

6. Азаров, И.С. Вычисление мгновенных гармонических параметров речевого сигнала / И.С. Азаров, А.А. Петровский // Речевые Технологии. – 2008. – № 1. – С. 67-77.
7. Instantaneous pitch estimation based on RAPT framework // 20th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2012) / Elsevier ; eds. A. Petrovsky, M. Vashkevich, E. Azarov. – Amsterdam ; New York, 2012.
8. Gonzalez, S. PEFAC – A Pitch Estimation Algorithm Robust to High Levels of Noise / S. Gonzalez, M. Brookes // IEEEACM Trans. Audio Speech Lang. Process. – 2014. – Vol. 22, №2. – P. 518-530.
9. Ribeiro, M.P. Non-stationary analysis and noise filtering using a technique extended from the original Prony method / M.P. Ribeiro, D.J. Ewins, D.A. Robb // Mech. Syst. Signal Process. – 2003. – Vol. 17. – P. 533-549.
10. Azarov, E. Linear prediction of deterministic components in hybrid signal representation / E. Azarov, A. Petrovsky. – 2010. – P. 2662-2665.

УДК 621.396.677

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Кизименко В.В., Корневский С.А., Наумович Н.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

**Abstract.** *The process of modeling of the antenna array farfield with formation of zero in the direction of interference is considered. It is shown that it is possible to apply the method of integral equations in thin-wire approximation to provide the required accuracy of the amplitude-phase distribution calculation for effective interference suppression.*

**Введение.** По мере развития сетей подвижной радиосвязи все большее внимание уделяется качественным показателям и надежности связи. Стремительное развитие сетей подвижной связи обусловило увеличение плотности размещения радиооборудования в городах, рост количества абонентов всех видов сетей, увеличение времени пользования мобильными телефонами, что привело к электромагнитной загрязненности среды. Действенным способом решения проблем электромагнитной совместимости и повышения помехоустойчивости аппаратуры, является применение цифровых антенных решеток (ЦАР), именуемых Smart-антеннами (умными антеннами). Технологиям цифрового формирования луча (цифрового диаграммообразования или цифрового формирования диаграммы направленности антенны) отводится все более значимое место в современных системах связи, ими занимаются практически во всех технически развитых странах мира. Без них не обходятся концепции мобильной связи 3-го, 4-го и 5 поколений.

**Моделирование многолучевой антенной решетки.** При расчете цифровых антенных решеток частот для эффективного подавления сигналов помех необходимо использовать математические модели излучателей, обеспечивающие малую погрешность вычислений.

На рисунке 1 приведены расчетные диаграммы направленности адаптивной многолучевой антенны, полученные методом геометрической оптики. Сплошной линией (USdB) показана ДН антенны при отсутствии помехи. Точками (UKdB) – ДН адаптивной антенны при наличии помех с направлений  $V_{p1} = -27^0$  и  $V_{p2} = 17$  градусов.

Из рисунка 1 видно, что ДН адаптивной антенны в направлении принимаемого сигнала ( $V_c = 0$ ) практически не изменилась. При наличии помех адаптивная антенная решетка сформировала нули ДН в направлениях помех. Анализ полученных результатов показал, что для эффективного ослабления сигналов помех погрешность определения направления на источники помех не должна превышать 1-2 градуса. При погреш-

ности определения направления на помеху на 2 градуса ( $V_{p1} = -29^\circ$ ,  $V_{p2} = 16^\circ$ ), подавление сигналов помех уменьшается ( $UK_{dB}(-28^\circ) = -24$  дБ;  $UK_{dB}(15^\circ) = -16$  дБ).

