

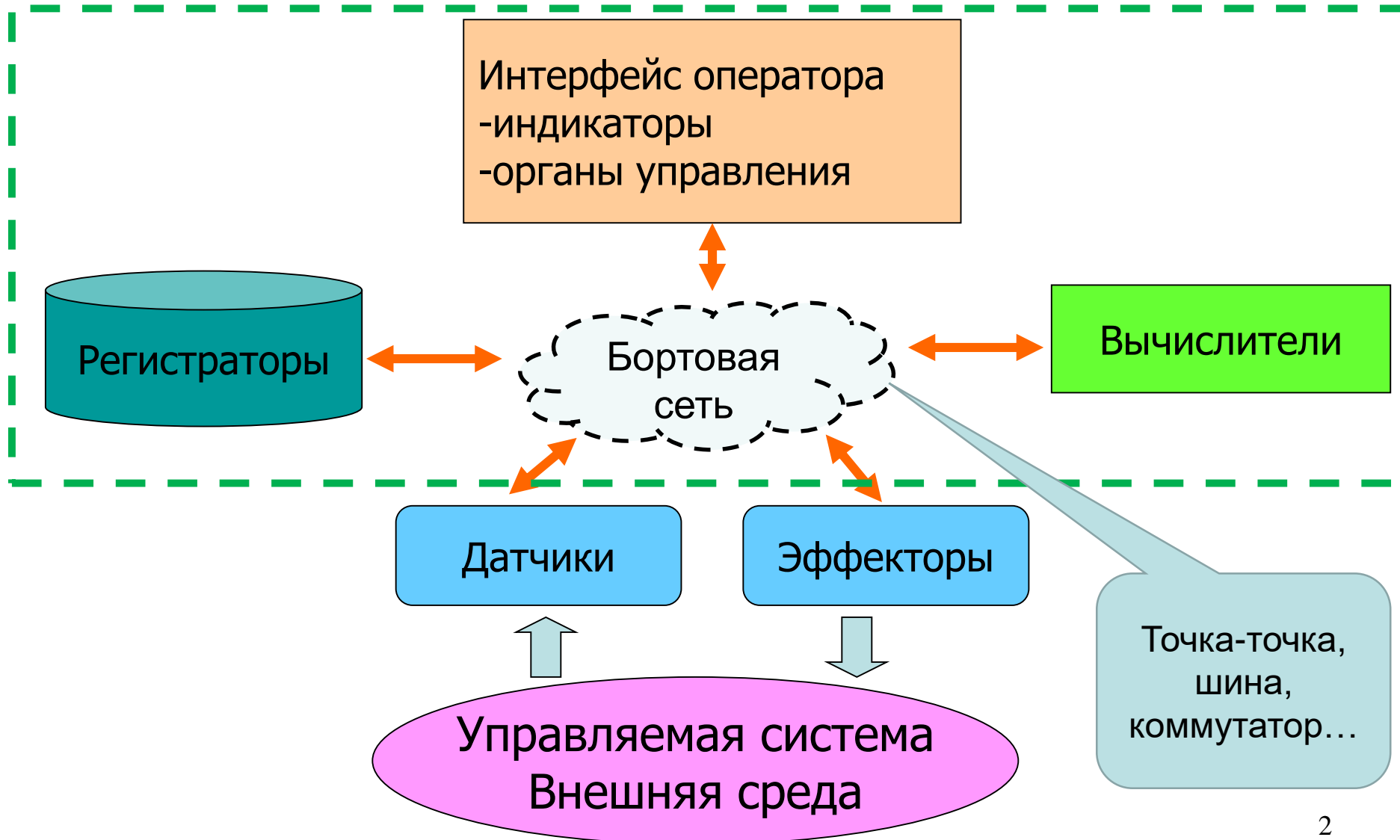
# **ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

## **Лекция 8:**

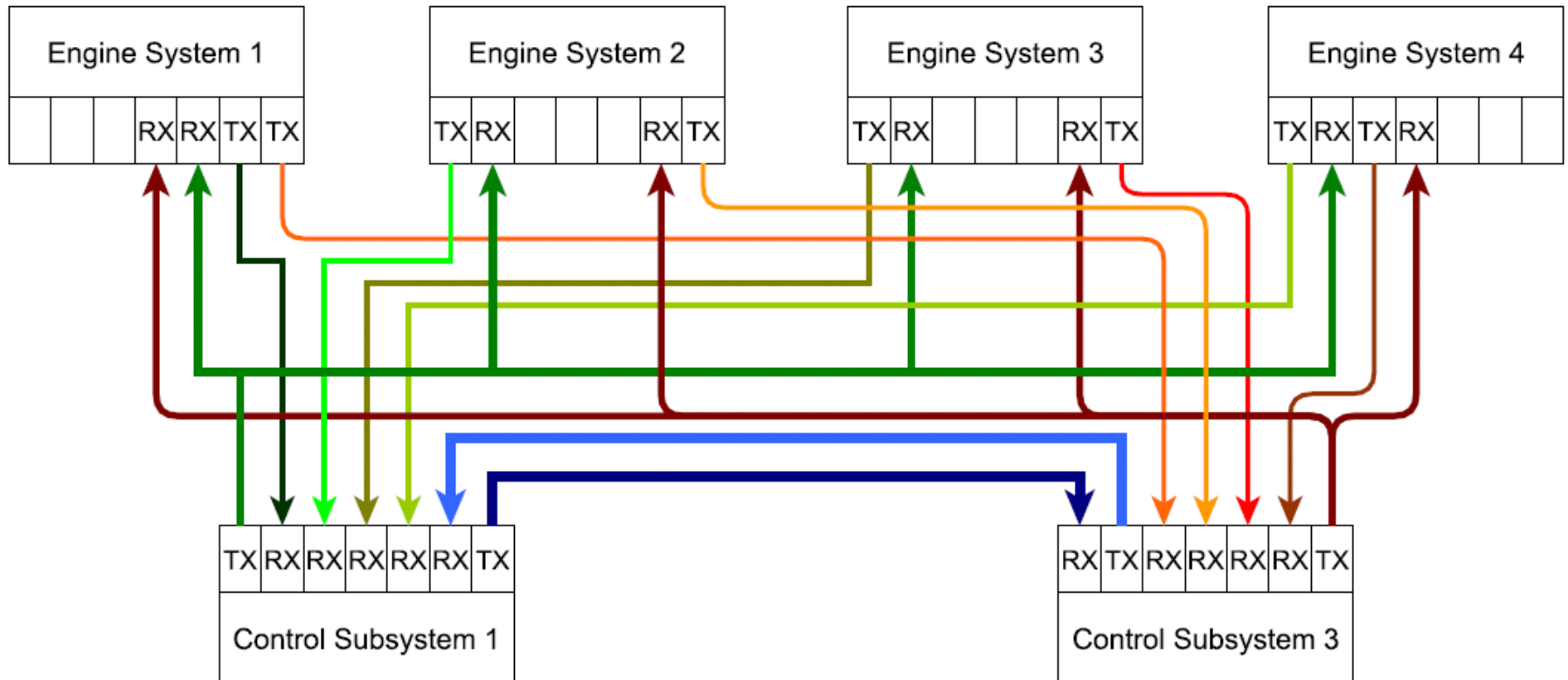
### ***Каналы с централизованным управлением***

Кафедра АСВК,  
Лаборатория Вычислительных Комплексов  
Балашов В.В.

