

**МЕТОД КОРРЕКТИРОВКИ МАТРИЦЫ КОДОВ
КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ППМ АФАР**

Давыдов М. В., Корневский С. А., Юбко А. П., Юрцев О. А.

Научный руководитель: Юрцев О. А., профессор, д.т.н.;

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники
220013, Республика Беларусь, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

E-mail: JoubkoAlex@bsuir.by

**THE CORRECTION METHOD OF TRANSMISSION COMPLEX COEFFICIENTS CODE MATRIX
FOR AESA TRM**

Davydov M. V., Karaneuski S. A., Joubko A. P., Yurtsev O. A.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yurtsev O. A.

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics
Republic of Belarus, Minsk, P. Brovki str., 6, 220013

E-mail: JoubkoAlex@bsuir.by

Приемопередающие модули (ППМ) используемые в современных радарх на базе активных фазированных антенных решеток для дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) имеют в своем составе дискретные фазовращатели и аттенюаторы. Описывается метод коррекции матрицы кодов измеренных комплексных коэффициентов передачи (ККП) ППМ для оптимального соответствия идеальным значениям. Приведены значения ошибок, которые являются результатом несовершенства состояния ККП для пары 6-битных фазовращателя и аттенюатора, до и после использования метода.

A large majority of modern Transmit-Receive modules (TRM) for AESA radar uses phase discrete shifters and attenuators. The method of matrix code correction of measured TRM's complex transmission coefficient (CTC) for optimal correspondence to ideal one is described. Errors which are the result of imperfection complex state of a pair 6-bit phase shifter and attenuator are presented before and after using the method.

Современные радиолокаторы, применяемые для ДЗЗ с борта космического аппарата, построены на базе активной фазированной антенной решетки (АФАР) [1]. Базовой единицей (количество которых исчисляется сотнями) АФАР является ППМ, задача которого усиление сигналов и обеспечение заданного ККП сигнала в канале решетки. Измерения возможных состояний ППМ производятся в автоматизированном режиме [2]. Результатом является т.н. "матрица значений ККП" конкретного ППМ, которая наглядно демонстрирует реальное значение модуля и фазы ККП в зависимости от номера состояния АТ и ФВ.

В приведенном случае матрица содержит 4096 (64x64) значения ККП для пары 6-разрядных аттенюатора (АТ) и фазовращателя (ФВ). Минимальный дискрет изменения фазы и амплитуды модуля определяется разрядностью входящих в него ФВ и АТ. На рис. 1 изображена поверхность возможных значений модуля (а) и фазы (б) ККП в зависимости от номера состояния ФВ и АТ.

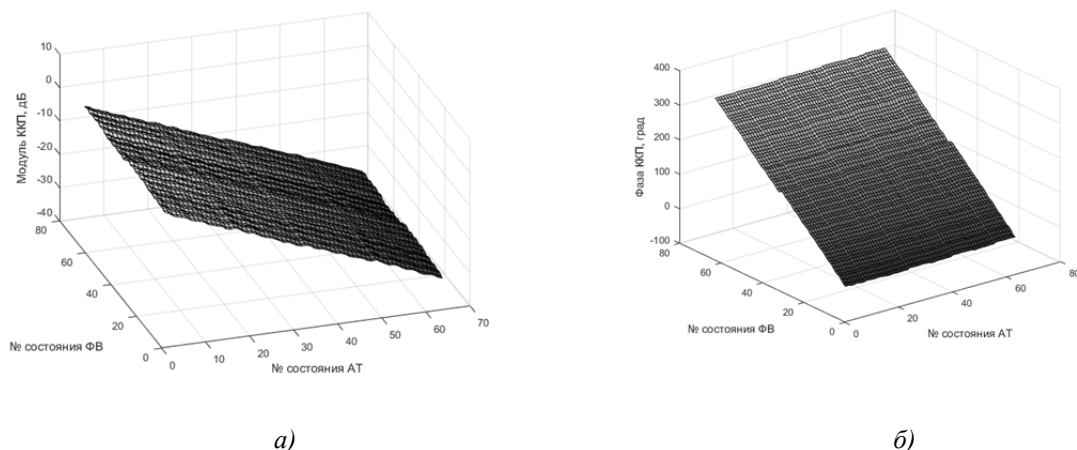


Рис. 1. Поверхность значений модуля ККП (а) и фазы (б) ККП в зависимости от номера состояния АТ и ФВ до коррекции

С увеличением количества всевозможных состояний при установлении отдельных бит ФВ и АТ погрешности фазы и амплитуды могут в результате превышать несколько минимальных дискретов. Также следует учесть, что изменение состояния ФВ приводит к заметному изменению модуля ККП, и в свою очередь, изменение состояния АТ влияет на фазу. Для обеспечения требуемого амплитудно-фазового распределения на раскрыве решетки необходимо обеспечить реальное значение ККП ППМ наиболее близкое к теоретическому. Для оценки погрешности установления состояния АТ и ФВ, абсолютные значения модуля и фазы ККП канала, приведенные на рис.1, неинформативны, т.к. ошибки установления относительно абсолютного максимального уровня малоразличимы. Для наглядности на рис. 2 приведены нормированные к номинальным расчетным значениям относительные погрешности фазы ККП при установке ФВ в различные состояния. Чтобы оценить ошибку, вносимую комбинацией ФВ и АТ поверхность значений спроецирована на соответствующую ось состояний (АТ или ФВ).