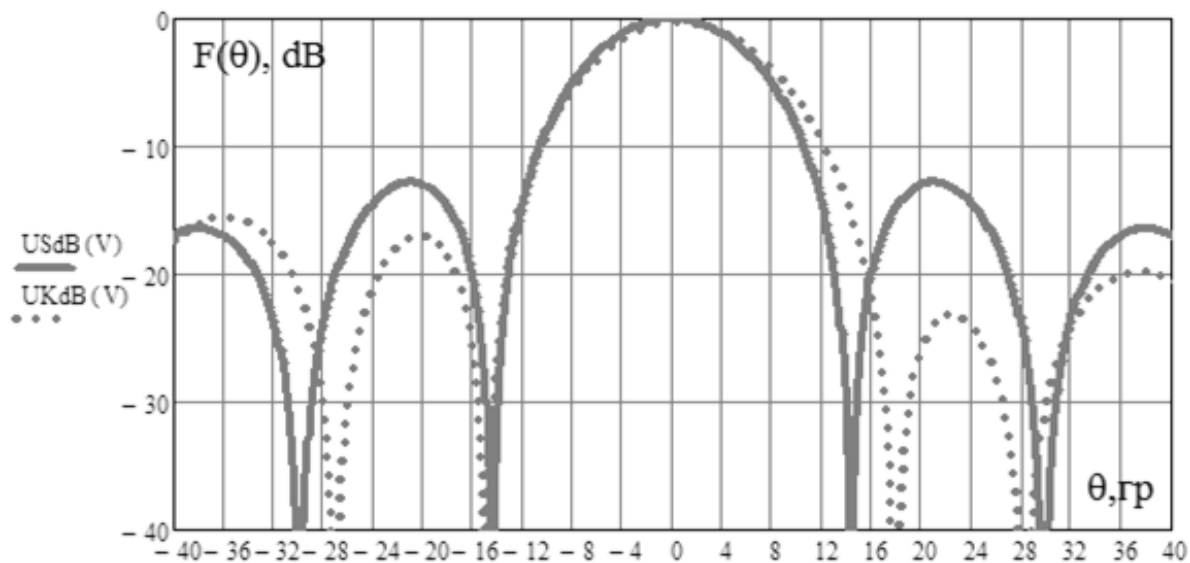


Рисунок 1 – Исходная диаграмма направленности антенной решетки и ДН при формировании нуля в направлении помехи

На рисунке 2 показаны результаты моделирования антенной решетки с учетом выхода из строя одного излучателя. Сплошной линией (USdB) показана исходная ДН антенны при отсутствии помехи, точками (UKN1dB) – ДН адаптивной антенны при наличии, пунктиром (UKKdB) – ДН при выходе из строя одного излучателя.