# Состав ИУС

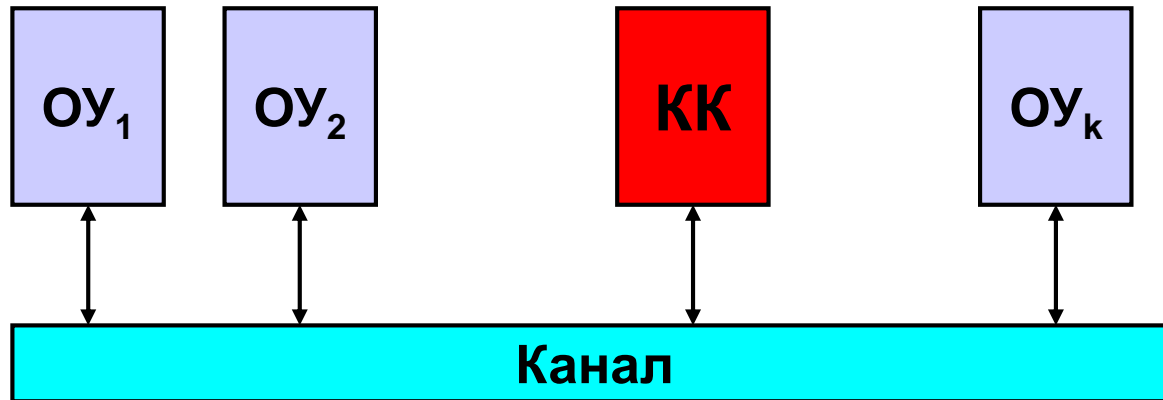


# Каналы точка-точка



- Много кабелей
- Пропускная способность: недоиспользование, нехватка, сложность наращивания
- Сложно закладывать резерв
- Проблемы с передачей данных по сложному маршруту
- Низкая адаптивность (невозможна реконфигурация)

# Канал с централизованным управлением



- Контроллер – управляет обменами в соответствии с предварительно построенным расписанием обменов.
- Информация передается в виде сообщений.
- Обмен информацией осуществляется путем поочередной передачи данных по принципу "команда-ответ".

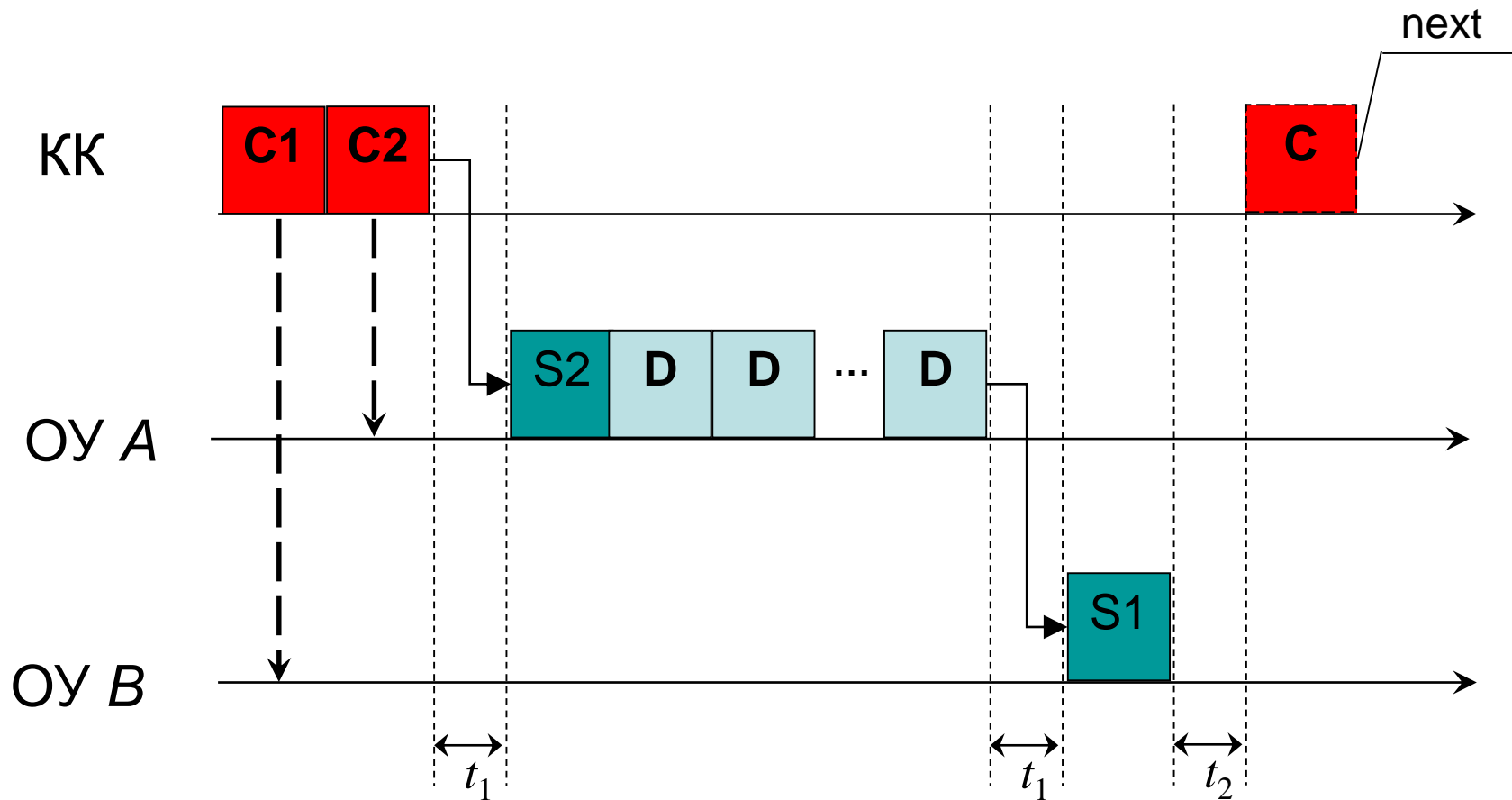
# Преимущества каналов с централизованным управлением

- Отсутствие конфликтов.
- Гарантированная передача сообщений в режиме реального времени.
- Минимальное количество «проводов» в сети обмена.

