



«Алгоритм настройки АФАР по данным амплитудных измерений в ближней зоне»

*«Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»,
г. Ростов-на-Дону*



рук. группы

Занин Константин Михайлович

2024 г.

Обоснование актуальности работы

В последнее время результаты работы систем ДЗЗ стали неотъемлемой частью множества приложений. Для повышения качества научной и целевой информации при их разработке применяют активные фазированные антенные решетки (АФАР) с большими электрическими размерами апертуры. В процессе их развертывания и в условиях орбитального полета под влиянием дестабилизирующих факторов космического пространства может наблюдаться искажение диаграммы направленности (ДН), которое устраняется с учетом результатов наземной отработки.



Рис. 1. Примеры использования бортовых антенн

Обоснование актуальности работы

Известно множество алгоритмов формирования требуемой ДН на этапе производства антенны, при которых используются приборы высокоточных измерений амплитуд и фаз полей. Однако проведение такой настройки может быть недостаточным, поскольку при последующей транспортировке антенны и установке на КА параметры ДН могут измениться.

В то же время при проведении комплексной проверки системы ДЗЗ необходимые измерения не могут быть выполнены в полном объеме. В этом случае актуальной является проблема настройки антенных решеток по результатам измерений в ближней зоне без использования высокоточного позиционера, коллиматора и векторного анализатора цепей. Необходимо учитывать, что АФАР могут иметь как геометрические искажения раскрыва, так и разброс параметров каналов.

Целью работы является расширение класса решаемых задач по настройке АФАР с учетом многофакторности возможных искажений. Достижение поставленной цели связано с разработкой алгоритма настройки АФАР, свободного от недостатков известных алгоритмов.



Рис. 2. Стенд наземной настройки АФАР БРЛК КА «Метеор-М»

Алгоритм настройки АФАР

Необходимые измерения проводятся в составе стенда настройки, как показано на рис. 3.

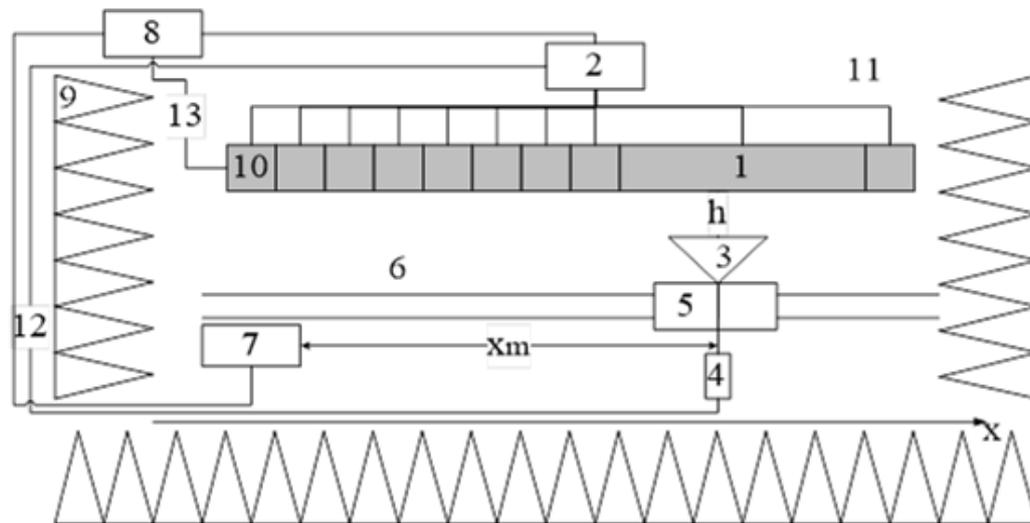


Рис. 3. Состав стенда настройки АФАР

На рис. 3. применены следующие обозначения: 1 – настраиваемая АФАР; 2 – анализатор цепей скалярный; 3 – измерительная антенна; 4 – детектор; 5 – позиционер; 6 – пути перемещения позиционера; 7 – лазерный дальномер (допустимая погрешность прибора $0,1\lambda$); 8 – ПЭВМ; 9 – РПМ; 10 – элемент (подрешетка) АФАР; 11 – СВЧ кабель; 12 – НЧ кабель; 13 – кабель управления АФАР.

