

# Структура курса

- Введение
  - Фазированные антенные решетки и их назначение
- Теория ФАР
  - Основные характеристики ФАР
  - **Диаграммоформирование в ФАР**
- Техника ФАР
  - Схемы возбуждения ФАР
  - Широкополосные ФАР
  - Принципы конструирования ФАР
  - Калибровка и контроль ФАР

# Типы диаграммоформирования

- Формирование остронаправленного луча (лучей)
- Создание ДН сложной формы
- Формирование нуля (нулей) в диаграмме направленности

# Типы диаграммоформирования

- Формирование остронаправленного луча (лучей)
  - Традиционные методы
  - Расширение луча
  - Метод Дольфа-Чебышева и др.
- Создание ДН сложной формы
  - Подавление боковых лепестков
- Формирование нуля (нулей) в диаграмме направленности

# ДН ФАР

Диаграмма направленности ФАР

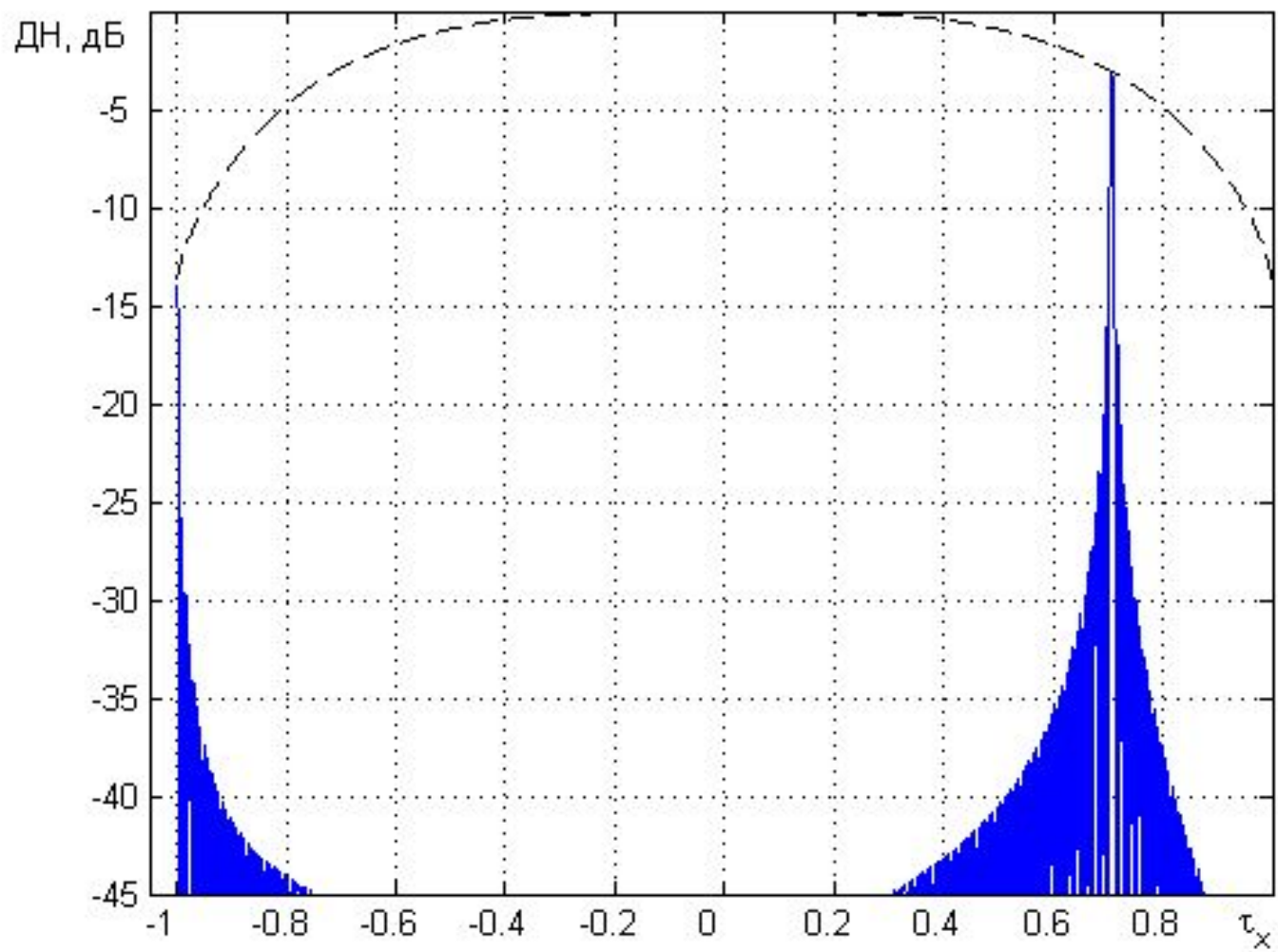
$$f_{\Sigma}(\theta, \phi) = f(\theta, \phi) \rho(\theta, \phi) \sum A_n e^{-ik(\tau r_n)}$$

Есть произведение ДН элемента  
(парциальная ДН)

$$f(\theta, \phi) \rho(\theta, \phi)$$

На множитель решетки

$$\sum A_n e^{-i \frac{2\pi}{\lambda} (ux_n + vy_n)}$$



# Множитель решетки:

фокусировка в направлении, острый луч

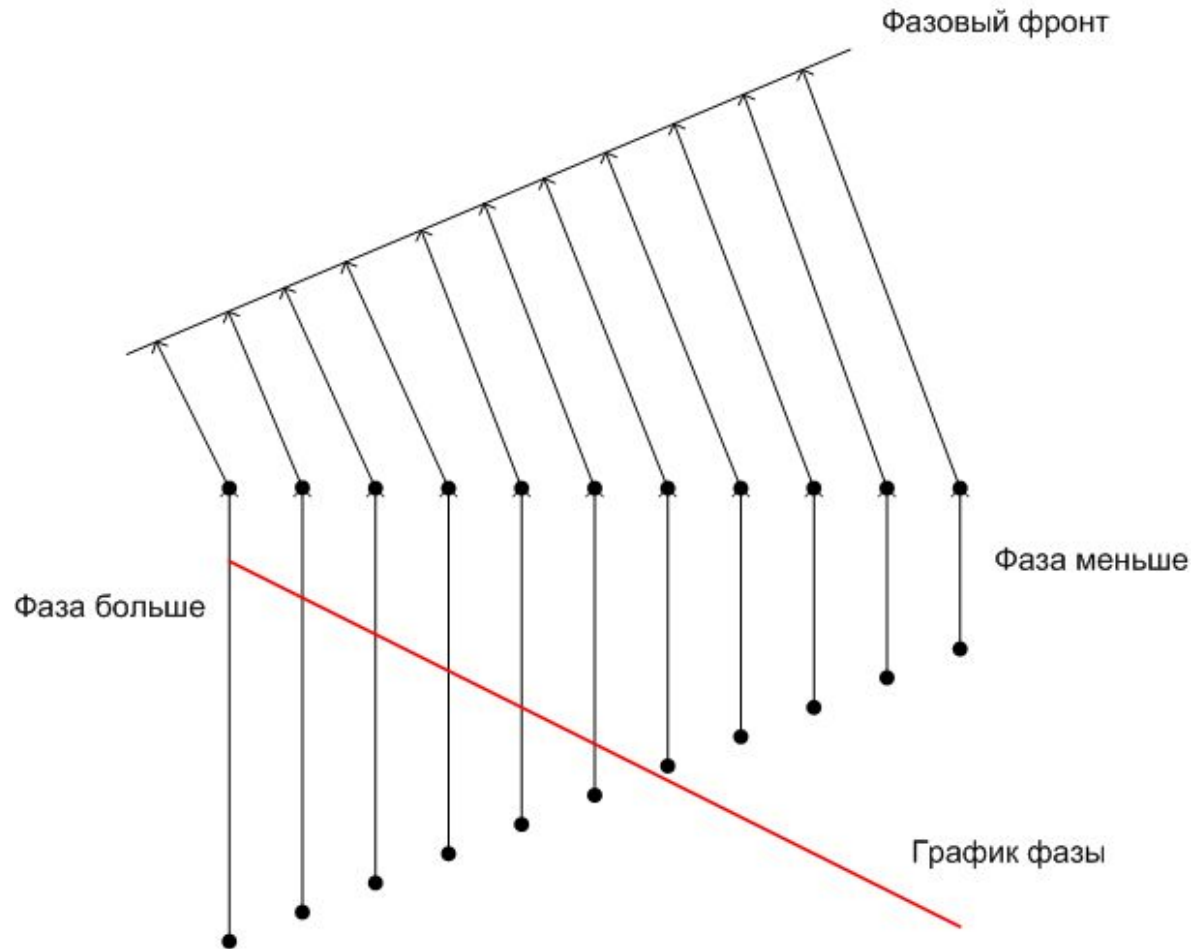
$$\sum A_n e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}(ux_n + vy_n)} \longrightarrow \sum A_n e^{i\Psi_n} e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}(ux_n + vy_n)}$$

Для когерентного суммирования

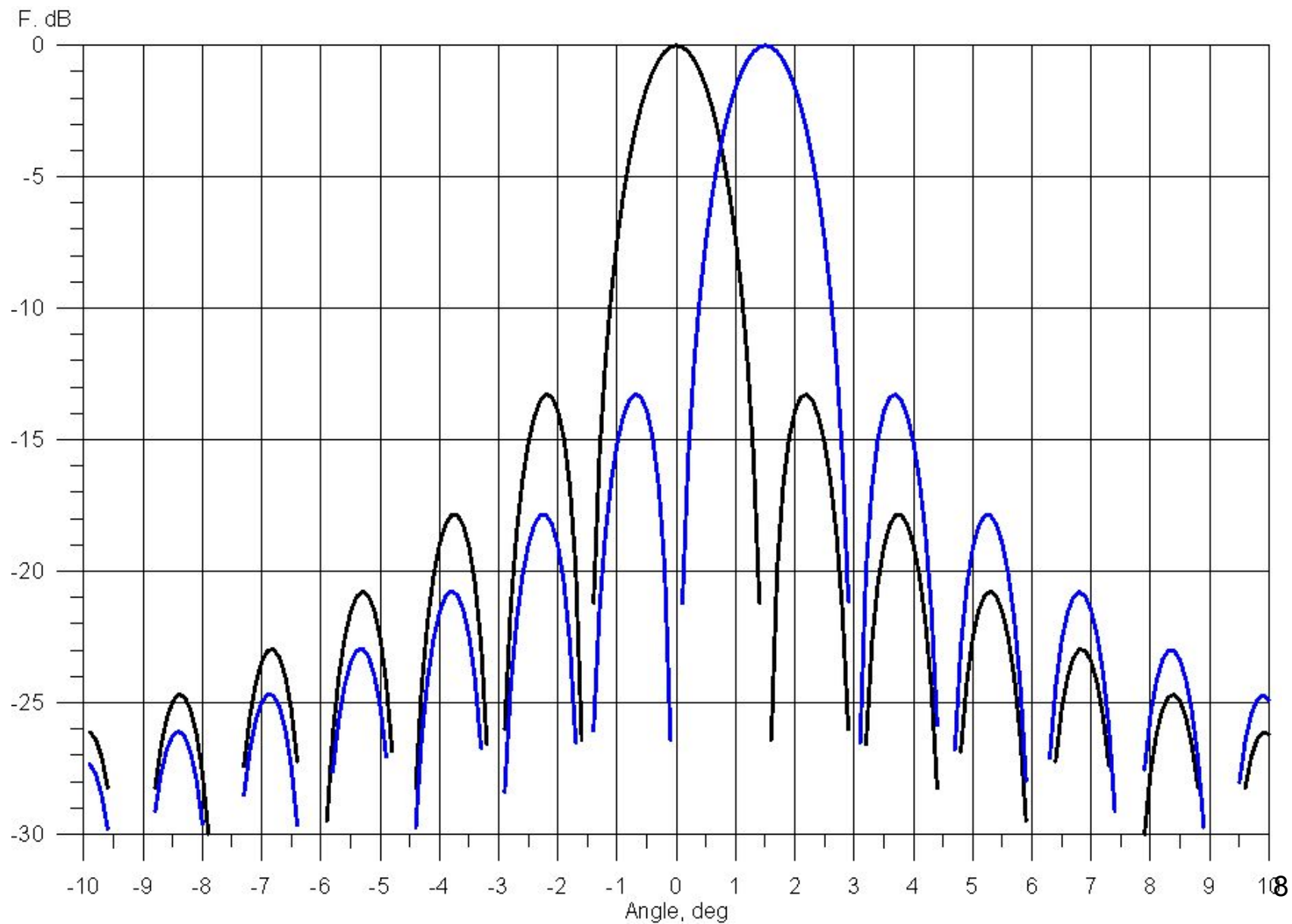
$$\Psi_n = \frac{2\pi}{\lambda} (ux_n + vy_n)$$

