

В зависимости от времени (в данном случае t_{SL} от 1 до 50 лет), рассчитываем глубину карбонизации $X_{c,d}(t_{SL})$ и определяем необходимый номинальный защитный слой бетона по рисунку (2).

Выводы. Метод частного коэффициента включает в себя упрощенный полный вероятностный метод. Поэтому использование полного вероятностного метода может привести к более экономичным решениям, но он требует значительно больших затрат для определения исходных параметров и значительно больших затрат для самого расчета.

Метод частного коэффициента дает возможность рассчитать глубину карбонизации бетона железобетонных конструкций. Зная время эксплуатации конструкции, рассчитав глубину карбонизации, мы можем уже на стадии проектирования принять такую толщину защитного слоя железобетонной конструкции, которая будет предохранять арматуру от коррозии карбонизации.

Использование метода частного коэффициента дает возможность проверить заданную надежность для конструкций, не выдержавших соответствующие предельные состояния в течение проектного срока службы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тур, В.В. Многоуровневая система оценки надежности железобетонных конструкций эксплуатируемых и реконструируемых зданий и сооружений / В.В. Тур, Т.М. Пецольд, В.В. Малыха, Д.М. Марковский // Строительная наука и техника. – 2007. – № 4(13). – С. 4–19.

2. Надежность строительных конструкций. Общие принципы.: СТБ ISO 2394 – 2007. – Введ. 29.12.2007. – Минск, 2007. – 69 с.
3. Eurocode 0. Basis of structural design: EN 1990:2001. – Brussels: European Committee for Standardization, 2001.
4. DuraCrete - Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures: Statistical Quantification of the Variables in the Limit State Functions. Report No.: BE 95-1347, pp. 62-63, 2000.
5. Чернякевич, О.Ю., Леонович, С.Н. Долговечность железобетонных конструкций в условиях коррозии карбонизации в бетоне без трещин / Проблемы современного бетона и железобетона // Сборник 2. Технология бетона. — Мн.: НП ООО «Стринко», 2007. — С. 316-326.
6. DARTS. Durable and Reliable Tunnel Structures: Deterioration Modelling, European Commission // Growths -2000, Contract G1RD-CT-2000-00467, Project GrDI-25633 - 2004.
7. Raupach, M.: Zur chloridinduzierten Makroelementkorrosion von Stahl in Beton. Heft 433 der Schriftenreihe des DAfStb, Beuth Verlag, 1992, Dissertasion.
8. DARTS - Durable and Reliable Tunnel Structures: Data, European Commission, Growths 2000, Contract G1RD-CT-2000-00467, Project GrD1-25633, 2004.
9. Ehrenberg, A.; Geiseler, J. Okologische Eigenschaften von Hochofenzement / Lebenswegphase Produktion: Energiebedarf, CO₂ - Emission und Treibhauseffekt.// In: Beton-Informationen 37 - 1997 - Nr. 4 - S. 51-63 (in German).

Материал поступил в редакцию 16.02.09

CHERNIAKEVICH O.Y., LEONOVICH S.N. Limit state equation of the reinforcement depassivation with quotient factors

The required thickness of the protective layer of a reinforced concrete construction is defined by the quotient factor method for carbonation corrosion in concrete without cracks which is based on the probabilistic method of carbonation corrosion.

УДК [69.008.6:692.426]:534.1

Мигель А.В., Драган В.И.

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО СООРУЖЕНИЯ ЛЕТНЕГО АМФИТЕАТРА В Г. ВИТЕБСКЕ

Введение. Изменение собственной частоты колебания элемента конструкции, в зависимости от внутреннего осевого усилия, положено в основу проведения комплексных мероприятий по мониторингу технического состояния Летнего амфитеатра в г. Витебске, применительно к структурной системе УО БрГТУ. В ходе проведенного этапа мониторинга было проанализировано свыше 150 элементов нижней поясной сетки и раскосов в опорных частях сооружения.

Любая конструкция может быть представлена в виде системы пружин, масс и демпферов. Демпферы поглощают энергию, а массы и пружины - нет. Масса и пружина образуют систему, которая имеет резонанс на характерной для нее собственной частоте. Если подобной системе сообщить энергию (например, ударить по ней), то она начнет колебаться с собственной частотой, а амплитуда вибрации будет зависеть от мощности источника энергии и от поглощения этой энергии, т.е. демпфирования, присущего самой системе. Собственная частота идеальной системы масса-пружина без демпфирования дается соотношением:

$$\omega = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}},$$

где k - коэффициент упругости (жесткость) пружины;

m - масса.