Алгоритм настройки АФАР

На первом этапе предлагаемого алгоритма средствами АФАР устанавливается равномерное распределение амплитуд в раскрыве. На втором этапе установка равномерного распределения фаз в раскрыве антенны выполняется за несколько шагов. Сначала рассматриваются все пары соседних элементов, для которых производится выравнивание фаз.

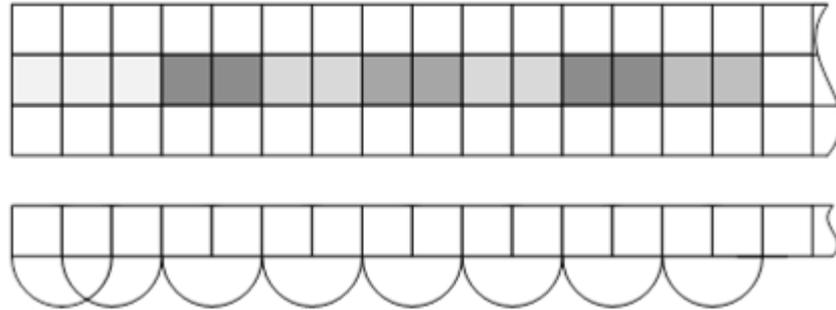


Рис. 4. Порядок установки равномерного распределения фаз в парах соседних элементов

Алгоритм настройки АФАР

В ходе проведения измерений получают зависимость мощности излучаемого/принимаемого сигнала, от координаты измерительной антенны. Результаты на рис. 5 приведены для случаев 0, 15, 45, 90, 180 градусов в значении разницы фаз возбуждения соседних элементов АФАР.

