

# Этапы проектирования цифровых фильтров

# Физическая реализация цифровых фильтров

*Аппаратная реализация* подразумевает использование разнообразных функциональных блоков, объединяемых в единое устройство.

*Программная реализация* означает, что фильтр представлен в виде программы, написанной на языке программирования.

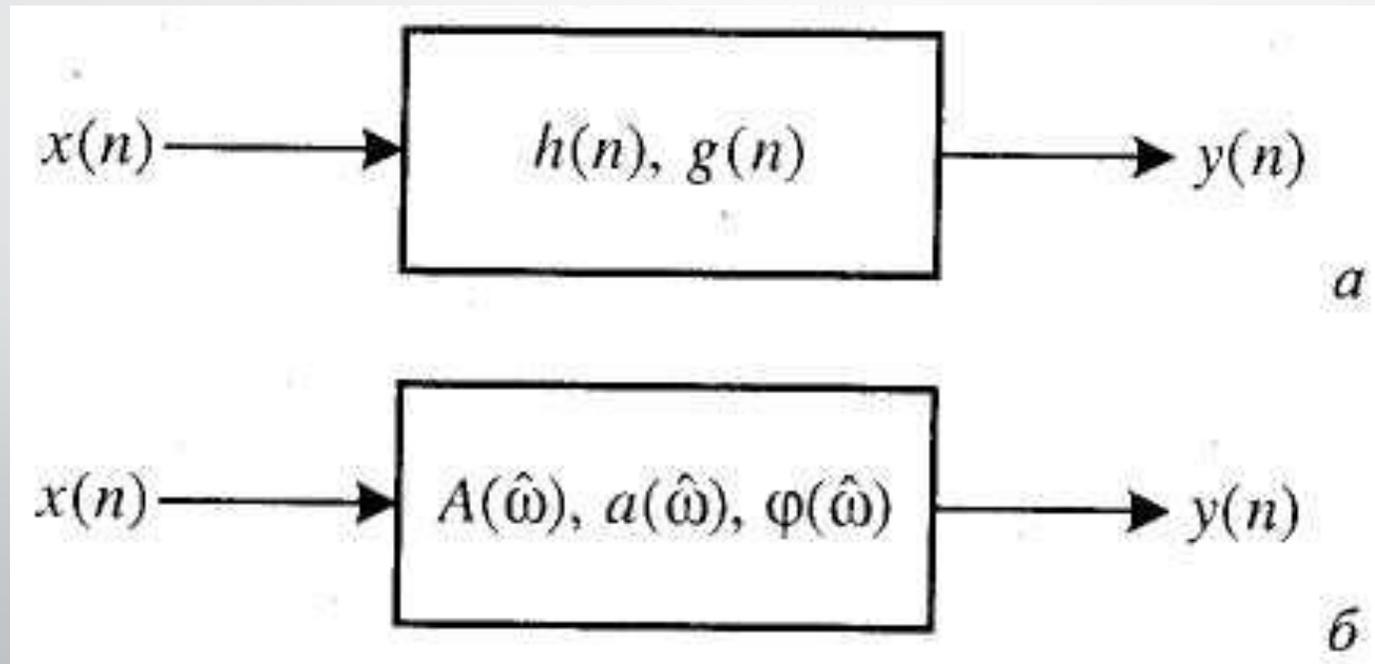
*Аппаратно-программная реализация* говорит о том, что часть функций фильтра выполняется аппаратно, а другая часть функций выполняется программно.

# Этапы проектирования цифровых фильтров

1. *Синтез*, результатом которого является функциональная схема фильтра с коэффициентами.
2. *Выбор или разработка эффективных алгоритмов вычислений* с учетом арифметики: плавающая или фиксированная запятая.
3. *Проверка моделированием* проектируемого фильтра по стандартным сигналам.
4. *Практическая реализация и отладка* в реальном времени с помощью аппаратных средств отладки: эмуляторов и проверочных модулей.

# Синтез цифровых фильтров

1. Требования к фильтрам могут формулироваться как во временной (рис. *а*), так и в частотной областях (рис. *б*), что определяется назначением фильтра и областью его описания.