Для максимального КУ амплитуда единица

# Фокусировка в заданном направлении

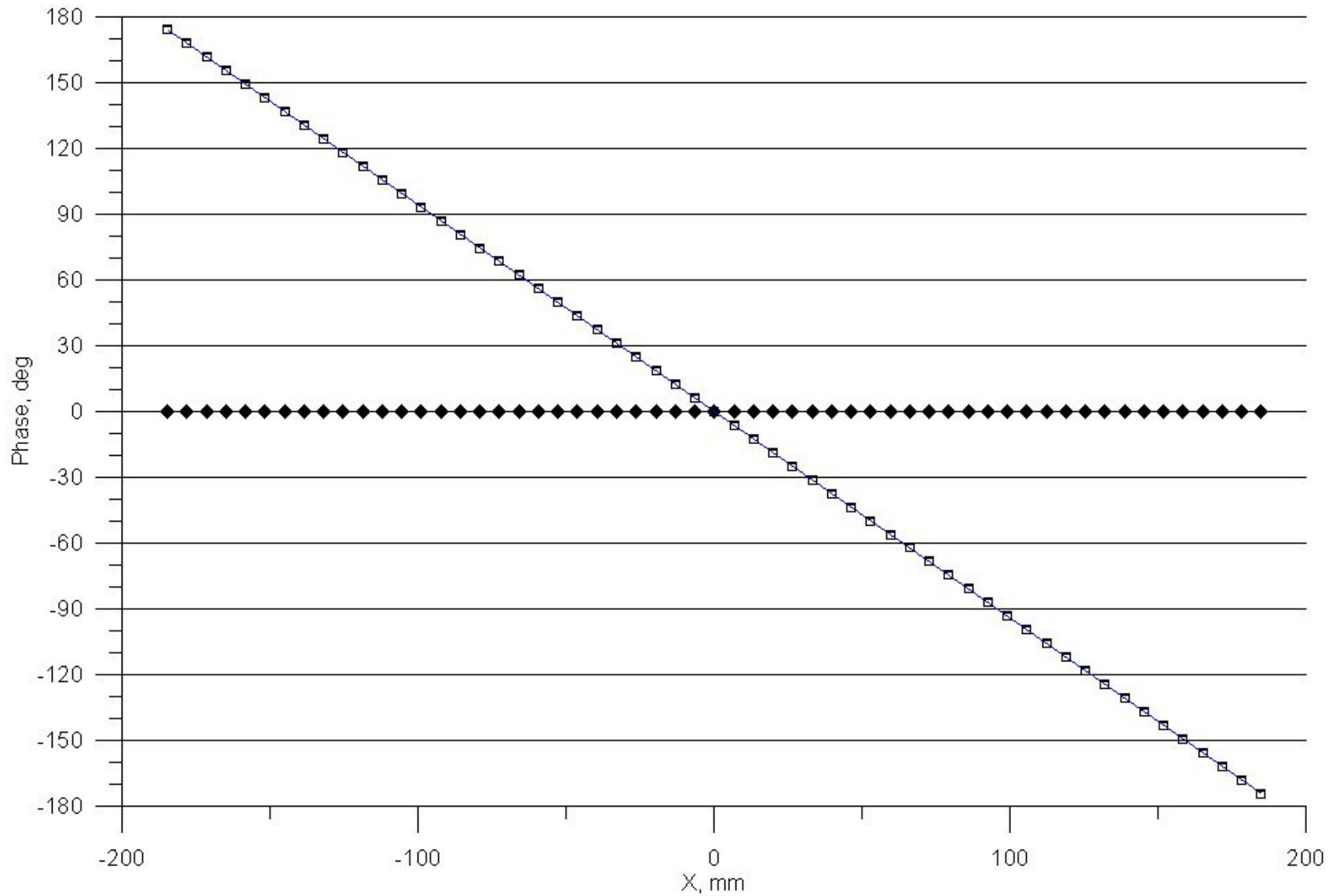


# Две диаграммы

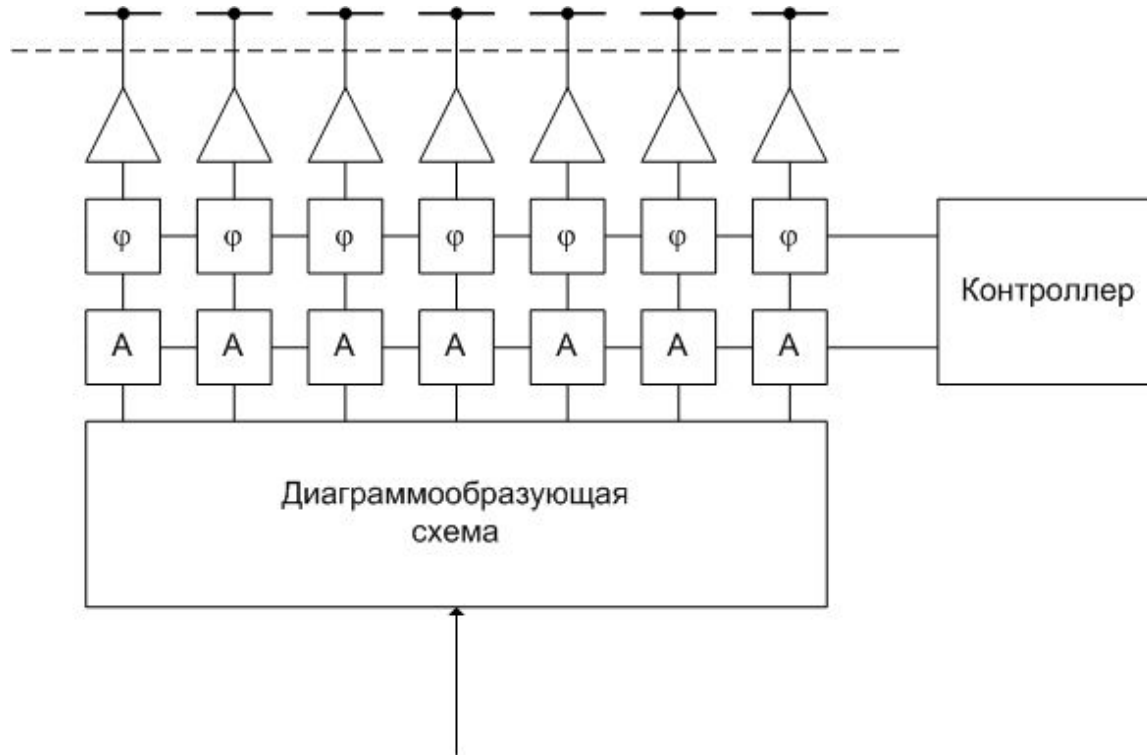




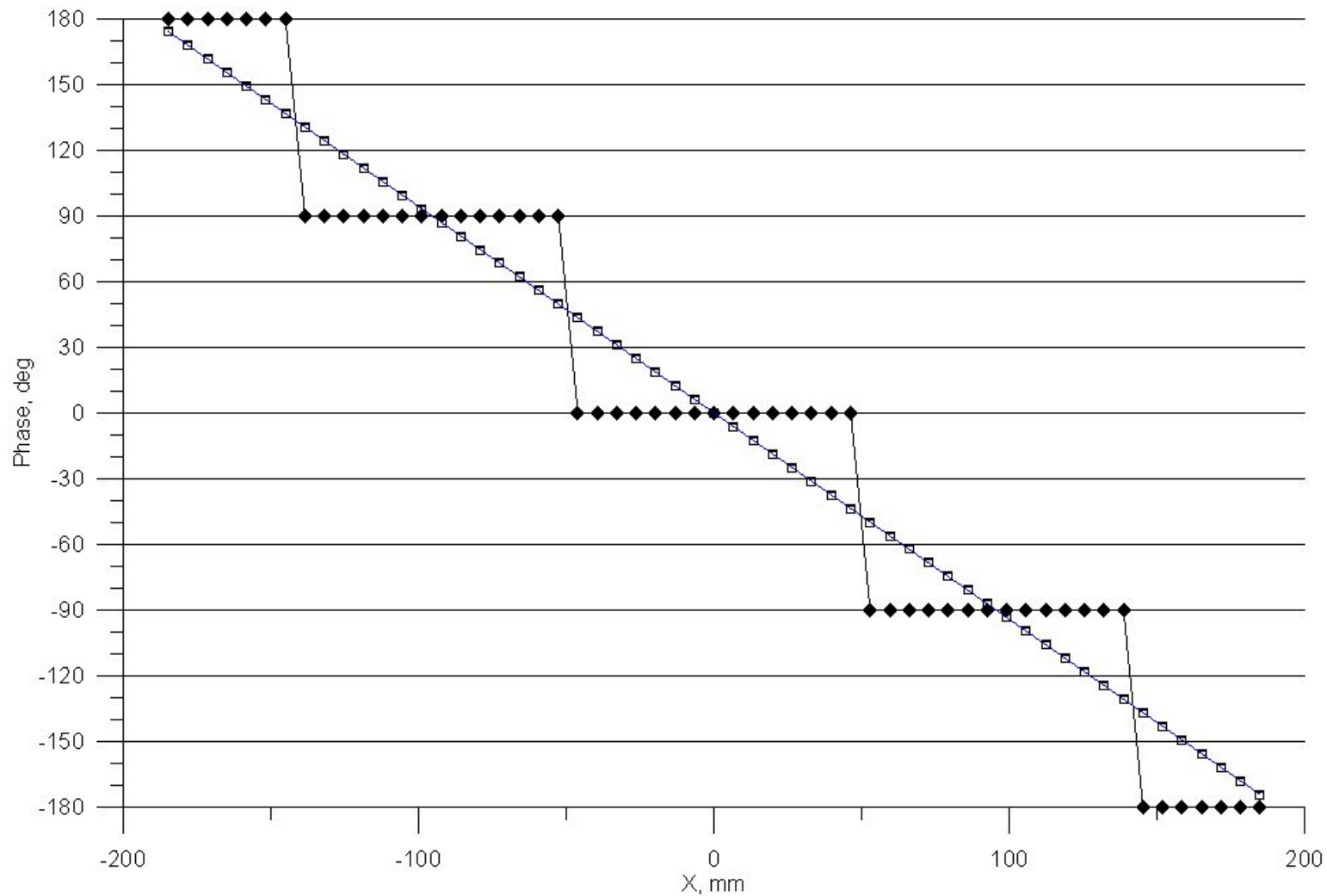
# Распределение фаз



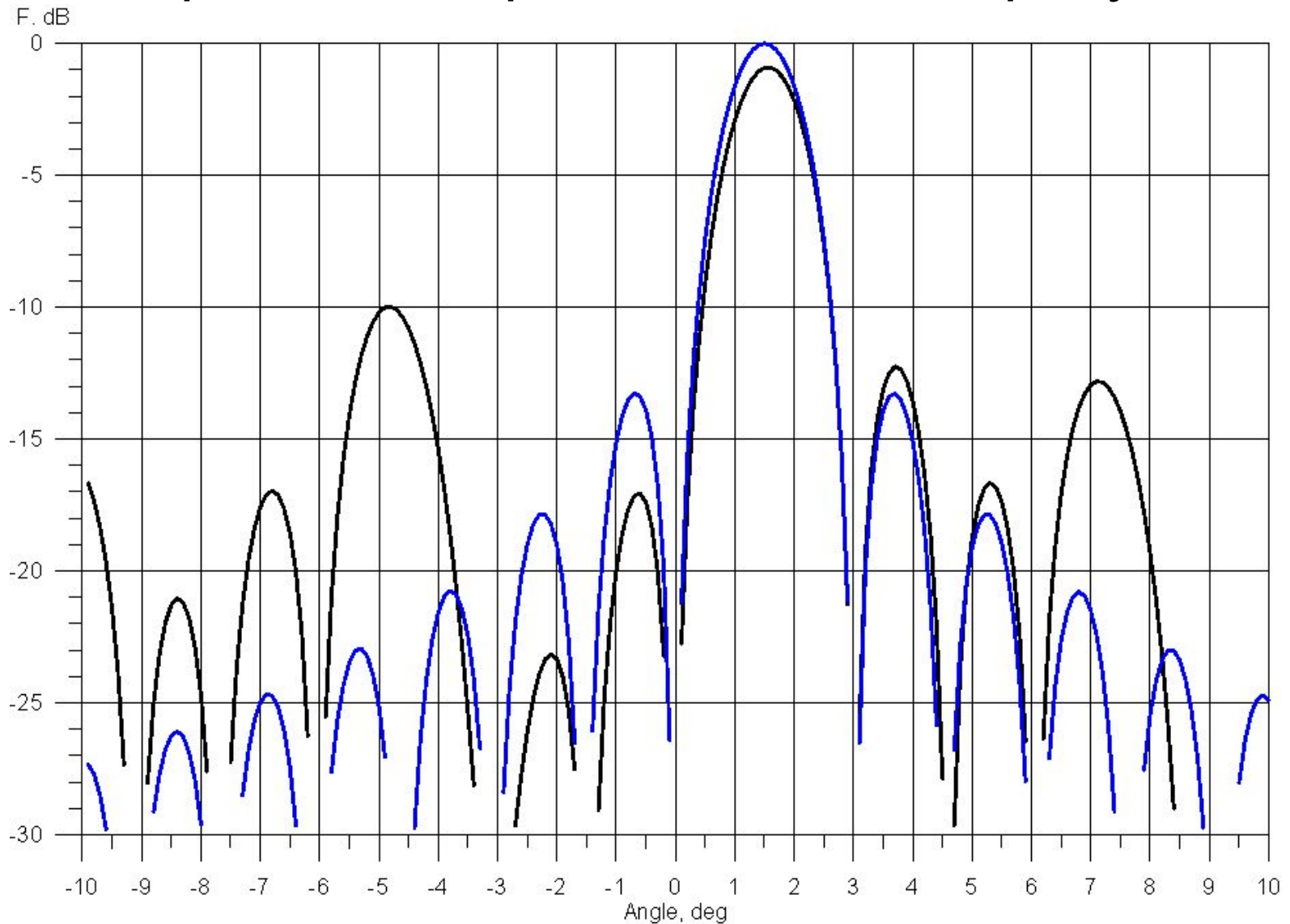
# Управление фазой в раскрыве



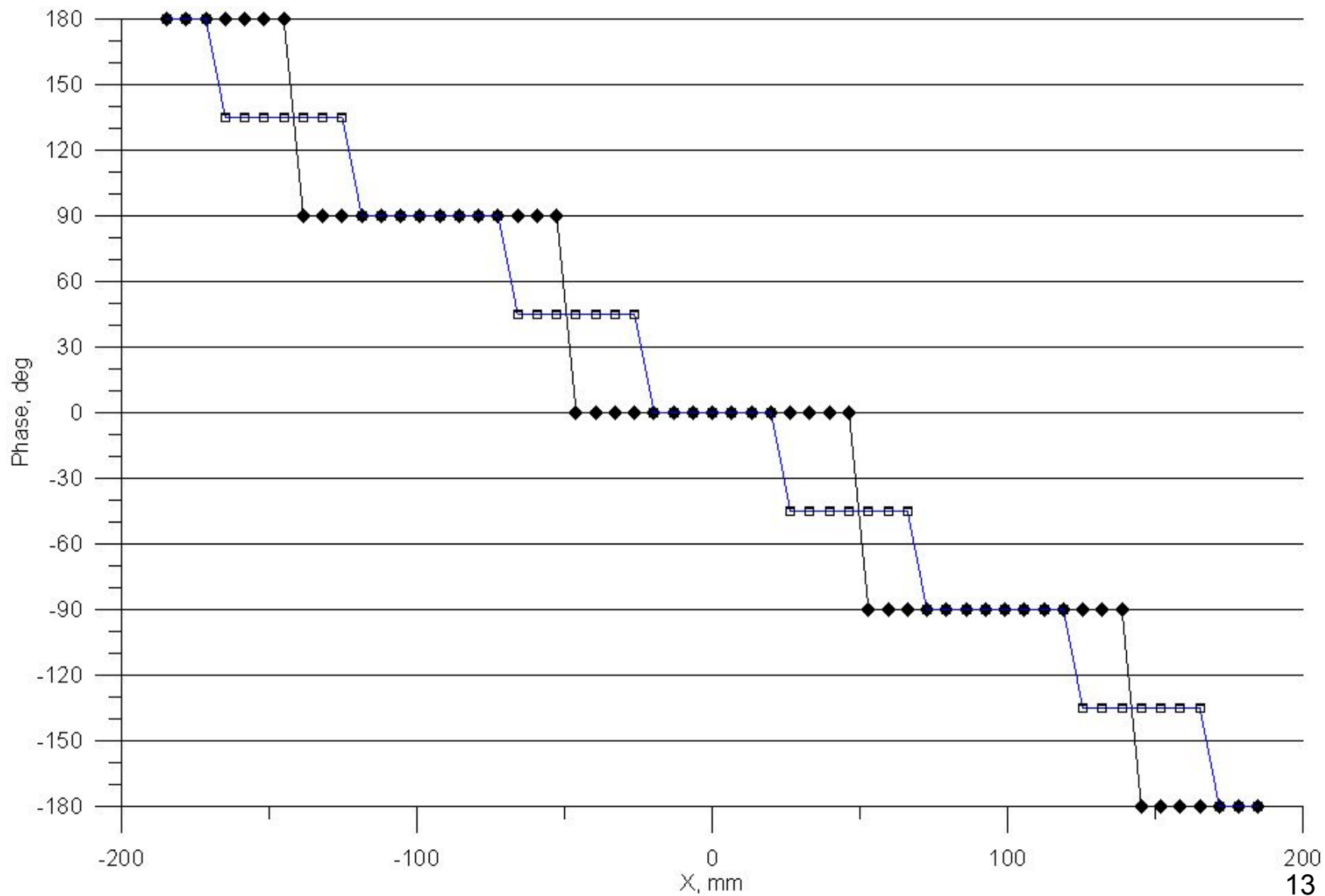