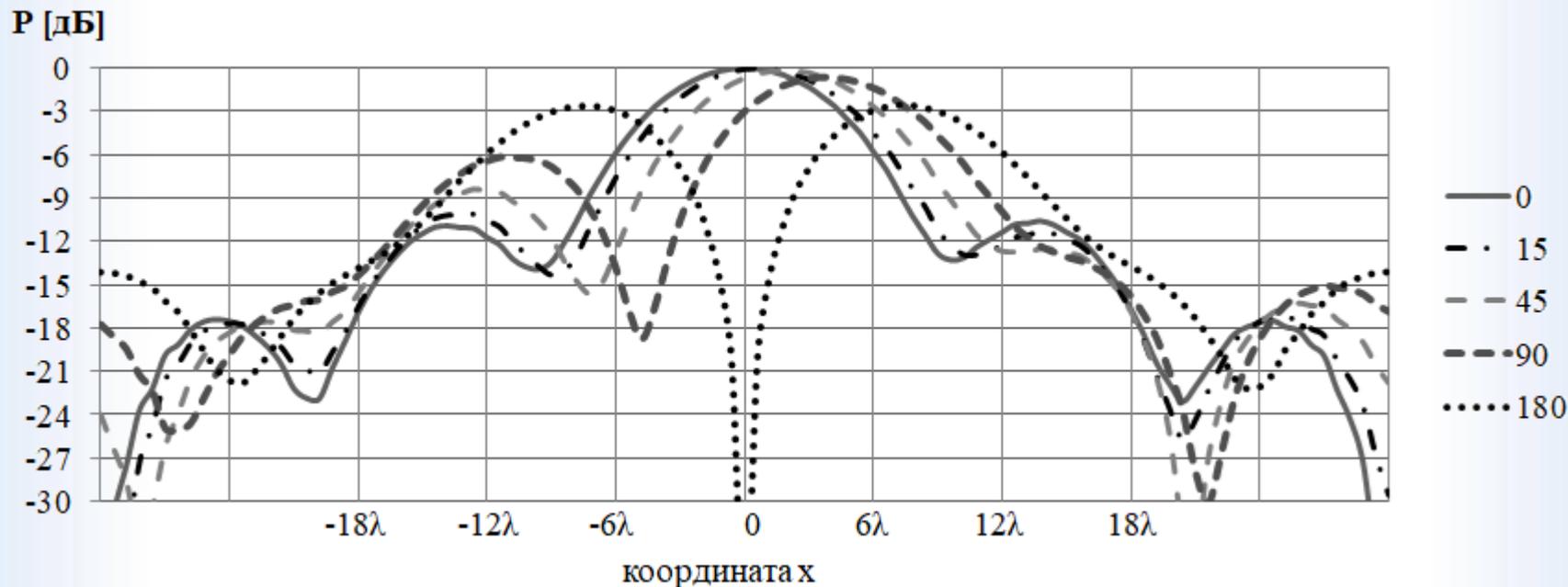


Рис. 5. Распределение нормированной мощности поля

Алгоритм настройки АФАР

Далее необходимо оценить симметричность полученного распределения, как показано на рис. 6. По результатам расчета определяется размах полученного графика $H_{\text{изм}} = \max(P_0) - \min(P_0)$.