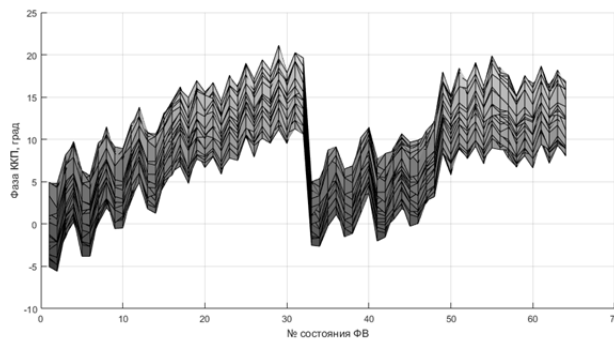


Рис. 2. Проекция поверхности значений отклонения от номинальных значений фазы ККП на соответствующую ось в зависимости от номера состояния АТ и ФВ до коррекции

Как следует из рис. 2 значение отклонения фазы ККП от номинальных значений может достигать величины большей, чем минимальный дискрет их изменения. То же замечание справедливо и для модуля ККП.

Метод корректировки основан на выборе кодов, соответствующих ближайшим к расчетным значениям ККП для формирования необходимого амплитудно-фазового распределения (АФР) на раскрыве решетки. В качестве целевой функции алгоритма (рис.3) принято среднеквадратическое отклонение измеренного модуля и фазы ККП, нормированных к минимальному значению их дискрета для каждой комбинации кодов состояния АТ и ФВ, которое описывается формулой (1). С целью введения приоритета при оптимизации составляющих (фазы и амплитуды) применены весовые коэффициенты (A и B). Комбинации кодов, которым соответствуют минимальное значение отклонения ККП от расчетного, образуют скорректированную матрицу значений комплексного коэффициента передачи.

$$F(m, n) = \sqrt{A \cdot \varepsilon_{MAG}^2(m, n) + B \cdot \varepsilon_{PH}^2(m, n)} \quad (1)$$

где $\varepsilon_{MAG}(m, n) = \frac{|K_{meas}(m, n)| - |K_{nom}(m, n)|}{Discr_{MAG}}$ – нормированная к дискрету АТ ошибка по амплитуде;

$\varepsilon_{PH}(m, n) = \frac{Arg(K_{meas}(m, n)) - Arg(K_{nom}(m, n))}{Discr_{PH}}$ – нормированная к дискрету ФВ ошибка по фазе;



Рис. 3. Блок-схема алгоритма коррекции

На рис. 4 представлены проекции поверхности значений модуля ККП (а) и фазы (б) ККП на соответствующую ось в зависимости от номера состояния АТ и ФВ полученные в результате работы алгоритма. С целью численной оценки работы алгоритма в таблице 1 приведены статистические данные ошибок по амплитуде и фазе до и после коррекции.

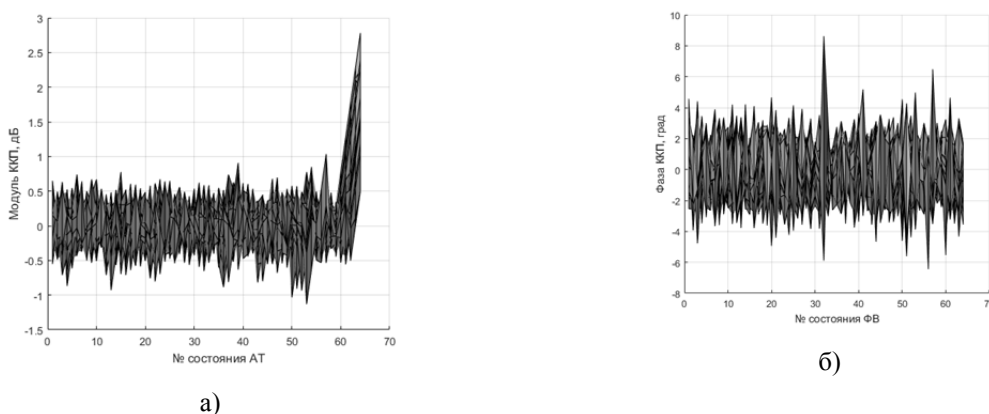


Рис. 4. Проекция поверхности значений модуля ККП (а) и фазы (б) ККП после коррекции:

Таблица 1. Сравнительные статистические данные относительной погрешности ККП в ППМ

Величина	До коррекции		После коррекции	
	Модуль ККП, дБ	Фаза ККП, град.	Модуль ККП, дБ	Фаза ККП, град.
Мат.ожидание значения ошибки	1,49	8,5	0,065	0,035
Дисперсия значения ошибки	0,42	27,14	0,14	3,10

Как следует из таблицы 1, статистические данные значений ошибки в матрице значений ККП на примере одного ППМ показали, что ошибки значений модуля и фазы ККП в зависимости от номера состояния ФВ и АТТ существенно уменьшились, что доказывает эффективность работы алгоритма. Полученная скорректированная матрица уникальна для каждого ППМ и может храниться в его ПЗУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heer C. Spaceborne SAR Systems and Technologies / C. Heer, C. Fischer, C. Schaefer // Microwave Symposium Digest (MTT), 2010 IEEE MTT-S International. – 2010. – P. 538-541.
2. Богданов Р.А. Система функционального контроля субмодуля аттенуатор-фазовращатель приемопередающего модуля X-диапазона [Текст] / Р.А. Богданов, Ю.С. Алькевич, О.С. Мальцев, Н.М. Наумович, А.А. Павлючик, В.Т. Ревин, В.А. Симоненко // Метрология и приборостроение. – 2016. – № 4. – С. 6–9.