

УДК 693

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-3-112-119

Д.Г. КОПАНИЦА, А.С. ПЛЯСКИН, А.М. УСТИНОВ, А.И. ДАНИЛЬСОН,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ 16-ТОННОГО КОЛОКОЛА ЗВОННИЦЫ СВЯТО-ВОСКРЕСЕНСКОЙ ЦЕРКВИ Г. ТОМСКА

Исследование динамических параметров имеет большое значение для понимания и оценки работы конструкции и ее эксплуатационных характеристик. Анализ амплитудно-частотных характеристик, полученных по результатам натурных исследований, дает представление о реакции конструкции под влиянием внешних воздействий. Сравнение результатов измерений с проектными показателями дает представление о физическом состоянии конструкции и возможность прогнозировать поведение конструкции при изменяющихся внешних воздействиях.

Целью работы являлось определение причин возникновения вибрации в строительных конструкциях звонницы и оценка технического состояния звонницы Свято-Воскресенской церкви.

Значения динамических параметров получены путем натурных измерений с применением лазерного виброметра RSV-150 и обработки результатов с использованием программного обеспечения VibSoft-20.

По результатам исследований получены динамические параметры конструкций звонницы в виде спектров частот собственных колебаний. Анализ динамических параметров показал, что конструкции звонницы выполнены с дефектами, приводящими к возникновению вибрационных воздействий.

Анализ полученных результатов показал, что причиной возникновения вибрации в конструкциях звонницы является недостаточная изгибная жесткость несущей металлической балки колокола, а также жесткая заделки концов балки в кирпичную кладку столбом звонницы.

Полученные результаты могут быть применены при настройке подвесных систем тяжелых колоколов, а также обследовании технического состояния строительных конструкций на основе анализа динамических параметров.

Ключевые слова: частота собственных колебаний; спектр; вибрация.

Для цитирования: Копаница Д.Г., Пляскин А.С., Устинов А.М., Данильсон А.И. Исследование частот собственных колебаний несущих конструкций 16-тонного колокола звонницы Свято-Воскресенской церкви г. Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 3. С. 112–119.

D.G. KOPANITSA, A.S. PLYASKIN, A.M. USTINOV, A.I. DANILSON,
Tomsk State University of Architecture and Building

EIGEN-FREQUENCY OF BEARING STRUCTURES OF SVYATO-VOSKRESENSKAYA CHURCH TOWER BELL IN TOMSK

Relevance: Investigation of dynamic parameters is significant for understanding and evaluation of the structural behavior and performance characteristics. The analysis of frequency responses obtained in field observations describes the structural behavior under external loads. A comparison of obtained results and theoretical calculations gives an idea of physical state of

the structure and a possibility of predicting the structural behavior under changing external loads. **Purpose:** The aim of the paper is to determine causes of the structural vibrations in the bell-tower of Svyato-Voskresenskaya Church and evaluation of its technical condition. **Design/methodology/approach:** The values of dynamic parameters are obtained during the in-situ measurements using a Remote Sensing Vibrometer RSV-150. The obtained results are processed with the VibSoft-20 package. **Research findings:** The dynamic parameters of the bell-tower structure are obtained in the form of the eigen-frequency spectra. Their analysis shows that the bell-tower was built with deficiencies which cause its vibrations. It is found that vibrations occur due to the insufficient rigidity of the bearing beam of the bell and anchorage of beam ends into the bell-tower masonry. **Practical implications:** The obtained results can be readily used for the adjustment of suspension systems of heavy bells and the technical inspection of structures based on the analysis of their dynamic parameters.

Keywords: eigen-frequency; spectrum; vibration.

For citation: Kopanitsa D.G., Plyaskin A.S., Ustinov A.M., Danilson A.I. Issledovanie chastot sobstvennykh kolebaniy nesushchikh konstruktssii 16 tonnogo kolokola zvonitsy svyato-voskresenskoï tserkvi [Eigen-frequency of bearing structures of svyato-voskresenskaya church tower bell]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 3. Pp. 112–119. (rus)

Статья посвящена исследованию частотных характеристик 1000-пудового колокола, подвесной системы и строительных конструкций звонницы Свято-Воскресенской церкви г. Томска.

В отечественной практике опубликовано весьма ограниченное количество работ по частотным характеристикам колоколов в зависимости от устройства подвесной системы и конструктива звонниц.