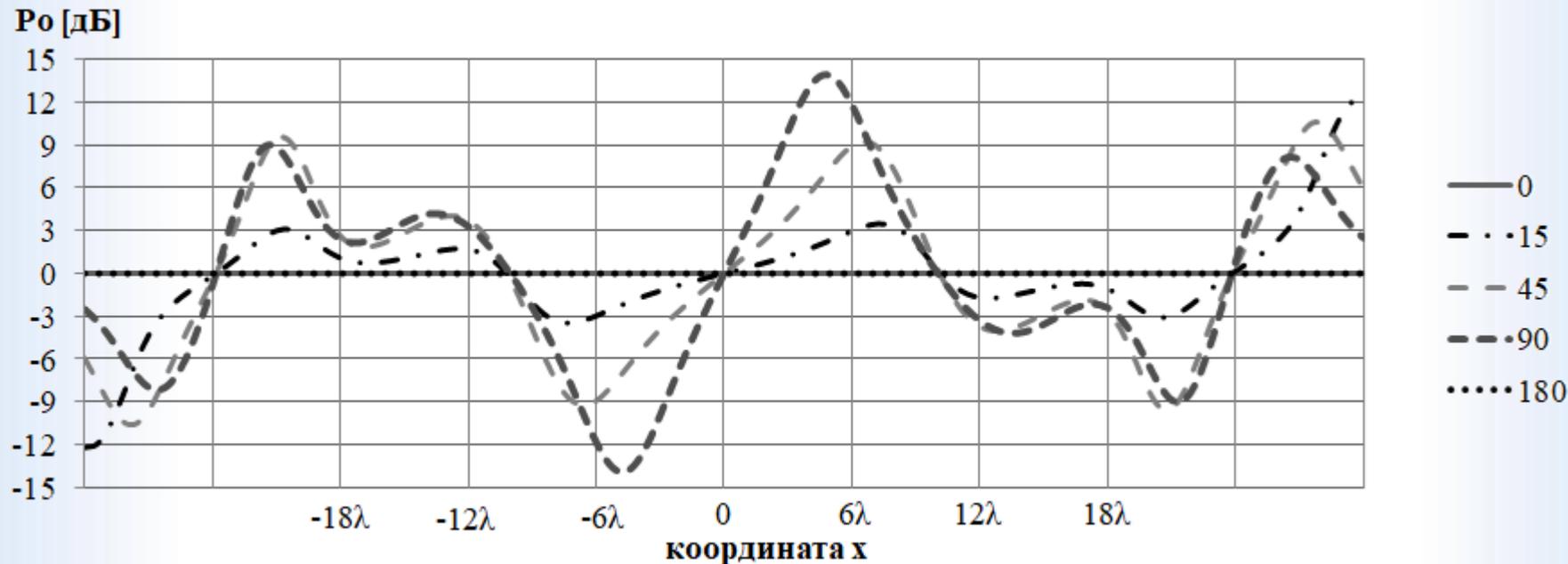


Рис. 6. Распределение $P_{0m} = P_m - P_{M-m}$

Алгоритм настройки АФАР

С учетом конфигурации раскрыва и параметров схемы измерений выполняется расчет распределения поля по оси x , как показано на рис. 7.

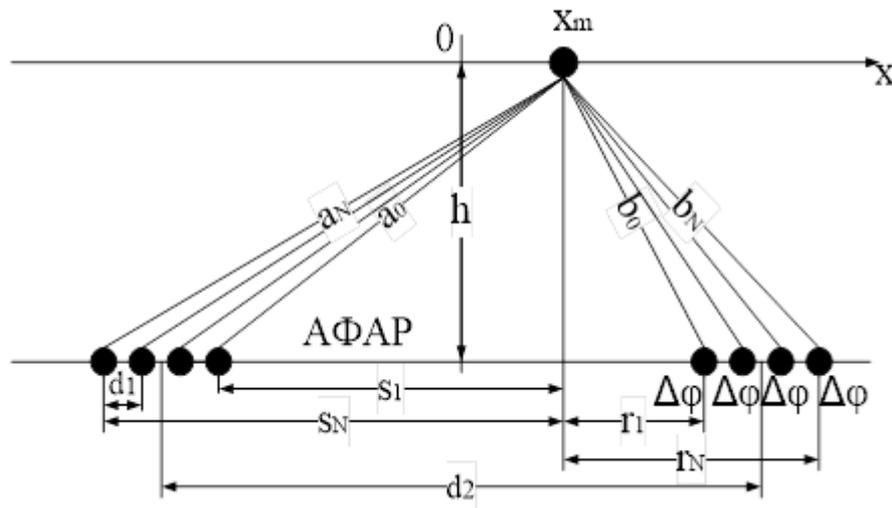


Рис. 7. Геометрическое представление задачи сложения полей от одиночных излучателей

$$E(x) = \sum_{n=1}^{N_{\text{изл}}} \left[\frac{\sqrt{P_{\text{изл}1} G \left(\arctg \left(\frac{s_n(x)}{h} \right) \right) \lambda}}{4\pi a_n(x)} \exp(-ika_n(x)) + \frac{\sqrt{P_{\text{изл}2} G \left(\arctg \left(-\frac{r_n(x)}{h} \right) \right) \lambda}}{4\pi b_n(x)} \exp(-ikb_n(x) + \Delta\varphi) \right] \quad (1)$$

Алгоритм настройки АФАР

Далее вычисляется зависимость $H(\Delta\varphi) = \max(P_0) - \min(P_0)$ для $\Delta\varphi \in [0, 360)$ градусов и определяются 4 точки пересечения $H(\Delta\varphi)$ с прямой $H = H_{\text{изм}}$.