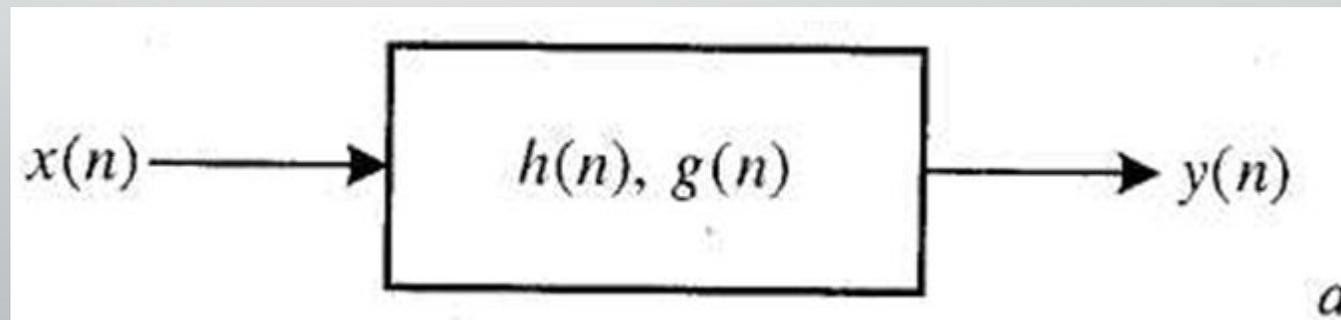


# Синтез цифровых фильтров

*Во временной области* требования могут задаваться к импульсной  $h(n)$  или переходной  $g(n)$  характеристике при широких допусках к частотным свойствам фильтра.

Согласованные с сигналами фильтры целиком определяются импульсной характеристикой

Фильтры, входящие в состав высокоскоростных систем удобнее описывать переходными характеристиками.

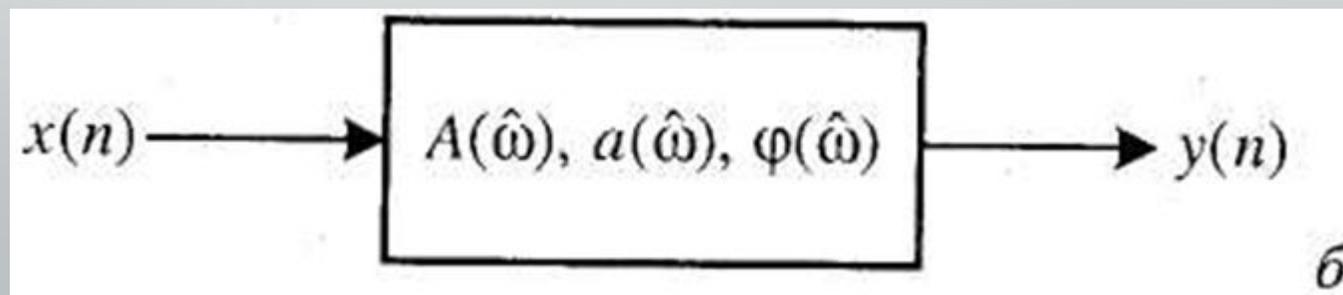


# Синтез цифровых фильтров

*В частотной области* обычно синтезируются избирательные фильтры.

При этом требования могут предъявляться:

- **только к АЧХ** или к характеристике ослабления без каких-либо ограничений на ФЧХ;
- **только к ФЧХ**, когда важно сохранение фазовых соотношений между гармоническими составляющими принимаемого сигнала.
- **одновременно и к АЧХ, и к ФЧХ**. Например, возможен синтез КИХ-фильтров с заданной АЧХ и линейной ФЧХ.



# Требования к фильтрам включают:

1. Задание частоты дискретизации  $f_d$  [Гц] и типа избирательности (НЧ, ВЧ и т. д.);
2. Задание требований к АЧХ  $A(f)$  или к характеристике ослабления (затухания)  $a(f)$ .
3. Выбор метода аппроксимации АЧХ  $A(f)$  ( или  $a(f)$  ).