# Промышленные каналы с централизованным управлением

- MIL STD-1553B
- Модификации MIL STD-1553B:
  - MIL STD-1773 (оптика)
  - Space Shuttle MIA bus (более длинное слово)
  - EBR-1553 (топология «звезда»)
- MIL STD-1760 (иерархия)
- STANAG 3910 (добавлена оптическая шина)
- FC-AE-1553 (кольцо с арбитражем)
- CAN bus с «искусственной» централизацией

# MIL STD-1553B: передача сообщения








# MIL STD-1553B: ограничение на число абонентов

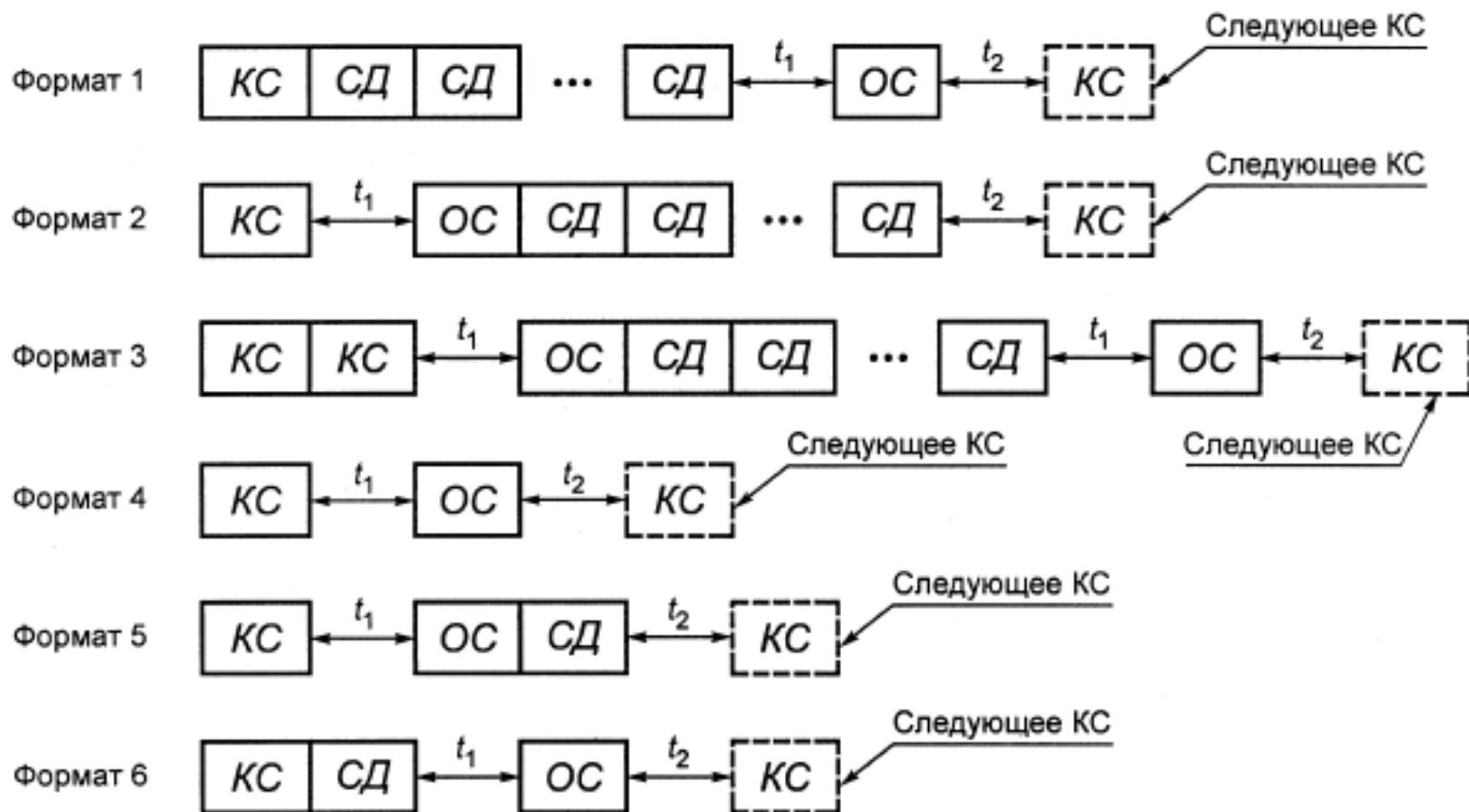
Разрядная сетка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Синхро- сигнал			Адрес ОУ				К	<u>Подадрес</u> Режим управления				<u>Число СД</u> Код команды				Р			
Командное слово	1 - 3			4 - 8				9	10 - 14				15 - 19				20			



# MIL STD-1553B: форматы сообщений

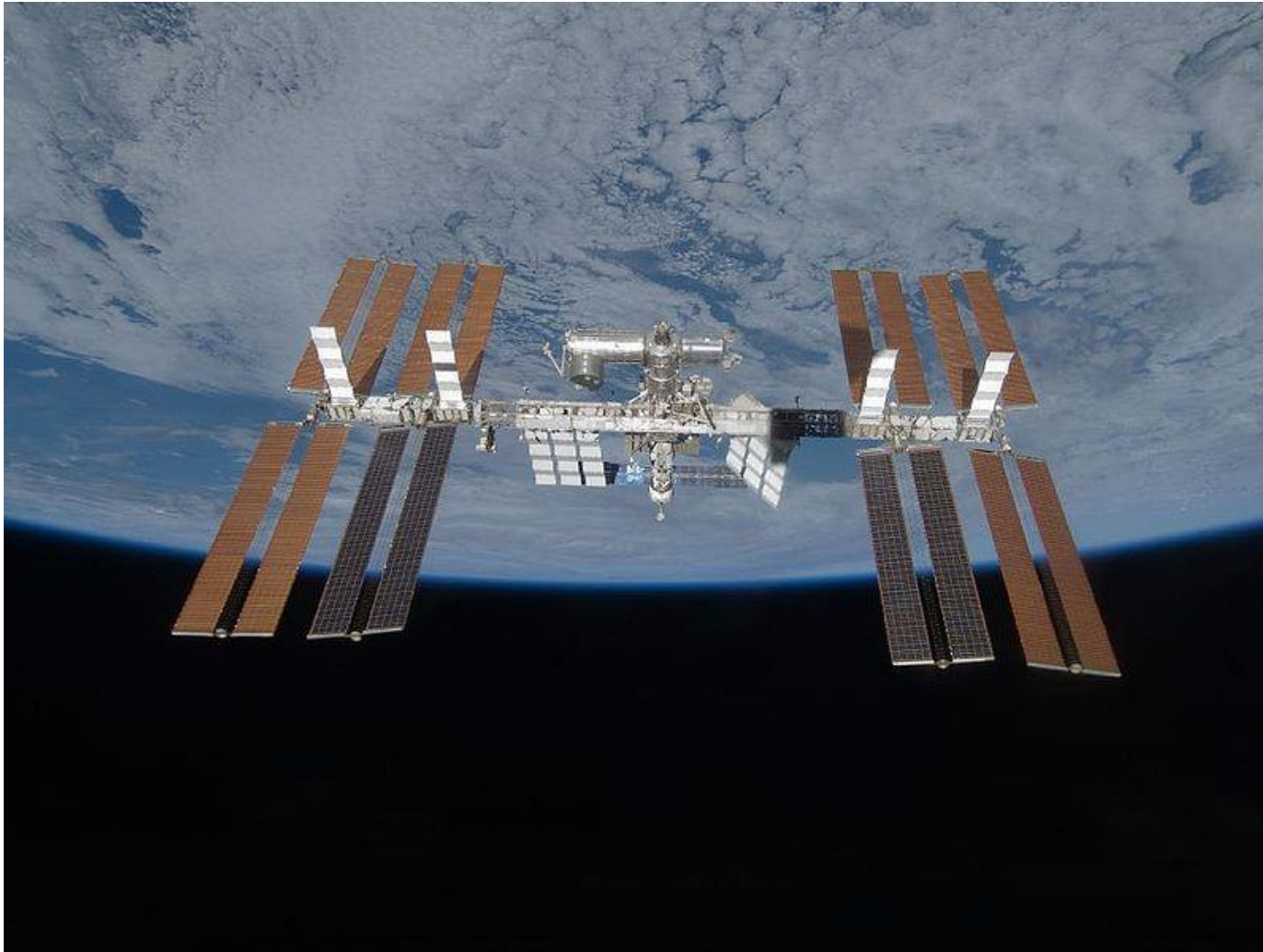
		передача данных
Точка-Точка	КК-ОУ	
	ОУ-КК	
	ОУ-ОУ	
Широко-вещательный	КК-ОУ	
	ОУ-ОУ	