# Дискретизация фазы с шагом 90 градусов



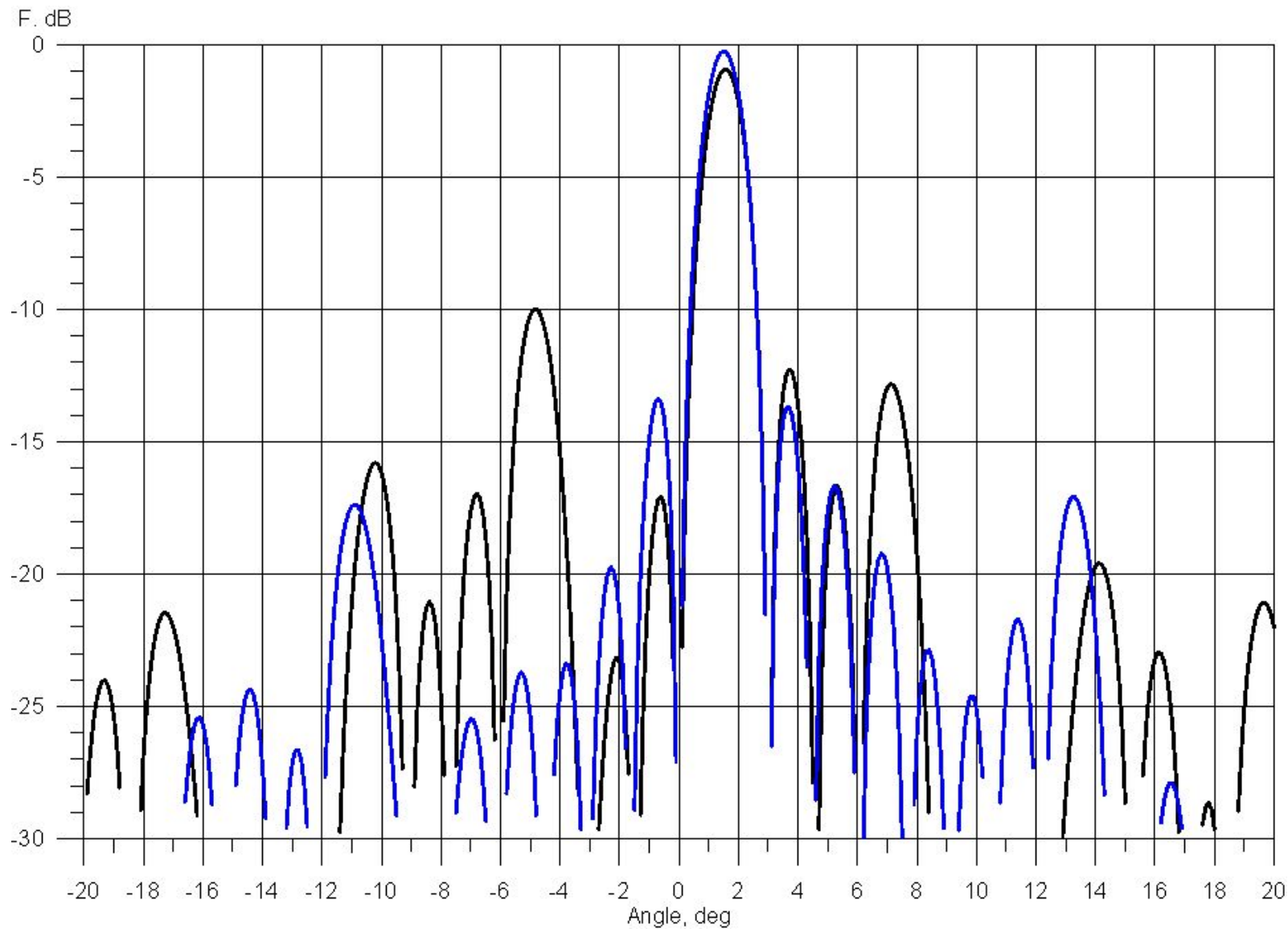
# Дискретизация фазы с шагом 90 градусов



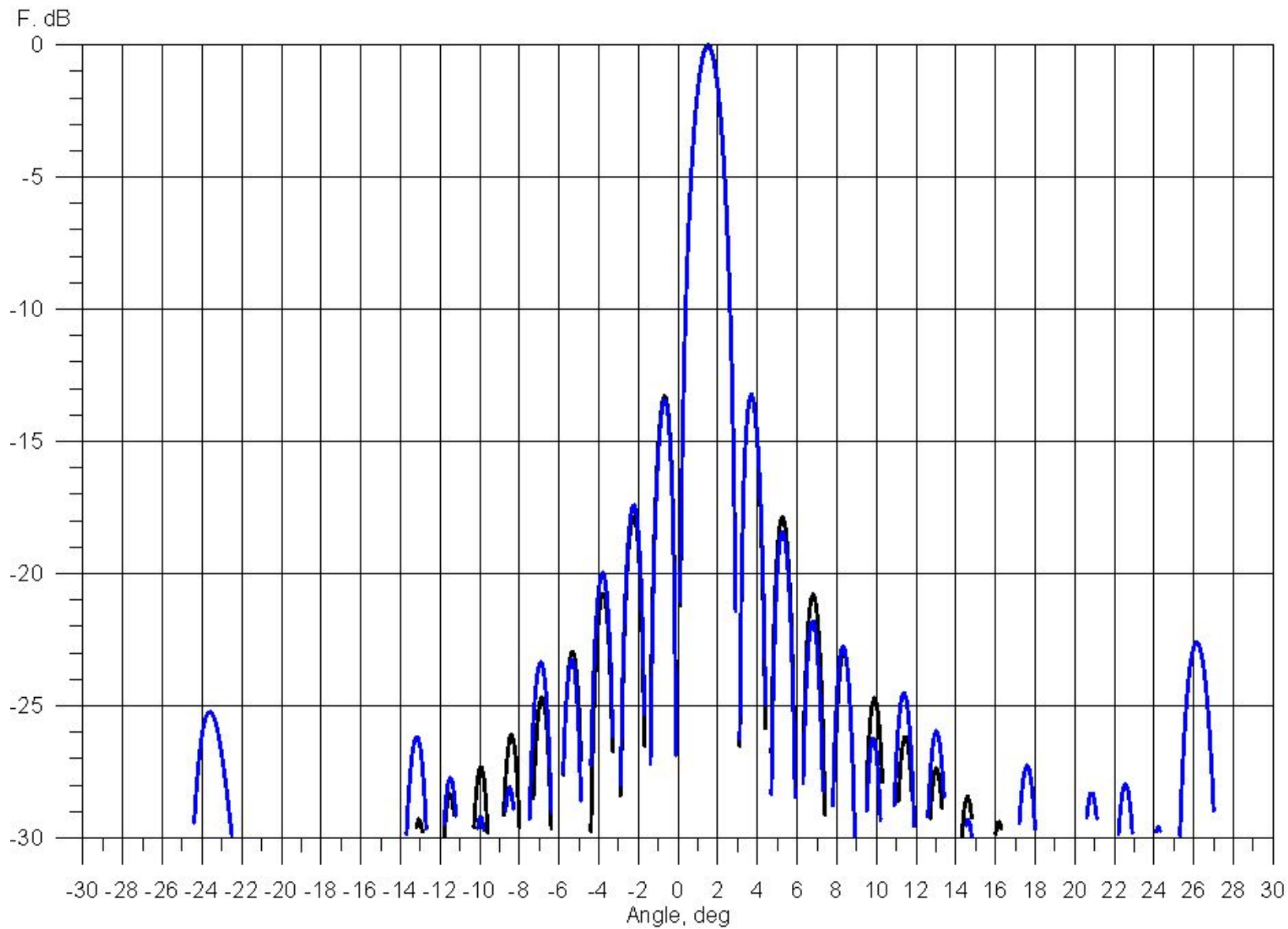
# Дискретизация фазы с шагом 45 градусов



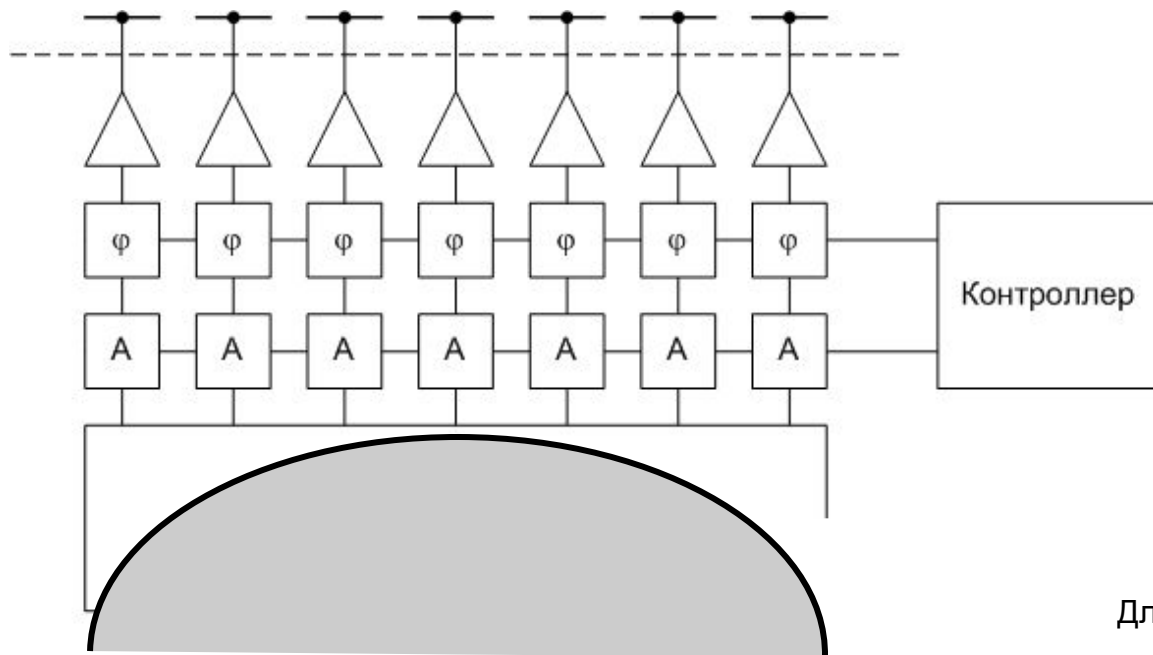
# Дискретизация фазы с шагом 45 градусов



