

Способ комплексирования. Для коррекции бесплатформенных систем ориентации часто применяют акселерометры – датчики кажущегося ускорения, измеряющие векторную сумму абсолютного ускорения объекта и ускорения силы тяжести. В условиях равномерного прямолинейного движения показания акселерометров $n_\xi^b, n_\eta^b, n_\zeta^b$ содержат только проекции вектора ускорения силы тяжести, что позволяет на основе их измерений сформировать координаты точки $w^a(u^a, v^a)$ на комплексной плоскости. В результате, имеет место два набора параметров на комплексной плоскости. Первый набор (u, v) формируется каналом гироскопов на основе решения кинематических уравнений (1). Так как определение параметров ориентации основано на интегрировании, то вычисление параметров (u, v) в этом случае будет сопровождаться накоплением погрешностей (рисунок 2). Поскольку определение параметров (u^a, v^a) осуществляется без процедуры интегрирования, то накопление погрешностей с течением времени отсутствует, но их значения подвержены шуму акселерометров и искажаются ускорениями объекта. Для повышения точности системы ориентации предложена схема комплексирования, изображенная на рисунке 3, в которой объединение измерений осуществляется на основе фильтра верхних частот (*high-pass filter*) и фильтра нижних частот (*low-pass filter*). Суммирование выходных сигналов фильтров позволяет сформировать комплексированные параметры ориентации (u^c, v^c) , обладающие повышенной точностью.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-20077, <https://rscf.ru/project/25-29-20077/> по теме:

«Разработка алгоритмов ориентации и навигации подвижных объектов различного базирования на основе новых кинематических параметров и способов комплексирования измерительной информации». Авторы также выражают благодарность правительству Тульской области за предоставление гранта в форме субсидий (соглашение № 30-2025-000527 от 03.04.2025).

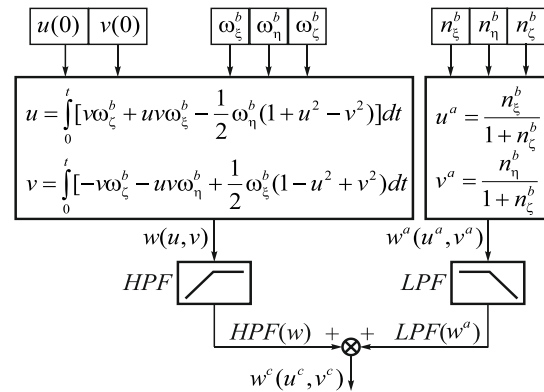


Рисунок 3 – Схема комплексирования: HPF – фильтр верхних частот (*high-pass filter*), LPF – фильтр нижних частот (*low-pass filter*)

Литература

1. Ишлинский, А. Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация / А. Ю. Ишлинский. – М.: Наука, 1976. – 670 с.
2. Tsiotras, P. A New Parameterization on the Attitude Kinematics / P. Tsiotras, J. M. Longuski // Journal of the Astronautical Sciences. – 1995. – Vol. 43, № 3. – P. 243–262.
3. Tsiotras, P. A novel approach to the attitude control of axisymmetric spacecraft / P. Tsiotras, M. Corless, J. M. Longuski // Automatica. – 1995. – Vol. 31, № 8. – P. 1099–1112.

УДК 534-8

СПЕКТРАЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР КАВИТАЦИИ В КОМПЛЕКТЕ С ЛАБОРАТОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Минчук В. С., Гаврилюк В. С., Шебеко В. П., Федоринчик М. П., Дежжунов Н. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Беларусь

Аннотация. Создан лабораторный комплекс, обеспечивающий новые возможности экспериментального исследования акустической кавитации. Его особенностью является сочетание спектрального анализа акустического шума с пространственным картированием кавитационных полей, что позволяет переходить от локальной регистрации сигналов к трехмерному распределенному описанию процессов. Такой подход обеспечивает выявление режимов кавитации, количественную оценку ее интенсивности и изучение влияния физических параметров среды на характеристики кавитационной области. Универсальность комплекса делает его применимым как для фундаментальных исследований, так и для прикладных задач, включая испытания датчиков и кавитометров, анализ кавитационного износа и оценку эффективности ультразвуковых реакторов.

Ключевые слова: кавитация, ультразвук, кавитационный шум, измерение кавитации.