Для призматических тел конечной жесткости, к которым относят-

ся стержни строительной конструкции, собственная частота колебаний приводится соотношением:

$$\omega = \frac{i^2 \cdot \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F}},$$

где l - длина элемента;

EI - жесткость элемента;

ρ - плотность материала элемента;

F - площадь поперечного сечения;

$i=1, 2, 3, \dots$ - номер формы колебания.

Из зависимости видны следующие аналогии: EI - жесткость элемента, а ρF - масса элемента на 1 м длины.

Отсюда следует, что с увеличением жесткости увеличивается и собственная частота, а с увеличением массы собственная частота падает. Если система обладает демпфированием, а это так для всех реальных физических систем, то собственная частота будет несколько ниже рассчитанного по приведенной выше формуле значения и будет зависеть от величины демпфирования.

Из теории колебаний [1] известно о взаимосвязи собственной частоты колебаний от приложенного продольного усилия (сжимающего или растягивающего). Эта зависимость имеет следующий вид:

- для растянутых элементов

Мигель Александр Владимирович, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Драган Вячеслав Игнатьевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

$$\omega_i = \frac{i^2 \cdot \pi^2 \cdot a}{l^2} \sqrt{1 + \frac{S \cdot l^2}{i^2 \cdot EI \cdot \pi^2}}, \text{ где } a = \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F}};$$

• для сжатых элементов

$$\omega_i = \frac{i^2 \cdot \pi^2 \cdot a}{l^2} \sqrt{1 - \frac{S \cdot l^2}{i^2 \cdot EI \cdot \pi^2}}, \text{ где } a = \sqrt{\frac{EI}{\rho \cdot F}},$$

- l – длина элемента;
- S – осевое усилие;
- EI – жесткость элемента;
- ρ – плотность материала элемента;
- F – площадь поперечного сечения;
- $i=1,2,3\dots$ - номер формы колебания.

Из этой зависимости видно, что приложение растягивающего усилия вызывает увеличение значения собственной частоты, а сжимающего – снижение. Данная зависимость применима только для свободного опертого стержня конечной жесткости (идеальный шарнир). В случае структурной конструкции БрГТУ данная зависимость не применима вследствие следующих основных факторов:

1. Нет идеального шарнирного закрепления стержней в узловых элементах конструкций с точки зрения свободы колебательных движений.
2. Перемещения узловых элементов структурной конструкции и как следствие, упругая податливость закрепления.

Полученные расхождения собственных частот колебаний с использованием зависимости теории колебаний и лабораторными испытаниями составляют 20-25 %.

1. Методика определения собственной частоты колебания стержней конструкции. Для определения собственной частоты колебаний использовалась компьютерная измерительная система анализа характеристик вибрации ВИКМА-1.

Структурная схема этой измерительной системы приведена на рис. 1. Она включает в себя следующие основные модули:

- модуль измерения вибрации МИВ;
- модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ;
- модуль питания и развязки МПР.

Модуль измерения вибрации МИВ включает в себя два идентичных канала для измерения вибрации КИВ 1 и КИВ 2, каждый из которых состоит из датчика вибрации ДВ, приемного усилителя ПУ, генератора тока ГТ и аналого-цифрового преобразователя АЦП.

рация исследуемого объекта с помощью датчика вибрации ДВ, представляющего собой пьезоэлектрический акселерометр с интерфейсом ICP (тип AP98-100-01), преобразуется в электрический сигнал, который поступает на приемный ICP-усилитель ПУ, обеспечивающий требуемое смещение входа и усиление поступающего сигнала, после чего сигнал с выхода ПУ поступает на вход АЦП, выполненного на микросхеме AD1871 фирмы Analog Devices, где преобразуется в цифровую форму и далее передается в МУСИ. Частота дискретизации АЦП – около 47 кГц.

Модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ включает в себя центральное устройство управления ЦУУ, буферную память ББП, интерфейсный контроллер КИ и вспомогательный контроллер КВ. Центральное устройство управления ЦУУ выполнено на СБИС программируемой логики фирмы Altera семейства Cyclone. Оно осуществляет общее управление процессом измерений, выработку управляющих сигналов, буферизацию поступающих с АЦП данных в блоке буферной памяти ББП, выполненной на основе микросхемы динамической памяти фирмы Hitachi, а также выполняет дополнительные служебные функции. Интерфейсный контроллер КИ, выполненный на микросхеме CY7C 68013 фирмы Cypress, обеспечивает связь измерительного блока с управляющим компьютером посредством высокоскоростного стандартного интерфейса USB 2.0. Вспомогательный контроллер КВ, реализованный на микросхеме ATmega 8535 фирмы Atmel, обеспечивает выработку служебных сигналов управления для инициализации АЦП, а также синхронизирует поступление данных от АЦП в модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ.

Модуль питания и развязки МПР включает в себя блок гальванической развязки БГР и блок преобразователей напряжения БПН. Блок гальванической развязки БГР обеспечивает электрическую изоляцию входных измерительных модулей устройства от цифрового модуля управления, синхронизации и интерфейса МУСИ, электрически связанного с управляющим компьютером через интерфейс USB. Блок преобразователей напряжения БПН обеспечивает выработку всех напряжений, необходимых для питания измерительных модулей и МУСИ. Реализован БПН на DC-DC преобразователях фирмы Aimtec. Питание измерительного блока осуществляется путем подключения от AC-DC адаптера, преобразующего переменное сетевое напряжение 220 В в постоянное напряжение 7,5 В.

Модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ под управлением ЭВМ производит обработку полученных от модуля измерения вибраций МИВ данных программными средствами.

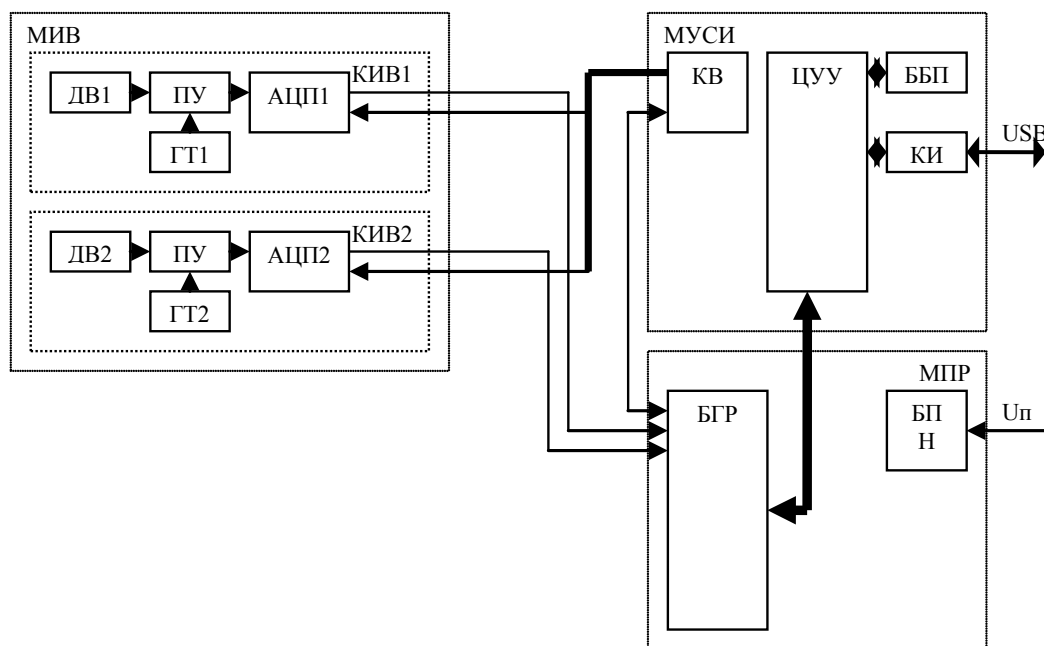


Рис. 1. Схема компьютерной измерительной системы анализа характеристик вибрации ВИКМА-1

Принцип действия устройства следующий: при возбуждении поперечных колебаний в образце модуль измерения вибраций МИВ передает сигнал на модуль управления, синхронизации и интерфейса МУСИ в течение заданного промежутка времени. ЭВМ считывает данные и по окончании измерения строит график колебательного движения, где по оси абсцисс откладывается время измерения, а по оси ординат – виброускорение (см. рис. 11, 13). Далее программными средствами производится анализ полученных данных (графика колебательного движения), например построение спектра частот.

