

# **ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ (ФАР)**



# ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА

- антенная решётка с управляемыми фазами или разностями фаз (фазовыми сдвигами) волн, излучаемых (или принятых) её элементами. Фазирование позволяет, напр., формировать необходимую диаграмму направленности, управлять её положением и формой. Используется в наземных и космических устройствах радиосвязи, радиолокации, радиоастрономии и т. д.

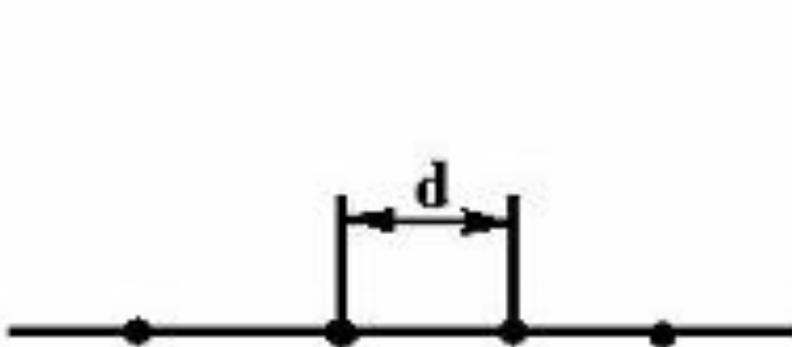


## КЛАССИФИКАЦИЯ.

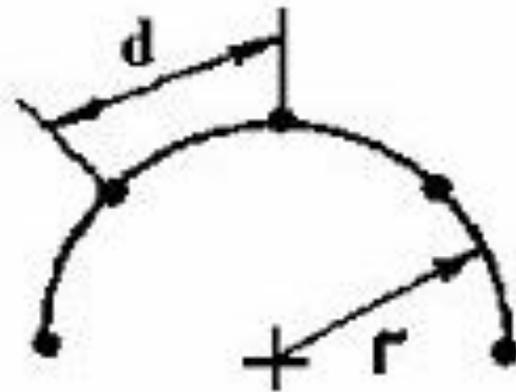
АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ МОГУТ БЫТЬ КЛАССИФИЦИРОВАНЫ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОСНОВНЫМ ПРИЗНАКАМ:

геометрия расположения излучателей в пространстве

- Линейные (а)
- Дуговые (б)



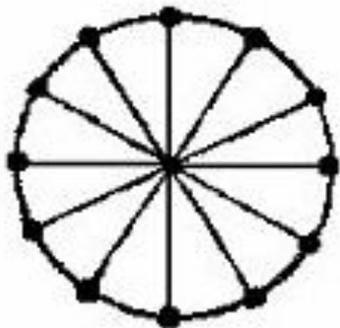
а)



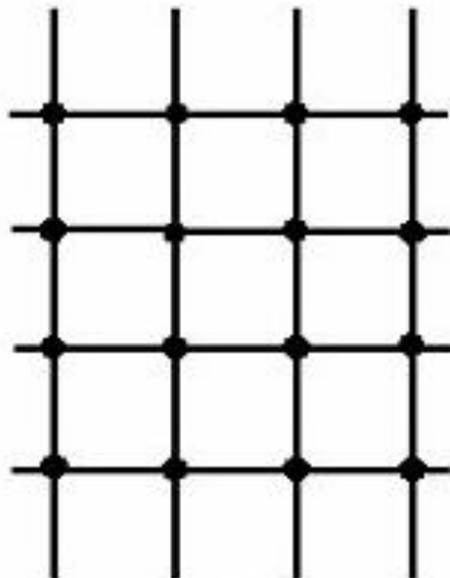
б)



- Кольцевые (в)
- Плоские (г)



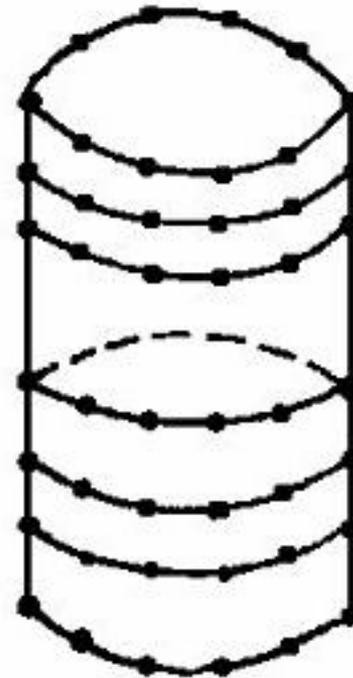
в)



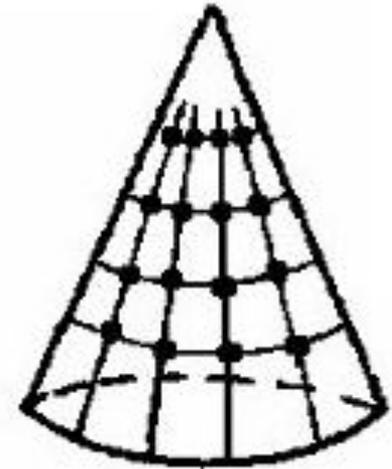
г)



- с прямоугольной сеткой размещения
- с косоугольной сеткой размещения
- выпуклые
- Цилиндрические (д)
- Конические (е)
- Сферические (ж)



д)



е)

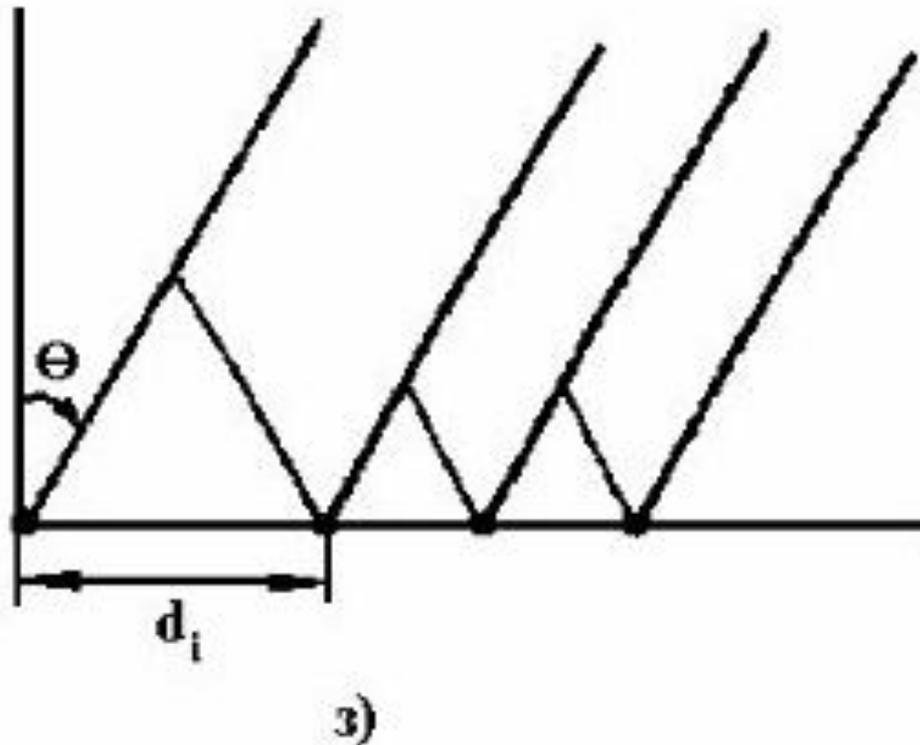


ж)