В настоящее время весьма актуальна задача сохранения и восстановления исторических церквей и колоколен. Со временем вибрационное воздействие, сопутствующее колокольному звону тяжелых русских колоколов, может расстраивать подвесную систему, что впоследствии приводит к появлению динамических нагрузок, негативно влияющих на состояние строительных конструкций звонницы, а также звучание колокола. Мониторинг динамических параметров колоколов, подвесных систем и строительных конструкций звонниц позволяет своевременно выявить недостатки и продлить жизненный ресурс.

Результаты измерений акустических характеристик колокола и динамических параметров строительных конструкций могут быть использованы при мониторинге состояния и реконструкции звонницы [1, 2]. Целью проводимых исследований являлось определение причин появления вибрационных воздействий, возникающих во время биения колокола. Общий вид Свято-Воскресенской церкви приведен на рис. 1.

Конструкция и настройка подвесной системы колоколов играет важную роль в правильном звучании колокола, а также является причиной возникновения динамических нагрузок. Система подвеса 1000-пудового колокола звонницы Свято-Воскресенской церкви приведена на рис. 2.

При чрезмерной податливости подвесов возникают свободные вертикальные колебания, приводящие к появлению резонансных (низких) частот колокола и конструкций звонницы, усиливающих вибрационное воздействие. В то же время происходит затухание средних и высоких частот колебаний, пе-

редующихся с колокола на несущую балку. При настройке подвесной системы, обеспечивающей жесткое сопряжение колокола и балки, преобладают высокочастотные колебания, усиливающие динамические нагрузки на корону колокола (маточник, уши, сковороду). В этом случае колокольня подвержена меньшим нагрузкам. Использование множества демпферов или гасителей колебаний изменяет тональность колокольного звона, приглушая высокочастотные колебания, и приводит к увеличению нагрузки на уши и маточник колокола [3].

