Возможности использования открытого ПО для предварительного тестирования схем мультисенсорных приборов

Епифанцев Кирилл Валерьевич
кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Актуальность тематики исследования заключается в формировании устойчивой информационной повестки наращивания объёмов производства радиоэлектронных компонентов и новейших типов приборов в России и в Мире. Так, Среднегодовой рост рынка мультисенсорных приборов составляет около 0.6% в год, что указывает на устойчивый тренд и к 2033 году достигнет 392 млрд рублей. Это спровоцировано влиянием IoT, который работает более продуктивно с мультисенсорными приборами. Национальные проекты технологического лидерства задают запрос на автоматизацию, робототехнику и аддитивные технологии. Однако, важно заметить, что процесс тестирования приборов до запуска в производство обходится большими финансовыми затратами. Также немаловажен тот факт, что многие производители разрабатываю приборы с перекрестными сенсорами, что накладывает еще большие ограничения в испытаниях, путем солидарной ответственности нескольких сенсоров при влиянии друг на друга и на суммарную погрешность.

Переход от моносенсорности к мультисенсорности возможен за счет использования мультисенсорных, а не моносенсорных приборов и эталонов, представляющих собой комплексный стандартные образцы одновременно с несколькими контролирующими элементами. Также паралельно происходит процесс развития принципов мультимодальности, при этом производителями реализуется и принцип соблюдения бесконтактности на основе применения оптико-магнитных сенсоров, тепловизионно-электроизмерительных, систем типа «электронный язык».

В данном положении предварительное тестирование приборов в открытых ПО является важным компонентом выявления ошибок и неточностей в моделировании схемы или принципа работы прибора, механизма, позволяет обнаружить ошибки и исправить их на ранней стадии, сэкономив существенную часть финансовых вложений.

Ключевые слова: мультисенсорные приборы, испытания приборов, ПО для проведения моделирования и испытаний.

Мультисенсорные технологии переживают этап активного роста, обусловленный тремя ключевыми драйверами: интеграцией искусственного интеллекта непосредственно в сенсорные модули, стремительным развитием сенсорной фузии (объединения данных от разных типов датчиков) и миниатюризацией компонентов на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС). Совокупный рынок мультисенсорных технологий, по оценкам, будет расти на 25,2% в год в 2026–2034 годах . Параллельно рынок сенсорной фузии (ключевой инструментальной компоненты) вырастет с 8,8 млрд в 2025 году до 8,8 млрд в 2025 году до 30,83 млрд к 2034 году (CAGR 14,5%) , а рынок МЭМС-датчиков достигнет $31,5 млрд к 2032 году (CAGR 9,6%) . Наиболее перспективными областями внедрения выступают автомобильные системы автономного вождения (уровни 3–4), клинические носимые устройства для мониторинга здоровья, промышленная предиктивная аналитика и гиперспектральная визуализация для сельского хозяйства и безопасности пищевых продуктов. К ключевым трендам сейчас относится интеграция искусственного интеллекта непосредственно в сенсоры (AI-native sensor fusion). Примеры подобных устройство представлены на рисунке 1.

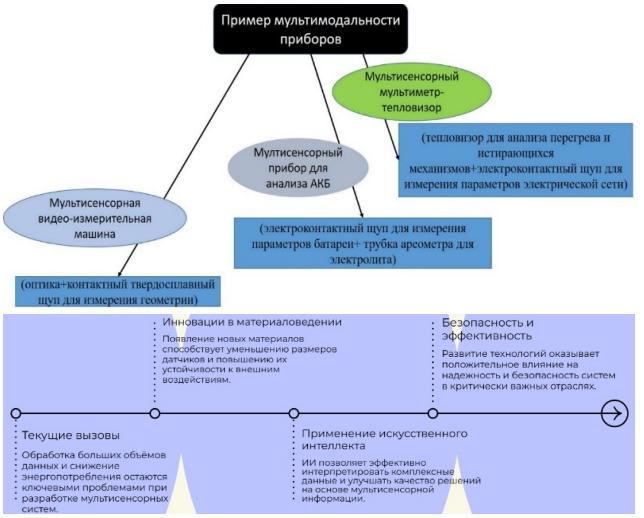


Рисунок 1 - Примеры мультисенсорных устройств и возможные направления развития

В процессе реализации импортозамещающих технологий в Российской Федерации машиностроение обеспечивает модернизацию транспорта, энергетики, АПК, приборостроения, поэтому в 2023–2026 годах оно стало стратегическим сектором. Отрасль столкнулась с резким разрывом привычных поставок и срочно перестраивала производственные цепочки, заменяя западные компоненты доступными аналогами. Наиболее уязвимыми оставались электроника, производство подшипниковых узлов, развитие станков с ЧПУ, где зависимость от внешних технологий сохранялась дольше всего. Ключевыми элементами при импортозамещении в машиностроении является контроль тел вращения, таких как – подшипники, снижающие трение, передаточные муфты и коленвалы, передающие вращательный момент, турбины энергетических машин и прочие механизмы, задействованные в энергетике. Контроль вышеуказанных тел вращения позволит повысить суммарный КПД за счет уменьшения вибраций и трения при повышенной нагрузке.