- пространственные
- способ возбуждения
- с последовательным питанием
- с параллельным питанием
- с комбинированным (последовательно-параллельным)
- с пространственным (оптическим, «эфирным») способом возбуждения
- закономерность размещения излучающих элементов в самой решётке
- эквидистантное размещение



- неэквидистантное размещение (з)
- способ обработки сигнала
- амплитудо-фазовое распределение токов (поля) по решётке
- тип излучателей



## ***Обработка сигнала:***

В питающем антенную решётку тракте (*фидере*) возможна различная пространственно-временная обработка сигнала. Изменение фазового распределения в решётке с помощью системы фазовращателей в питающем тракте позволяет управлять максимумом диаграммы направленности. Такие решётки называют фазированными антенными решётками (*ФАР*). Если к каждому излучателю *ФАР*, или к группе подключается усилитель мощности, генератор, или преобразователь частоты, то такие решётки называются активными фазированными антенными решётками (*АФАР*).



## *Адаптивные АР:*

Приёмные антенные решётки с саморегулируемым амплитудно-фазовым распределением в зависимости от помеховой обстановки называют адаптивными. Приёмные антенные решётки с обработкой сигнала методами когерентной оптики называются радиооптическими. Приёмные антенные решётки, в которых обработка ведётся цифровыми процессорами, называются цифровыми антенными решётками.



## *Совмещённые антенные решётки:*

Совмещённые антенные решётки имеют в своём раскрыве два, или более типа излучателей, каждый из которых работает в своём частотном диапазоне.

## *Многолучевые антенные решётки :*

Антенные решётки, формирующие с одного излучающего раскрыва несколько независимых (ортогональных) лучей и имеющие соответствующее число входов, называются многолучевыми.



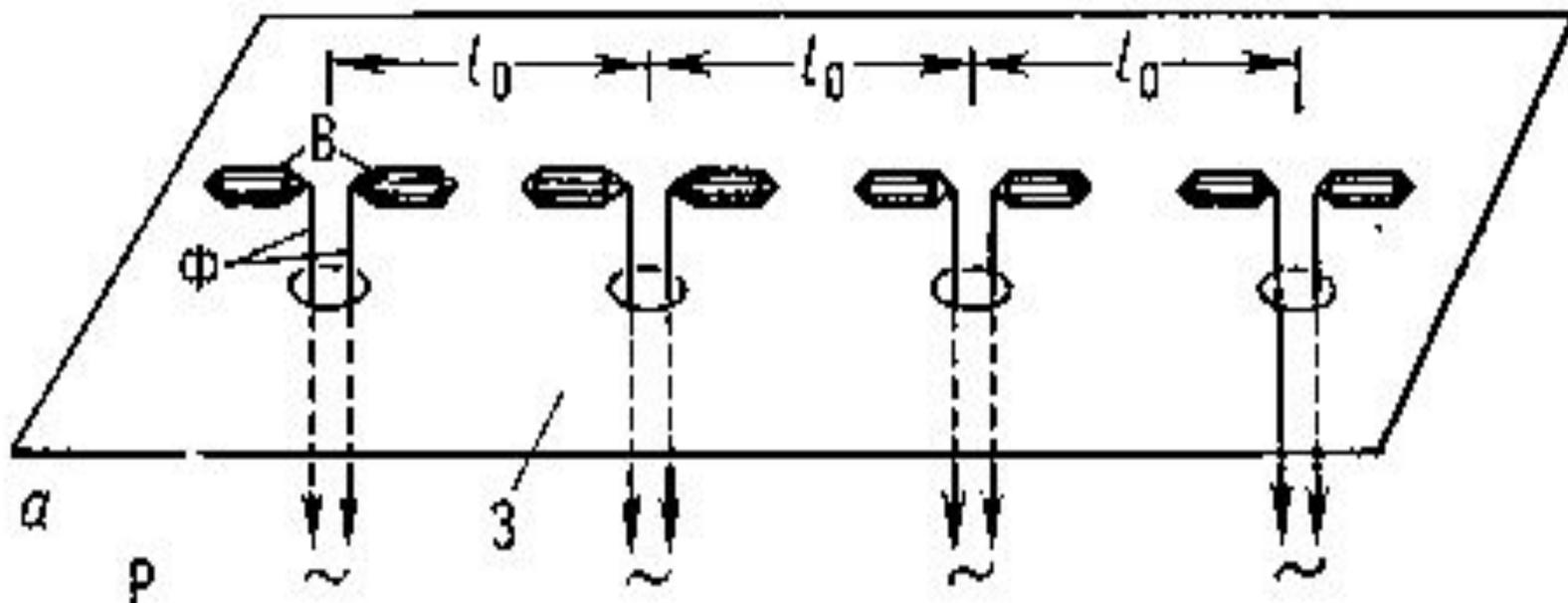
## *По виду амплитудного распределения*

*В зависимости от соотношения амплитуд токов возбуждения различают решётки с:*

- равномерным
- экспоненциальным
- симметрично спадающим относительно центра амплитудным распределением. Если фазы токов излучателей изменяются вдоль линии их размещения по линейному закону, то такие решётки называют решётками с линейным фазовым распределением. Частным случаем таких решёток являются синфазные решётки, у которых фазы тока всех элементов одинаковы.