# Дискретизация фазы с шагом 22.5 градусов



# Подавление лепестков квантования



Дополнительный фазовый набег  
(начальная фаза)

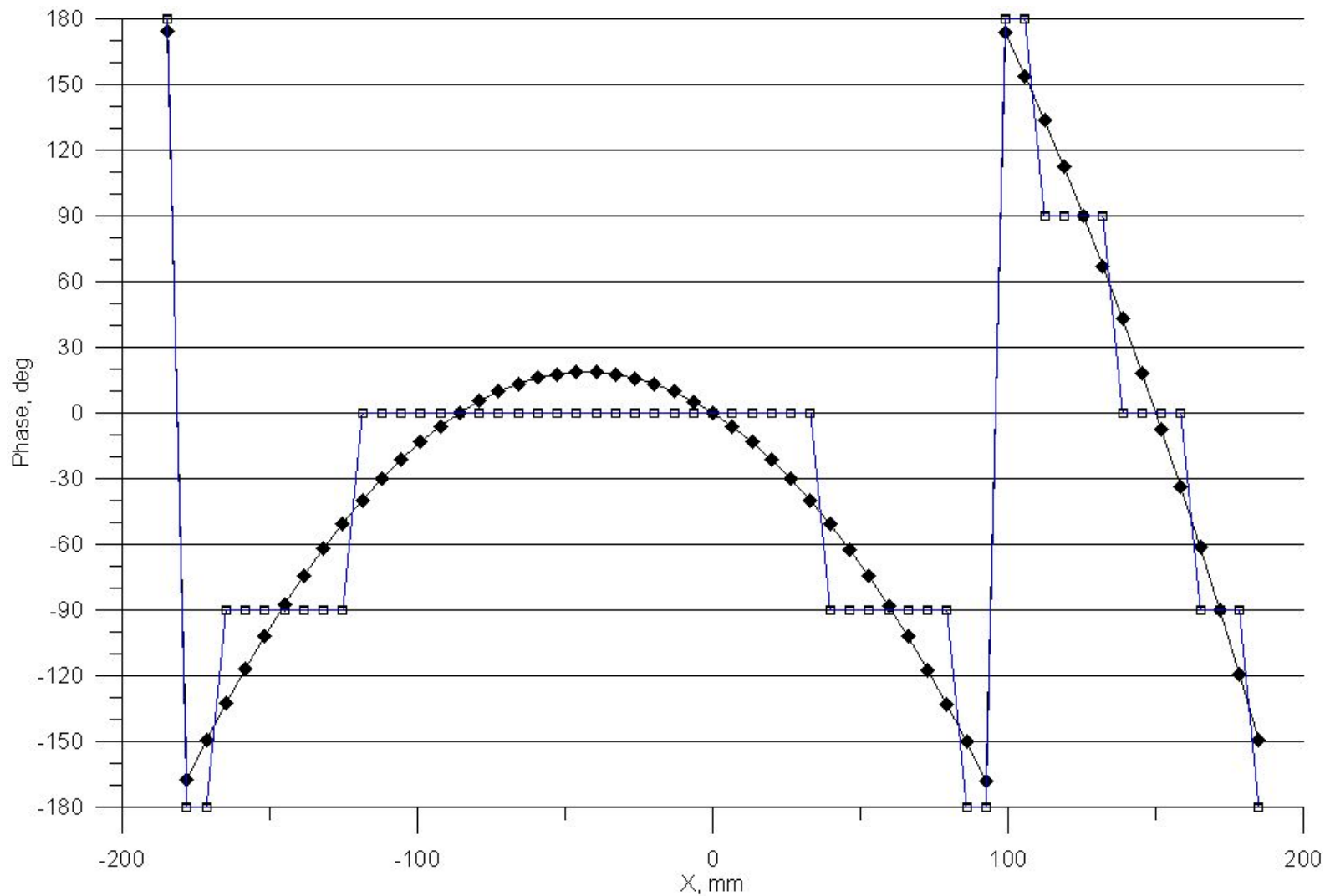
Для когерентного суммирования

$$\Psi_n = \frac{2\pi}{\lambda} (ux_n + vy_n) - \Psi_n^0$$

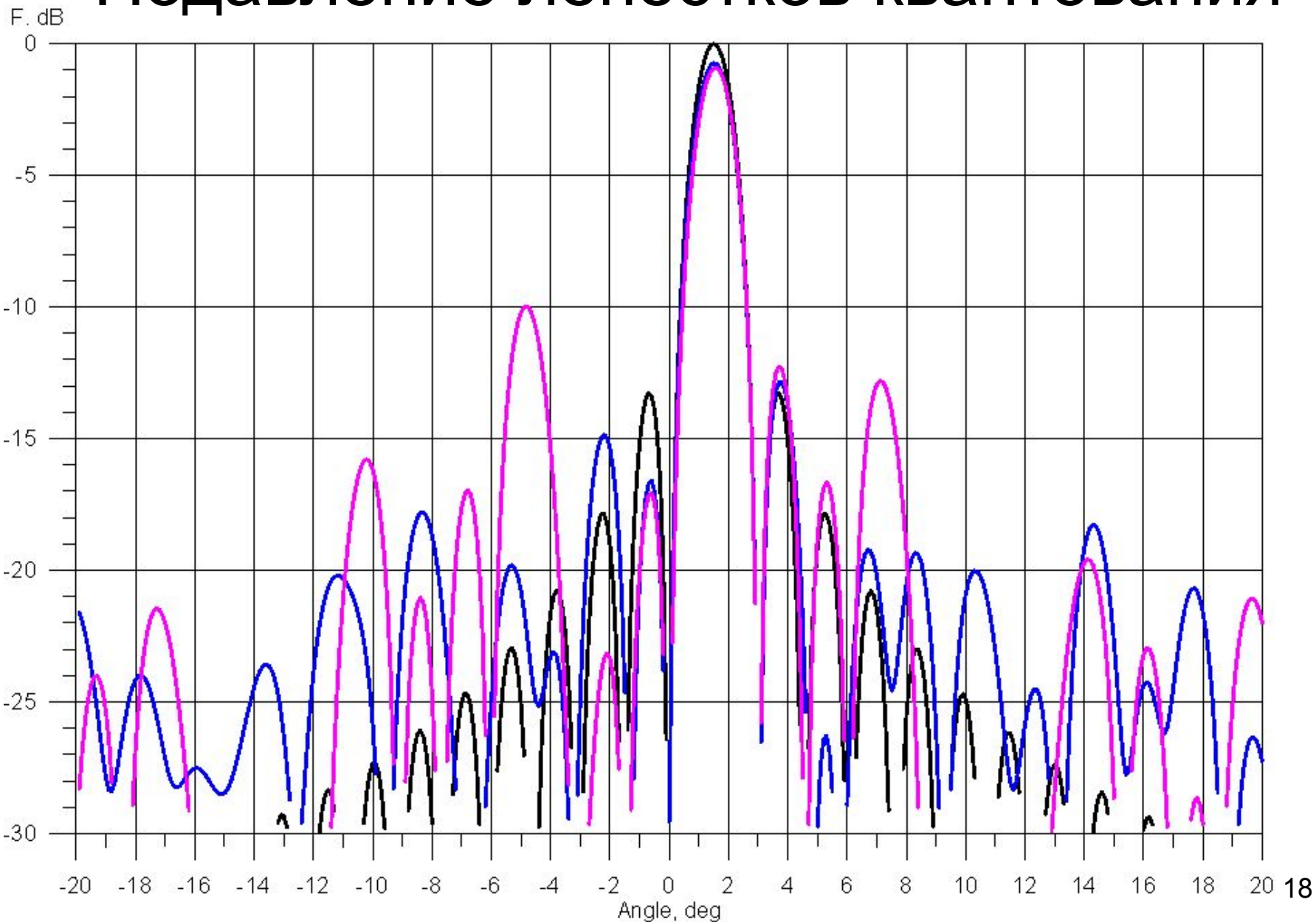
В формуле для вычисления управляемой фазы появляется дополнительный член, связанный с т.н. начальной фазой