Исходя из вышесказанного, предложена методика по определению осевого усилия в элементе:

1. Вибрационный датчик ВД с магнитом крепится к элементу конструкции в средней части по длине.
2. На ЭВМ запускается процесс считывания результатов (порядка 20-25с), одновременно производится возбуждение поперечных колебаний, путем удара по элементу конструкции в направлении, параллельном расположению датчика на расстоянии 20-30 см от него.
3. По истечению времени считывания результатов программным средством, поставляемым с устройством, строится график колебательного процесса.
4. На основе полученного графика колебательного движения строится спектр частот, по которому определяется собственная частота колебаний элемента конструкции.
5. Исходя из ранее полученных зависимостей (торировочных графиков или теоретических формул), определяется осевое усилие в элементе конструкции.



Рис. 2. Измерение собственной частоты колебания стержня структурной оболочки Летнего амфитеатра в г. Витебске

Анализ колебательного движения может производиться во временной области (графика колебательного движения) и в частотной области (спектр частот). График колебательного движения не дает четкого представления о частотных составляющих. Обычно на практике применяют частотный, или спектральный, анализ вибрационного сигнала, который позволяет определить собственную частоту колебаний элемента. Частота и время связаны друг с другом обратной-пропорциональной зависимостью.

Обратите внимание, что на рис. 3 частотные составляющие сигнала отделены друг от друга и явно выражены в спектре, а их уровни легко идентифицировать. Эту информацию было бы очень не просто выделить из временной реализации.

Ниже приведен пример временной реализации и спектра, иллюстрирующий важнейшее понятия частотного анализа и использующийся для возбуждения свободных поперечных колебаний в стержне структуры при проведении натурных измерений и лабораторных экспериментов.

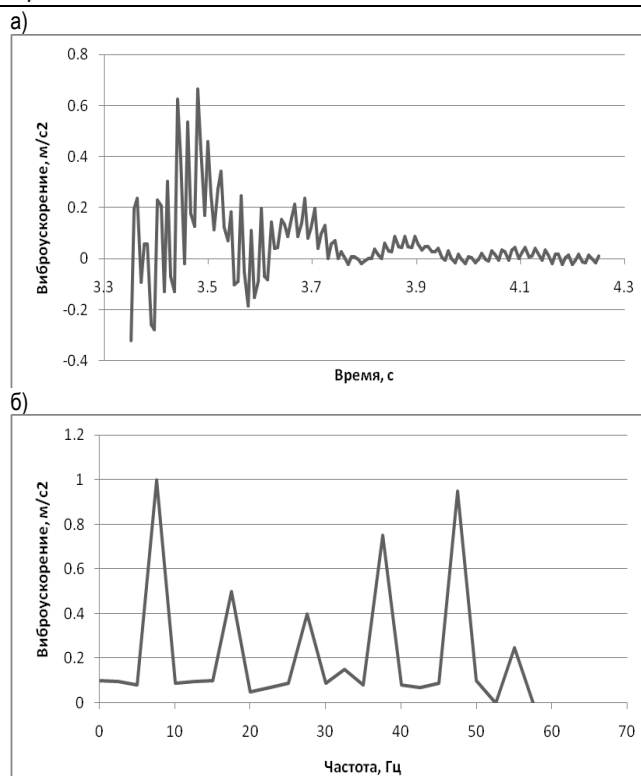


Рис. 3. График колебательного процесса: а) во временной области; б) в частотной

Единичный импульс (удар) используется специально для возбуждения колебаний. Хотя его вибрационный отклик не будет такой классически гладкой кривой, какая приведена ниже, но тем не менее он будет непрерывным в широком частотном диапазоне и иметь пики на собственных частотах конструкции. Это означает, что удар является очень хорошим типом возбуждения для выявления собственных частот, так как его энергия распределена непрерывно в широком частотном диапазоне. Применительно к нашей методике единичный импульс используется для определения собственной частоты колебания испытуемых элементов.

