

Исследование адекватности цифровых технологий мониторинга безопасности объектов техносферы

В.В. Подувальцев, доцент, канд. тех. наук¹

М.С. Хлыстунов, зав. отраслевой научно-исследовательской лабораторией крупногабаритных конструкций, канд. тех. наук, профессор²

Ж.Г. Могилюк, доцент, канд. тех. наук²

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

² Московский государственный строительный университет

email: vvpoduval@mail.ru, mcxmgusu@mail.ru, intdginni@mail.ru

Ключевые слова:

мониторинг безопасности, многоканальный мониторинг, численное проектное моделирование, научное компьютерное моделирование, многомерные процессы, многомерные объекты, поля нагрузок, решетчатые функции, оконные функции, дискретное преобразование Фурье, искажение амплитуды, фантомная модуляция частоты, искажение фазы.

В статье рассматриваются проблемы формирования ложных спектральных отображений динамических нагрузок в информационно-измерительных системах контроля безопасности объектов техносферы. Анализируется процесс формирования опасных спектральных, амплитудных и фазовых искажений в результате применения цифровых технологий преобразования, передачи и первичной обработки исходной физической информации. Представлены результаты сравнительного анализа спектров исходных аналоговых и цифровых отображений динамических параметров безопасности объектов техносферы. Показано наличие аналогичных фантомных эффектов как в цифровых системах многоканального мониторинга, так и в программных комплексах проектного и научного моделирования полей динамических нагрузок в пространстве объектов техносферы.

1. Введение в проблему

В настоящее время цифровые технологии измерения, передачи и обработки физической информации и виртуального моделирования заняли доминирующие позиции в информационно-измерительных системах безопасности объектов техносферы. Самым ответственным, в метрологическом плане, направлением внедрения цифровых технологий стали многоканальные системы измерения полей распределения динамических нагрузок в пространственных конструкциях объектов техносферы. Эта ответственность возрастает в силу последствий [1–3], в результате метрологического «сбоя» применяемого инструмента. В многоканальных системах мониторинга метрологические «сбои» проявляются в виде амплитудных и фазовых искажений в широкой полосе частот, которые не позволяют восстановить истинные значения направления и модуля векторных нагрузок.

Самым сложным и ответственным этапом применения цифровых систем и инструментов является процесс дискретизации. На этом этапе многоканального мониторинга существенно возрастает риск

формирования опасных спектральных искажений. Следует отдать должное основоположникам цифровых технологий, которые тщательно анализировали сопутствующие метрологические проблемы применения цифровых технологий [4].

2. Спектральный анализ процесса дискретизации контролируемых параметров.

Рассмотрим ряд важных проблем, связанных с «рождением» спектральных «фантомов» на этапе дискретизации аналоговых или непрерывных функций, которые имеют место как при дискретизации функции нагрузки во времени [5], так и при построении сетки контрольных точек пространственного контроля параметров динамических нагрузок на объектах техносферы, или сетки узлов в конечно-элементных и конечно-разностных методах проектного моделирования, или сетки мониторинга природных или техногенных трехмерных процессов [6]. Теория рождения спектральных фантомов имеет непосредственное отношение к теории построения решетчатых функций или отображения аналоговых (непре-

ривных) функций. Не обнаруживая явных проблем в амплитудно-временном представлении решетчатых отображений оригиналов «аналоговых» функций, в спектральных Фурье-образах этих функций проявляется существенное отличие спектра оригинала от спектра решетчатого представления.

Появление зеркального отражения спектра непрерывной функции после дискретизации относительно вертикальной оси на частоте Найквиста—Котельникова было впервые описано в [4]. Исследования этой проблемы во второй половине XX в. регулярно возобновлялись в новом аспекте приложений на каждом этапе внедрения цифровых технологий в смежные отрасли науки и техники [6–8]. В связи с этим возникла иллюзия окончательного решения этой проблемы и канонического характера ее анализа и решений, которые учитываются разработчиками новых приложений цифровых технологий.

