С., Калиберда Н. В, Мондрус В. Л., Пуховский А. Б., Селезнев Г. С., Шапиро Г. А. и др.

Исследование динамических параметров эксплуатируемых зданий и сооружений на сегодняшний день по-прежнему является актуальной задачей, что подтверждается большим количеством публикаций в этой области [3–6]. Публикация [7] посвящена проведению мониторинга технического состояния антенно-мачтовых сооружений в процессе технического переоснащения объекта. Проведен анализ изменения динамических параметров в процессе контроля технического состояния при разгрузке и нагружении антенного оборудования на примере реального объекта в реальном режиме времени.

Однако работы предлагают анализ колебаний и вибраций строительных конструкций в целом. Данная статья отражает применение накопленного опыта для измерения динамических параметров отдельных конструктивных элементов стального башенного сооружения.

Данное исследование, направленное на разработку методики по определению действующих тяжений в преднапряженных раскосах антенно-мачтовых сооружений, является актуальным, своевременным, отвечающим на запросы собственников и проектировщиков, а также имеющим практическую ценность.

Тяжение в гибком раскосе конструкции – усилие натяжения, численно равно равнодействующей нормальных напряжений, возникающих в сечении элемента под действием нагрузок, включая предварительное натяжение.

В качестве объекта исследования выступает гибкий раскос телевизионной башни  $H = 180$  м (рис. 1), изготовленный по типовому проекту 34084КМ. Раскос закреплен на испытательном стенде (рис. 2 цв. вклейки) в двух вариантах: шарнирно и условно жестко (рис. 3, 4 цв. вклейки).

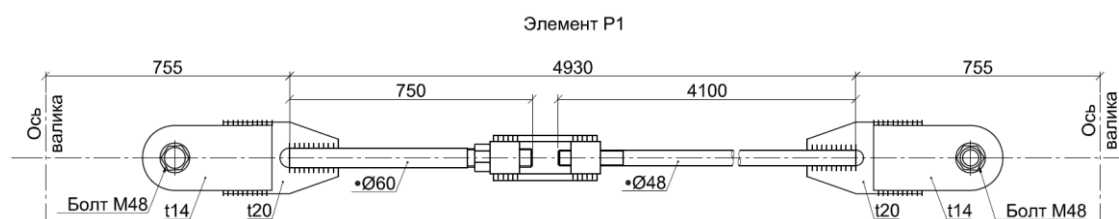


Рис. 1. Объект исследования



Порядок проведения эксперимента следующий: на установленный в испытательном стенде раскос закрепляются трехосевой акселерометр и трехосевой сейсмометр (далее – датчики) на краю и в середине пролета, затем датчики подключаются к удаленному серверу для фиксации динамических параметров; ручным гидравлическим насосом с манометром и домкратом задается поэтапное нагружение раскоса с шагом 1 тонна; на каждом этапе ударом по раскосу инициируется колебание и в режиме реального времени фиксируется период собственных колебаний элемента по средствам специализированного ПО СМИК БЕССЕЛЬ, разработанного ООО «Союзстальконструкция» и ООО «Системы мониторинга», (рис. 5 цв. вклейки) в соответствии с требованиями ГОСТ 34081-2017 [8].

Для верификации результатов эксперимента в ПБК *SCAD Office 21* была создана стержневая модель раскоса, приложены действующие нагрузки (собственный вес и вес датчиков) и определены периоды собственных колебаний при различных преднапряжениях элемента в рамках модального анализа [9].

Согласно методики измерения тяжений в оттяжках мачты, предложенной Савицким Г. А. [2], тяжение в струне определяют по формуле:

$$P = \frac{(2nl)^2 \rho}{t^2}, \quad (1)$$

где  $n$  – число отражений от другого конца струны;  $l$  – длина струны, м;  $t$  – время, с;  $\rho$  – погонная плотность струны,  $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$  [2, с. 156].