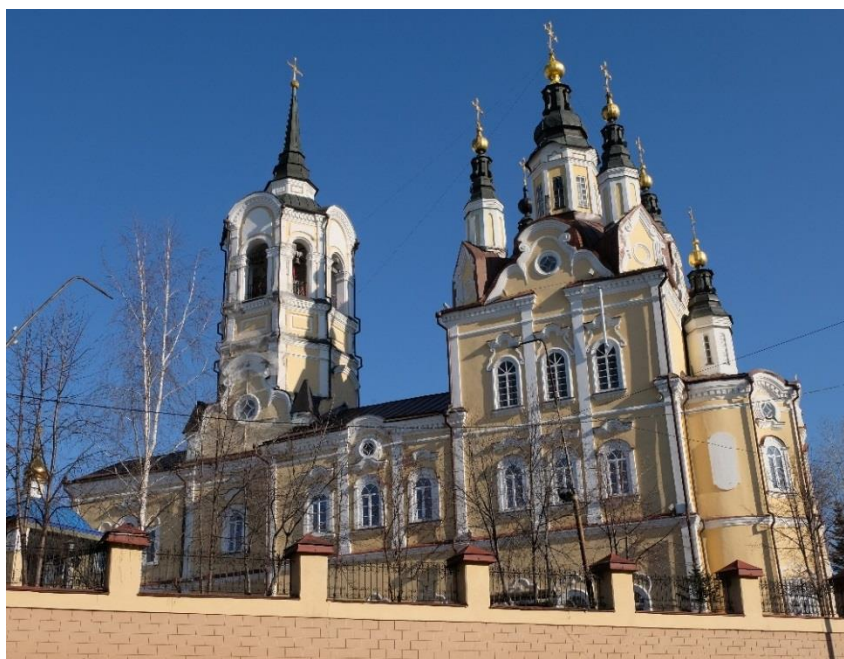


Рис. 1. Общий вид фасада Свято-Воскресенской церкви

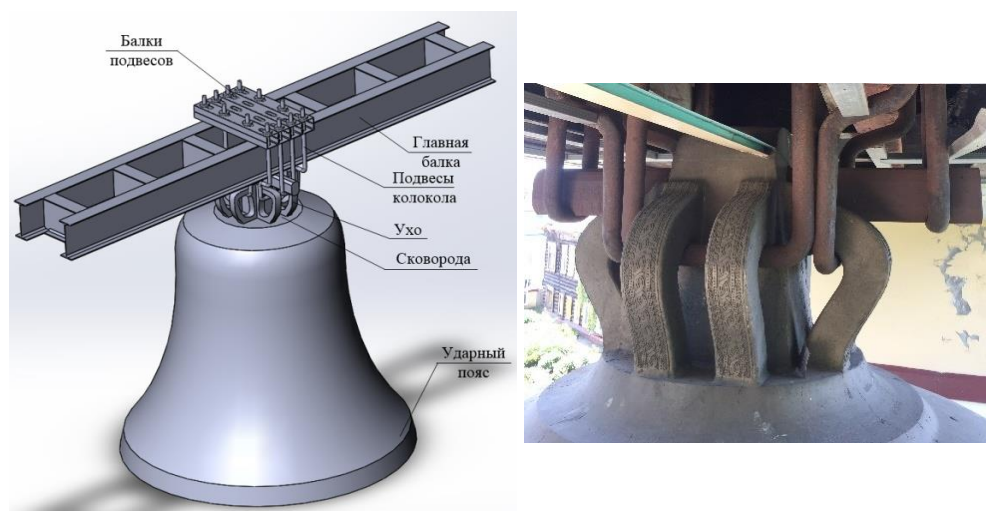


Рис. 2. Система подвеса 1000-пудового колокола

В процессе вибрационных испытаний проводились измерения частотных характеристик колокола и строительных конструкций звонницы при вынужденных и свободных колебаниях. Возмущение колебаний производилось ударом языка об ударный пояс колокола. Регистрация динамических параметров производилась лазерным виброметром RSV-150 в диапазоне измерений от 0 до 500 Гц. Измерения проводились в четырех точках, на внешней поверхности юбки колокола (музыкальное кольцо), несущей (главной) балке колокола и кирпичном столбе. Схема расположения точек измерения приведена на рис. 3.

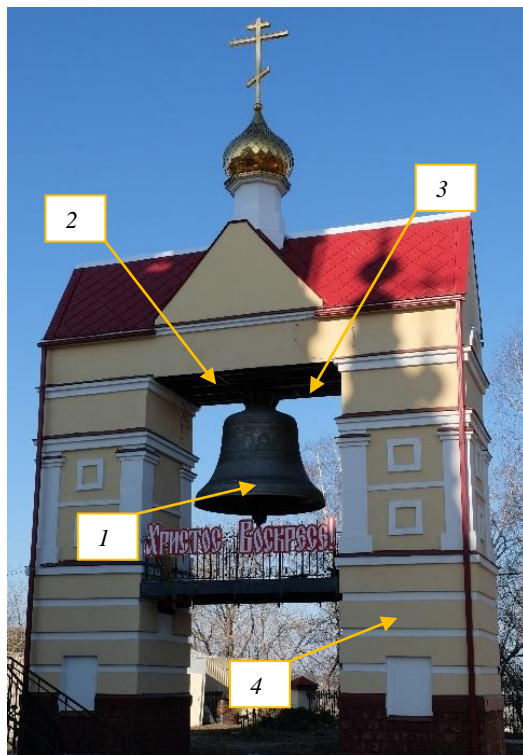


Рис. 3. Схема расположения точек измерения:

1 – ударный пояс колокола; 2 – ближняя стенка двутавра несущей балки колокола; 3 – дальняя стенка двутавра несущей балки колокола; 4 – несущая верста кирпичного столба

По данным измерений динамических параметров колокола, несущей балки и кирпичного столба быстрым преобразованием Фурье получены спектры частот. Спектры частот по dB (А) (взвешенному децибелу) показаны на рис. 4. Спектры частот по амплитуде в (μm) приведены на рис. 5. На данных спектрах присутствуют только слышимые частоты, выделенные для определения чистоты звучания колокола в звоннице.

Полные спектры частот по амплитуде в (μm) показаны на рис. 6. На данных спектра присутствуют все частоты, выделенные для определения вибраций строительных конструкций звонницы.