При задании требований к АЧХ необходимо помнить, что:

- задание требований начинается с установки всех граничных частот фильтра *только в основной полосе частот*  $0 < f < f_d / 2$ ;
- требования в переходных полосах избирательных фильтров не задаются;
- требования формулируются в виде допустимых отклонений от нормированной АЧХ  $A(f)$  [или от  $a(f)$ ] в полосах пропускания и задерживания и отображаются на диаграмме допусков;

- АЧХ  $A(f)$  является безразмерной величиной и выражается в абсолютных единицах;

- характеристики ослабления и затухания обозначаются одинаково  $a(f)$ , выражаются в децибелах,

- связь между  $A(f)$  и характеристикой **ослабления**  $a(f)$  определяется формулой

$$a(f) = 20 \lg \hat{A}(f)$$

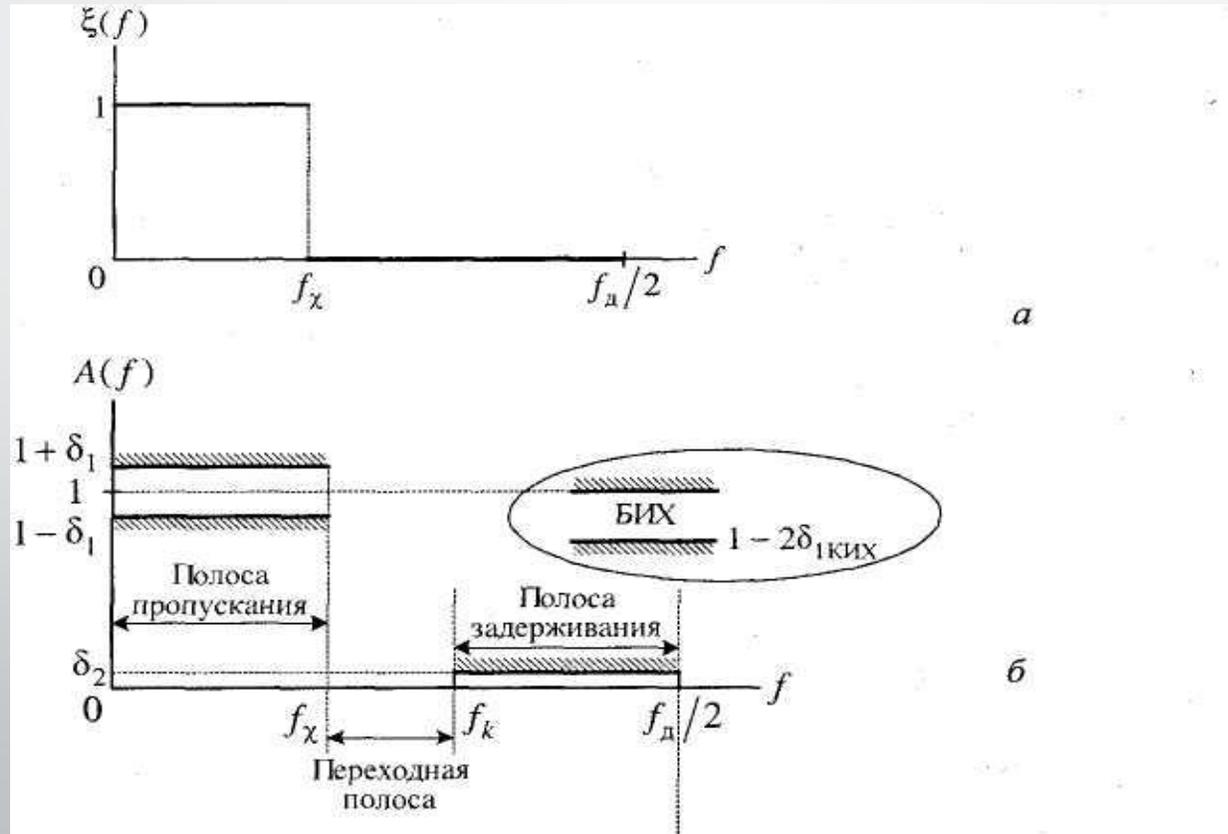
- при отображении требований в виде характеристики **затухания**

$$a(f) = -20 \lg \hat{A}(f)$$

# Фильтр нижних частот

Фильтр нижних частот (ФНЧ) имеет три частотных полосы (рис. б): полосу пропускания (ПП), полосу задерживания (ПЗ), или ослабления (рис. в) и затухания (рис. г), и переходную полосу.