В большинстве компаний имеются ключевые тренды, которые доказаны ростом потребностей в развитии высокотехнологичной индустрии, такие как:

Потребность промышленности в быстром и достоверном контроль деталей из разного материала;

Масштабирование моносенсорных приборов до мультисенсорных приборов;

Разработка недорогих датчиков, их быстрое испытание, подтверждение надежности;

Внедрение систем интернета вещей в приборы;

Помехозащищённость, размещение датчиков компактно, в мниатюрном корпусе и визуализирование программной обработки результатов

В статье представлены некоторые программные продукты и методики работы на них для проверки работоспособности некоторых прототипов создающихся приборов.

Рассмотрим модели, разработанные фирмой «PHET Simulators». Для запуска необходимо запустить html файл. После этого появится заставка (Рис.2)

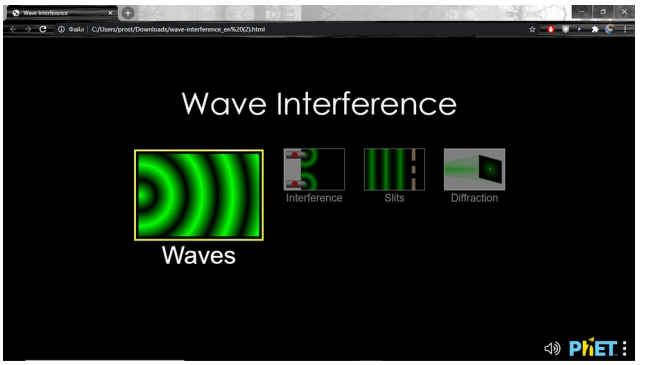


Рисунок 2. Заставка ПО

Начальный экран предлагает на выбор четыре вкладки, каждая из которых имеет особые возможности по работе с волновыми эффектами (Рис. 3-4). Рассмотрим их:

В простейшем идеальном случае гармонической волны, бегущей в положительном направлении оси x, напряженность электрического поля E для электромагнитной волны определяется выражением 1

$$E(x,t)=E_0\sin\left(\omega t-kx+\varphi_0\right), \quad (1)$$

где

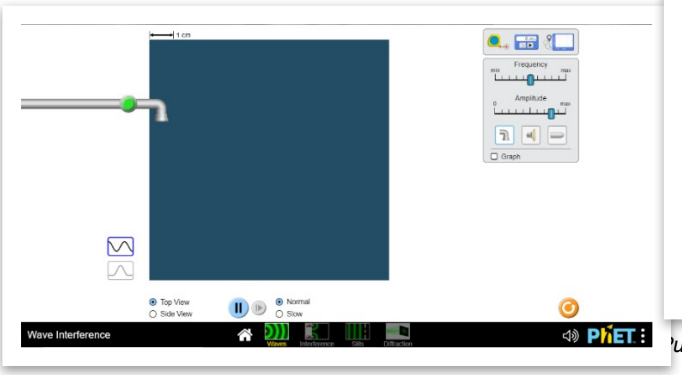


Рисунок 3. Вкладка 1 – «Волны»

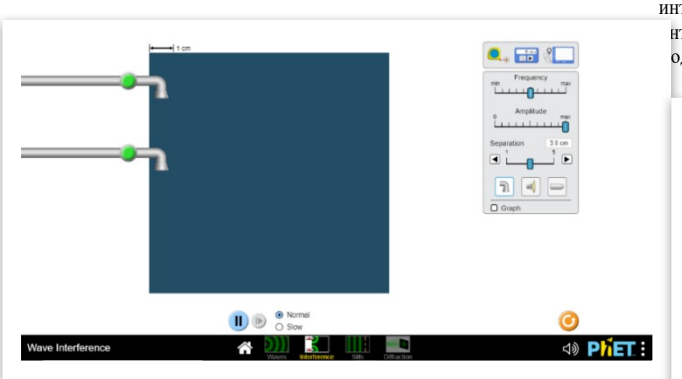


Рисунок 4. Вкладка 2 – «Интерференция»