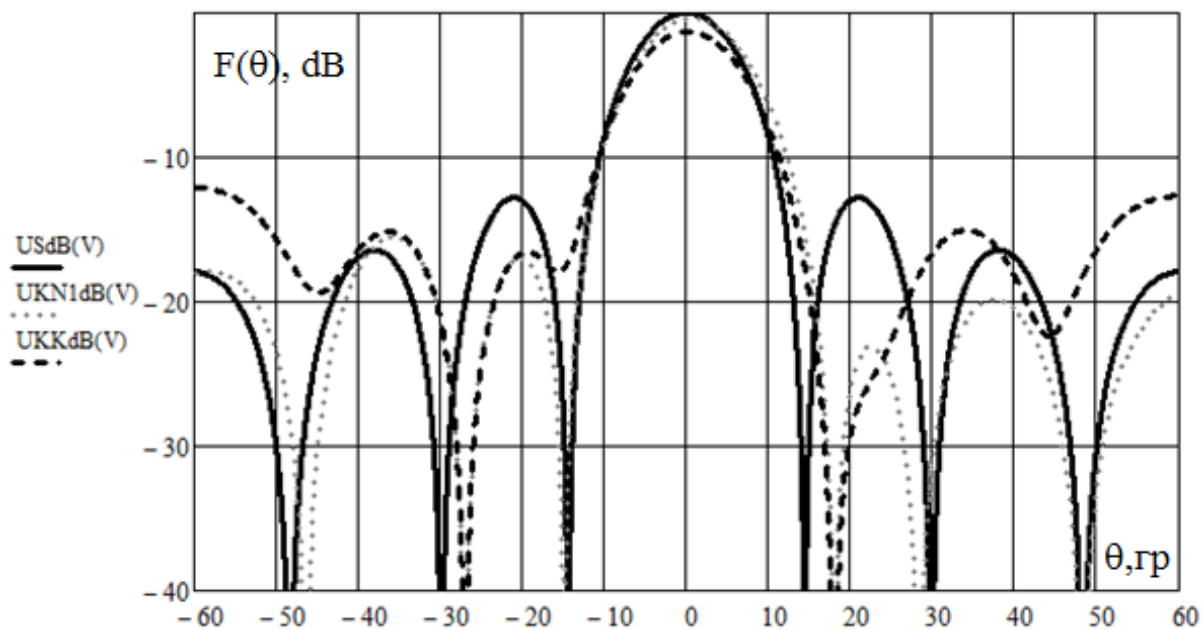


Рисунок 2 – Графики диаграмм направленности антенной решетки при формировании нуля в направлении помехи и выходе из строя одного излучателя

Из рисунка 2 видно, что для обеспечения эффективного подавления помех на выходе многолучевой антенны необходимо обеспечить высокую точность определения угловых координат сигналов помех. Применение метода геометрической оптики не учитывает ряд факторов влияющих на погрешность измерений. Для точного расчета диаграммы направленности может быть применен один из известных пакетов электродинамического моделирования (CST Studio Suite, NI AWR MWO). Однако указанные пакеты требуют для расчета значительные аппаратные и временные ресурсы. Для сокращения времени моделирования и требуемого объема оперативной памяти может быть использован описанный ранее в [1] метод, при котором пластины микрополосковых излучателей заменяются системой тонких проводников. Дополнительное ускорение процесса моделирования может быть достигнуто с использованием технологии CUDA.

**Заключение.** Рассмотрен процесс моделирования диаграммы направленности антенной решетки с формированием нуля в направлении помехи. Показано, что для эффективного подавления помех необходима высокая точность при формировании амплитудно-фазового распределения. Для сокращения времени моделирования может быть использован метод интегральных уравнений в тонкопроволочном приближении.

#### Список использованных источников

1. Кизименко В.В., Улановский А.В. Тонкопроволочная аппроксимация микрополоскового излучателя с учетом эффективной диэлектрической проницаемости подложки // Электроника-ИНФО. – №6, 2015. – С.45-50.

УДК: 621.431.7:631.372

### НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ОАО МТЗ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*Козорез Р.О.*

*Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»*

**Abstract.** *The article deals with the issues of the development of technology in precision farming technology in the Republic of Belarus.*

В современном мире существует острая необходимость производства большего количества продукции с меньшими затратами. Современные технологии проникают в аграрный сектор, предлагая более продуктивные решения сельскохозяйственных проблем. Новым этапом в развитии IT-агрономии можно назвать систему точного земледелия (англ. *precision farming*), которая является инновационной технологией будущего. В основе концепции такого типа земледелия лежит управление продуктивностью посевов с учётом внутривидовой вариативности среды обитания растений. Точное земледелие – это комплексная система сельскохозяйственного менеджмента, которая заключается в использовании компьютерных и спутниковых технологий для управления продуктивностью почвы. В частности, в точном земледелии используются такие технологии, как спутниковая система навигации GPS, "интернет вещей" (IoT), географические информационные системы (GIS), технологии оценки урожайности (Yield Monitor Technologies) и другие.

В настоящее время в Беларуси на государственном уровне внедряется технология точного земледелия. Зона рискованного земледелия, в которой находится Беларусь, повышает спрос наших аграриев на такие технологии. Внедрение технологий точного земледелия в Беларуси может обеспечить экономию до 25% ресурсов. Эта технология коренным образом меняет традиционные подходы к сельскохозяйственным работам. Применение точного земледелия позволяет повысить эффективность и производительность на каждом этапе сельскохозяйственных работ, оптимизировать количество вно-