идеальная  
АЧХ



требования к  
АЧХ

# Фильтр нижних частот

требования к  
характеристике  
ослабления

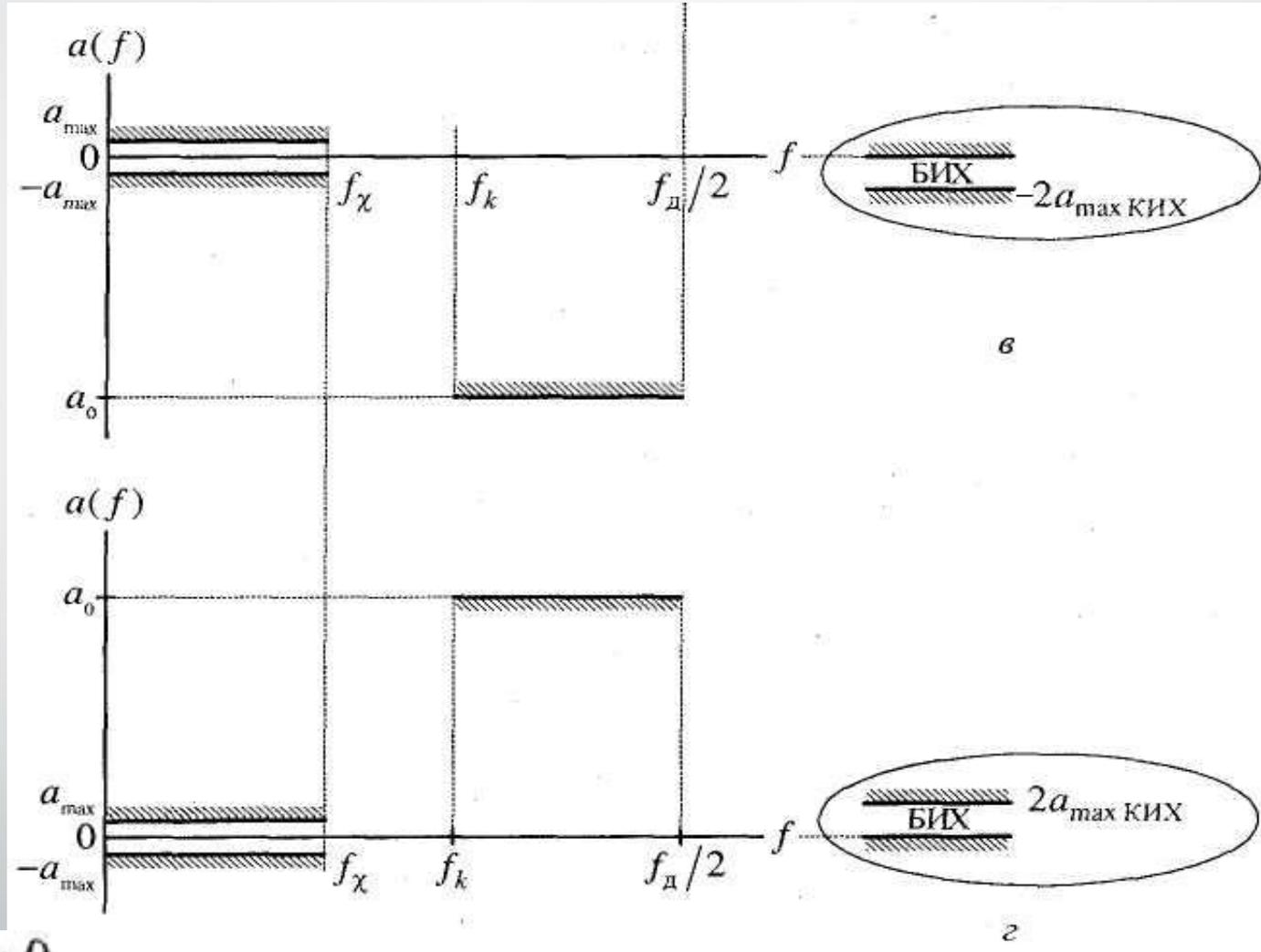
$$a_{\max} = 20 \lg(1 - \delta_1)$$

$$a_0 = 20 \lg \delta_2 < 0$$

требования к  
характеристике  
затухания

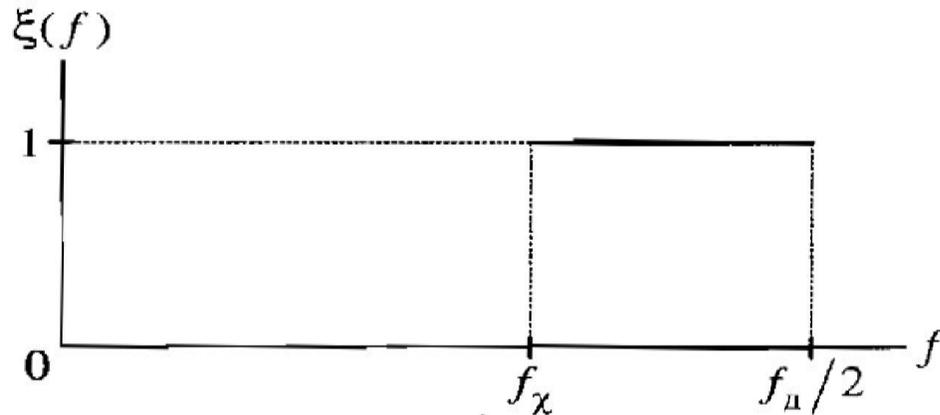
