3. Мусина, С.В. Поиск путей повышения эффективности учебного процесса по физической культуре в вузах: физическая культура и спорт в 21 веке /С.В. Мусина, Е.В. Егорычева: Сб. науч. тр. - Волжский, - 2006. – С. 238 -240.
4. Дубровский, В.И., Федорова В.Н. Биомеханика: Учеб. для сред.и высш. учеб. заведений /В.И. Дубровский. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – С.304.
5. Павлов В.И. Исследование моторной памяти в процессе формирования профессионально-прикладной физической культуры личности врача /В.И. Павлов //Саратовский научно-медицинский журнал. 2011. Т.7, № 3. – С. 730–734.

Патрикеев А.В.

**Изучение темы «Периодический вибрационный контроль зданий и сооружений»
при дистанционной форме обучения студентов строительных специальностей**

ВГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

(Россия, Москва)

doi: 10.18411/lj-08-2020-146

idsp: ljjournal-08-2020-146

Аннотация

Рассмотрены вопросы изучения студентами строительных специальностей периодического вибрационного контроля зданий и сооружений в форме выполнения курсовой (контрольной) работы при дистанционной форме обучения. При этом исходные материалы реальных динамических архивов в текстовом формате подвергаются спектральному анализу с использованием стандартного офисного пакета Microsoft Excel.

Ключевые слова. Инженерное сооружение, периодический вибрационный контроль, частота колебаний, логарифмический декремент затухания, дистанционная форма обучения, анализ данных, Microsoft Excel.

Abstract

The issues of studying by students of construction specialties of periodic vibration control of buildings and structures in the form of coursework (control) work in distance learning are considered. At the same time, the source materials of real dynamic archives in text format are subjected to spectral analysis using a standard office suite Microsoft Excel.

Keywords Engineering structure, periodic vibration control, vibration frequency, logarithmic damping decrement, distance learning, data analysis, Microsoft Excel.

При составлении Паспорта инженерного сооружения, в соответствии с ГОСТ 31937-2011, требуется внесение сведений о частотах и декрементах затухания колебаний данного сооружения по взаимно перпендикулярным осям. Периодический контроль (мониторинг) основных динамических характеристик является простым и удобным способом экспресс-оценки категории технического состояния. Такой контроль оказывается важным для оценки технической безопасности в процессе эксплуатации сооружения, поскольку зафиксированное существенное изменение этих характеристик может свидетельствовать о приближении состояния несущих конструкций к аварийному, что необходимо влечет за собой принятие решения о возможности его дальнейшей эксплуатации. Таким образом, динамический контроль сооружения повышает общий уровень безопасности в процессе эксплуатации сооружения.

Как правило, наибольший интерес при динамическом мониторинге (периодическом контроле собственных частот колебаний сооружения и их декрементов затухания) представляет контроль колебаний первого тона, обладающих наибольшей энергией. Контроль может выполняться путём регистрации электронных архивов колебаний характерных точек конструкции сооружения, с последующей

математической обработкой результатов измерений. При достаточной чувствительности контрольно-измерительного оборудования, такие измерения можно выполнять без организации специальных испытаний на объекте контроля, при воздействии на сооружение эксплуатационных динамических нагрузок, в составе которых могут быть как колебания от воздействия ветра, так и вибрационные воздействия транспорта, либо установленного технологического оборудования.

Эти две динамические характеристики, частота и декремент затухания, для каждой из взаимно перпендикулярных осей здания, и подлежат регистрации в Паспорте сооружения. Значение частоты колебаний свидетельствует о жёсткости конструкции сооружения в целом. Чем более жёстким является сооружение, тем резонансные частоты у него выше. Эта величина также является важной для предварительной оценки сейсмостойкости сооружения, поскольку её можно сравнить с результатами сейсмического расчёта: возникнут ли в случае землетрясения у данного сооружения интенсивные колебания, которые приведут к его разрушению. Значение декремента колебаний не должно быть ниже некоторого предела, устанавливаемого в нормативных документах, либо в специальных методических указаниях. Слишком малое значение декремента свидетельствует о том, что в конструкции сооружения колебания ослабевают недостаточно интенсивно; при повторных воздействиях на этой же частоте энергия колебаний будет всё более накапливаться, что приведёт к резонансу и разрушению сооружения.

В системах динамического мониторинга могут применяться регистраторы, основанные на разных принципах контроля, оснащённые первичными преобразователями различных типов. Независимо от способа измерений, частота изменения контролируемого параметра и мощность одного и того же колебательного процесса не зависят от способа регистрации механических колебаний. Для сопоставимости результатов важно лишь, чтобы периодический (например, один раз в три года) контроль резонансных частот и декрементов их затухания производился при однотипных динамических воздействиях.

Вопросы динамического мониторинга изучаются студентами строительных специальностей на старших курсах, например, в составе специального курса «Особенности проектирования уникальных зданий и сооружений» магистратуры по направлению «Строительство», специализация «Промышленное и гражданское строительство».

Практика преподавания в условиях, когда, в силу влияния на учебный процесс внешних обстоятельств непреодолимой силы, студенты значительную часть знаний вынуждены получать дистанционно, показала, что одной из проблем является отсутствие у студентов доступа к специализированному оборудованию, рассматриваемому в учебных курсах строительных дисциплин. В таких условиях, в учебных целях, для изучения темы «Периодический вибрационный контроль зданий и сооружений», вместо решения учебных задач на технически сложном и дорогостоящем специализированном комплексе для проведения вибрационного контроля зданий и сооружений (например, аппаратно-программный комплекс «Стрела», используемый специалистами МЧС РФ), целесообразно изучить основные принципы определения динамических параметров сооружения при помощи стандартного офисного пакета Microsoft Excel.