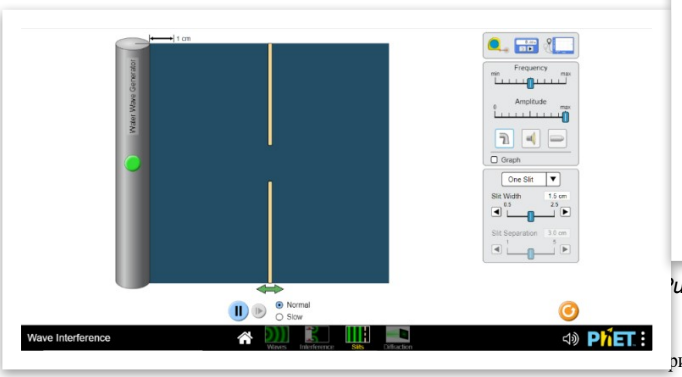


Рисунок 5. Вкладка 3 – «Отверстия»

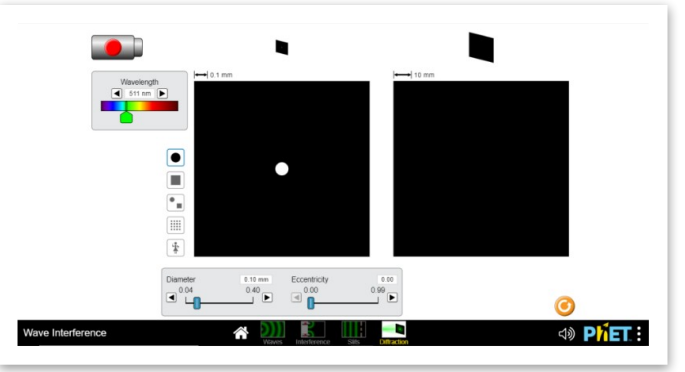


Рис. 5. Вкладка 4 – «Дифракция»

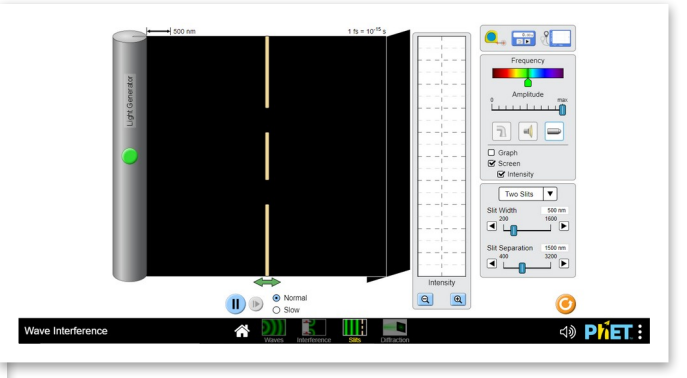
E_0 - амплитуда волны;

ω - круговая (циклическая) частота волны, связанная с линейной частотой v колебаний соотношением $\omega=2\pi v$;

k - волновое число, связанное с длиной волны соотношением $k=2n/2$;

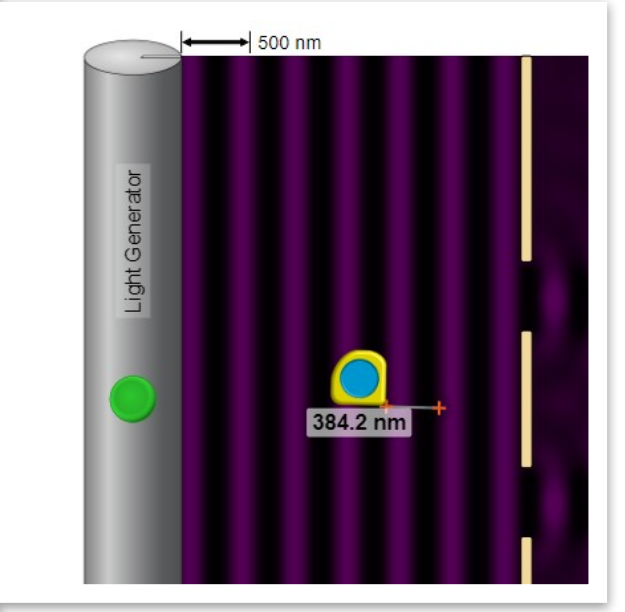
$_0$- начальная фаза.