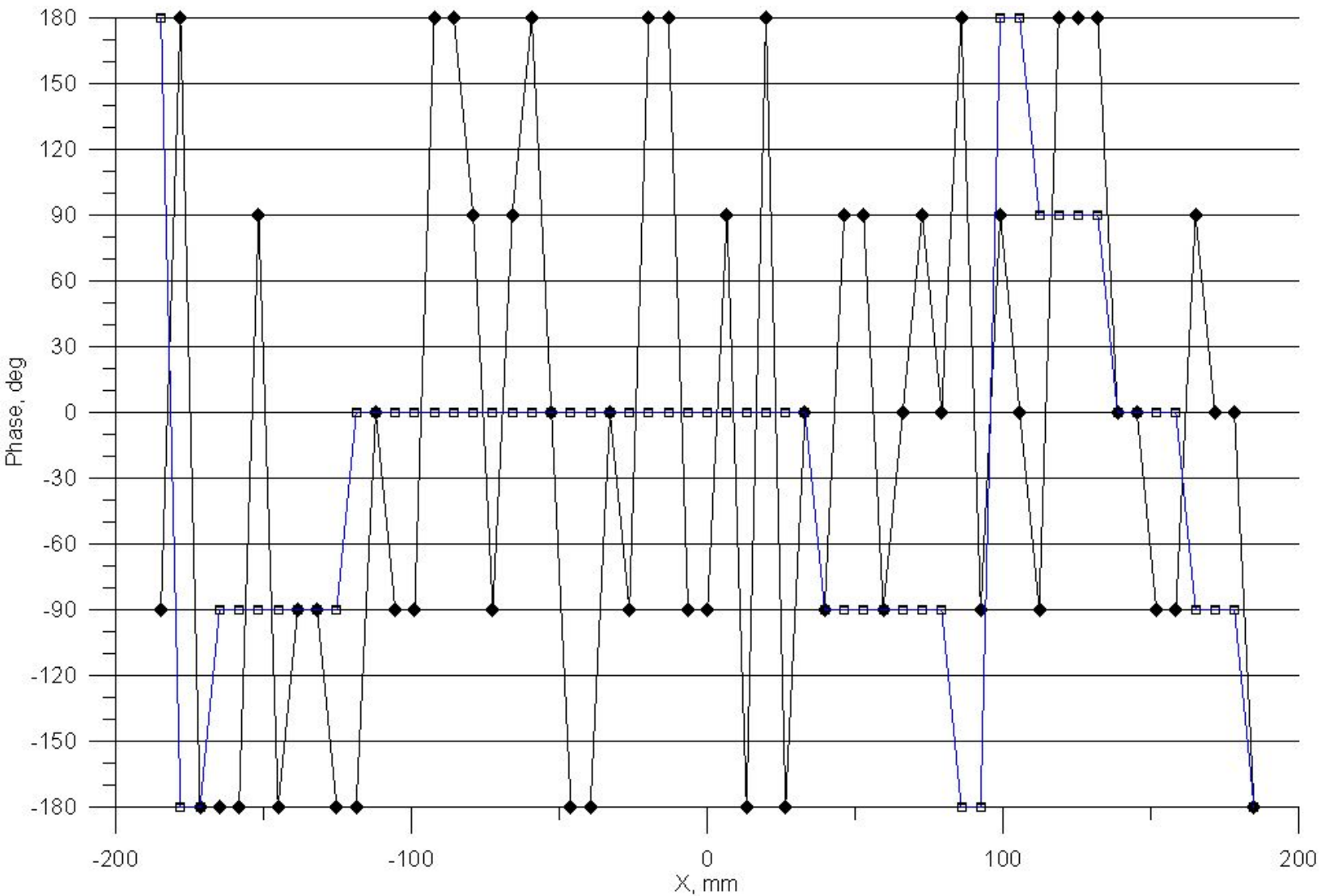
# Подавление лепестков квантования



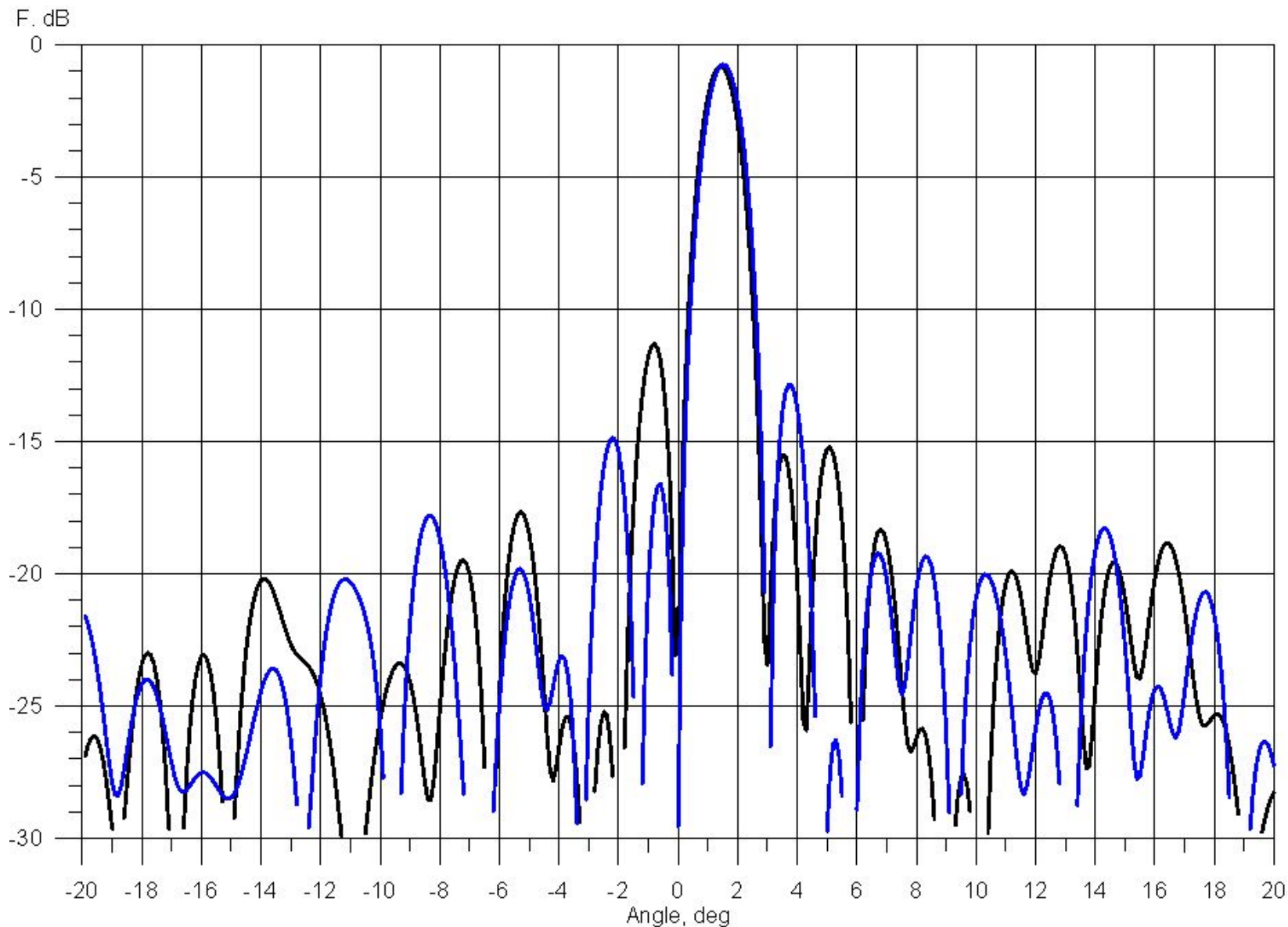
# Подавление лепестков квантования



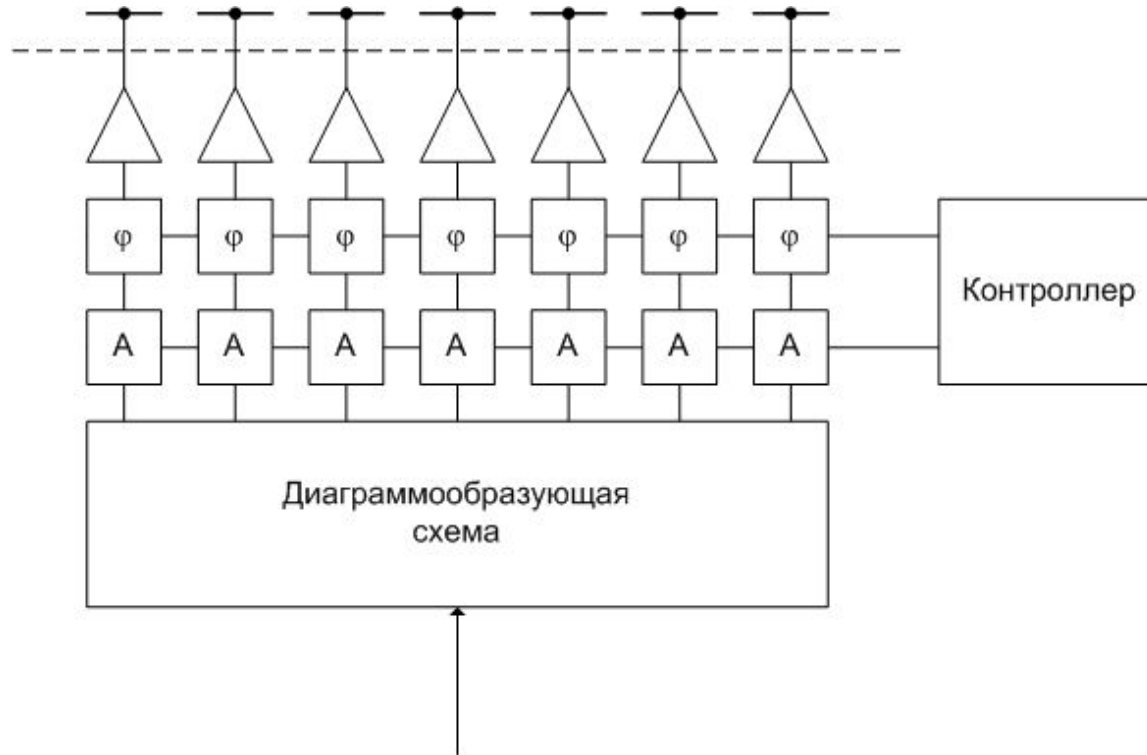
# Подавление случайным шумом



# Подавление случайным шумом



# Фазовые набегки исходно случайны



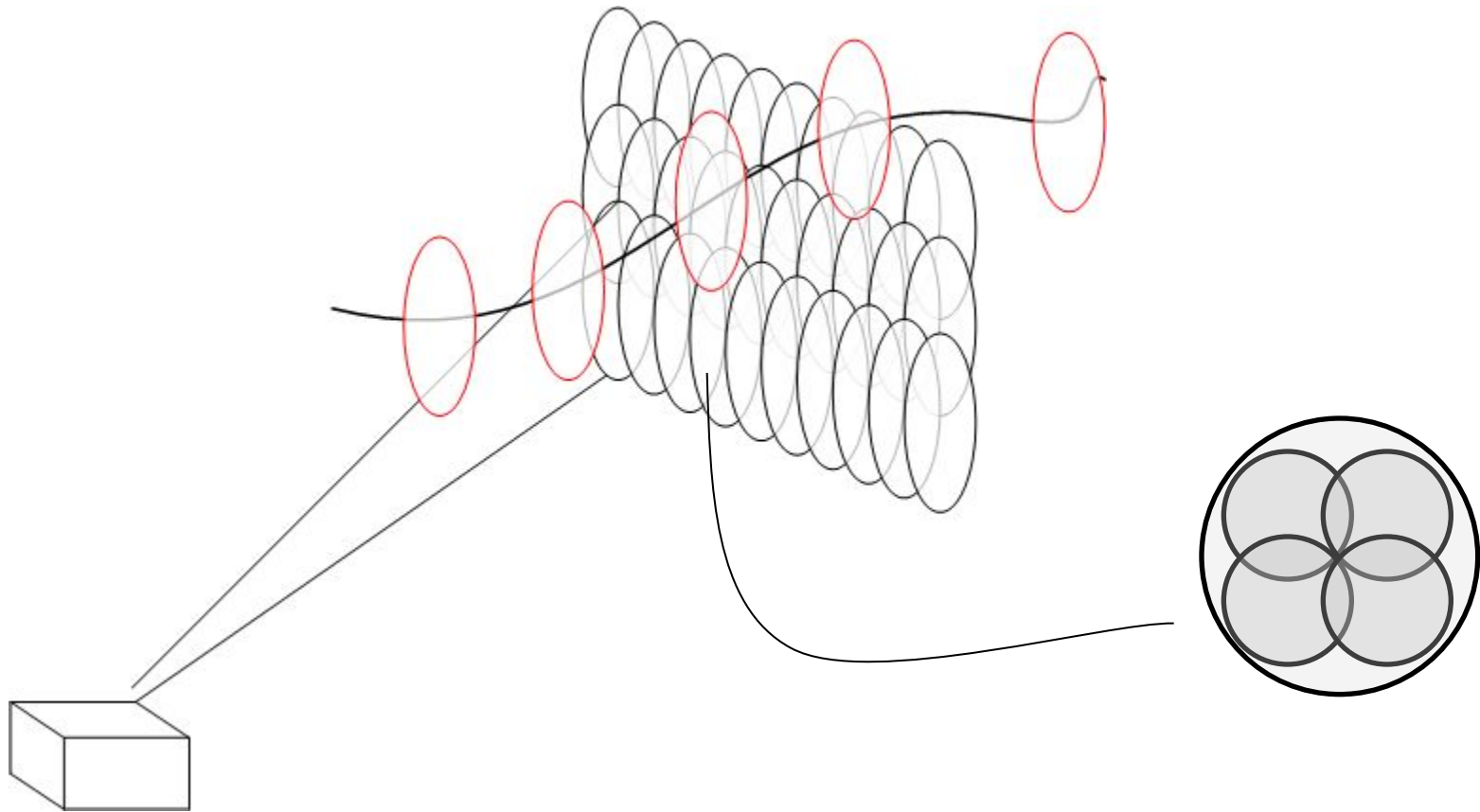
# Формирование остронаправленного луча (лучей)

- Традиционные методы
- Расширение луча
- Метод Дольфа-Чебышева и др.

# Традиционные методы

- Амплитуда в раскрыве ФАР точно так же влияет на форму ДН, как и амплитуда в раскрыве крупноапертурной антенны
- Все выводы теории и техники крупноапертурных антенн в могут быть в первом приближении перенесены на ФАР

# Сканирование расширенным лучом





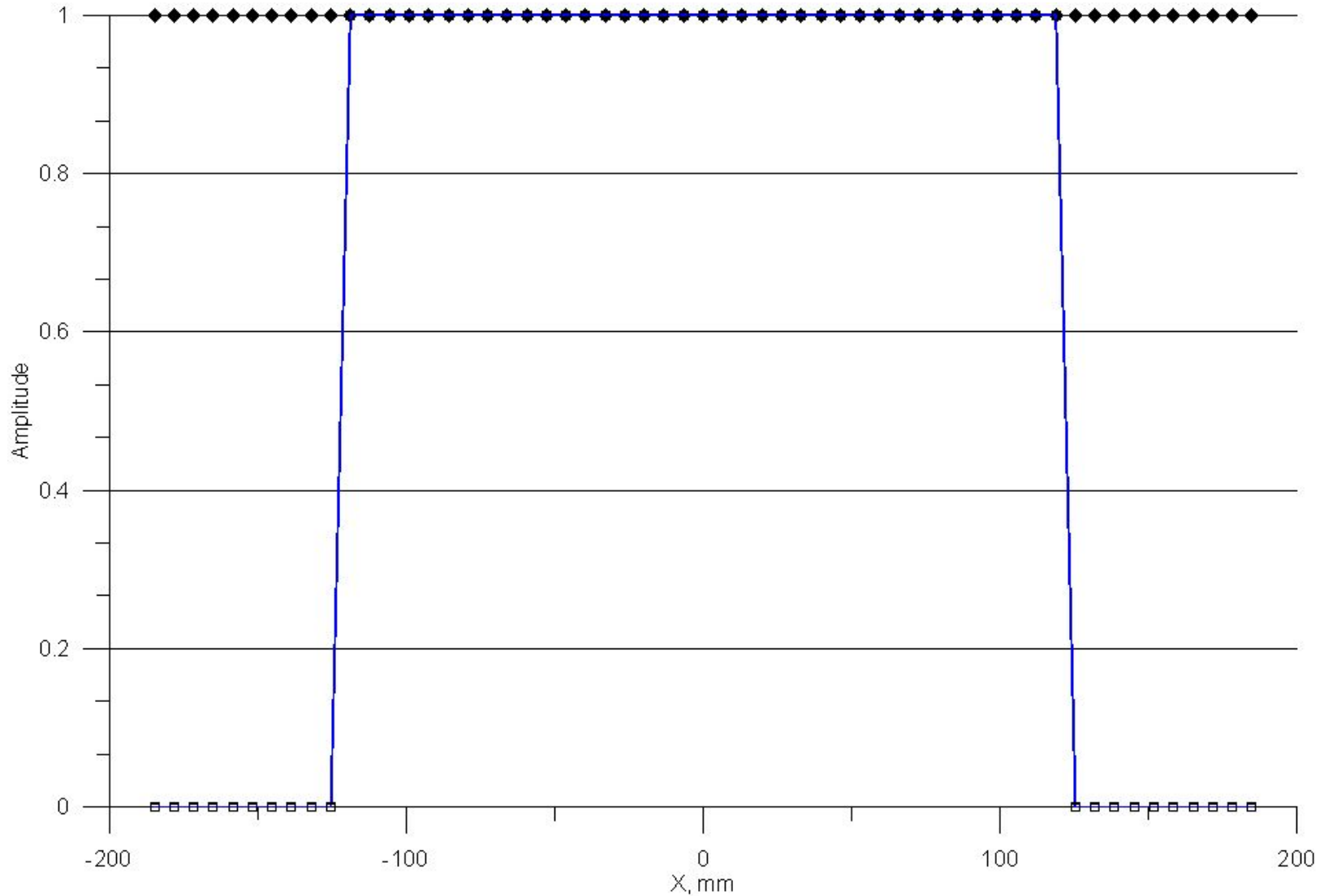
# Расширение луча

(преимущественно на передачу)