В случае невыполнения этого критерия после первичной обработки данных цифровых измерений или компьютерного моделирования при обратном преобразовании решетчатой функции в непрерывную обнаруживается, что они существенно отличаются друг от друга за счет «накладки» или проникновения зеркальных частот в полосу частот исходного сигнала. Однако даже в случае выполнения критерия амплитудные и фазовые искажения, связанные с влиянием на спектр «конечности» длины массива и нерегулярности решетчатой функции и наложения на него сглаживающих окон, существенно затрудняют задачу восстановления исходного значения направления и модуля вектора контролируемой нагрузки.

3. Анализ амплитудных и фазовых искажений спектра

В настоящее время метрологический анализ этих искажений фактически не отражен в научно-технической литературе. Наши исследования подтверждают, что вклад фантомных эффектов в искажение физической информации имеет более серьезные метрологические последствия, чем рассмотренный выше «зеркальный эффект». Помимо рассеяния амплитуды при нарушении регулярности выборок узлов сетки точек наблюдения (проектного расчета или частоты выборок) при дискретизации в спектре наблюдается тремблинг-эффект (trembling effect), как показано на рис. 1а. Также дополнительно вносятся фазовые искажения (trembling phase distortion) спектра (пунктирная линия на рис. 1а) на примере гармонической функции с амплитудой $A_0 = 1$. Фазовые искажения, отображенные на рис. 1 пунктирной кривой, также наблюдаются при плавном нарастании (рис. 1в) и/или спадании (рис. 1б) амплитуды гармонической функции.

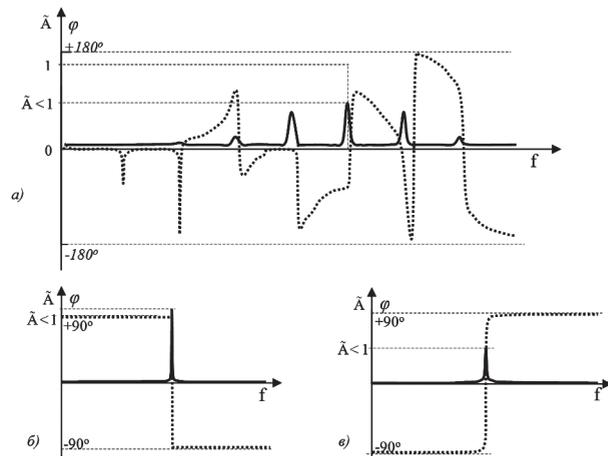


Рис. 1. Рассеяние амплитуды (сплошная кривая) и фазовые искажения (пунктирная кривая) при гармонической модуляции (а) частоты ее дискретизации, спадания (б) или нарастания (в) амплитуды гармонической функции

Перечисленные искажения амплитудного и фазового спектра гармонической функции имеют место при наложении сглаживающих окон на фрагмент функции, подвергаемый Фурье-анализу. Рассмотрим две функции $A(x)$ и $H(x)$ со спектральными плотностями $\mathbf{A}(\omega)$ и $\mathbf{H}(\Omega)$.

В случае прямоугольного окна, то есть при тривиальном извлечении фрагмента решетчатой функции для спектральной обработки, этот фрагмент можно записать в виде произведения:

$$\hat{A}[x(n)] = H(n)A[x(n)], \quad (1)$$

где прямоугольное окно

$$H(x) = \begin{cases} 0 & \text{для } x < 0, \\ 1 & \text{для } 0 < x < x(N), \\ 0 & \text{для } x > x(N) \end{cases} \quad (2)$$

имеет очень сложный амплитудный и фазовый спектр с появлением большого числа боковых спектральных составляющих. В связи с этим используют различные сглаживающие оконные функции, существенно снижающие фантомный спектральный эффект вертикальных границ прямоугольного окна, например, окно Хемминга

$$H(n) = 0,54 - 0,46\cos(2\pi n/N),$$

где $N \geq n \geq 0$, на рис. 2а.