В качестве исходных материалов в составе данной курсовой (контрольной) работы используются фрагменты электронных архивов параметров колебаний реальных высотных инженерных сооружений. Архивы представляют собой цифровую информацию в текстовом формате *.txt. Для спектральной обработки архивов используется функция «Анализ Фурье» из пакета «Анализ данных» Microsoft Excel 2010. Поскольку в данной функции в чистом виде реализован алгоритм БПФ, а также поскольку имеется ограничение объема выборки = 4096 строк (что применительно к

имеющимся цифровым архивом означает время экспозиции всего 11 минут), точность определения резонансных частот и, в особенности, их декрементов затухания, оказывается несколько сниженной.

Результатом обработки динамического архива в Microsoft Excel является график спектра колебаний. Далее значения резонансных частот и декрементов затухания определяются графо-аналитическим путём. Для построения графика спектра используется функция «Экспоненциальное сглаживание», также из пакета «Анализ данных» Microsoft Excel 2010. Параметры данной функции предварительно подбираются опытным путём, для получения в итоге достаточно сглаженного графика, пригодного для дальнейших графо-аналитических построений. По распечатанному графику спектра получаем значение логарифмического декремента затухания D через амплитудно-частотную характеристику системы:

$$D = \frac{\pi \Delta f}{f_0}$$

где f_0 – резонансная частота, определяемая по положению пика на графике, Δf – полоса пропускания колебательной системы на уровне 0,707 (-3 дБ) от максимума (ширина пика на высоте 0,707 от максимума). Полученное по формуле численное значение декремента затухания, для большей реалистичности результата, следует умножить на постоянный поправочный коэффициент, для корректировки погрешности, связанной с использованием алгоритма экспоненциального сглаживания.

В силу отмеченных особенностей, данный способ может быть использован только в учебных целях. Однако, освоив основы вибрационного контроля, студенты могут в дальнейшем самостоятельно выполнять более точные вычисления, используя уже не фрагмент длиной 4096 строк, а цифровой архив целиком, проводя его спектральный анализ с помощью дискретного преобразования Фурье в специализированной математической программе Mathcad.

Перед выполнением курсовой (контрольной) работы следует:

- прослушать лекционный курс по дисциплине «Особенности проектирования уникальных зданий и сооружений»;
- изучить такие понятия, как: вибрационная диагностика зданий и сооружений; основные принципы спектральной обработки сигналов;
- активировать пакет «Анализ данных» Microsoft Excel 2010;
- получить у преподавателя исходные материалы – методические указания по выполнению курсовой (контрольной) работы, инструкцию по обработке исходных данных, файлы электронных архивов колебаний реальных зданий и сооружений.

Учебный процесс осуществляется с помощью веб-сервисов дистанционного обучения.

В ходе решения курсовой (контрольной) работы студент последовательно выполняет следующие действия:

- выбирает из комплекта электронных архивов файл, соответствующий индивидуальному варианту задания;
- на компьютере с установленным офисным приложением Microsoft Excel 2010 активирует пакет «Анализ данных»;
- загружает в Microsoft Excel 2010 файл электронного архива и выполняет его обработку (используется методическая информация, полученная от преподавателя в электронном виде);
- результат обработки – график «Спектр колебаний после обработки» распечатывает на листе формата А4;

- по полученной распечатке графо-аналитическим путем выполняет экспресс-анализ динамических характеристик – определяет значения резонансных частот и логарифмических декрементов их затухания;
- оформляет курсовую (контрольную) работу в виде файла, содержащего скан (фото) распечатки спектра с нанесенными на неё графическими построениями, а также страницу расчётов значений резонансных частот и декрементов их затухания; высылает выполненную работу преподавателю.

Пример выполнения расчёта значений резонансных частот и декрементов их затухания, выполненный в составе курсовой (контрольной) работы по результатам обработки динамического архива колебаний (под воздействием эксплуатационной ветровой нагрузки) реального высотного сооружения со стальным несущим каркасом, показан на рисунке 1.

Рис. 1. Пример выполнения курсовой (контрольной) работы.

1. Подсаева О.И., Кузенин А.С., Чурин П.С. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: НИИ МГСУ, 2015. – 88 с.
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – дата введения 2014-01-01. – М., 2012. V. – 89 с.
3. Минина О.В., Богданов М.Б. Метод построения спектра шума измерительного сигнала с помощью стандартных функций Microsoft Excel, ТулГУ, 2017. – 15 с. - электронный ресурс; адрес доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-postroeniya-spektra-suma-izmeritelnogo-sigнала-s-pomoschyu-standartnyh-funktsiy-microsoft-excel.pdf>; дата обращения: 27.02.2020.
4. ГОСТ Р 54859-2011. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний. – дата введения 2012-01-07. – М., 2012. IV. – 64 с.
5. Бирбраер А.Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А.Н. Бирбраер, А.Ю. Роleder. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 504 с.
6. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2016. – 751 с.
7. Лурье О.М., Бяков К.Е., Поздняков Т.Д. Уточнение показателей надёжности систем транспортных средств в течение жизненного цикла при помощи адаптивной фильтрации / Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн. 2017. № 06. С. 1-12. DOI: 10.7463/0617.0001179.
8. Патрикеев А.В. Система динамического мониторинга инженерного сооружения как ключевой элемент его технической безопасности // Вестник МГСУ. 2014. № 3. С. 133-140.