# То же, из ГОСТа

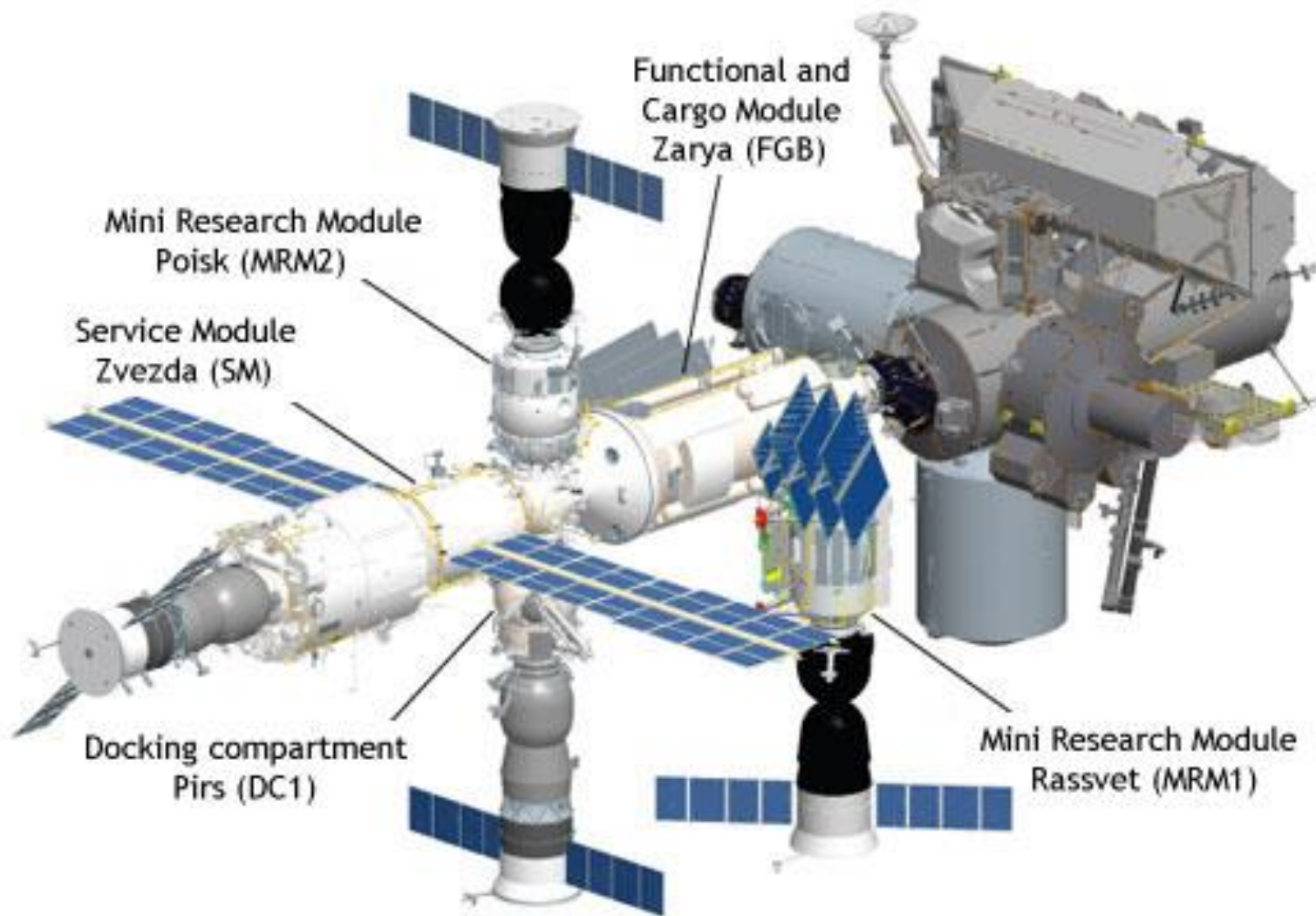


КС — командное слово; СД — слово данных; ОС — ответное слово;  $t_1$  — пауза перед выдачей ответного слова;  $t_2$  — пауза между сообщениями