**СТРУКТУРА ФАР:** СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ НЕКОТОРЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК (ФАР) — ЛИНЕЙНОЙ ЭКВИДИСТАНТНОЙ С СИММЕТРИЧНЫМИ ВИБРАТОРАМИ И ОБЩИМ ЗЕРКАЛОМ (А)

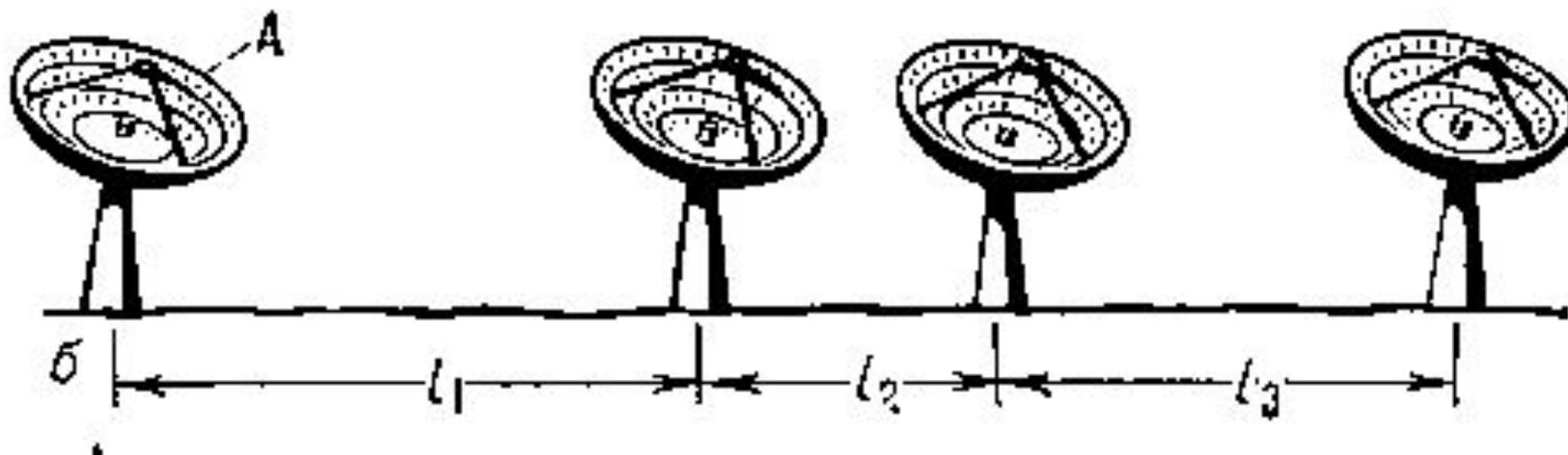


В — вибраторы; Ф — линии возбуждения (фидеры); З — токопроводящее зеркало (рефлектор)

$l_0$  — расстояние между В



ЛИНЕЙНОЙ НЕЭКВИДИСТАНТНОЙ С ПОЛНОПОВОРОТНЫМИ  
ЗЕРКАЛЬНЫМИ ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ АНТЕННАМИ (Б)

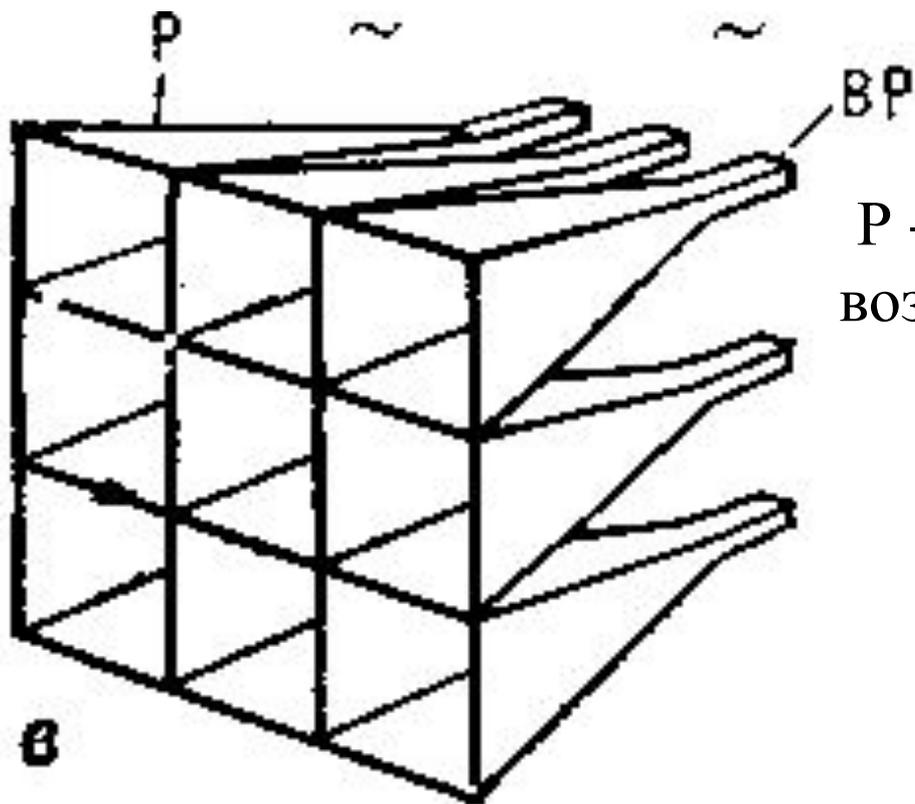


A — зеркальные антенны

$l_1, l_2, l_3$  — расстояния между A



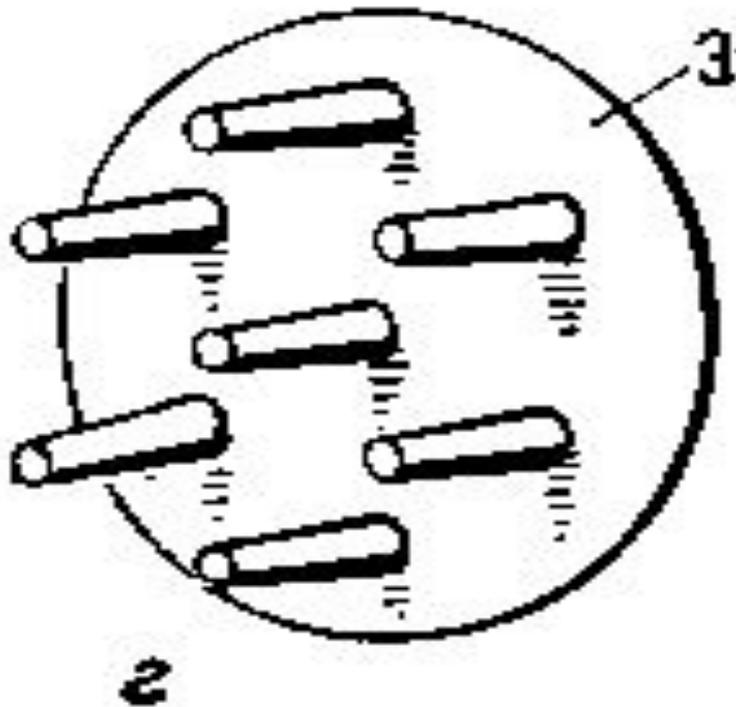
ПЛОСКОЙ С ПРЯМОУГОЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ  
РУПОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ (в)