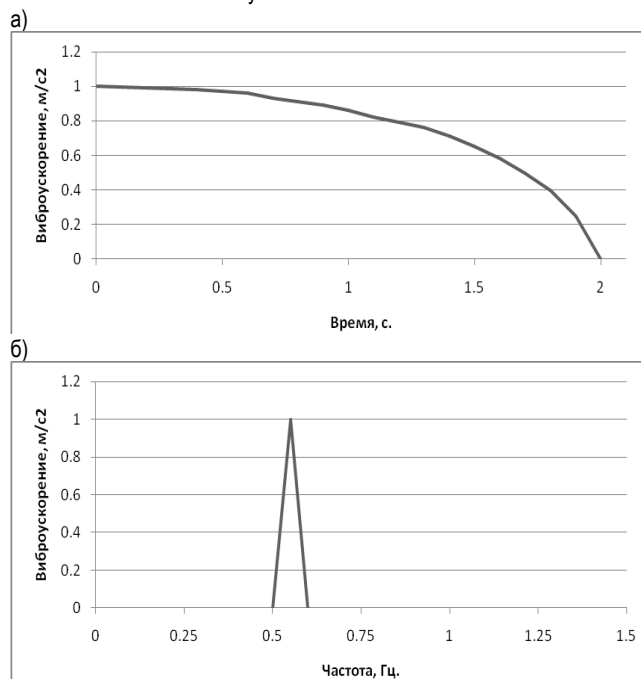


Рис. 4. График короткого импульса: а) во временной области; б) в частотной

Спектр короткого импульса (рис. 4) очень широкий, не дискретный, а непрерывный. Энергия сигнала распределена по всему частотному диапазону, а не сосредоточена на нескольких отдельных частотах. Это характерно для недетерминированных сигналов, таких как случайный шум и переходные процессы. Заметьте, что, начиная с определенной частоты, уровень равен нулю. Эта частота обратно пропорциональна длительности импульса, поэтому чем короче импульс, тем шире его частотный состав.

2. Построение торировочных зависимостей усилий в стержне от частоты собственных колебаний. Как отмечалось ранее, (о не применимости теоретических зависимостей для оценки осевого усилия по собственной частоте колебаний), были построены торировочные графики и получены зависимости в лабораторных условиях.

Торировочные графики строились для стержней С3 ($l=2610$ мм), С4 ($l=2679$ мм), соответствующих нижним поясам структуры и стержня С5 ($l=2958$ мм), соответствующего раскосам структурной оболочки. Испытательный стенд представляет собой двутавровую балку, в которой в области между стенкой и полкой устанавливается испытуемый стержень с узлами структуры по краям, с целью имитации работы узлового соединения (рис. 5).



Рис. 5. Испытательный стенд для торировки стержней структурной конструкции

Раскрепление узлов имитировало работу испытуемых стержней в составе конструкции покрытия. Нагрузку стержней проводилось с шагом 50 кН. Усилие контролировалось динамометром с параллельно подсоединенным домкратом.

Измерения собственных частот колебания, на примере стержня С3, при контролируемой нагрузке приведены на рис. 6 - 9. Результаты измерения представляют собой график колебательного процесса, где по оси абсцисс откладывается время измерения, а по оси ординат – виброускорение (см. рис. 6, 8) и спектр частот, где по оси абсцисс откладывается частота, а по оси ординат виброускорение (см. рис. 7, 9).



Рис. 6. График колебательного движения

На графике колебательного движения (см. рис. 6) четко выражена зона импульсного возмущения (удара) – от 2.85с., в момент удара, до 4с., где колебательный процесс уже больше представляет собой синусоиду. Для анализа данный отрезок времени не представляет интереса, так как основное возмущение в этой зоне вызвано ударом. Преобладающая частота этого отрезка 0,71 Гц, и выявить собственную частоту колебания стержня очень сложно, вследствие высокого значения виброускорения от импульсного возмущения. Собственная частота колебаний стержня находится в зоне 40-50 Гц, а этот отрезок не выявлен никакими пиками (рис. 7).