SPECTRAL-ACOUSTIC CAVITATION INDICATOR IN A LABORATORY EQUIPMENT COMPLEX

Minchuk V. S., Gavriluk V. S., Shebeko V. P., Fedorinchik M. P., Dezhkunov N. V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Abstract. A laboratory complex has been developed that provides new opportunities for experimental studies of acoustic cavitation. Its distinctive feature is the combination of spectral analysis of acoustic noise with spatial mapping of cavitation fields, which makes it possible to move from local signal registration to a three-dimensional distributed description of the processes. This approach enables the identification of cavitation regimes, quantitative assessment of their intensity, and investigation of the influence of the medium's physical parameters on the characteristics of the cavitation region. The versatility of the complex makes it applicable both for fundamental research and for applied tasks, including testing of cavitation sensors and cavitometers, analysis of cavitation erosion, and evaluation of the efficiency of ultrasonic reactors.

Keywords: cavitation, ultrasound, cavitation noise, cavitation measurement.

*Адрес для переписки: Дежкунов Н. В., ул. П. Бровки, 10, г. Минск 220013, Республика Беларусь
e-mail: dmv@bsuir.by*

Акустическая кавитация представляет собой сложное нелинейное явление, сопровождающееся генерацией широкополосного акустического излучения и образованием областей интенсивных колебаний давления. Для ее исследования требуется сочетание спектральных методов анализа и пространственно разрешенных измерений, что позволяет не только фиксировать наличие кавитации, но и проводить ее количественную характеристику. С этой целью был разработан лабораторный комплекс, включающий спектрально-акустический индикатор, систему координатного позиционирования, генераторный блок, комплект пьезоэлектрических датчиков и вспомогательные модули. Общий вид установки представлен на рисунке 1. Параметры и состав комплекса могут изменяться согласно техническому заданию заказчика.

Спектрально-акустический индикатор предназначен для регистрации и анализа кавитационного шума, сопровождающего развитие кавитационных процессов. Его архитектура сочетает аналоговые каскады предварительной обработки и цифровые методы спектрального анализа. Такая комбинация позволяет не только фиксировать наличие кавитации, но и проводить ее количественную характеристику на основе параметров спектра.

Сигнал с датчика поступает на входной тракт, где осуществляется его усиление и формирование дифференциального выхода, а также подавление высокочастотных помех с помощью антиалиасингового фильтра. Далее сигнал оцифровывается встроенным аналого-цифровым преобразователем микроконтроллера и передается для обработки. На этом этапе выполняется вычисление гармонических составляющих спектра, интегральных характеристик и компонент широкополосной непрерывной составляющей, которые рассматриваются как информативные показатели интенсивности кавитации.

Разработанное программное обеспечение обеспечивает комплексную обработку и визуализацию данных. В режиме реального времени отображаются спектры кавитационного шума и динамика изменения спектральных компонент, вычисляются статистические характеристики сигнала. Интерфейс программы имеет вкладочную структуру, что упрощает работу оператора: управление параметрами

регистрации, задание координатных областей сканирования и отображение результатов разделены по функциональным модулям.

Интеграция индикатора с системой позиционирования расширяет исследовательские возможности установки. Система позиционирования обеспечивает перемещение датчиков кавитации по трем координатам и используется для формирования пространственных распределений исследуемых параметров. Конструкция выполнена на основе шаговых двигателей и линейных направляющих, что обеспечивает жесткость и точность перемещений в рабочей области $25 \times 20 \times 20$ см. Управление реализуется через контроллер, поддерживающий микрошаговый режим и команды в формате G-кода.

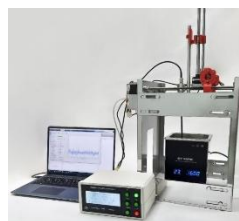


Рисунок 1 – Общий вид установки

Оператор задает плоскости сканирования, шаг и скорость перемещения датчика. Работа возможна в двух режимах: пошаговом, применяемом для построения трехмерных карт кавитационного поля, и непрерывном, обеспечивающем ускоренное сканирование больших областей. В процессе сканирования одновременно может регистрироваться информация о двенадцати спектральных компонентах, что позволяет получать разносторонние характеристики кавитационного поля. Интеграция с программным обеспечением спектрально-акустического индикатора обеспечивает автоматизацию эксперимента и формирование массивов данных для построения карт распределения кавитационной активности.