Выражая время  $t$ , определяем периоды собственных колебаний раскоса при различных тяжениях. Соответственно:  $n$  принято равным 1 (время  $t$  будет равно периоду одного колебания);  $l$  – расстояние между валиками закрепления раскосов;  $P$  – тяжение в элементе (задается от 3 до 12 тс).

Результаты исследования представлены на графике (рис. 2).

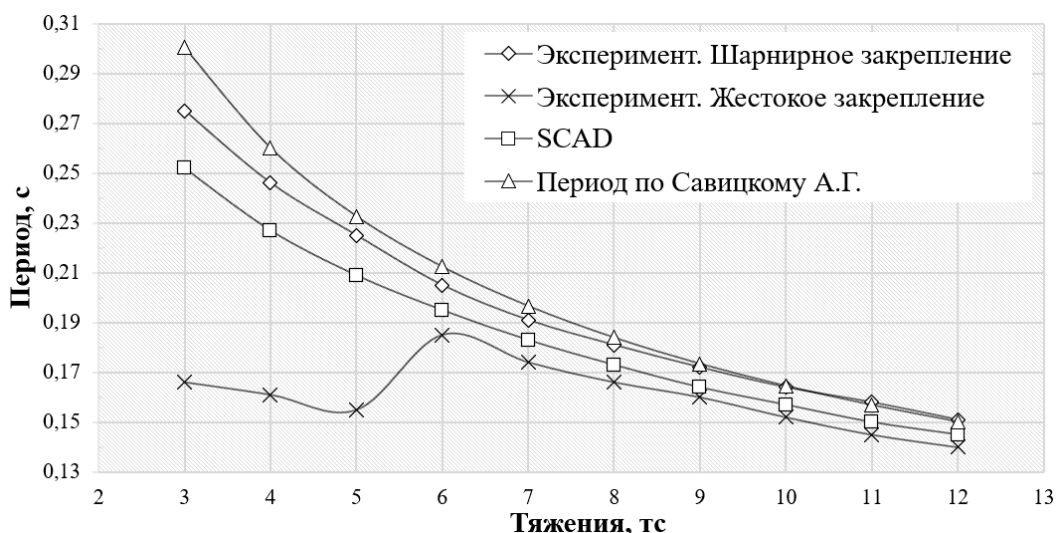


Рис. 2. График зависимости периода собственных колебаний раскоса от тяжения

Полученные результаты модельного эксперимента имеют хорошую сходимость с данными, полученными численно. В диапазоне от 6 до 12 тс предварительного натяжения погрешность не превышает 5%. Данные тяжения являются проектными для рассмотренного конструктивного элемента. Заметное



отклонение периода колебаний раскоса, закрепленного условно жестко (диапазон от 3 до 5 тс), может быть вызвано конструктивными особенностями испытательного стенда.

При проведении испытаний было установлено, что жесткость соединения оказывает влияние на измеряемые частоты собственных колебаний. Рассмотренный жесткий узел (рис. 4 цв. вклейки) обеспечивает жесткое закрепление в горизонтальной плоскости и шарнирное закрепление в вертикальной плоскости, что соответствует фактическому узлу закрепления раскоса на башне согласно проекту 34084КМ. На спектре (рис. 5 цв. вклейки) отчетливо видны две частоты, соответствующие шарнирному и жесткому закреплению раскоса. При анализе и сравнении результатов использовались значения частот колебаний в шарнирной плоскости закрепления раскоса.

В ходе эксперимента установлено, что место установки датчика на раскосе не влияет на определяемые динамические параметры.

Предлагаемая методика определения тяжения в предварительно напряженном раскосе башни включает следующие этапы:

1. Обеспечение свободного колебания раскоса (открепление сторонних элементов: подвески, кабели, светотехническое оборудование и пр.).
2. Установка датчика на раскосе.
3. Подключение прибора к удаленному серверу.
4. Возбуждение колебания элемента.
5. Фиксирование динамических параметров колебания.
6. Повторное выполнение п. 4 и п. 5 (3-5 наблюдений).
7. Обработка результатов. Определение тяжения.
8. Оформление протокола по результатам измерения тяжений во всех преднапряженных элементах конструкции.