$$a_{\max} = -20 \lg(1 - \delta_1)$$

$$a_0 = a_{\min} = -20 \lg \delta_2 > 0$$



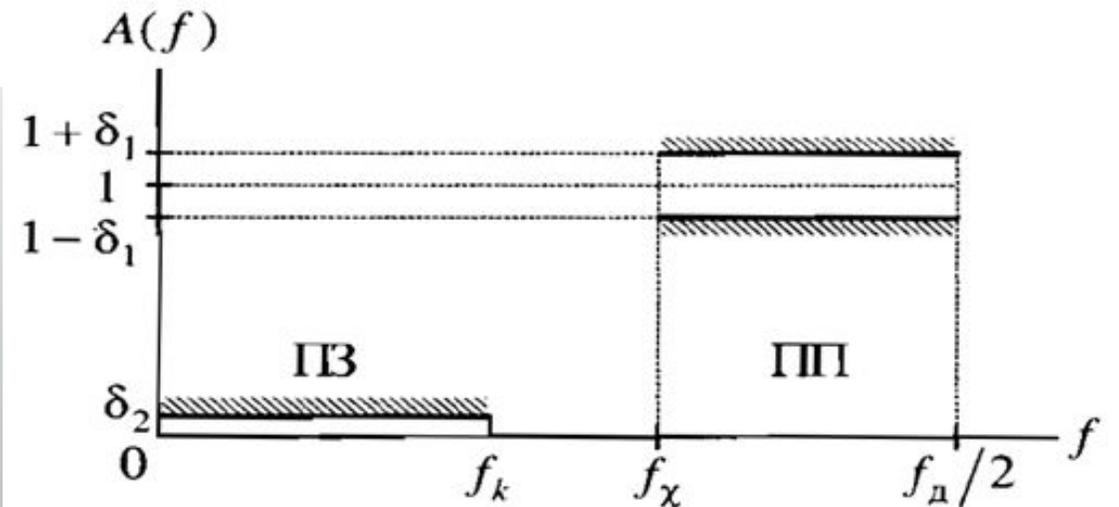
# Фильтр верхних частот

*Фильтр верхних частот (ФВЧ) имеет три частотных полосы, которые расположены в обратном, относительно ФНЧ, порядке: полоса задерживания, переходная полоса, полоса пропускания*