P — рупоры; ВР —  
возбуждающие радиоволны



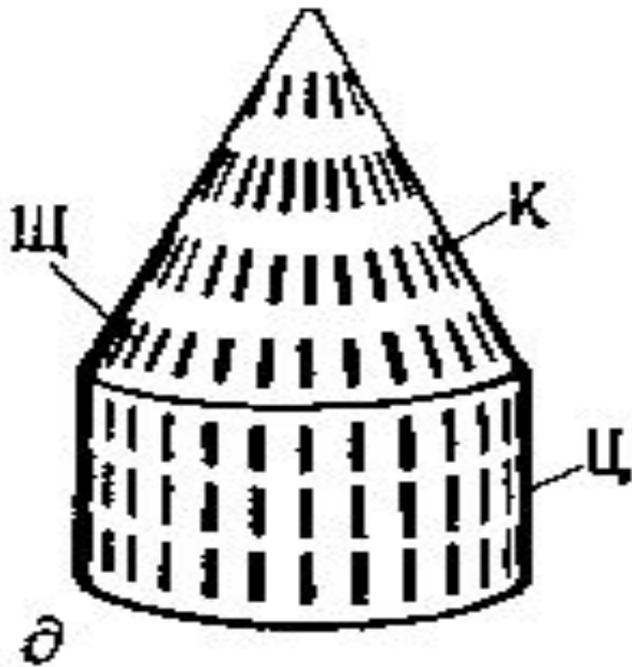
ПЛОСКОЙ С ГЕКСАГОНАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ (Г)



Э — металлический экран



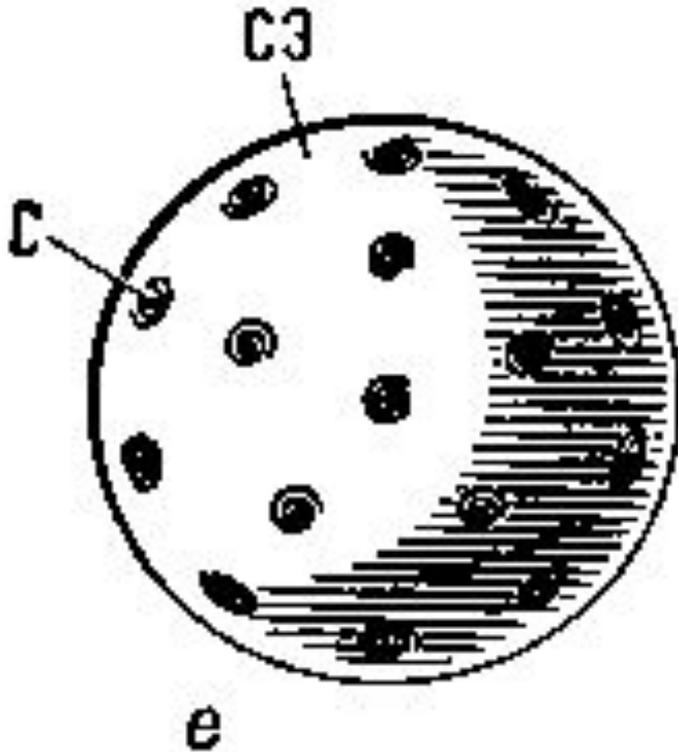
## КОНФОРМНОЙ С ЩЕЛЕВЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ (д)



Щ — щелевые излучатели; К —  
коническая ФАР; Ц —  
цилиндрическая ФАР



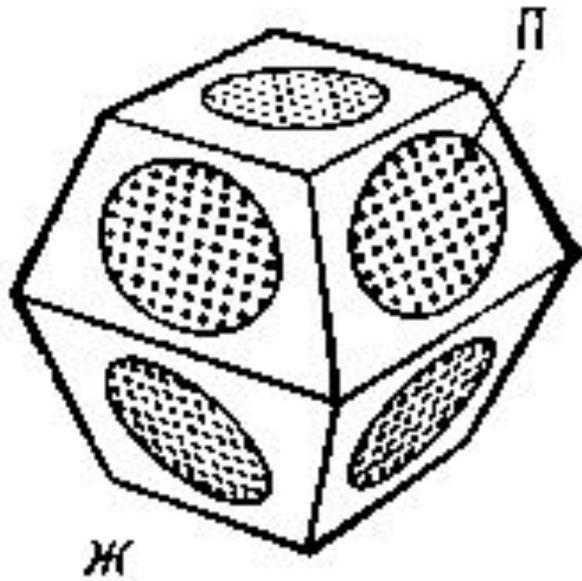
# СФЕРИЧЕСКОЙ СО СПИРАЛЬНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ (Е)



С — спиральные  
излучатели; СЭ —  
сферический экран



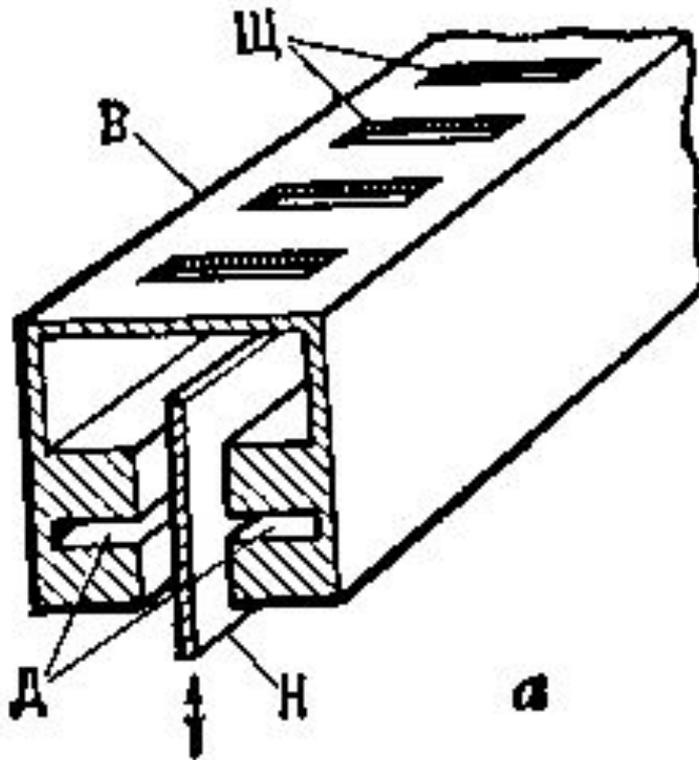
# СИСТЕМЫ ПЛОСКИХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК (Ж)



П — плоские фазированные антенные решетки (точками обозначены излучатели)