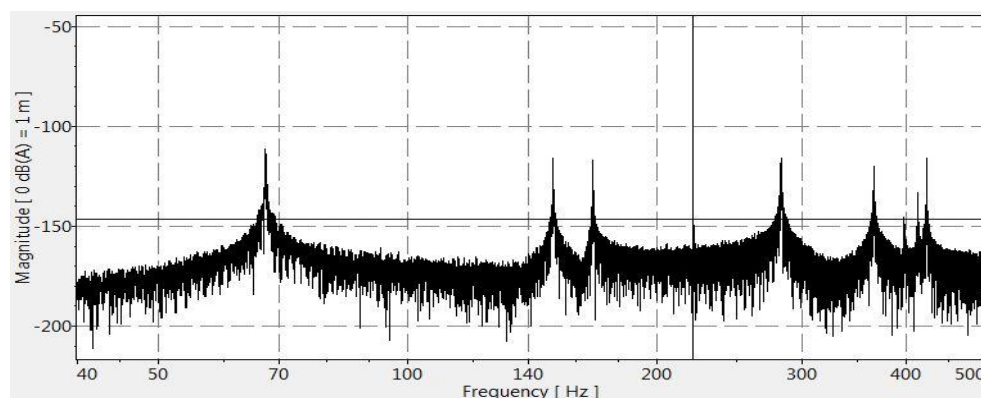


Рис. 4. Спектр частот колокола

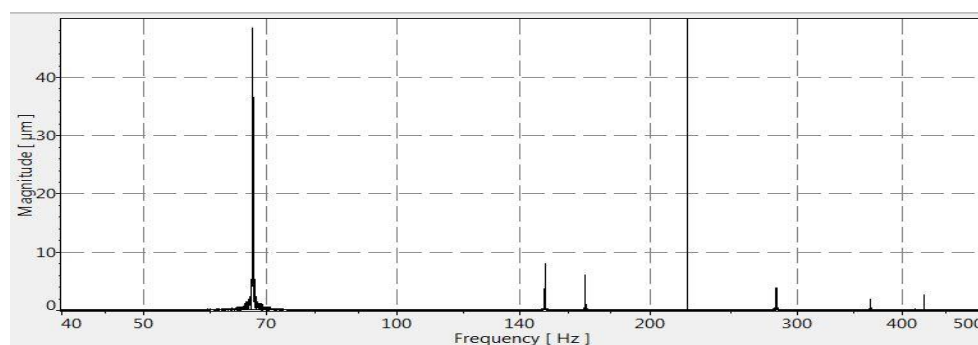


Рис. 5. Спектр частот колокола

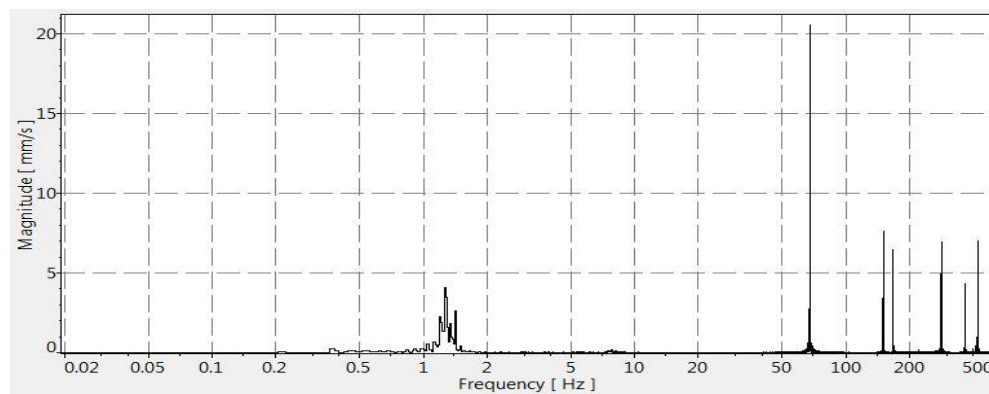


Рис. 6. Полный спектр частот колокола

Акустические характеристики колокола, полученные при измерении, сравнивались с паспортными характеристиками фирмы-изготовителя ООО «БЕРА»¹.

Результаты проведенных измерений динамических параметров звонницы приведены в таблице.

¹ Акустический паспорт колокола. ООО Фирма «БЕРА». Воронеж.