# Международная космическая станция

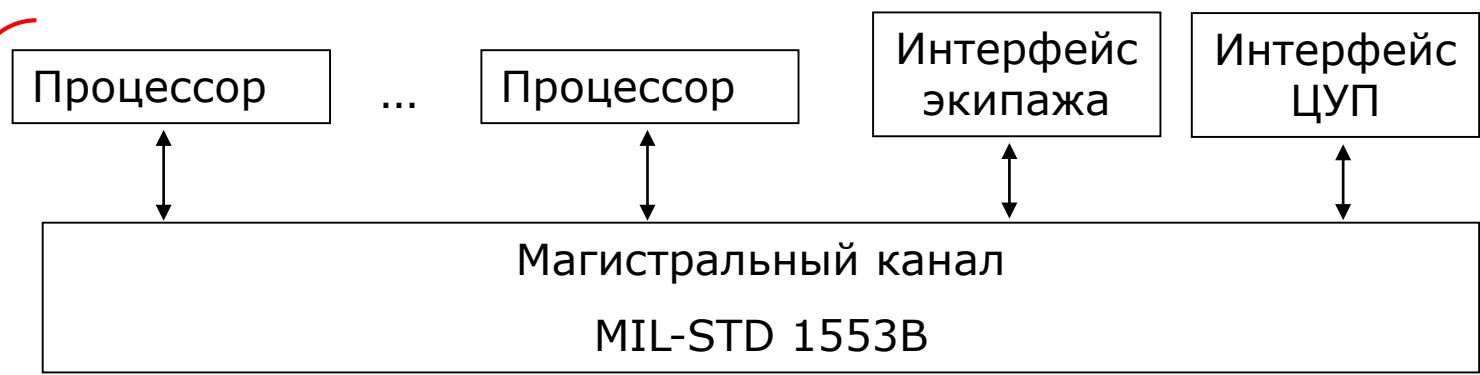


# Российский сегмент МКС

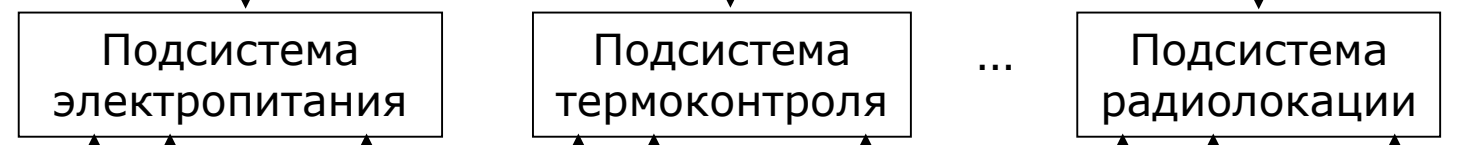


# Иерархическая организация ИУС РВ МКС

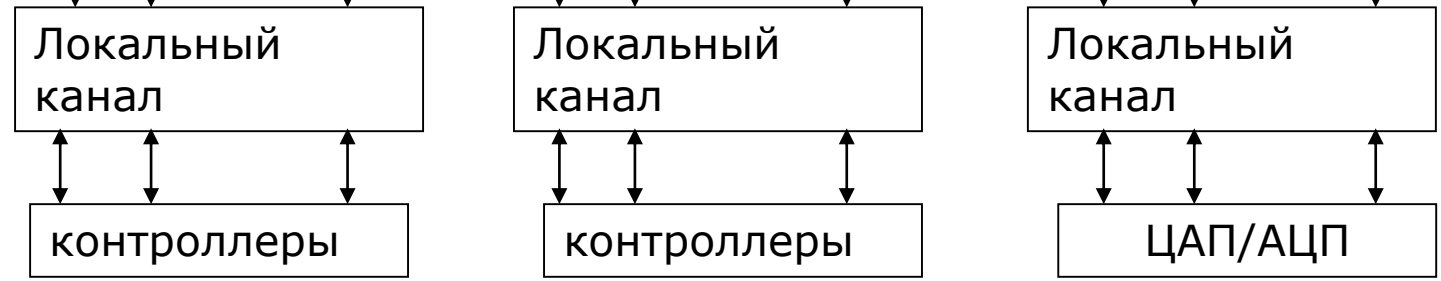
1  
у  
р  
о  
в  
е  
н  
ь



2  
у  
р  
о  
в  
е  
н  
ь



3  
у  
р  
о  
в  
е  
н  
ь



# Типичные режимы работы ИУС на МКС

- стандартный режим;
- режим микрогравитации для выполнения научных экспериментов;
- режим сближения и стыковки с транспортными кораблями;
- режим для выхода экипажа в открытый космос;
- режим выживания с отключением наименее важных экспериментов и систем;
- режим аварийного покидания экипажем МКС.

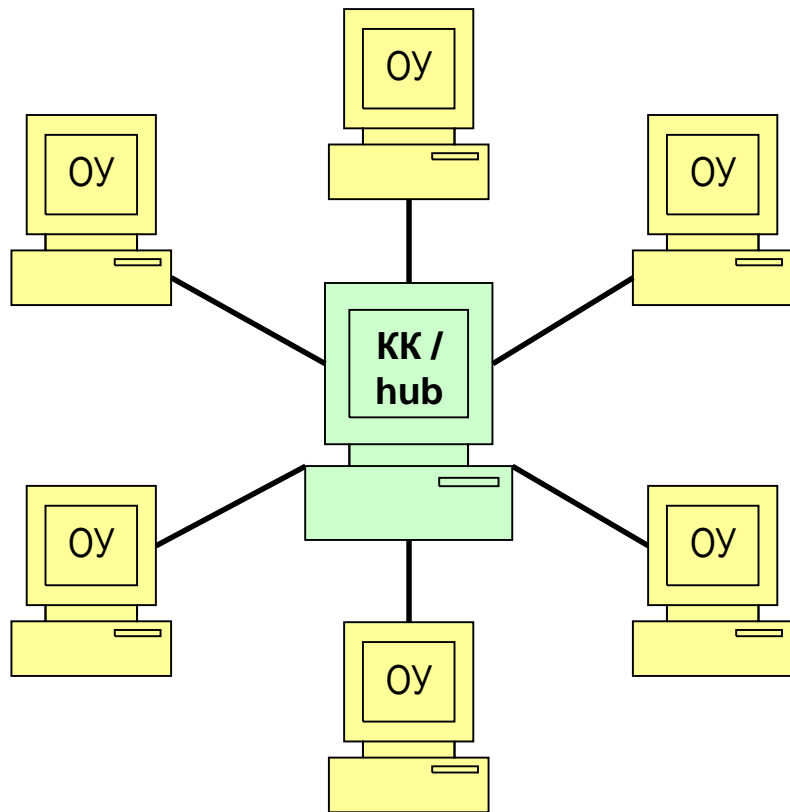
*Режим → набор сообщений, расписание передачи*

# «Фокусы» с каналом MIL STD-1553B

- Ракета-носитель ARIANE 5: обнаружение разделения ступеней (разрыв магистрали)
- Транспортный корабль ATV: индикация успешной стыковки (соединение периферийного канала)



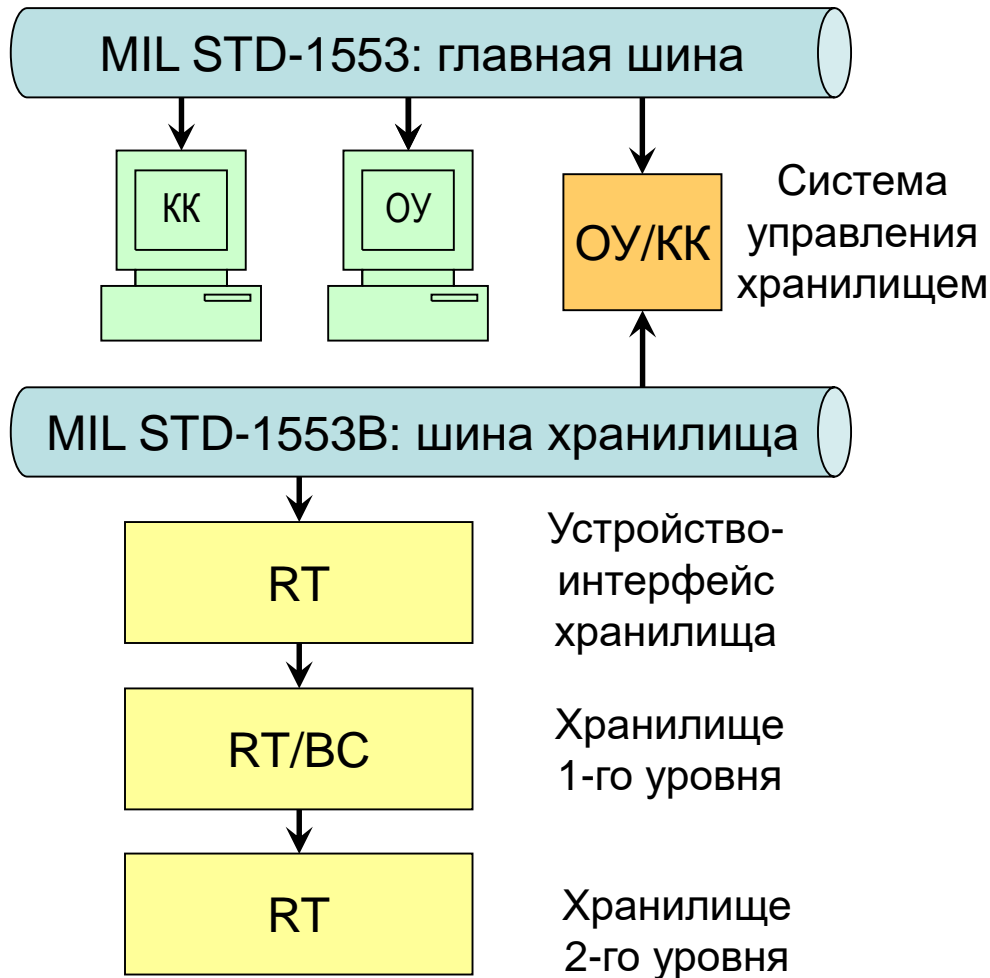
# EBR-1553 (Enhanced Bit Rate)