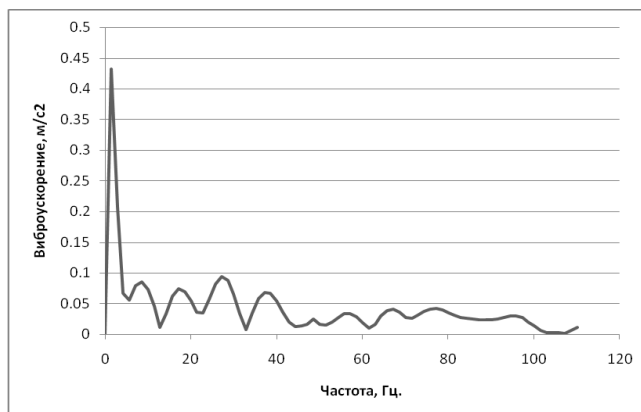


Рис. 7. Спектр частот стержня С3 в зоне импульсного возмущения

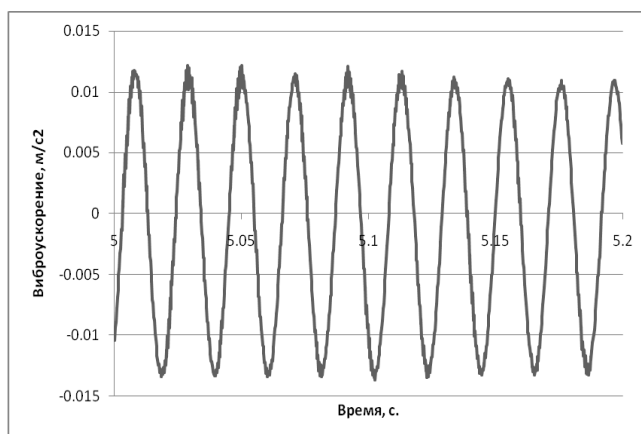


Рис. 8. График колебательного движения: зона периодических колебаний

Начиная где-то с 5с, график колебательного движения уже представляет собой ярко выраженную зону затухающих синусоидальных колебаний (см. рис.8), но имеет место и некоторое наложение колебаний, связанное с недостаточной плавностью кривой. Этот отрезок времени представляет практический интерес и при построении спектра позволяет определить собственную частоту колебаний. Согласно построенному спектру частот (см. рис.9) для стержня С3 при нагрузке растяжения 300 кН – собственная частота равна 47,7433 Гц.

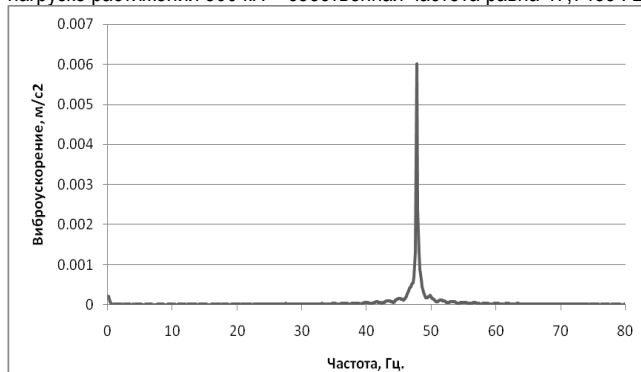


Рис. 9. Спектр частот стержня С3 в зоне синусоидальных колебаний

В ходе спектрального анализа, на примере стержня С3, были получены значения собственных частот колебаний (табл. 1) при фиксированном значении осевого усилия. Полученные значения собственных частот представлены на рис.10 в виде графика, где посредством линейной аппроксимации получена зависимость «усилие-частота».

Таблица 1. Частота собственных колебаний элемента С3 (l=2610 мм) при контролируемой нагрузке

Усилие, кН	Частота колебаний, Гц
-200	42,2001
-150	42,7365
-100	43,8094
-50	44,7035
0	44,43525
50	44,167
100	45,0611
150	45,9552
200	46,134
250	47,2069
300	47,7433
350	48,2798

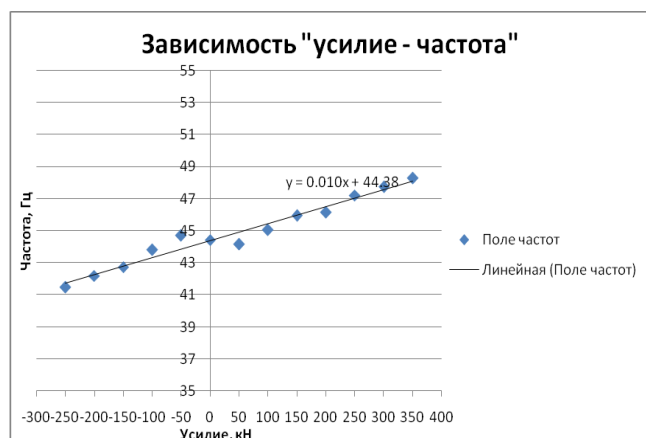


Рис. 10. Торировочная зависимость осевого усилия от собственной частоты колебания элемента С3 (l=2610 мм)