№ п/п	Частота колебаний, Гц			
	колокола по паспорту	колокола	главной балки	кирпичного столба
1	–	1,27	1,27	1,27
2	–	7,75	7,77	4,59
3	67	67,4	–	–
4	149	150,08	150,01	–
5	167	167,62	167,67	–
6	221	221,69	221,64	–
7	283	282,89	282,85	–
8	365	366,13	366,11	–
9	–	397,97	398,78	–
10	–	413,75	–	–
11	423	424,14	424,34	–

Первая частота колебаний, равная 1,27 Гц, отражает колебания колокола как единого целого (как маятника). На спектре частот кирпичного столба первая частота соответствует частоте колокола, вторая частота колебаний относится к частоте собственных колебаний столба.

При визуальном осмотре опор главной балки установлено, что концы балки защемлены в кирпичную кладку оголовков столбов звонницы. По причине заделки концов балки дубовые подкладки не выполняют роль демпферов, и, как следствие, на конструкциях звонницы присутствует частота колокола (маятника), приводящая к вибрации. Также обнаружены трещины в кирпичной кладке, свидетельствующие о недостаточной крутильной жесткости главной балки (рис. 7).



Рис. 7. Фрагмент опорной части главной балки

Сравнение акустических характеристик колокола с данными паспорта показало незначительные отклонения, которые могут быть вызваны разницей температуры окружающего воздуха и жесткой заделкой балки.

Измерения показали, что частоты, присущие колебаниям колокола, проявляются на несущей балке и имеют магнитуду (мощность) значительно ниже, чем у источника колебаний (колокола). Сравнение основных динамических параметров колокола и строительных конструкций звонницы показало их полное совпадение. Соответствие акустических характеристик колокола, полученных при измерении, с паспортными данными свидетельствует о правильной настройке системы подвесов. Не принятые во внимание рекомендации² при восстановлении звонницы привели к возникновению вибрационных нагрузок, негативно влияющих на состояние конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница Д.Г., Капарулин С.Л., Пляскин А.С., Савченко В.И. Биеение пространственного каркаса обогатительной фабрики под действием периодических нагрузок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 2. С. 139–143.
2. Пляскин А.С., Устинов А.М., Пляскин А.С. Натурные исследования частотных характеристик железобетонных колонн монолитного каркаса в процессе монтажа // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики : материалы VII Международной научно-практической конференции. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2018. Ч. 1. С. 421–425.
3. Огрызков С.Г., Бойков В.Г., Березовский А.В. Традиции и современность. Конструирование подвесных устройств для больших колоколов с оптимальными прочностными и динамическими характеристиками // Вестник машиностроения. 2014. № 1. С. 3–9.

REFERENCES

1. Kopanitsa D.G., Kaparulin S.L., Plyaskin A.S., Savchenko V.I. Bienie prostranstvennogo karkasa obogatitel'noi fabрики pod deistviem periodicheskikh nagruzok [Three-dimensional frame of processing plant under periodic loads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2007. No. 2. Pp. 139–143. (rus)
2. Plyaskin A.S., Ustinov A.M., Plyaskin A.S. Naturnye issledovaniya chastotnykh kharakteristik zhelezobetonnykh kolonn monolitnogo karkasa v protsesse montazha [Field research into frequency response of reinforced concrete columns during mounting]. *Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyi bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation')*. Tomsk: NSUAB Publ., 2018. Pp. 421–425. (rus)
3. Ogrzykov S.G., Boikov V.G., Berezovskii A.V. Traditsii i sovremennost'. Konstruirovaniye podvesnykh ustroystv dlya bol'shikh kolokolov s optimal'nymi prochnostnymi i dinamicheskimi kharakteristikami [Traditions and modernity. Design of suspension systems for big bells with maximum strength and dynamic parameters]. *Vestnik mashinostroeniya*. 2014. No. 1. Pp. 3–9. (rus)

Сведения об авторах

Копаница Дмитрий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kopanitsa@mail.ru

² Пособие для звонарей (из опыта практической работы). Воронеж, 2006. 44 с.; Устав церковного звона. Издательский совет русской православной церкви. М., 2002.

Пляскин Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Plyaskinandrei@mail.ru

Устинов Артем Михайлович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Artemustinov@bk.ru

Данильсон Артем Иванович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Danilson_ai@mail.ru

Authors Details

Dmitrii G. Kopanitsa, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kopanitsa@mail.ru

Andrei S. Plyaskin, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, plyaskinandrei@mail.ru

Artem M. Ustinov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, artemustinov@bk.ru

Artem I. Danilson, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, danilson_ai@mail.ru