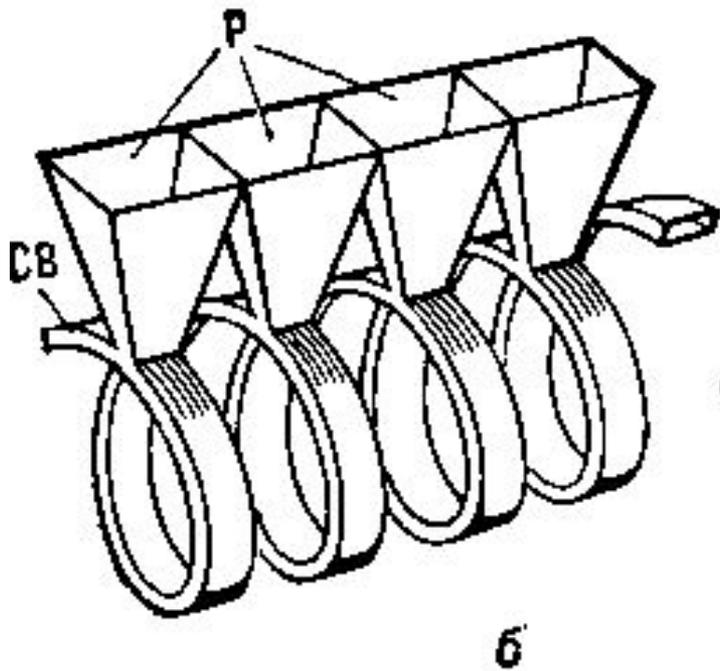
# ПРИМЕРЫ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ (А)



Щ, — щелевые излучатели; В —  
прямоугольный возбуждающий волновод; Н  
— продольная пластина (нож) с  
управляемой глубиной погружения в  
волновод (служит для изменения фазовой  
скорости волны в волноводе); Д —  
дрессельные канавки



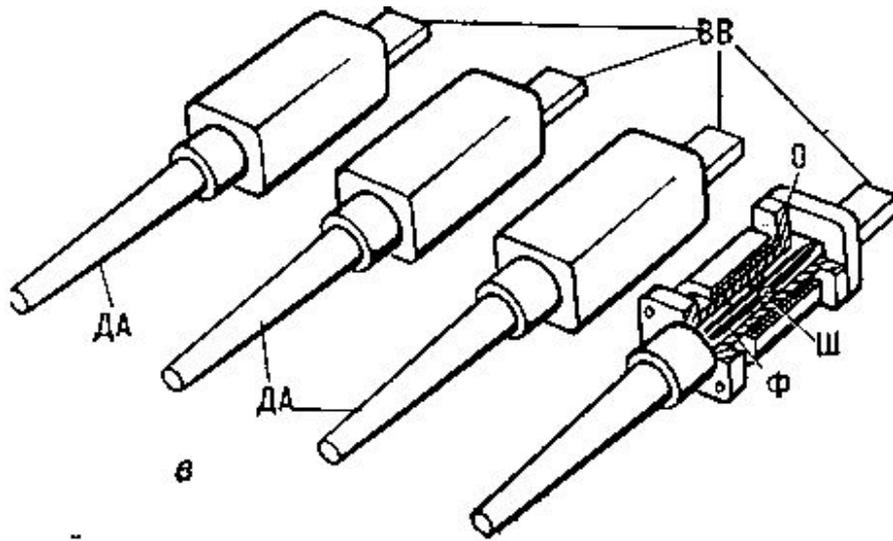
## ЧАСТОТНЫМ (Б)



P — рупоры; СВ — спиральный волновод



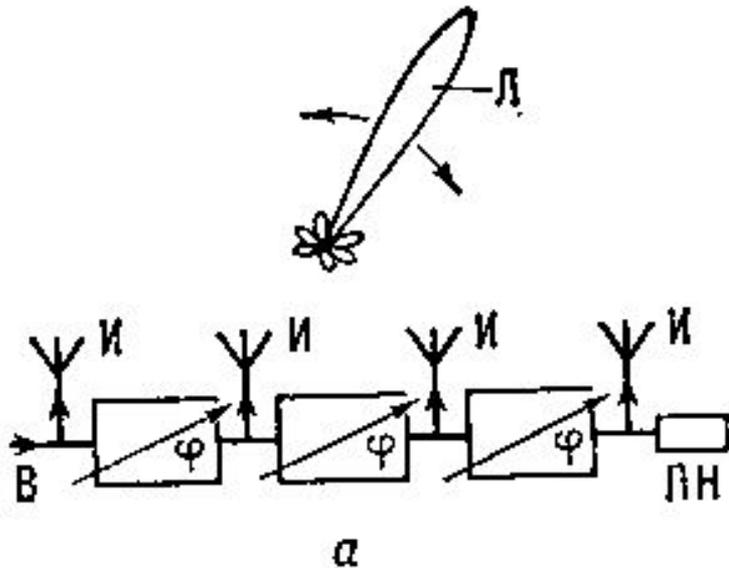
## ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ (в) СКАНИРОВАНИЕМ



ДА — диэлектрические стержневые антенны; Ф — ферритовый стержень фазовращателя; ВВ — возбуждающие волноводы; О — управляющая обмотка фазовращателя; Ш — диэлектрическая шайба.



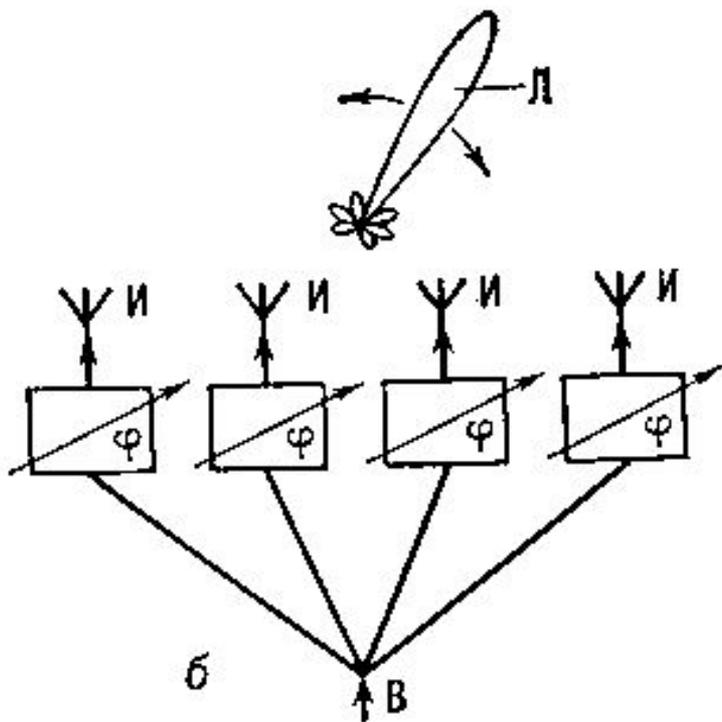
# ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК (ФАР) С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЕМ (А)