Для начала работы установим данные параметры в программе (Рис. 6):



ис.6. Выбор рабочей вкладки

Определим несколько базовых параметров, таких как зависимость интенсивности интерференции от спектра. Далее определим как зависит нтенсивность интерференции от длины волны? Применим измерительный одуль (Рис.7)



ис.7. Определение длины волны

Перейдем на вкладку «Дифракция». Определим, как меняется изображение ри смене спектра (Рис. 8)

Рассмотрим еще один программный продукт - симулятор Falstad Circuit Simulator [1]. Он содержит несколько вкладок, среди которых «Редактировать» , «Рисовать», «Осциллографы», «Опции» и «Схемы». Соответственно, можно добавлять новые компоненты и соединять их между собой,

редактировать положение элементов схемы, получать показания осциллографов, управлять процессом симуляции (запускать и останавливать, менять скорость).

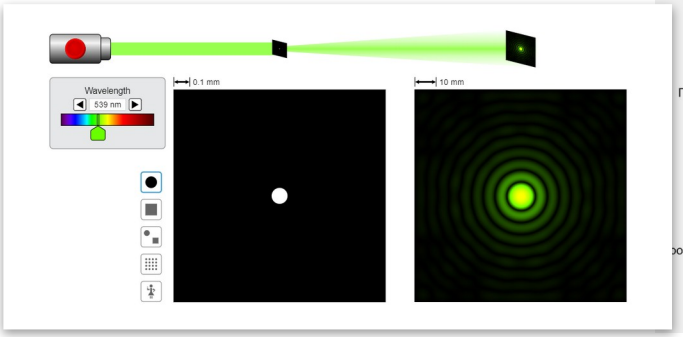


Рис. 8. Определение по дифракции

Так к примеру в FALSTAD моделируется системы автоматического измерения уровня жидкости на транзисторе BD815. (Рис.9). Процессы моделирования в FALSTAD происходят в онлайн-режиме, что не вынуждает тратить достаточно долгое время на установку ПО, проводить загрузку специализированных ключей. FALSTAD имеет солидную библиотеку радиокомпонентов, запускается онлайн через интернет

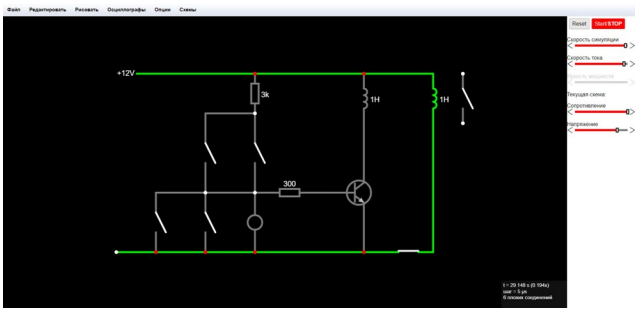


Рис. 9 – Схема в программе FALSTAD

В полученной схеме зеленый цвет указывает на положительное напряжение, красный – на отрицательное напряжение, серый обозначает землю, а движущиеся желтые точки – ток.

Часто в приборостроении для нахождения слабых мест схемы требуется рассчитать надежность всех компонентов при различных температурах (от 25 до 100°С) и времени наработки (от 400 до 1000 ч). Для работы в данном разделе возможно использовать программный продукт АСРН-2004. Надежность в данном контексте означает способность системы или компонентов работать без сбоев в течение определенного периода времени при заданных условиях эксплуатации. В программе создаётся проект расчёта для регулятора уровня, в результате чего получается готовая структура (Рис. 10). [2]

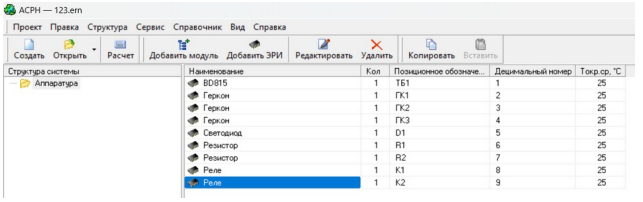


Рис. 10 – Структура для расчета преобразователя

Ниже представлен результат расчета

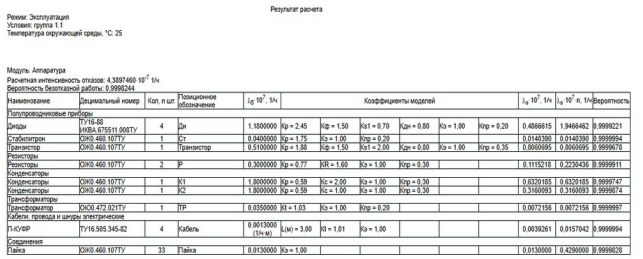


Рис. 11– Результат расчета регулируемого блока питания на стабилитроне

Данная программа также является актуальной в связи с выходом в 2026 году нового стандарта [3] «Надежность в технике», который предъявляет новые требования к обеспечению предприятия запасными частями.