Ближайшие ложные боковые составляющие спектра фрагмента функции с окном Хемминга подавляются на 20 дБ (в 10 раз), как показано на рис. 2б. При

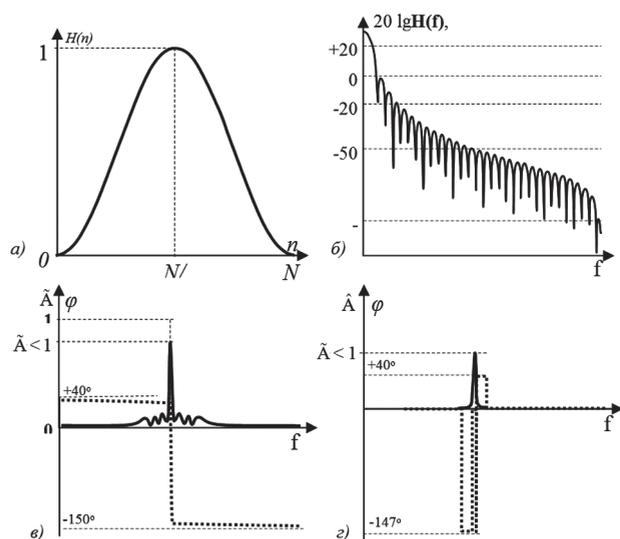


Рис. 2. Вид функции (а) и амплитудно-частотной характеристики – АЧХ (б) окна Хемминга, рассеяние нормированной амплитуды (сплошная кривая) и фазовые искажения (пунктирная кривая) спектра гармонической функции при использовании дискретного преобразования Фурье (в) с прямоугольным окном и при наложении окна Хемминга (г)

цифровой обработке сигнальной информации эти проблемы и соответствующие требования по их решению отражены в нормативных документах. В многоканальных системах диагностики и мониторинга пространственных процессов и объектов эта проблема не рассматривается, и ее решение зависит от компетентности и математической эрудиции пользователя.

4. Заключение

Различные проявления неконформности цифровых операций контроля и первичной обработки данных мониторинга безопасности отражены в специальной серии наших публикаций. Рассмотренные в настоящей статье спектральные искажения в многоканальных системах мониторинга и при численном проектном моделировании подтверждают

острую необходимость их метрологической аттестации. Правила общей оценки качества программных средств представлены в ГОСТ 28195–89, ГОСТ 28806–90 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000. Однако применение метрологических критериев качества в этих документах не предусматривается [9]. Хотя ИСО/МЭК 9126–93 содержат рекомендации по оценке точности результата решения измерительных задач с использованием вычислительных процедур, оценка погрешностей, вносимых рассмотренными выше спектральными «фантомами», не предусматривается, а фактически подменяется обычным тестированием по ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000, когда положительный результат заведомо обеспечен заложенными в программы алгоритмами решения задач тестирования.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что оценка достоверности пространственных многоканальных измерений, а также трудоемких и дорогих расчетов и модельных исследований с применением цифровых технологий, особенно с учетом вступления России в ВТО, требует обязательного метрологического контроля и указания всех возможных неопределенностей (погрешностей и искажений) [1–2, 9–11]. Это требование соответствует российским и международным требованиям по защите прав потребителей на получение от поставщика информации и предостережений о всех возможных искажениях и границах метрологической достоверности использования цифровых технологий мониторинга безопасности объектов техносферы. Эти выводы также подтверждают актуальность требований [1, 9–11] о необходимости проведения метрологической экспертизы договорной документации с обязательным указанием всех возможных неопределенностей (погрешностей и искажений), разработки порядка оформления и реализации результатов метрологической экспертизы договоров, контрактов и различных соглашений по всем объектам техносферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подувальцев В.В. О метрологической экспертизе и наиболее насущных проблемах метрологического обеспечения // Наука и Образование: электронное научно-техническое издание. — 2012. Выпуск 2. — <http://technomag.edu.ru/doc/327076.html>.
2. Киселёв М.И., Подувальцев В.В., Хлыстунов М.С. Проблемы метрологического обеспечения объектов техносферы, строительной науки и практики // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. — 2011. — Выпуск 12. — <http://technomag.edu.ru/doc/252086.html>.
3. Исаев Л.К. и др. Метрологическое обеспечение систем промышленной безопасности потенциально опасных объектов // Измерительная техника. — 2011. — № 8. — С. 57–60.
4. Nyquist H. Certain topics in telegraph transmission theory. N.-Y.: Trans. AIEE. — Vol. 47, Apr. 1928. — P. 617–644.
5. Савостьянов В.Н., Немчинов В.В., Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Оценка динамической погрешности разностных схем численного моделирования в решениях задач механики твердого тела // Вестник МГСУ. — №2, т. 2. — С. 184.