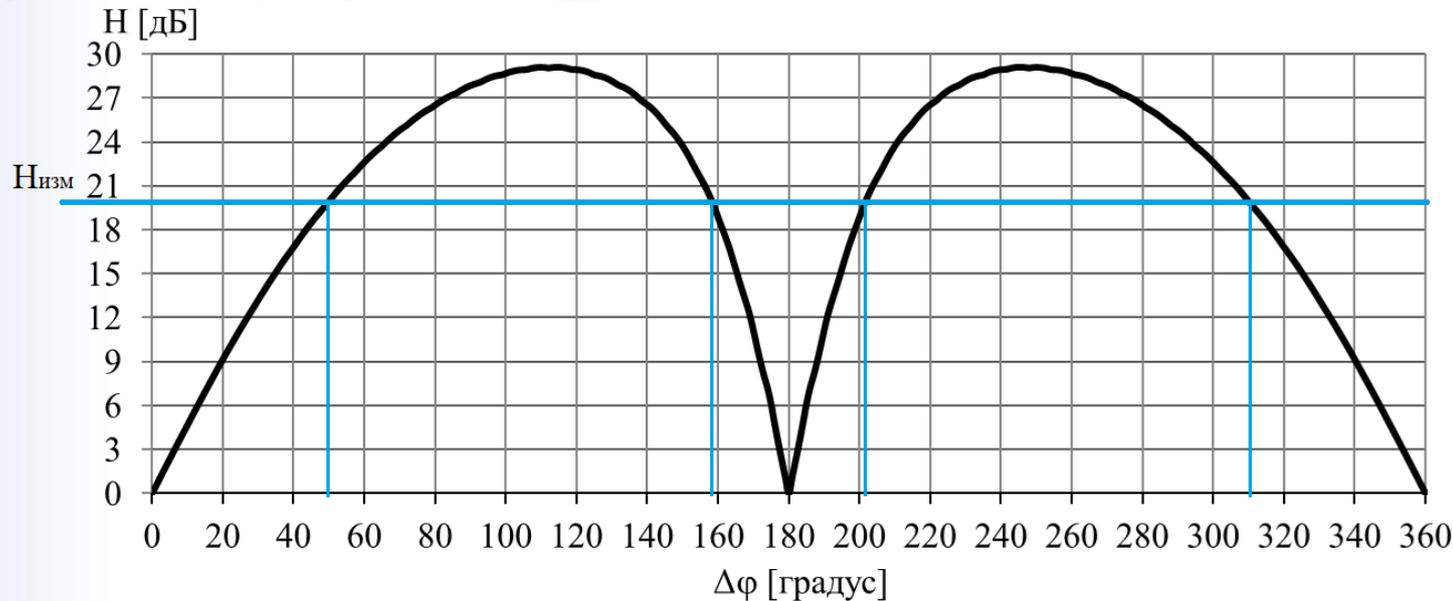
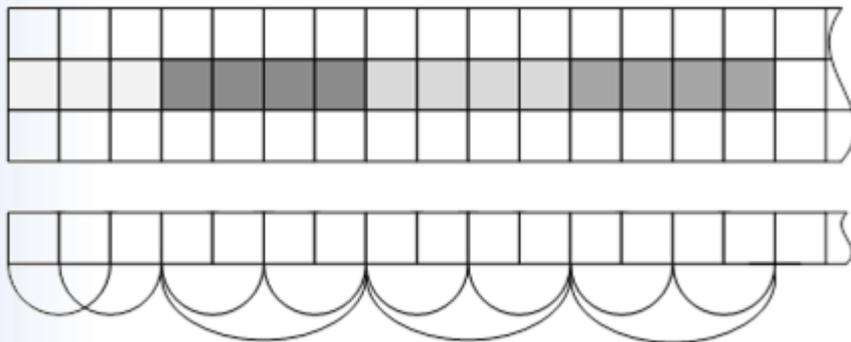


Рис. 8. Пример зависимости $H(\Delta\varphi)$

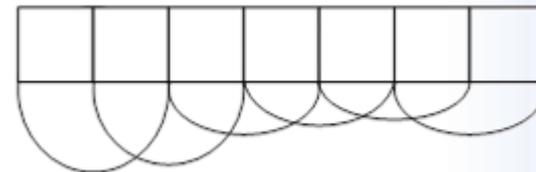
Устранение неоднозначности и определение одно значение $\Delta\varphi$ выполняется с помощью измеренной зависимости $P(x)$ (см. рис. 5). Аналогично выполняется установка синфазного возбуждения оставшихся пар элементов антенны.

Алгоритм настройки АФАР

После этого выполняется выравнивание фаз в соседних парах элементов, в соседних четверках элементов и т.д. Полученные результаты позволяют сформировать равномерное распределение фаз на апертуре АФАР, на основе которого может быть получено требуемое распределение поля.