Предложенная методика дает возможность определять фактические тяжения в эксплуатируемых конструкциях и выполнять их контроль, что является решающим фактором для присвоения категории технического состояния сооружению.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павловский, В. Ф. Стальные башни. Проектирование и монтаж / В. Ф. Павловский, М. П. Кондра. – Киев : Будівельник, – 1979. – 200 с. – Текст : непосредственный.
2. Савицкий, Г. А. Основы расчета радиомачт. Статика и динамика / Г. А. Савицкий. – Москва : Связьиздат, – 1953. – 276 с. – Текст : непосредственный.
3. Estimation of wind load pulsation coefficients on the long-span roof of sport entertainment facility / P. A. Khazov, V. B. Lampsi, T. S. Tsvetkova, E. S. Boriskina // Privolzhsky Scientific Journal. – 2021. – № 2 (58). – P. 16–25.
4. Хазов, П. А. Анализ экономической эффективности систем адаптивной сейсмозащиты на примере железобетонного рамного здания / П. А. Хазов, Е. Н. Григорьева, А. К. Ситникова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2 (62). – С. 37–50.
5. Сравнение динамических расчетных моделей при определении частот и форм собственных колебаний большепролетной стальной фермы покрытия здания велодрома / П. А. Хазов, Н. И. Молодушная, Б. Б. Лампси (мл.) и [др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, – 2019. – № 2. – С. 16–24.



6. Мониторинг вибросостояния здания плотной городской застройки с помощью микроволнового интерферометра / В. И. Ерофеев, И. В. Шкода, Е. Н. Облетов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2 (62). – С. 9–15.

7. Валов, А. В. Контроль состояния несущих конструкций антенно-мачтового сооружения при техническом переоснащении / А. В. Валов, А. В. Макаров, Д. В. Степанов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – № 2. – С. 14–16.

8. ГОСТ 34081-2017. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний : межгосударственный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 октября 2017 г. N 1449-ст : дата введения 1 ноября 2017 года. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90914/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90914/) (дата обращения: 21.04.2023). – Режим доступа: КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

9. Карпиловский, В. С. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++ : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 и 08.04.01 "Строительство" / В. С. Карпиловский и [др.]. – Москва : СКАД СОФТ : Ассоциации строительных вузов, 2015. – 807 с. – ISBN 978-5-4323-0081-2. – Текст : непосредственный.

**STEPANOV Dmitry Vladimirovich, general director<sup>1</sup>; MAKAROV Aleksandr Vladimirovich, deputy director general<sup>1</sup>; MAYORSHIN Roman Viktorovich, chief engineer of the project<sup>1</sup>; VALOV Andrey Viktorovich, general director<sup>2</sup>; ZUBANOV Evgeny Sergeevich, leading engineer-designer<sup>1</sup>; OBLETOV Evgeny Nikolaevich, engineer-designer<sup>1</sup>, postgraduate student, assistant of the chair of theory of structures and technical mechanics<sup>3</sup>.**

## METHODOLOGY FOR DETERMINING TENSION IN A PRESTRESSED TOWER STRUT

<sup>1</sup>JSC “Soyuzstalkonstruktsiya”

262, Gorky St., Nizhny Novgorod, 603155, Russia. Tel.: +7 (831) 422-12-23; e-mail: soyzstal@mail.ru

<sup>2</sup>JSC “Sistemy monitoringa”

22, Larin St., of. 15, Nizhny Novgorod, 603152, Russia; e-mail: a\_valov@mail.ru

<sup>3</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-96;

e-mail: evg.obletov@gmail.com

*Key words:* antenna-mast structure, prestressing, flexible struts, oscillation period, accelerometer, seismometer, SMIC BESSEL software.