6. Хлыстунов М.С., Могилюк Ж.Г. Проектная оценка, мониторинг и прогноз эволюции геодеформационных рисков неравномерных осадков зданий и сооружений методами динамической теории упругости с использованием программно-алгоритмического комплекса «Композит-7» // Труды Международной конференции «Повышение безопасности зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации», 9–10 июня 2009 г. — С. 36–40.
7. Козлов Е.А., Гогоневков Г.Н., Лернер Б.Л. и др. Цифровая обработка сейсмических данных. — М.: Недра, 1976.
8. Хаттон Л., Уердингтон М., Мейкин Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика / Пер. с англ. — М.: Мир, 1989.
9. Хлыстунов М.С., Подувальцев В.В., Могилюк Ж.Г. Проблемы достоверности и метрологический анализ спектральных фантомов цифровых технологий // Измерительная техника. Приложение «Метрология». — 2013. — № 7. — С. 8–17.
10. Подувальцев В.В. Законодательная метрология: учебное пособие. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012.
11. Подувальцев В.В. Об учебном пособии и первом опыте преподавания законодательной метрологии / МГТУ им. Н.Э. Баумана // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Состояние и проблемы измерений». Сборник материалов, 2013. — С. 207–210.

Research of Adequacy of Digital Technologies Related to Technosphere Objects' Safety Monitoring

V.V. Poduvaltsev, Associate Professor, Ph.D. of Engineering, Bauman Moscow State Technical University

M.S. Khlystunov, Head of Branch Research Laboratory of Large-Size Constructions, Ph.D. of Engineering, Professor, Moscow State Construction University

Zh.G. Mogilyuk, Associate Professor, Ph.D. of Engineering, Moscow State Construction University

Problems related to formation of false spectral images of dynamic loadings in information and measuring monitoring systems of technosphere objects' safety are considered in this paper. A process related to formation of dangerous spectral, amplitude and phase distortions as a result of application of digital technologies related to initial physical information transformation, transfer and preprocessing is analyzed. Results of comparative analysis related to spectra for initial analog and digital images of technosphere objects' safety dynamic parameters have been presented. An existence of similar phantom effects both in digital systems of multichannel monitoring, and in program complexes of design and scientific modeling related to fields of dynamic loadings in space of technosphere objects has been shown.

Keywords: safety monitoring, multichannel monitoring, numerical design modeling, scientific computer modeling, multidimensional processes, multidimensional objects, fields of loadings, trellised functions, window functions, discrete Fourier transformation, amplitude distortion, frequency's phantom modulation, phase distortion.

Заместитель министра образования и науки Марат Камболов посетил финал Всероссийской олимпиады по ОБЖ

25 апреля в Северо-Кавказском федеральном университете (г. Ставрополь) состоялся заключительный этап VI Всероссийской олимпиады школьников по Основам безопасности жизнедеятельности. Последние дни олимпиады, а также церемонию закрытия и награждения победителей посетил заместитель министра образования и науки Марат Камболов.

Встретившись в неформальной обстановке с участниками финала олимпиады — учениками 10-х и 11-х классов, замминистра отметил высокие результаты и успехи ребят, а также поблагодарил их за проявленный интерес и усердие в такой важной для общества сфере. «Предмет Основы безопасности жизнедеятельности в общеобразовательных школах является одним из приоритетных, так как получаемые знания и навыки будут востребо-

ваны сегодняшними школьниками во взрослой жизни, помогут им и окружающим справиться с чрезвычайной ситуацией, спасти самое дорогое — жизнь человека», — отметил Марат Камболов.

Победителями и призерами олимпиады стали более 50 школьников из всех регионов страны. В младшей возрастной категории победили 4 девятиклассника и еще 14 учеников заняли призовые места. Среди учащихся 10–11-х классов — 9 победителей и 24 призера. Марат Камболов подчеркнул, что успехи, достигнутые на Всероссийских олимпиадах, учитываются при поступлении в высшие образовательные учреждения в обязательном порядке: победа во Всероссийской олимпиаде по ОБЖ приравнивается к результату в 100 баллов по ЕГЭ при поступлении в профильные вузы.