В качестве примера, демонстрирующего возможности установки, на рисунке 2 представлен результат сканирования кавитационной области под погружным излучателем в водопроводной воде. Диаметр излучающей поверхности – 15 мм.

Генерация кавитации в установке может осуществляться двумя способами.

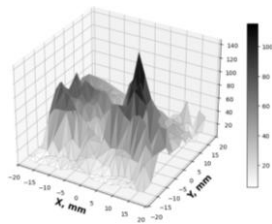


Рисунок 2 – Амплитуда субгармоники спектра в горизонтальной плоскости на расстоянии 5 мм от излучателя

Для локальных исследований используется погружной ультразвуковой излучатель с резонансной частотой 22 кГц, позволяющий формировать кавитационное поле вблизи рабочего торца. Для объемных экспериментов применяется

ультразвуковая ванна, создающая равномерное возбуждение в большом объеме жидкости. Такая конфигурация обеспечивает гибкость постановки экспериментов и возможность выбора условий в зависимости от исследуемых задач.

Стабильность параметров эксперимента поддерживается системой термостатирования, включающей циркуляционный термостат с точностью регулирования $\pm 0,5$ °С. Контроль температуры необходим, поскольку вязкость и упругие свойства жидкости существенно влияют на развитие кавитационных процессов. Использование термостатирования обеспечивает воспроизводимость измерений и корректность сравнения спектральных и пространственных характеристик, полученных в различных сериях экспериментов.

УДК 614.8

ВОЗМОЖНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ О ПОЖАРЕ

Мисюкевич Н. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Обоснованы подходы по снижению количества ложных сообщений о пожаре для минимизации негативных последствий нарушения нормального режима жизнедеятельности.

Ключевые слова: пожар, доминирующий фактор, опасность, извещатель, оповещение, сигнал.

POSSIBILITY TO REDUCE FALSE FIRE ALARMS

Misiukevich M. S.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. Approaches to reducing the number of false fire reports in order to minimize the negative consequences of disruption to normal life are substantiated.

Keywords: fire, dominant factor, danger, detector, notification, signal.

*Адрес для переписки: Мисюкевич Н. С., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: Misiukevitch@mail.ru*

Системы передачи извещений о пожаре фиксируют более 99 % ложных сигналов в общем потоке сообщений. Поэтому снижение процента ложных срабатываний является весьма актуальной задачей. Необходимо учитывать доминирующий опасный фактор пожара (ОФП) при выборе пожарных извещателей по СН 2.02.03-2019 [1]. В данных приложения П к СН 2.02.03-2019 [1] содержатся от двух до четырех видов различных автоматических пожарных извещателей для помещений определенного назначения без каких-либо указаний о порядке их выбора. К тому же в ряде случаев доминирующий ОФП в начальной стадии пожара может указывать на необходимость оборудования помещений иным видом автоматического пожарного извещателя, чем это приведено в приложении П [1]. Расчеты доминирующего ОФП для помещений с преобладающей пожарной нагрузкой в виде дерева и его компонентов показывают, что доминирующим ОФП в зависимости от геометрии помещений являются температура или недостаток кислорода (фактор, для определения которого нет автоматических пожарных извещателей). Ввиду этого измененная постсоветская тенденция на оборудование помещений не

тепловыми, а дымовыми извещателями, для объектов с преобладающей пожарной нагрузкой в виде дерева привела, с одной стороны, к уходу от учета доминирующего ОФП, с другой стороны, к росту ложных сигналов о пожаре.

Автоматические пожарные извещатели следует выбирать в зависимости от вида пожарной нагрузки, назначения помещения, доминирующего фактора пожара в начальной стадии, высоты помещения, условий окружающей среды, возможных источников ложных срабатываний в контролируемой зоне.

При определении доминирующего ОФП учитываются пожарная нагрузка, высота помещения, условия окружающей среды.

Доминирующий ОФП определяют по формулам 25–28 приложения 2 к ГОСТ 12.1.004-91 [2].

Формирование команды на управление системами вытяжной противодымной вентиляции и (или) оповещения и управления эвакуацией при пожаре, автоматическими установками пожаротушения, а также технологическим, электротехническим и другим оборудованием следует предусматривать не менее чем от двух автоматических пожарных извещателей одной группы или двух