В — возбуждающий фидер; И —  
излучатели; ПН — поглощающая нагрузка;  
Л — диаграмма направленности (луч)

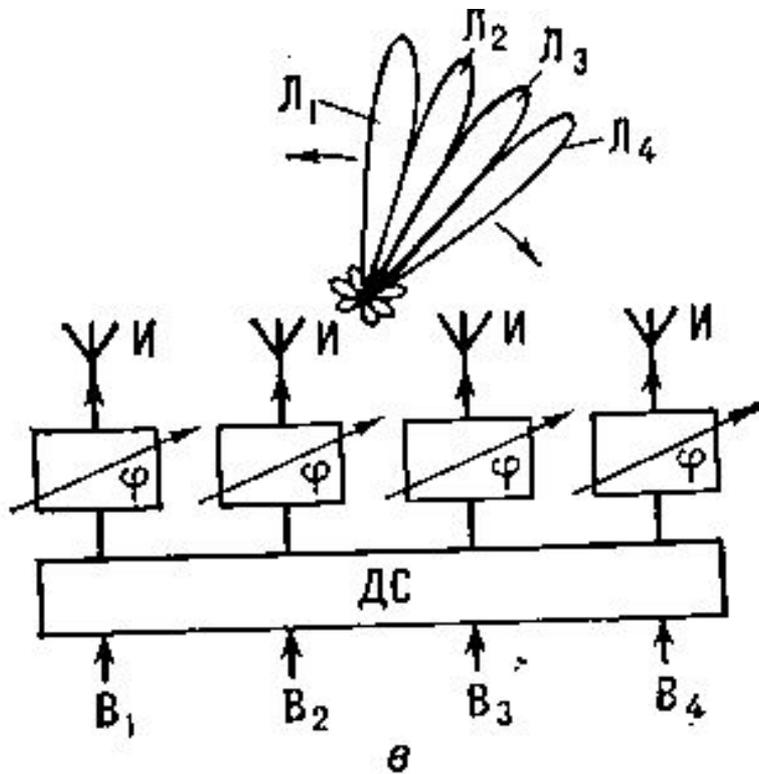


# ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ (Б)



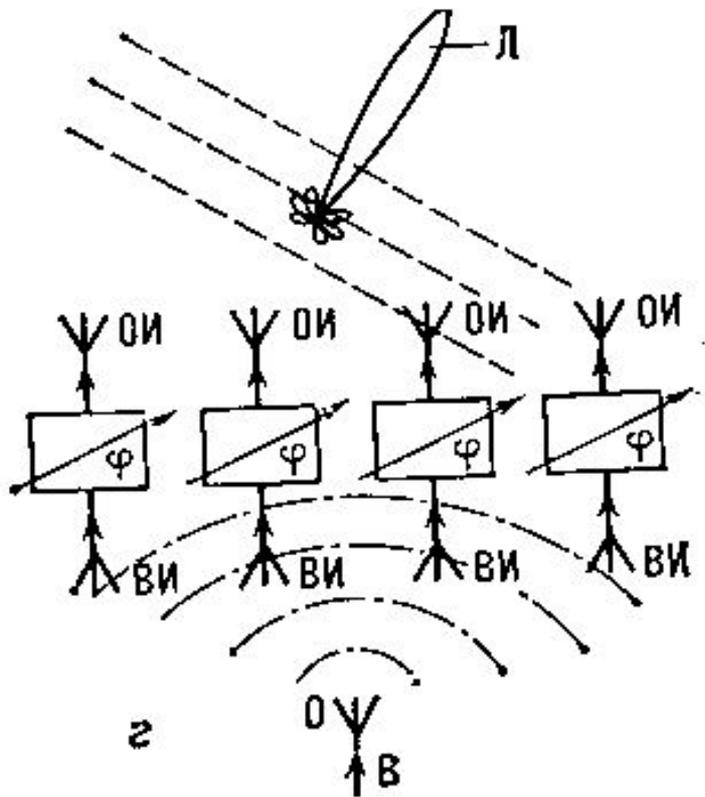
# МНОГОЛУЧЕВОЙ ФАР (в)