- Развитие MIL STD-1553B
- Новые возможности:
  - скорость 10 Мбит/с
  - топология «звезда», контроллер объединен с сетевым концентратором (hub)
- Нет обменов ОУ-ОУ

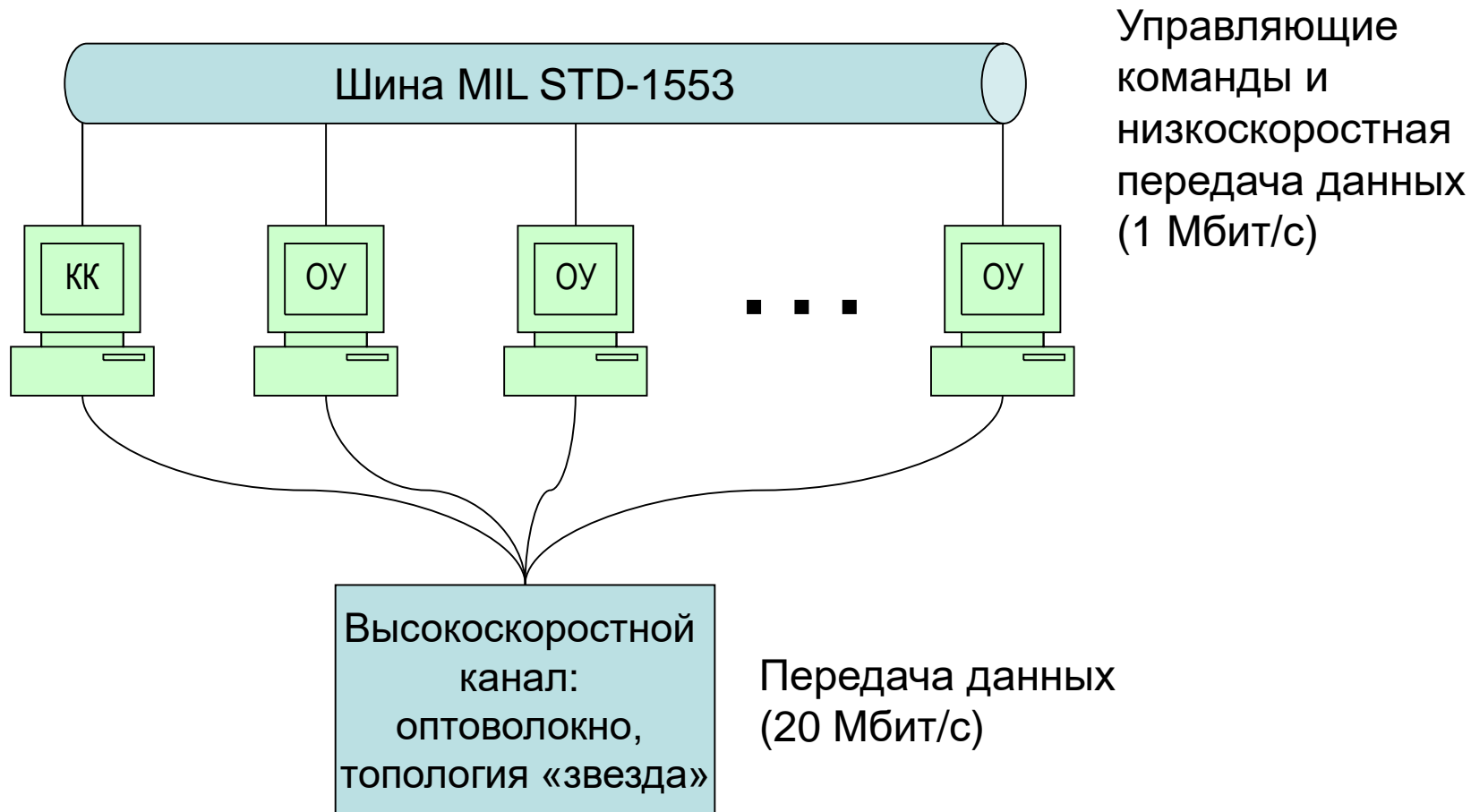


# MIL STD-1760: иерархия

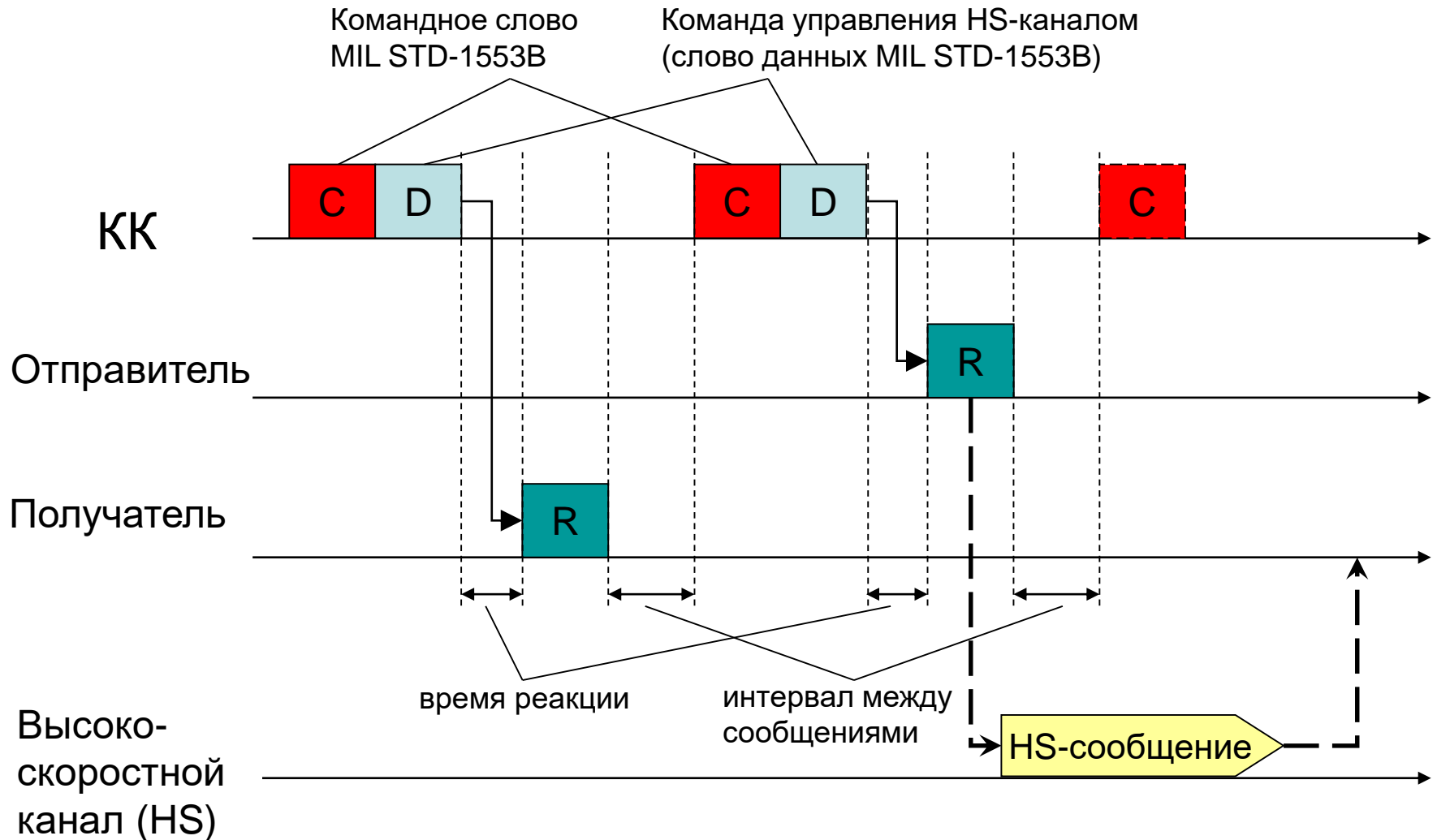


- Расширяет MIL STD-1553B для поддержки бортовых хранилищ данных
- Определяет стандартные форматы сообщений для функций управления хранилищами
- Акцент на надежности:
  - резервированная шина
  - контрольные суммы (CRC) в заголовках сообщений
  - специальные форматы сообщений для контроля целостности данных
  - подтверждение получения критичных управляющих сообщений