- Ширина луча должна увеличиться
- Энергетика должна остаться на приемлемом уровне
- Боковые лепестки должны остаться на приемлемом уровне
- Управление должно производиться только фазой

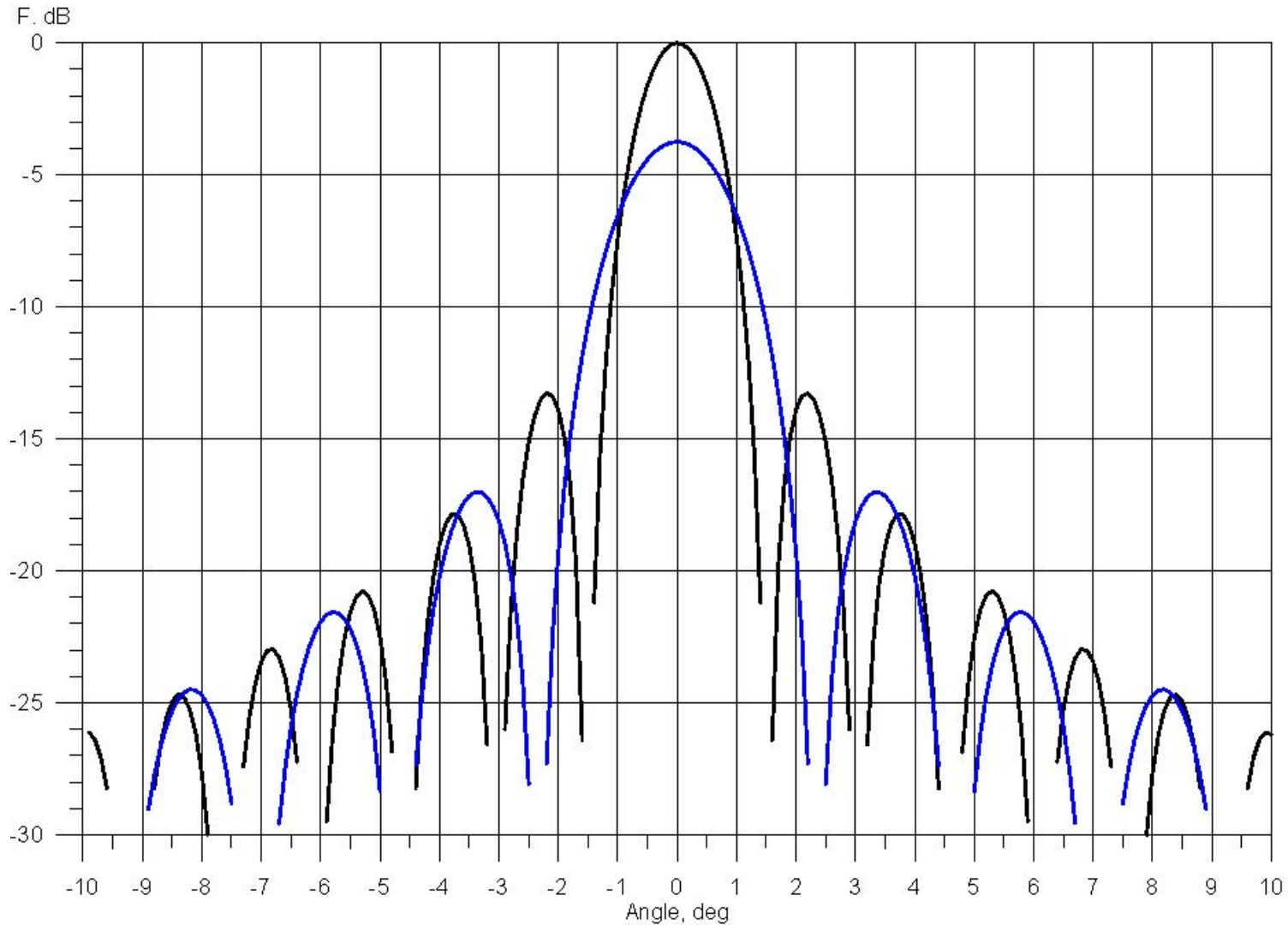
# Расширение луча

методом частичного отключения элементов



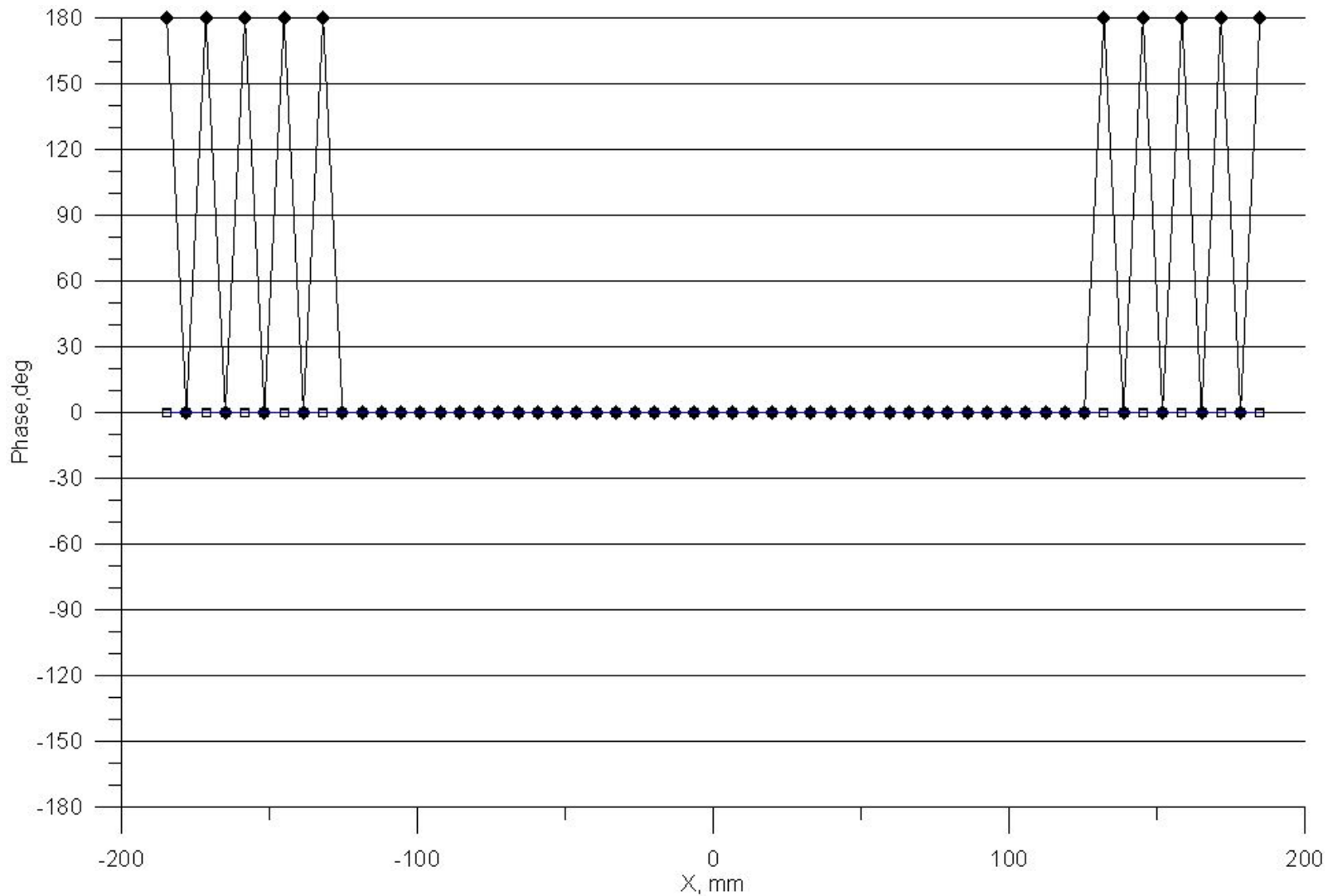
# Расширение луча

методом частичного отключения элементов



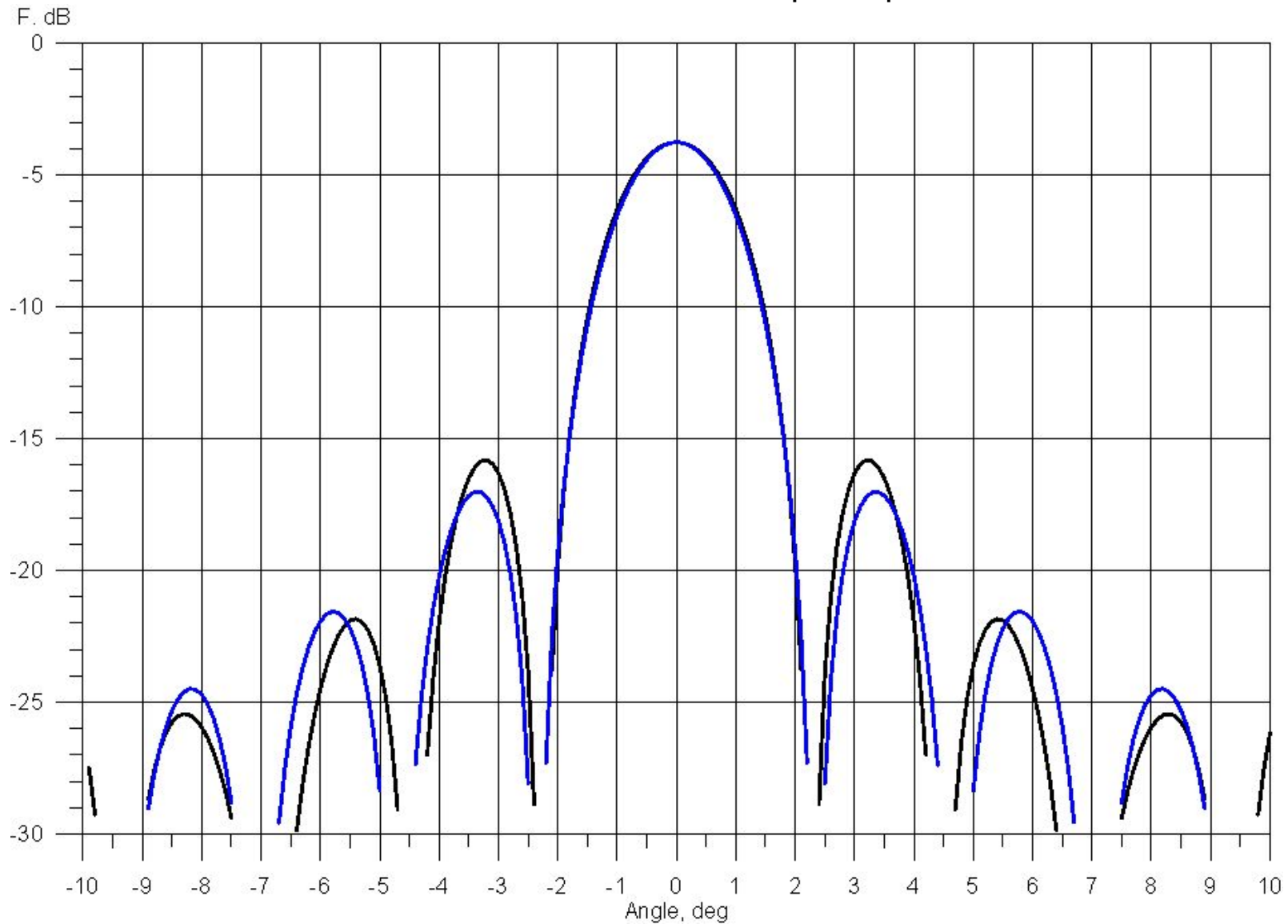
