

# Имитационная модель нелинейной радиотехнической системы и алгоритм обработки принимаемых сигналов при обнаружении нелинейных объектов

Д.Х. Фам, Московский технический университет связи и информатики, аспирант; d.h.fam@edu.mtuci.ru

УДК 621.37

DOI: 10.34832/ELSV.2026.77.3.003

**Аннотация.** Разработана имитационная модель нелинейной радиотехнической системы, позволяющая исследовать характеристики нелинейного радиолокатора при обнаружении различных объектов, учитывающая наличие у них экранирующих покрытий и различное количество нелинейных элементов. В ходе моделирования подтверждено, что от линейной цели (металлическая пластина) сигнал на второй гармонике отсутствует (присутствует только шум). При наличии одного нелинейного элемента на пластине в спектре отраженного сигнала появляется составляющая на частоте второй гармоники, уверенно превышающая уровень шумов. Увеличение количества нелинейных элементов до двух приводит к росту амплитуды сигнала на второй гармонике. На основе полученных данных предложен алгоритм идентификации нелинейных объектов, основанный на сравнении амплитуды сигнала на частоте второй гармоники с пороговым уровнем, рассчитанным по первой гармонике.

**Ключевые слова:** нелинейный элемент, радиолиния второго рода, гармоника, зондирующий сигнал, радиотехническая система.

**Для цитирования:** Фам, Д.Х. Имитационная модель нелинейной радиотехнической системы и алгоритм обработки принимаемых сигналов при обнаружении нелинейных объектов / Д.Х. Фам // Электросвязь. – 2026. – № 3. – С. 20-30.

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы защиты окружающей среды и обеспечения комплексной безопасности в современном мире неразрывно связаны с решением широкого спектра инженерно-технических задач. Одной из наиболее актуальных и одновременно сложных в реализации является задача разработки эффективных методов и средств обнаружения локализованных объектов, которые из-за своих физических свойств представляют потенциальную угрозу жизни и здоровью населения или ограничивают нормальное функционирование хозяйственной инфраструктуры. В первую очередь это касается территорий, подвергшихся в прошлом интенсивному техногенному воздействию либо находившихся в зоне ведения активных боевых действий. На таких площадях встречается скопление техногенных остатков, представляющих собой фрагменты разрушенных сооружений, транспортных средств, а также, что является наиболее важным, многочисленные компоненты электронной аппаратуры различного назначения.

С позиций современной прикладной электродинамики и радиофизики, подавляющее большинство подобных объектов, содержащих электронные компоненты, должны быть классифицированы как электрические неоднородности. Их отличительной особенностью является наличие нелинейной вольт-

амперной характеристики (ВАХ) [1–3]. В отличие от линейных объектов, которые переизлучают зондирующий сигнал на той же частоте, нелинейные объекты из-за нелинейной ВАХ генерируют в ответ сигнал на кратных гармониках. Данное физическое свойство позволяет производить их селекцию на фоне окружающих предметов, обладающих линейными свойствами. Наиболее ярко выраженной нелинейностью обладают полупроводниковые элементы, входящие в состав практически любых современных электронных изделий. Проблема усугубляется тем, что из-за глобального распространения микроэлектроники, миниатюризации устройств и роста объемов электронных отходов, количество таких малоразмерных нелинейных объектов в верхних слоях почвы, а также на поверхности земли неуклонно возрастает по всему миру, создавая угрозу техногенного загрязнения территорий.

Наличие необнаруженных объектов с нелинейными свойствами приводит к замедлению процессов развития территорий, которое выражается в невозможности безопасного вовлечения земель в сельскохозяйственный оборот, в создании риска при проведении строительных и инфраструктурных работ, в ограничении возможности развития рекреационных зон и туристических кластеров. Таким образом, задача разработки высокоэффективных методов поиска