---

*The article presents the results of an experimental study to determine the dependence of the period of natural vibrations in a flexible tower strut on the prestressing of the element. The method of determining the stresses in prestressed struts of antenna-mast structures is proposed.*

---

## REFERENCES

1. Pavlovskiy V. F., Kondra M. P. Stalnye bashni. Proektirovanie i montazh [Steel towers. Design and installation]. – Kiev : Budivelnik, 1979. – 200 p.



2. Savitskiy G. A. Osnovy raschyota radiomacht. Statika i dinamika [Fundamentals of calculation of radio masts. Statics and dynamics]. – Moscow : Svyazizdat, 1953. – 276 p.
3. Khazov P. A., Lampsy B. B., Tsvetkova T. S., Boriskina E. S. Otsenka koeffitsientov pulsatsii vetrovoy nagruzki na bolsheprolyotnoe pokrytie sportivno-zrelischnogo sooruzheniya [Estimation of wind load pulsation coefficients on the long-span roof of sport entertainment facility] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021, № 2(58). – P. 16–25.
4. Khazov P. A., Grigoreva E. N., Sitnikova A. K. Analiz ekonomicheskoy effektivnosti sistem adaptivnoy seysmozaschity na primere zhelezobetonnoogo ramnogo zdaniya [The economic efficiency analysis of adaptive seismic protection systems by the example of a reinforced concrete frame building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022, № 2(62). – P. 37–50.
5. Khazov P. A., Molodushnaya N. I., Lampsy B. B. (Jr.), et al. Svravnenie dinamicheskikh raschyotnykh modeley pri opredelenii chastot i form sobstvennykh kolebaniy bolsheprolyotnoy stalnoy fermy pokrytiya zdaniya velodroma [Comparison of dynamic computational models in determining frequencies and forms of natural vibration of the large-span steel truss of the velodrome building roofing]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2019, № 2. – P. 16–24.
6. Erofeev V. I., Shkoda I. V., Obletov E. N., et al. Monitoring vibrosostoyaniya zdaniya plotnoy gorodskoy zastroyki s pomoschyu mikrovolnovogo interferometra [Monitoring of the vibration state of a dense urban development using a microwave interferometer]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2022, № 2(62). – P. 9–15.
7. Valov A. V., Makarov A. V., Stepanov D. V. Kontrol sostoyaniya nesuschikh konstruktsiy antenno-machtovogo sooruzheniya pri tekhnicheskoy pereosnaschenii [Monitoring the condition of the supporting structures of the antenna-mast structure during technical re-equipment]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil engineering]. 2022, № 2. – P. 14–16.
8. GOST 34081-2017 Zdaniya i sooruzheniya. Opredelenie parametrov osnovnogo tona sobstvennykh kolebaniy [Buildings and structures. Determination of the parameters of the basic tone of natural vibrations]: mezhgosud. standart RF : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Fed. agentstva po tekhnich. regulirovaniyu i metrologii ot 19 oktyabrya 2017 g. № 1449-st : data vvedeniya 2017-10-01. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_90914/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90914/) (data obrascheniya: 21.04.2023). – Rezhim dostupa: KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
9. Karpilovskiy V. S., et al. SCAD Office. Versiya 21. Vychislitelny kompleks SCAD++ [SCAD Office. Version 21. SCAD++ computational complex]: uchebnoe posobie dlya studentov, obuchayuschikhsya po napravleniyam 08.03.01 i 08.04.01 "Stroitelstvo". – Moscow : SKAD SOFT : Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov, 2015. – 807 p. ISBN 978-5-4323-0081-2.

© Д. В. Степанов, А. В. Макаров, Р. В. Маершин, А. В. Валов; Е. С. Зубанов, Е. Н. Облетов, 2023

Получено: 03.03.2023 г.