# Расширение луча

методом частичной инверсии фазы



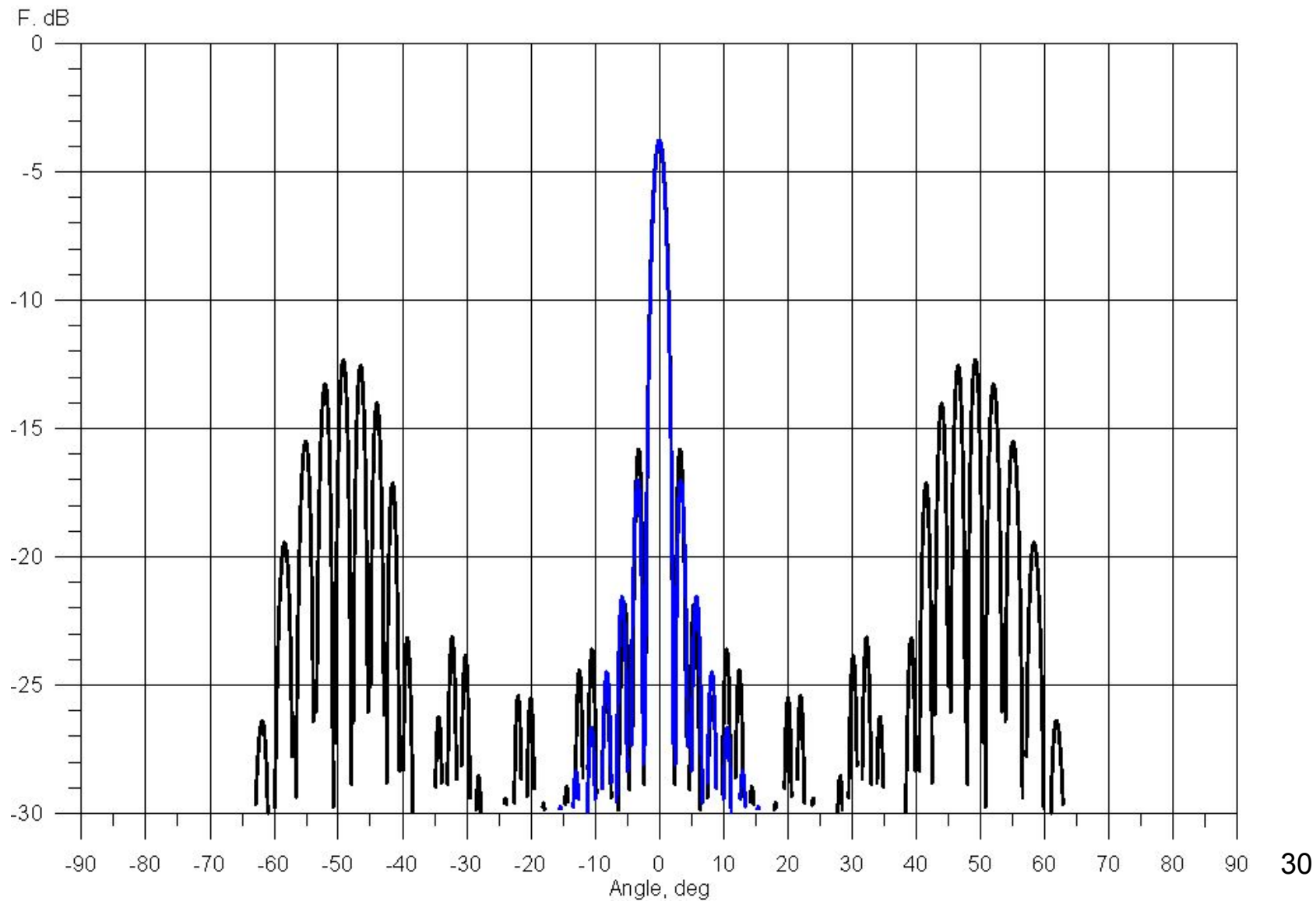
# Расширение луча

методом частичной инверсии фазы



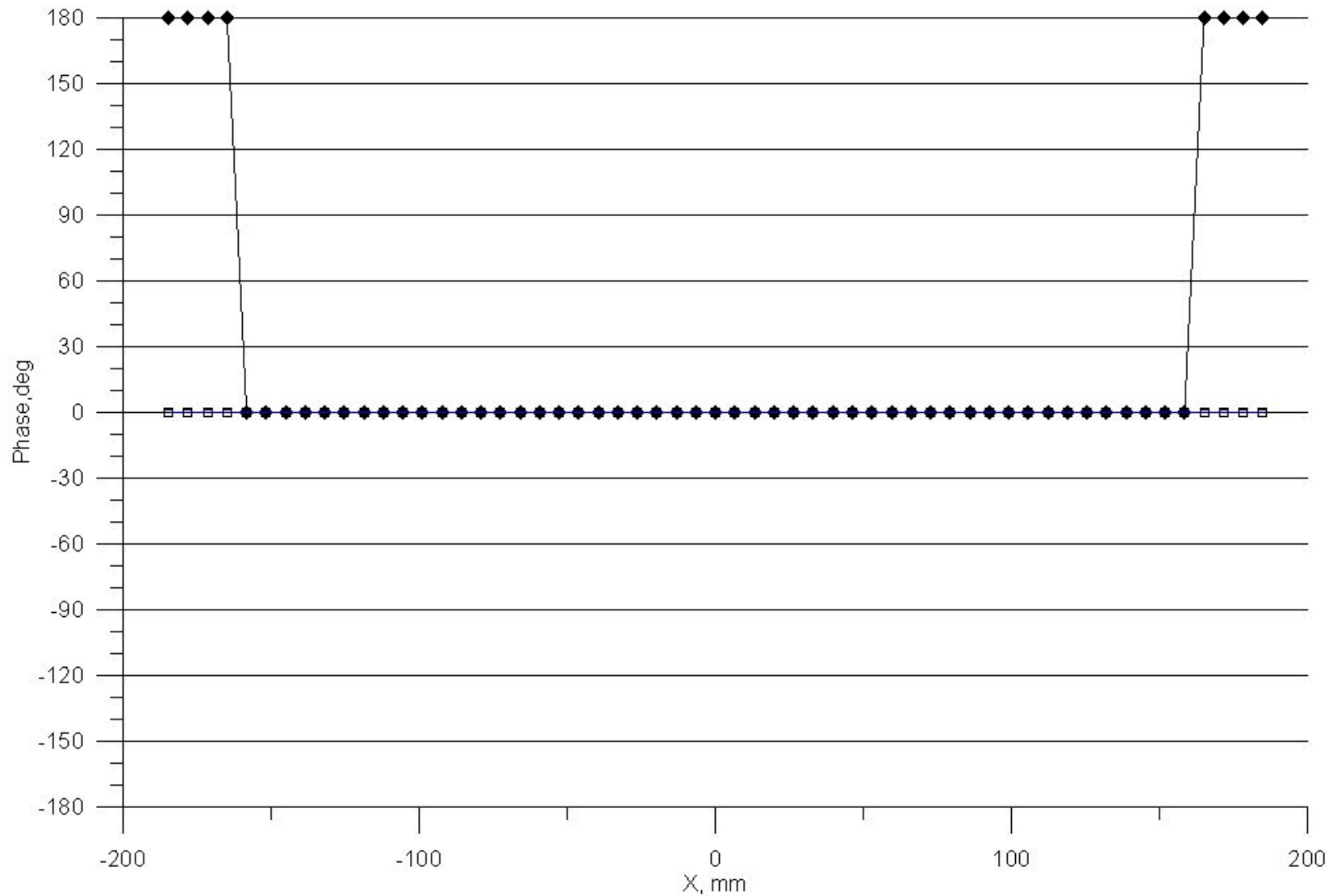
# Расширение луча

методом частичной инверсии фазы



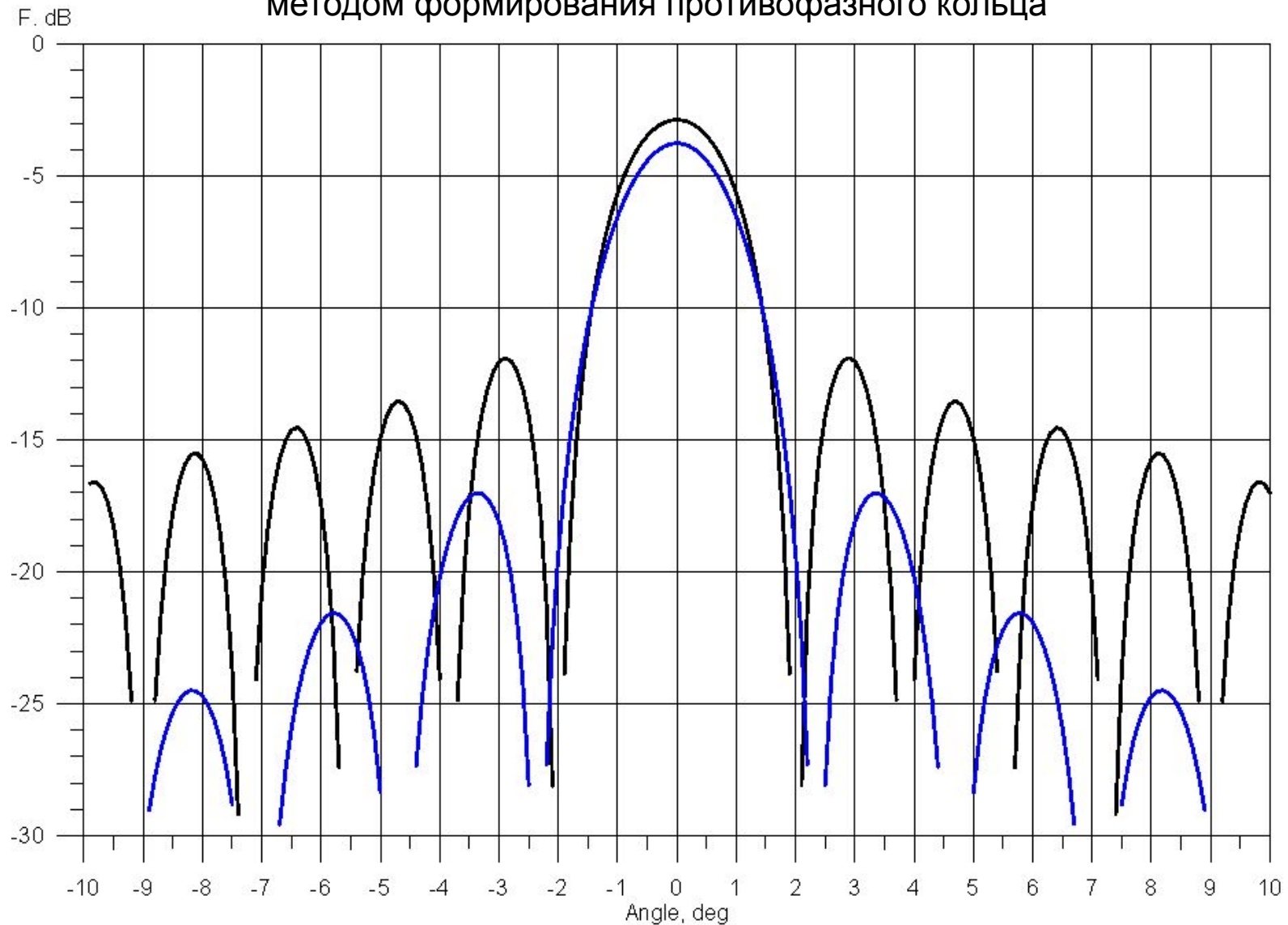
# Расширение луча

методом формирования противофазного кольца



# Расширение луча

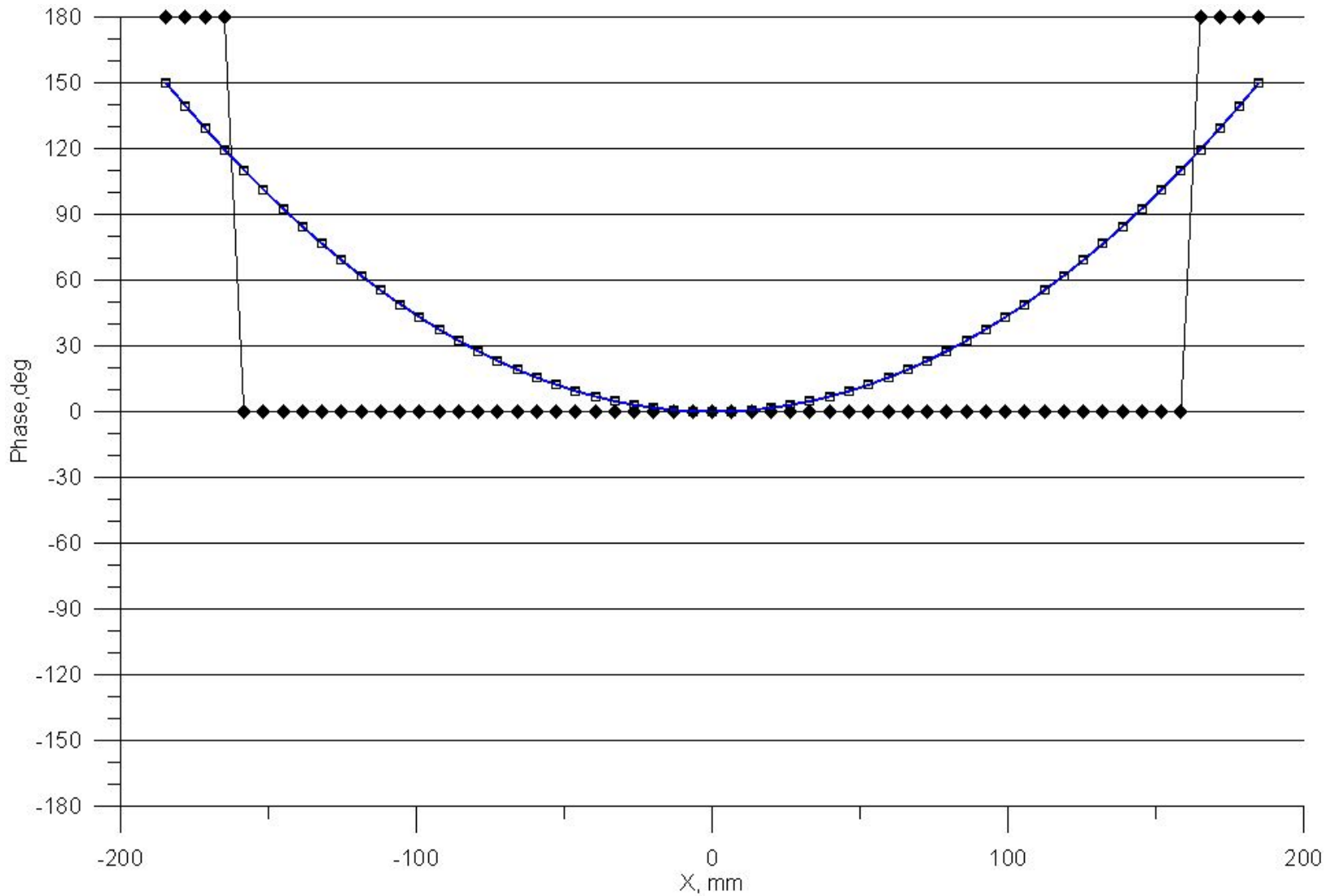
методом формирования противофазного кольца