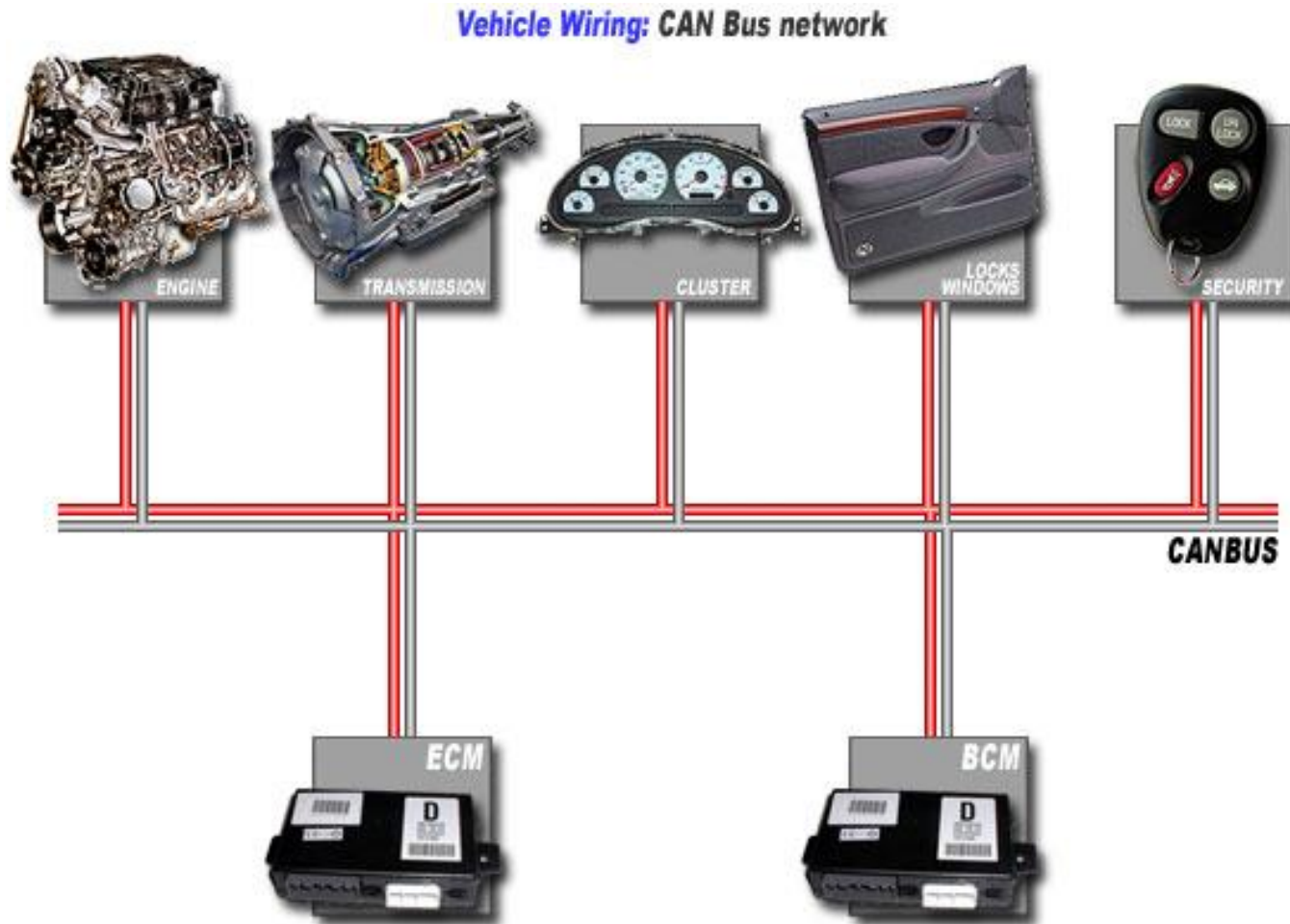
# STANAG 3910: топология



# STANAG 3910: обмен данными



# Шина CAN

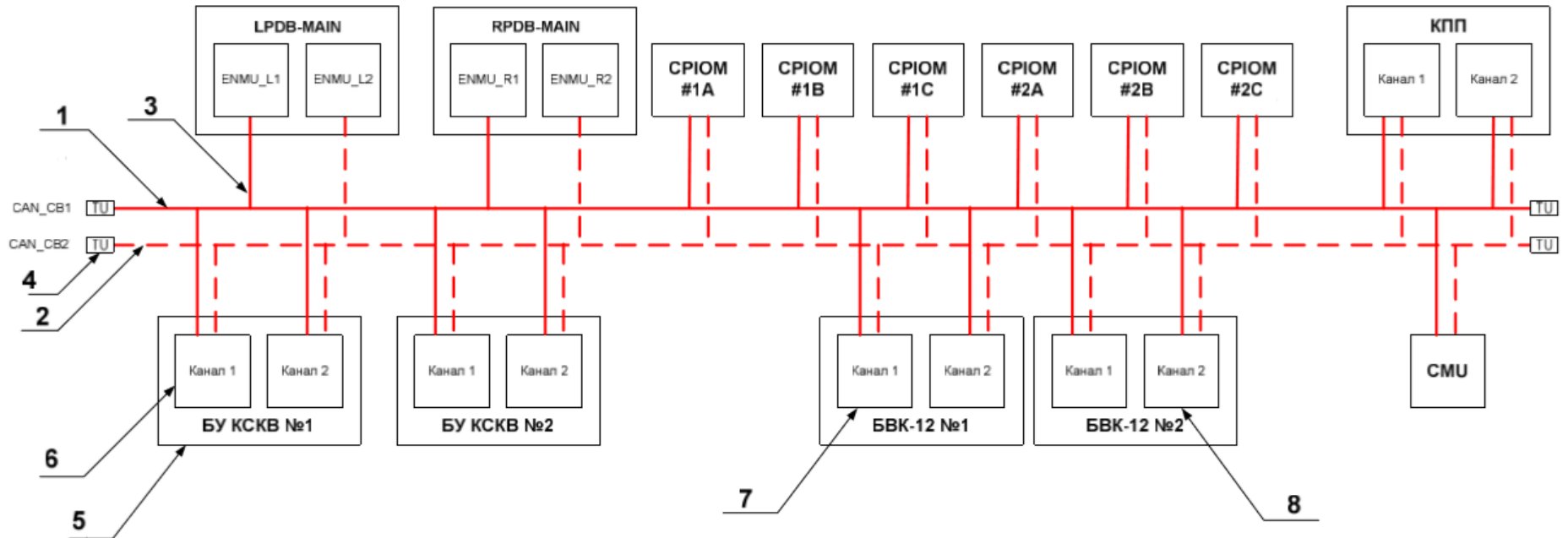


- служебная шина
- короткие сообщения

# Шина CAN: арбитраж

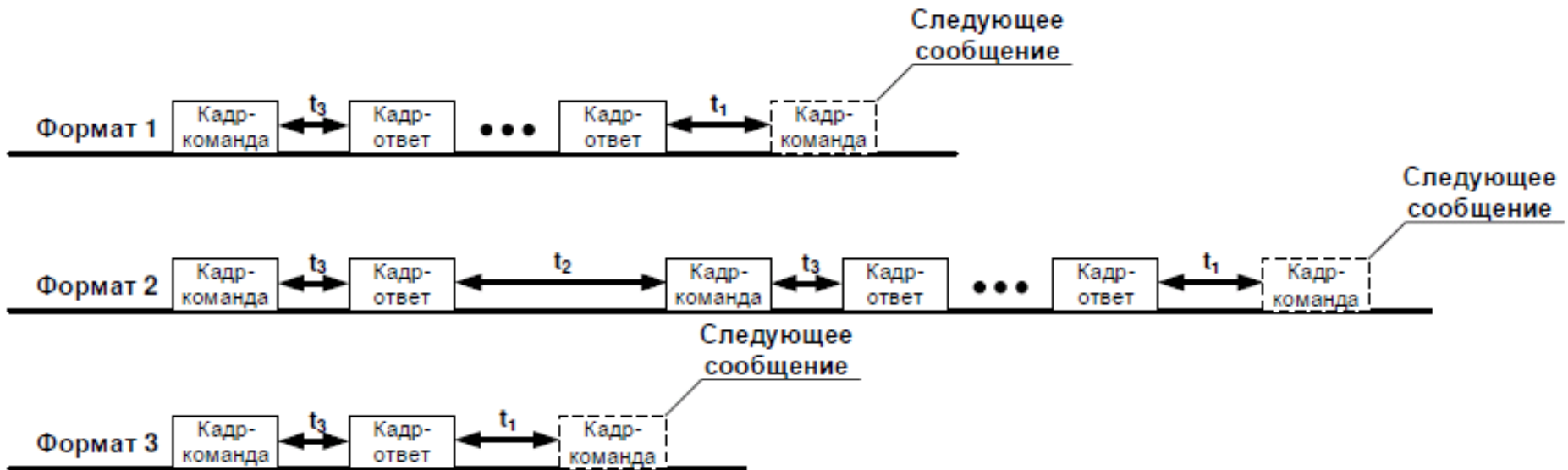
- Каждый абонент «слышит» передачу данных
- Нет передачи данных => можно начинать отправку своих данных
- Конфликт => абонент с «меньшим» адресом отступает
- Проблема: как ограничить задержку доставки данных?

# CAN с централизованным управлением



- 1 – Основная магистральная шина
- 2 – Резервная магистральная шина
- 3 – Ответитель основной магистральной шины
- 4 – Согласующий резистор
- 5 – Абонент интерфейса (БУ КСКВ №1)
- 6 – Устройство интерфейса
- 7 – Контроллер основной шины/Резервный контроллер резервной шины
- 8 – Контроллер резервной шины/Резервный контроллер основной шины

# CAN с централизованным управлением



Математика...



# Задача построения расписания выполнения работ в одноприборном устройстве

- Шина (канал) с централизованным управлением может рассматриваться как одноприборное устройство, обслуживающее исходно заданный набор работ без прерываний.