3. Оценка усилий в элементах структурной оболочки. Оценка усилий в элементах структурной оболочки производилась согласно разработанной методике с использованием полученных торировочных зависимостей «усилие-частота» для стержней нижней поясной сетки С3 (l=2610 мм), С4 (l=2679 мм) и раскосов С5 (l=2958 мм) [2]. В таблице 2 представлены полученные значения собственной частоты колебания с соответствующим осевым усилием и коэффициент использования сечения для характерных элементов структурной оболочки.

Оценка несущей способности элементов структурной оболочки выполнена по коэффициентам использования сечения: для растянутых элементов – по прочности, для сжатых элементов – по устойчивости.

Усилие в элементах соответствует следующим нагрузкам: собственный вес конструкций покрытия, вес технологического оборудования, ветровая нагрузка от скоростного напора 3 м/с, температур-

ная нагрузка - +10°C. Основная эксплуатационная нагрузка – от веса снегового покрова – отсутствовала.

Точность определения частоты собственных колебаний составляет 0.17 Гц, что составляет в среднем усилие 17 кН.

Таблица 2. Коэффициенты использования сечения для элементов структурной оболочки

Элемент	Собственная частота колебаний, Гц	Усилие, кН	Коэффициент использования сечения
С4	43,9882	149,8	0,25
С3	43,4518	-92,8	0,215
С3	45,4187	103,9	0,173
С3	43,8094	-57,1	0,132
С4	43,6306	117,3	0,196
С4	43,273	-110,7	0,257
С5	35,0475	65,2	0,219
С5	32,5441	-101,7	0,261
С5	35,9416	124,8	0,208
С5	33,2594	-54,0	0,138
С5	35,7628	112,9	0,188
С5	33,0806	-66,0	0,169
С5	35,7628	112,9	0,188
С5	33,17	-60,0	0,154
С5	35,9416	124,8	0,208
С5	32,9018	-77,9	0,2
С5	35,2263	77,1	0,129

Выводы:

1. Подтверждена качественная и количественная зависимость осевого усилия в стержневом элементе конструкции от собственной частоты колебаний.
2. Разработана методика определения собственной частоты колебания элемента конструкции в натуральных условиях.
3. Конструкция испытательного стенда позволила приблизить условия закрепления испытуемого стержневого элемента к фактическим, открытыми остались вопросы влияния соседних стержней и подкрепляющих элементов сооружения. И если последний не оказывает существенного влияния, то влияние соседних стержней предполагается оценить посредством испытания фрагмента структурной конструкции с контролем осевого усилия в испытуемом образце.
4. Построены торировочные зависимости «усилие-частота» для стержней поясной сетки и раскосов.
5. Произведена оценка несущей способности элементов структурной оболочки посредством определения фактических значений осевого усилия.

СПИСОК ЦИТИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле/Пер. с англ. Л.Г. Корнейчука; Под ред. Э.И. Григольюка. – Москва: Машиностроение, 1985. – 472 с.
2. Мониторинг за поведением металлических конструкций покрытия Летнего амфитеатра «Славянский базар» в г. Витебске при их эксплуатации: отчет о НИР/ Брестский государственный технический университет; рук. темы В.И. Драган. – Брест, 2008. – 154 с. - №08/72.

Материал поступил в редакцию 19.01.09

MIGEL A.V., DRAGAN V.I. Building monitoring of a wide-span structure of a Years amphitheater in one Vitebsk

In clause are considered dependence of axial effort on own frequency of fluctuation of a core, the technique of definition of own frequency of fluctuation of a core of a structural environment in натуральных conditions is stated, the dependences "effort - frequency" for cores of a zone grid and diagonal are constructed. For construction of dependences the test bed was used which have allowed симитировать work of a core in structure of a structural environment. As a result of clause: the estimation of bearing ability of elements of a structural environment is made.