$B_1$  —  $B_4$  входы ФАР; ДС —  
диаграммообразующая схема

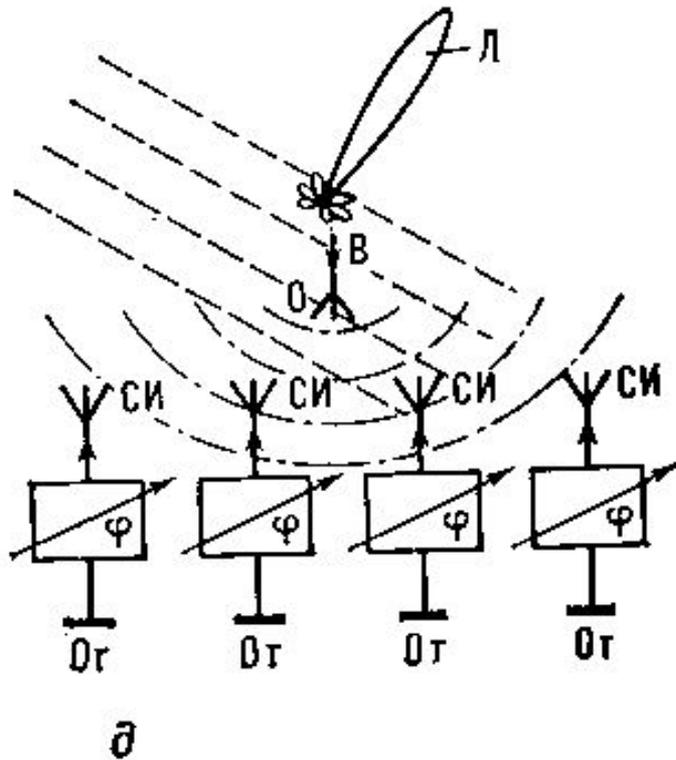


# КВАЗИОПТИЧЕСКИХ ФАР — ПРОХОДНОГО (Г)

ОИ — основные излучатели; ВИ —  
вспомогательные излучатели



## ОТРАЖАТЕЛЬНОГО (Д)

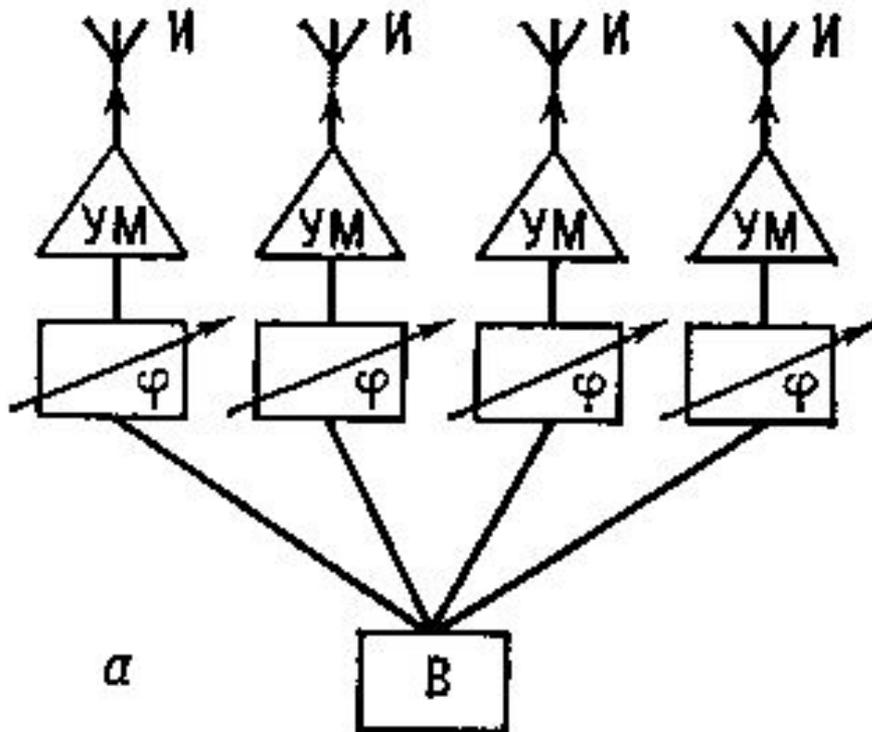


СИ — совмещенные излучатели; О — облучатель; От — отражатель;  $\varphi$  — фазовращатель; пунктиром изображена электромагнитная волна с плоским фазовым фронтом, излучаемая ФАР, штрих-пунктиром — со сферическим фазовым фронтом, излучаемая облучателем.



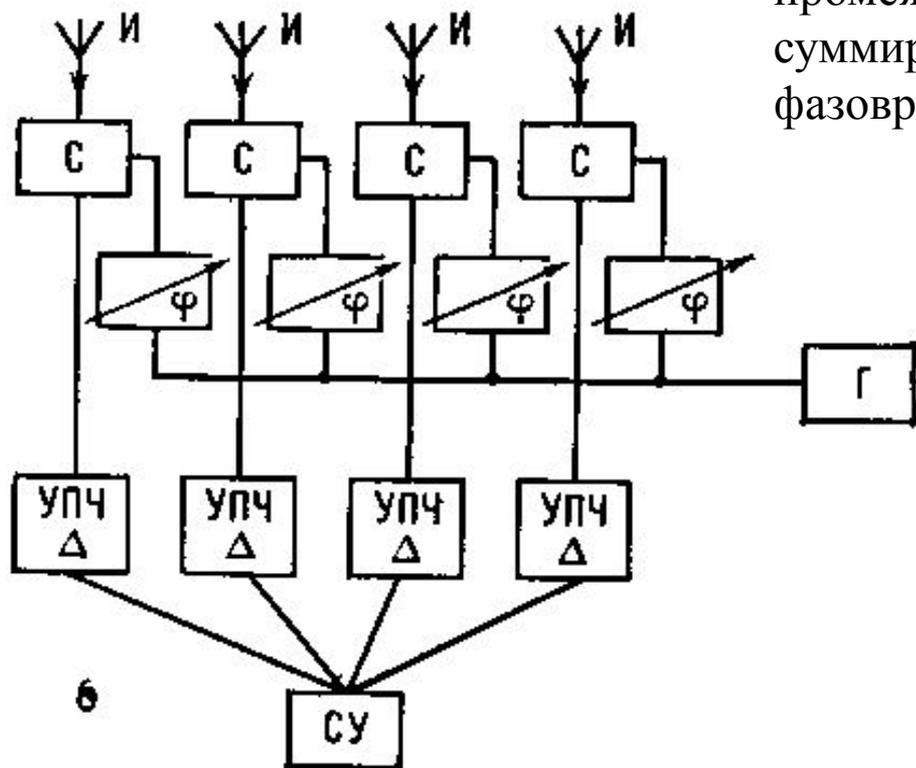
# СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ НЕКОТОРЫХ АКТИВНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК — ПЕРЕДАЮЩЕЙ (А)

И — излучатель; УМ — усилитель  
мощности

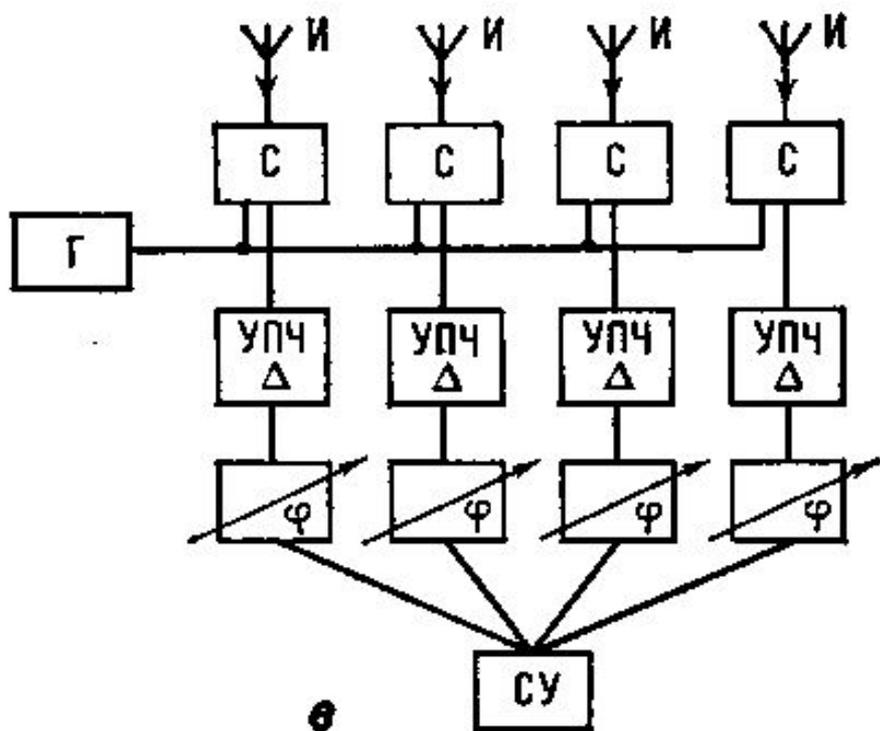


# ПРИЁМНОЙ С ФАЗИРОВАНИЕМ В ЦЕПЯХ ГЕТЕРОДИНА (Б)

В — возбудитель; С — смеситель; Г — гетеродин; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; СУ — суммирующее устройство;  $\varphi$  — фазовращатель.