а) настройка четверок элементов

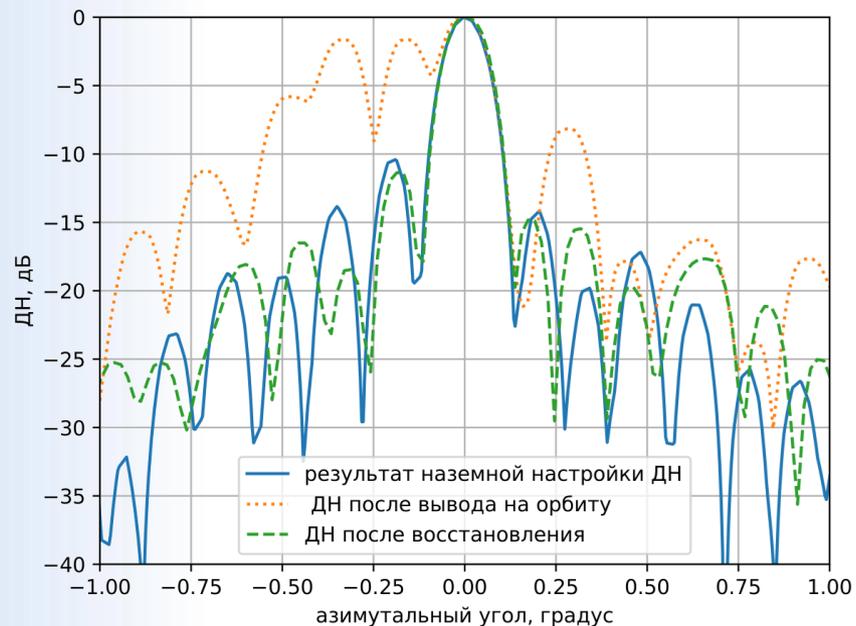


б) настройка АФАР по цепочке

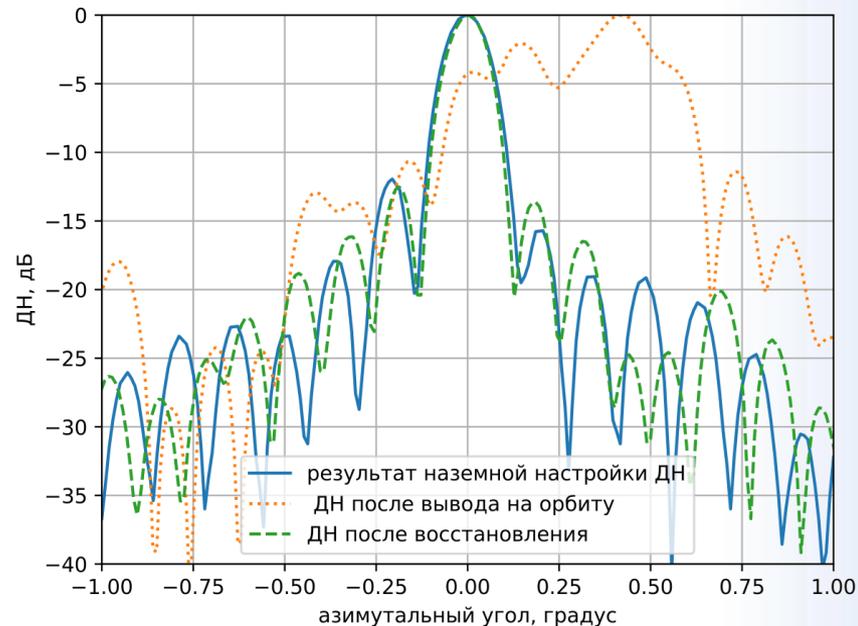
Рис. 9. Порядок установки равномерного распределения фаз

Алгоритм настройки АФАР

Выполненная наземная настройка бортовой АФАР позволяет достаточно просто восстановить ДН в условиях орбитального полета. На рис. 10 приведены ДН двух комплексов ДЗЗ. Результаты получены на этапе наземной настройки, после вывода на орбиту и после восстановления ДН.