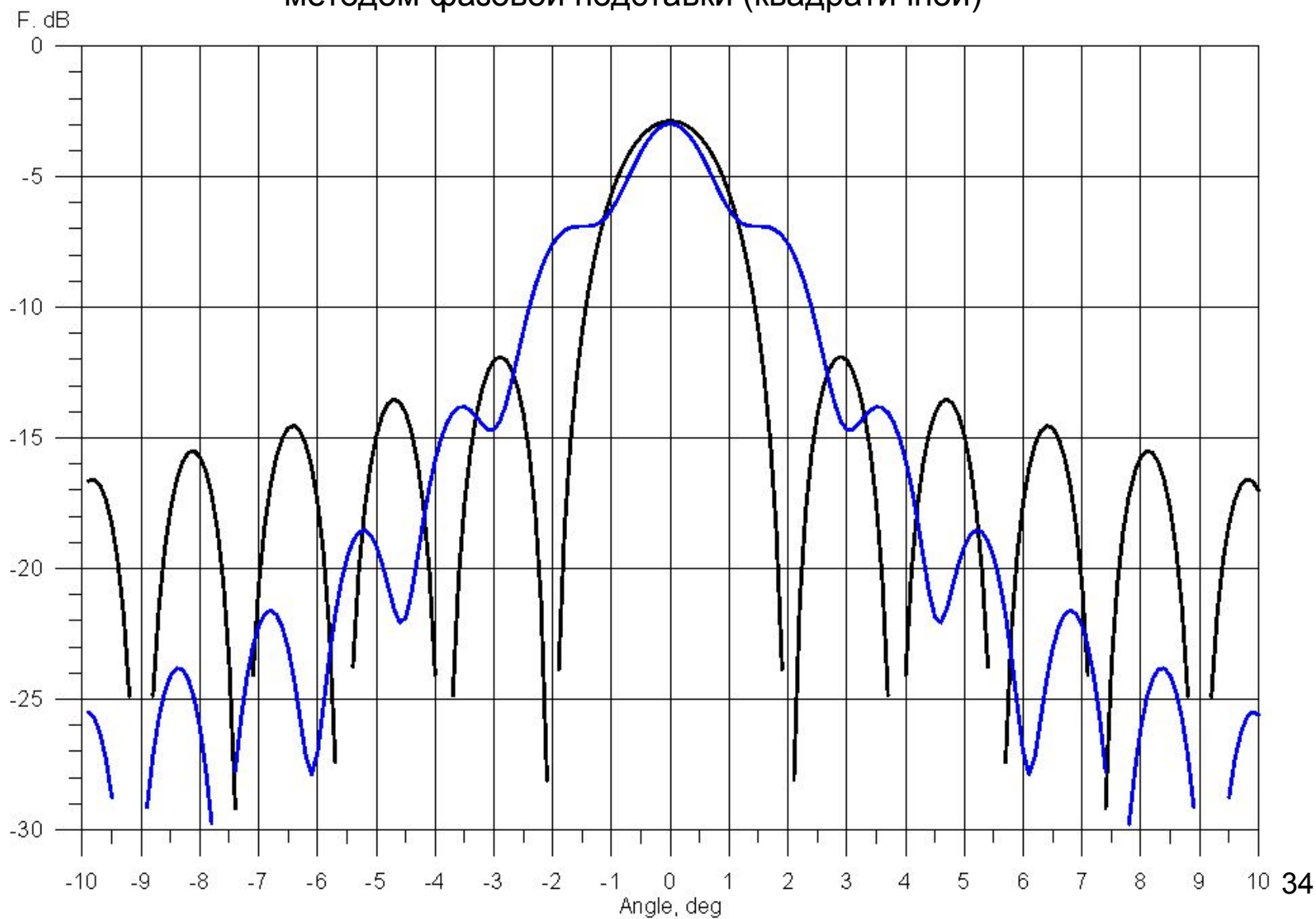
# Расширение луча

методом фазовой подставки (квадратичной)



# Расширение луча

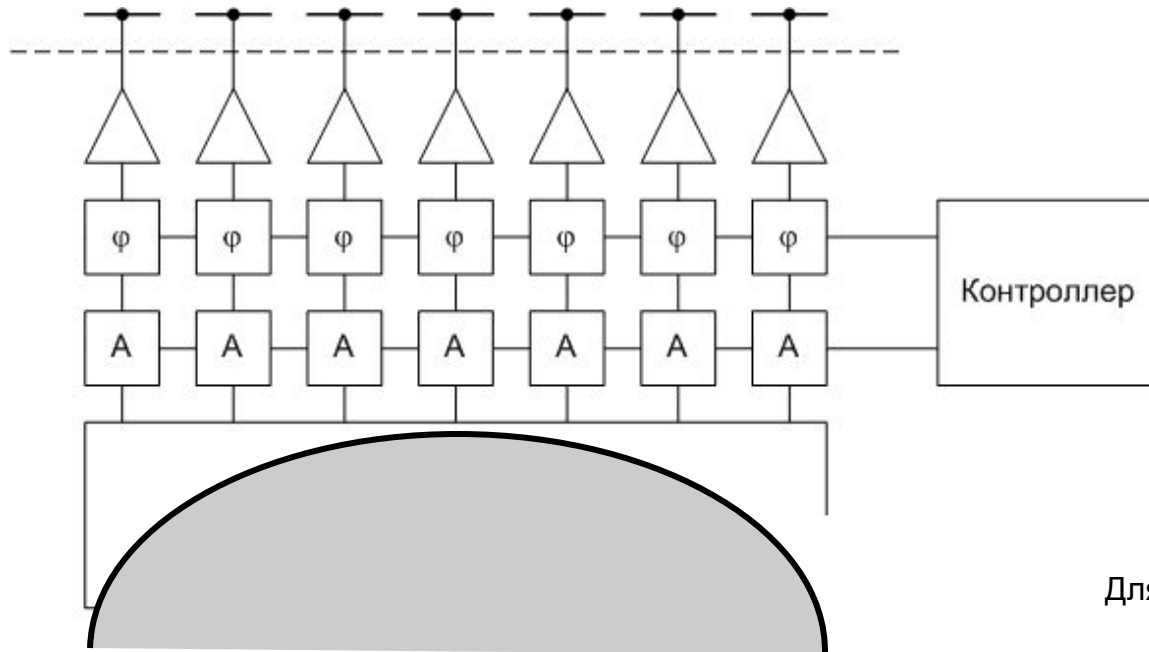
методом фазовой подставки (квадратичной)



# Расширение луча - выводы

- Возможно расширение луча отключением части каналов или чисто фазовым управлением
- Отключение каналов позволяет получить «чистую» форму диаграммы, но дает большой проигрыш в энергетике
- Чисто фазовые методы позволяют получить диаграммы по крайней мере не хуже по ширине и лучшие по энергетике
- Гладкое фазовое распределение потенциально дает меньший уровень бокового излучения и высокий уровень поля
- Расширение луча технически может осуществляться за счет использования фазовой маски, дополнительной к фазовому распределению, вычисляемому для отклонения луча.

# Формула для управления фазой



Дополнительный фазовый набег  
(начальная фаза)

Для когерентного суммирования с  
расширением

$$\Psi_n = \frac{2\pi}{\lambda} (ux_n + vy_n) - \Psi_n^0 + \Psi_n^{wide}$$

Вместе с членом начальной фазы появляется  
фазовая маска для расширения луча

# «Другие» методы диаграммоформирования

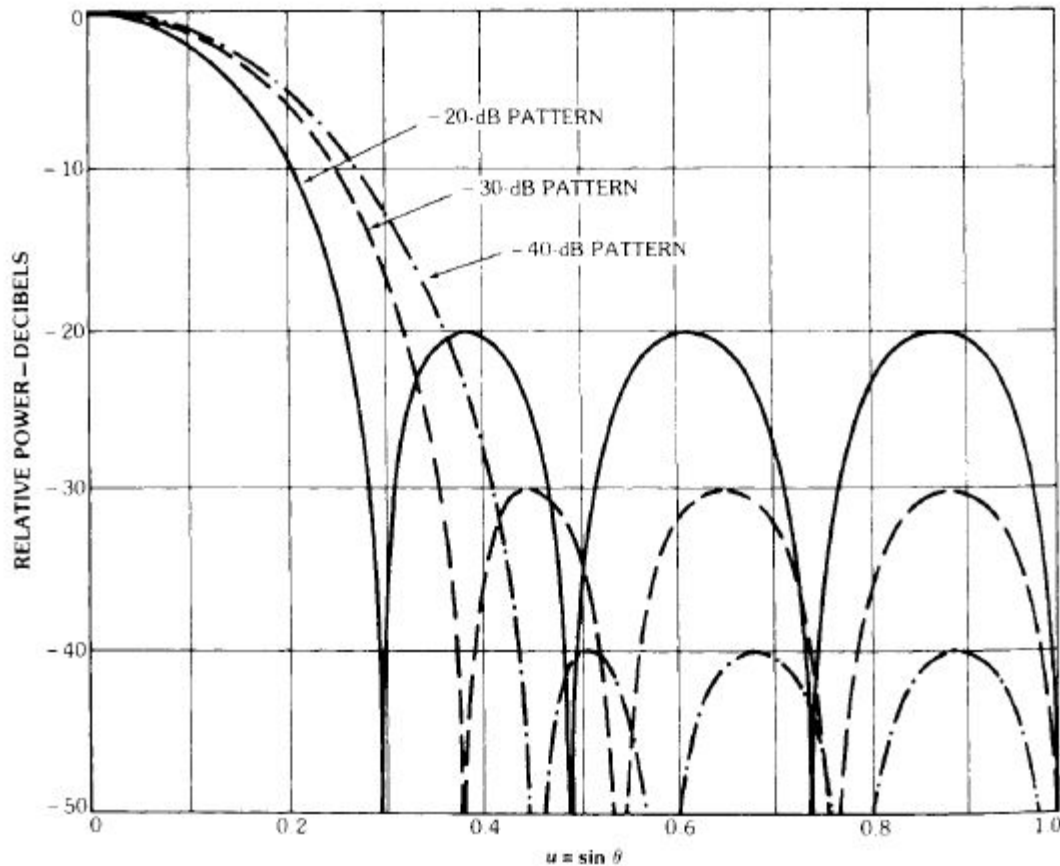
Монография Мэйлу упоминает следующие методы:

- Метод преобразования Фурье
- Представление Щелкунова
- Метод парциальных диаграмм
- Синтез по Дольфу-Чебышеву
- Синтез по Тэйлору
- ... и др

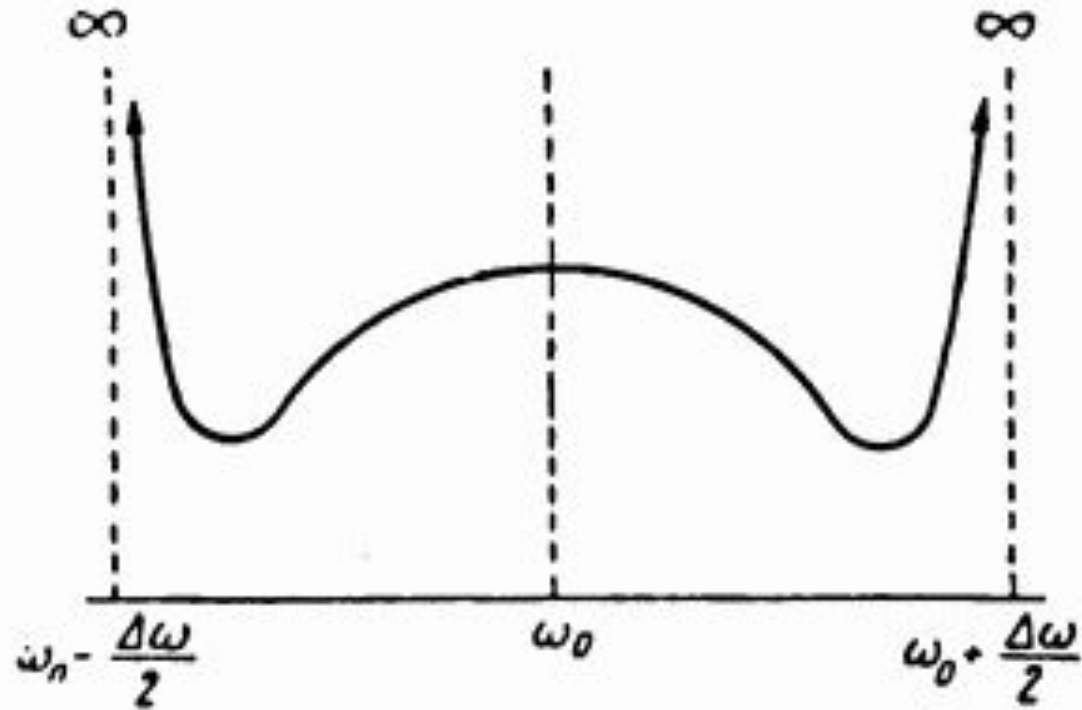
# Синтез по Дольфу-Чебышеву

- Впервые предложена Дольфом
- Использует полиномы Чебышева
- Обеспечивает самый узкий луч при заданном уровне равномерного бокового излучения

# Синтез по Дольфу-Чебышеву



# Синтез по Дольфу-Чебышеву





# Синтез по Дольфу-Чебышеву

- «Самый узкий луч» не значит «самый высокий КНД»
- Для больших антенн равномерный уровень БИ – это недостаток, а не благо