# ПРИЁМНОЙ С ФАЗИРОВАНИЕМ В ТРАКТАХ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ (В)



В — возбудитель; С — смеситель; Г — гетеродин; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; СУ — суммирующее устройство; φ — фазовращатель.



**ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ОКАЗАЛИСЬ СЛИШКОМ ДОРОГИ, ПОЭТОМУ СЕГОДНЯ В СПУТНИКОВОМ ТЕЛЕВИДЕНИИ ОНИ ПРИМЕНЯЮТСЯ МАЛО. РЕДКИЙ ПРИМЕР УПРАВЛЯЕМОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ — АВТОМОБИЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА А5 АМЕРИКАНСКОЙ ФИРМЫ КВН.**



Это плоская антенна высотой всего около **14 см**, которая устанавливается горизонтально на крыше автомобиля, на место верхнего багажника, и обеспечивает непрерывный прием спутникового сигнала в движении. К сожалению, система работоспособна только в низких широтах (спутник должен иметь угол места не менее **31 градуса**) и только в том случае, если спутник не заслоняют какие-либо препятствия, например, лес. В нашей северной лесной стране смотреть спутниковое телевидение в автомобиле пока проблематично.



# КОРАБЛЬ ПРОЕКТА 11356 "TALVAR"



**ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА** ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ МНОЖЕСТВО ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ (АНТЕНН) С ИДЕНТИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ, КАЖДЫЙ ИЗ КОТОРЫХ ЗАПИТАН ЧЕРЕЗ СОБСТВЕННЫЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ. Благодаря этому, ВЫСТАВЛЯЯ КАЖДОМУ ИЗЛУЧАТЕЛЮ СОБСТВЕННЫЙ ФАЗОВЫЙ СДВИГ, МОЖНО ПРАКТИЧЕСКИ МГНОВЕННО ИЗМЕНЯТЬ ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ ВСЕЙ СИСТЕМЫ. ЭТО ВЫРАЖАЕТСЯ В ТОМ, ЧТО НЕТ НЕОБХОДИМОСТИ ВРАЩАТЬ АНТЕННУ ДЛЯ НАВЕДЕНИЯ НА ЦЕЛЬ. Она САМА, ОСТАВАЯСЬ НЕПОДВИЖНОЙ, НАЙДЕТ ЦЕЛЬ И БУДЕТ СОПРОВОЖДАТЬ ЕЕ. Т.к. ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ **ФАР** ИЗМЕНЯЕТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ МГНОВЕННО, ТО СТАНОВИТСЯ ВОЗМОЖНЫМ СОПРОВОЖДАТЬ ОДНОВРЕМЕННО НЕСКОЛЬКО ЦЕЛЕЙ.



**Впервые фазированные антенные решетки были применены на истребителях МИГ-16. Благодаря этому самолет мог одновременно вести до 16 целей, благодаря чему стал лучшим истребителем своего времени.**

**Фазированные антенные решетки чрезвычайно сложны в изготовлении. Качество системы напрямую зависит от качества исполнения излучателей. Необходимо получить максимально идентичные параметры у всех излучателей, а это очень трудно технологически. Вследствие этого ФАР до сих пор остаются самыми дорогими, но самыми эффективными в системах наведения, антеннами.**



В ПЕРСПЕКТИВЕ, ПРИ УДЕШЕВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВА **ФАР**, ОНИ НАЙДУТ ПРИМЕНЕНИЕ И В НЕ ВОЕННЫХ ОБЛАСТЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА. НАПРИМЕР, В НАШИХ ДОМАХ. **ФАР** - ЭТА СЛЕДУЮЩАЯ СТУПЕНЬ РАЗВИТИЯ ПРИЕМНЫХ АНТЕНН СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ. ТАКУЮ АНТЕННУ НЕ НАДО НАПРАВЛЯТЬ НА СПУТНИК, ЕЕ МОЖНО РАЗМЕЩАТЬ И ПОД ЗНАЧИТЕЛЬНЫМ УГЛОМ К ИСТОЧНИКУ СИГНАЛА. АНТЕННА САМОСТОЯТЕЛЬНО ОБНАРУЖИТ ВСЕ ИНТЕРЕСУЮЩИЕ СПУТНИКИ, ЗАПОМНИТ НАПРАВЛЕНИЯ НА НИХ И С ЛЕГКОСТЬЮ СМОЖЕТ МЕЖДУ НИМИ ПЕРЕКЛЮЧАТЬСЯ.



ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ ДАЖЕ НЕ ЗАМЕТИТ МОМЕНТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ МЕЖДУ СПУТНИКАМИ. ТАК ЖЕ БУДЕТ УСТРАНЕНА ПРОБЛЕМА ВИБРАЦИЙ ПРИЕМНОЙ АНТЕННЫ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ, СИЛЬНЫЙ ВЕТЕР МОЖЕТ ОТКЛОНИТЬ ПАРАБОЛИЧЕСКУЮ АНТЕННУ В СТОРОНУ. ИЗ-ЗА ЭТОГО ПРОИЗОЙДЕТ УХУДШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕЛЕВИЗИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ИЛИ ПОЛНАЯ ПОТЕРЯ СИГНАЛА. ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА САМОСТОЯТЕЛЬНО ОБНАРУЖИТ СМЕЩЕНИЕ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА И ПОДКОРРЕКТИРУЕТ СВОЮ ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕГО УХУДШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИНИМАЕМОГО СИГНАЛА НЕ ПРОИЗОЙДЕТ.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Появление и развитие ФАР - одна из ветвей триумфального шествия радиоэлектроники XX века. Техника ФАР объединила в себе решение проблем электродинамики, физики твердого тела и способов обработки информации. Развитие техники ФАР оказалось серьезным стимулом решения проблем СВЧ-микродинамики как основы микроминиатюризации СВЧ-компонентов и обеспечения их массового производства. Напомним, что в состав ФАР может входить до 10 000 элементов, каждый из которых представляет собой законченное, достаточно сложное устройство. Только широкое освоение производственных приемов микродинамики смогло технически и экономически обеспечить приемлемую стоимость больших ФАР.