а) КА «Метеор-М» № 2-3 (июль 2023 г.)

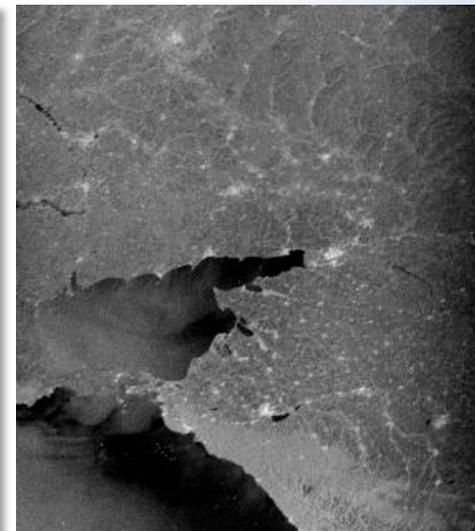
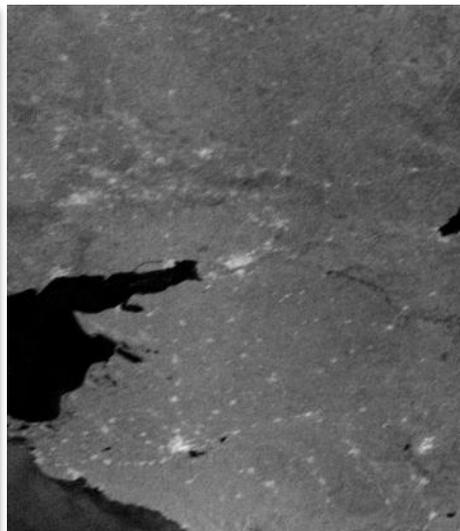
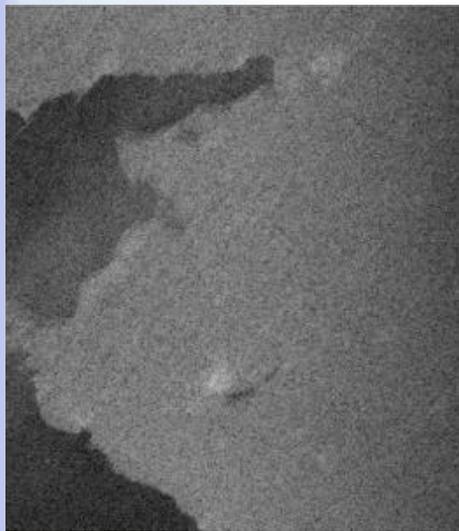


б) КА «Метеор-М» № 2-4 (май 2024 г.)

Рис. 10. ДН АФАР комплексов ДЗЗ

Алгоритм настройки АФАР

На рис. 11 приведены РЛИ БРЛК, подтверждающие эффективность восстановления ДН после развертывания АФАР на орбите.



а) КА «Метеор-3М» № 2-3 (июль 2023 г.)

б) КА «Метеор-3М» № 2-4 (май 2024 г.)