идеальная  
АЧХ

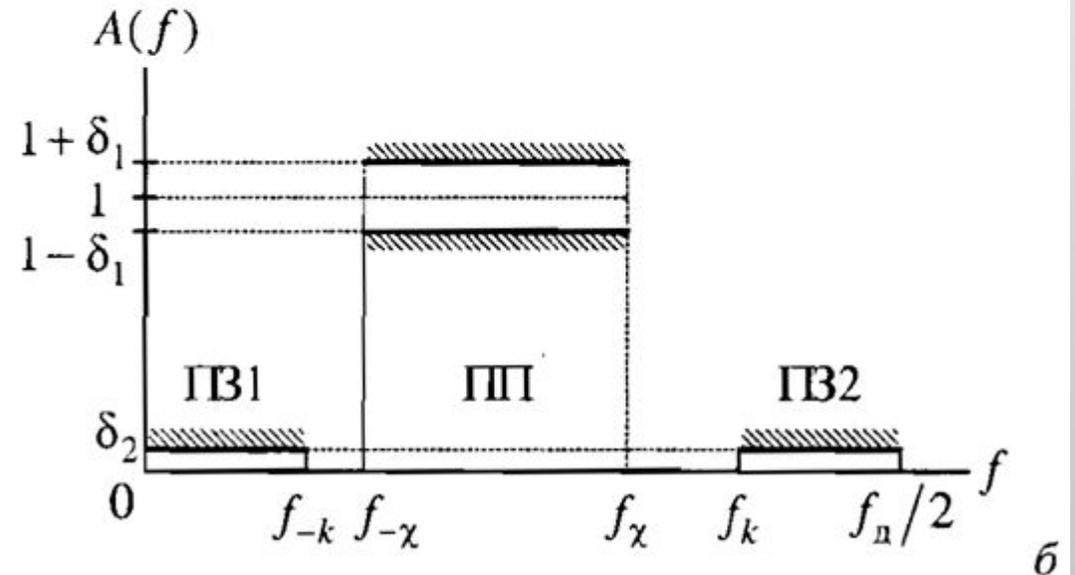
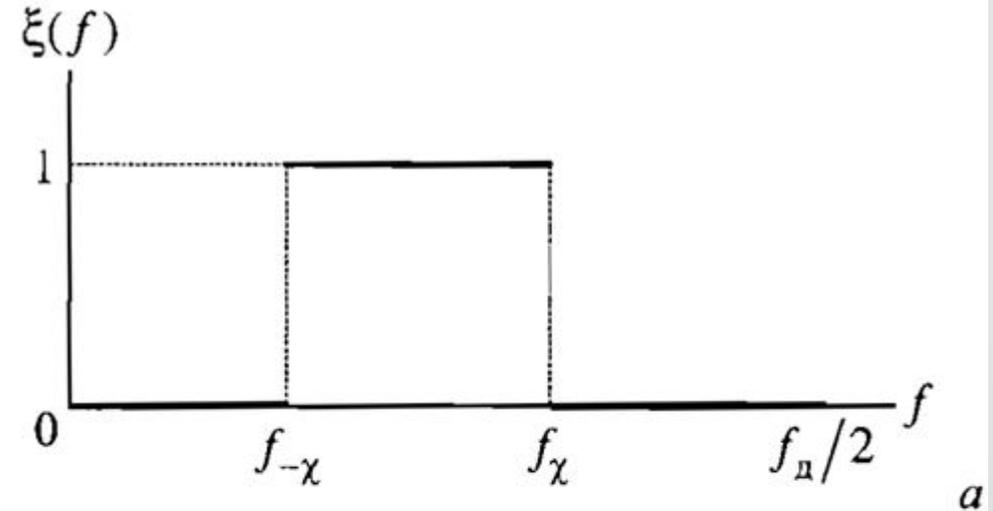
требования к  
АЧХ



# Полосовой фильтр

## Полосовой фильтр (ПФ)

характеризуется пятью частотными полосами, из которых центральная - полоса пропускания, две полосы задерживания и две переходных полосы. Отрицательный индекс частоты означает, что частота расположена слева от середины полосы пропускания.



Диаграммы требований к ПФ:  
идеальная АЧХ (а), требования к АЧХ (б)

# Режекторный фильтр

*Режекторный фильтр (РФ)*, иногда называемый полосно-заграждающим, подобно ПФ характеризуется пятью полосами, из которых две полосы пропускания, одна полоса задерживания и две переходных полосы.