Рис. 12 – Выдержка из ГОСТ 62550

Количественная оценка и оптимизация стоят во главе данного стандарта, позволяя руководителю производства использовать различные инструменты оптимизации, в том числе и предварительное тестирование ряда компонентов в указанных выше программах.

Таким образом, использование вышеуказанных программных продуктов достаточно просто позволяет проанализировать сложные схемы для анализа приборов, выявлять ошибки и несоответствия, делать расчеты более точными, с другой стороны – более информативными , что позволяет существенно снизить расходы на создание прототипа с некорректными данными. Расчет параметров надежности позволяет рассчитать точные периоды интенсивности и частоты отказов а также коэффициента готовности, что в будущем позволит сделать прибор более устойчивым к внешним возмущениям.

Литература

1. Электронный ресурс. Falstadt. URL https://www.falstad.com/circuit/ Дата обращения 11.02.2025
2. Программный продукт. АСРН-2004 . Электронный ресурс URL https://studbooks.net/2342429/tehnika/opisanie_programmy_asrn Дата обращения 11.02.2025
3. ГОСТ IEC 62550-2025 «Надежность в технике. Общие требования к обеспечению запасными частями». ФГБУ «Институт стандартизации», 46 С. - 2026г
4. Епифанцев К.В. Расчет уязвимых характеристик приборов в процессе проектирования//В сборнике: Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. Сборник статей XXVIII Международной научной конференции. В 3-х частях. Санкт-Петербург, 2025. С. 154-157.
5. Епифанцев К.В. Развитие систем мультисенсоризации как флагман метрологии//Инновации и инвестиции. 2026. № 3. С. 478-479.

Potential Use of Open-Source Software for Preliminary Testing of Multisensor Device Circuits

Epifantsev K.V.
Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

JEL classification: C10, C50, C60, C61, C80, C87, C90

The relevance of this research topic stems from the ongoing drive to increase production volumes of radio-electronic components and state-of-the-art devices, both in Russia and globally. The multisensor device market is growing at an average annual rate of approximately 0.6%—indicating a steady trend—and is projected to reach a value of 392 billion rubles by 2033. This growth is driven by the influence of the Internet of Things (IoT), which operates more effectively with multisensor devices. National initiatives aimed at achieving technological leadership are generating demand for automation, robotics, and additive manufacturing technologies. However, it is important to note that the process of testing devices prior to mass production entails significant financial costs. Furthermore, many manufacturers are developing devices featuring cross-interacting sensors; this imposes additional testing constraints, as the sensors' mutual influence affects the aggregate error, creating a scenario of shared operational dependency.

The transition from single-sensor to multisensor systems is facilitated by the use of multisensor devices and reference standards—specifically, complex reference materials that incorporate multiple monitoring elements simultaneously. Concurrently, the principles of multimodality are evolving, with manufacturers implementing non-contact measurement methods through the use of opto-magnetic sensors, thermal imaging combined with electrical measurement, and "electronic tongue" systems. In this context, preliminary testing of devices using open-source software is a crucial component for identifying errors and inaccuracies in the modeling of a device's or mechanism's circuitry or operating principle; it enables the detection and correction of errors at an early stage, thereby saving a significant portion of financial investment.

Keywords: multisensor devices, device testing, software for modeling and testing.

References

1. Electronic resource. Falstadt. URL: https://www.falstad.com/circuit/ (Accessed: 11.02.2025).
2. Software product. ASRN-2004. Electronic resource. URL: https://studbooks.net/2342429/tehnika/opisanie_programmy_asrn (Accessed: 11.02.2025).

3. GOST IEC 62550-2025 "Dependability management. General requirements for spare parts provision." Institute for Standardization (FSBI), 46 p. – 2026.
4. Epifantsev K.V. Calculation of device vulnerability characteristics during the design process // In: Wave Electronics and Infocommunication Systems. Collection of papers from the XXVIII International Scientific Conference. In 3 parts. St. Petersburg, 2025. P. 154–157.
5. Epifantsev K.V. Development of multisensor systems as a flagship of metrology // Innovations and Investments. 2026. No. 3. P. 478–479.