Рис. 11. Полученные РЛИ до и после восстановления ДН

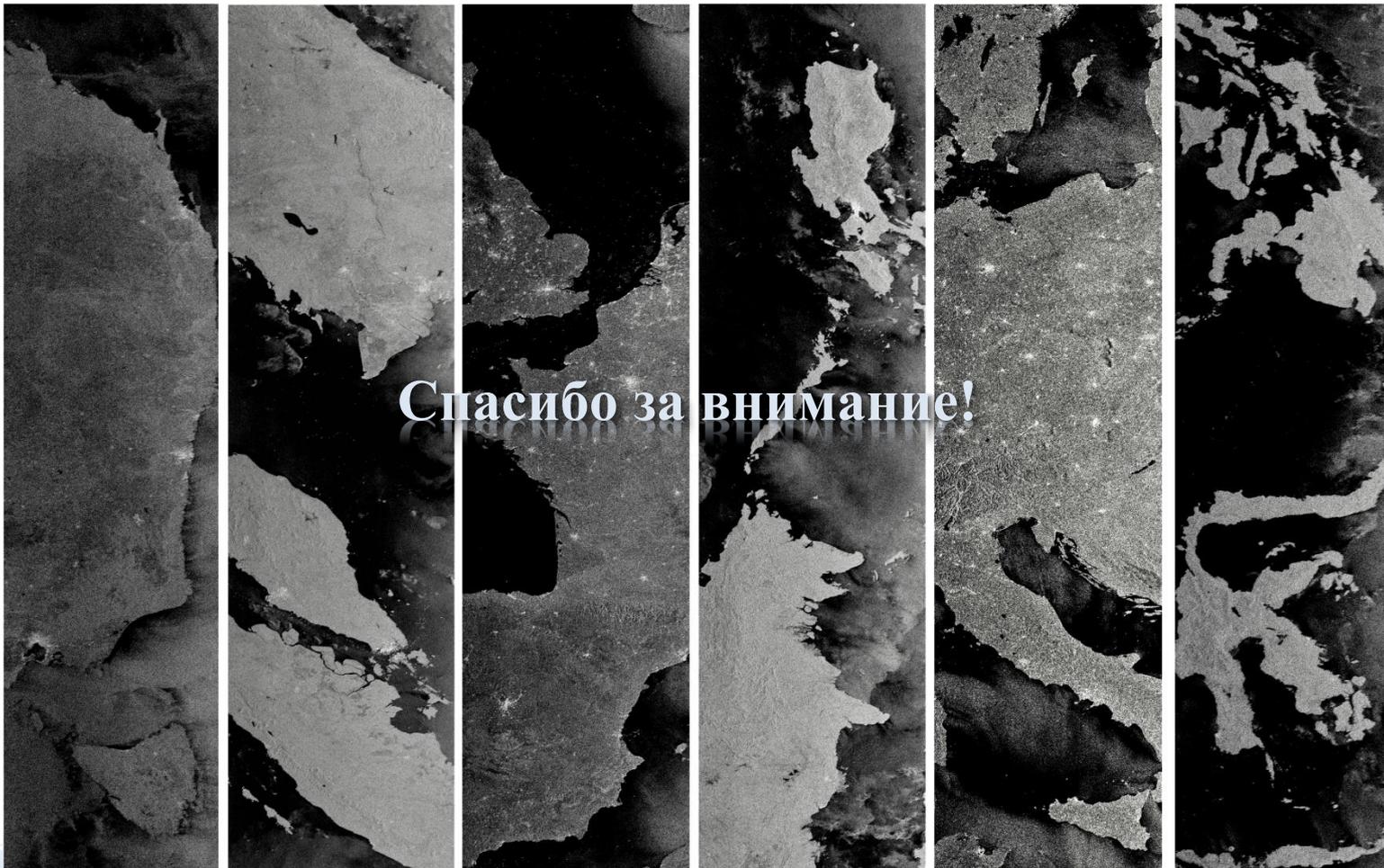


Выводы

Предложенный алгоритм позволяет расширить класс решаемых задач по настройке АФАР, так как он применим к антеннам, которые могут иметь как геометрические искажения раскрыва, так и неучтенные разницы длин электрических путей сигналов в каналах.

Алгоритм предполагает выполнение только амплитудных измерений в ближней зоне без использования высокоточного позиционера и коллиматора, а также позволяет:

- провести настройку АФАР на заключительном этапе, что исключает искажения ДН вследствие операций, выполняемых с антенной после ее изготовления;
- упростить восстановление ДН в условиях орбитального полета;
- повысить качество получаемой ЦИ.



Спасибо за внимание!