- Расписание выполнения работ, представляет собой упорядоченный набор

$$H = \left\{ s_j^* \right\}_{k=1}^{N_H}, j \in J$$

- $J = \{(t_j, s_j, f_j)\}$  - исходно заданный набор работ (длительности, директивные сроки)

# Задача построения расписания выполнения работ в одноприборном устройстве

- Множество корректных расписаний  $H^*$  определим набором ограничений:

$$g_1 : (\forall j \in H) \Rightarrow \left( (s_j^* \geq s_j) \wedge (f_j^* \leq f_j) \right)$$

$$g_2 : (\forall j \in H) \Rightarrow \left( f_j^* - s_j^* = t_j \right)$$

$$g_3 : (\forall (j, l) \in H, j \neq l) \Rightarrow \left( ((s_j^* < s_l^*) \vee (s_j^* \geq f_l^*)) \wedge ((f_j^* \leq s_l^*) \vee (f_j^* > f_l^*)) \right)$$

# Задача построения расписания выполнения работ в одноприборном устройстве

- Задача:

$$\max_{H \in H^*} |H|$$

- известна в теории расписаний как задача о выборе максимального числа совместимых заявок и является *NP*-трудной.

# Задача построения расписания выполнения работ в одноприборном устройстве

- Для частной задачи:

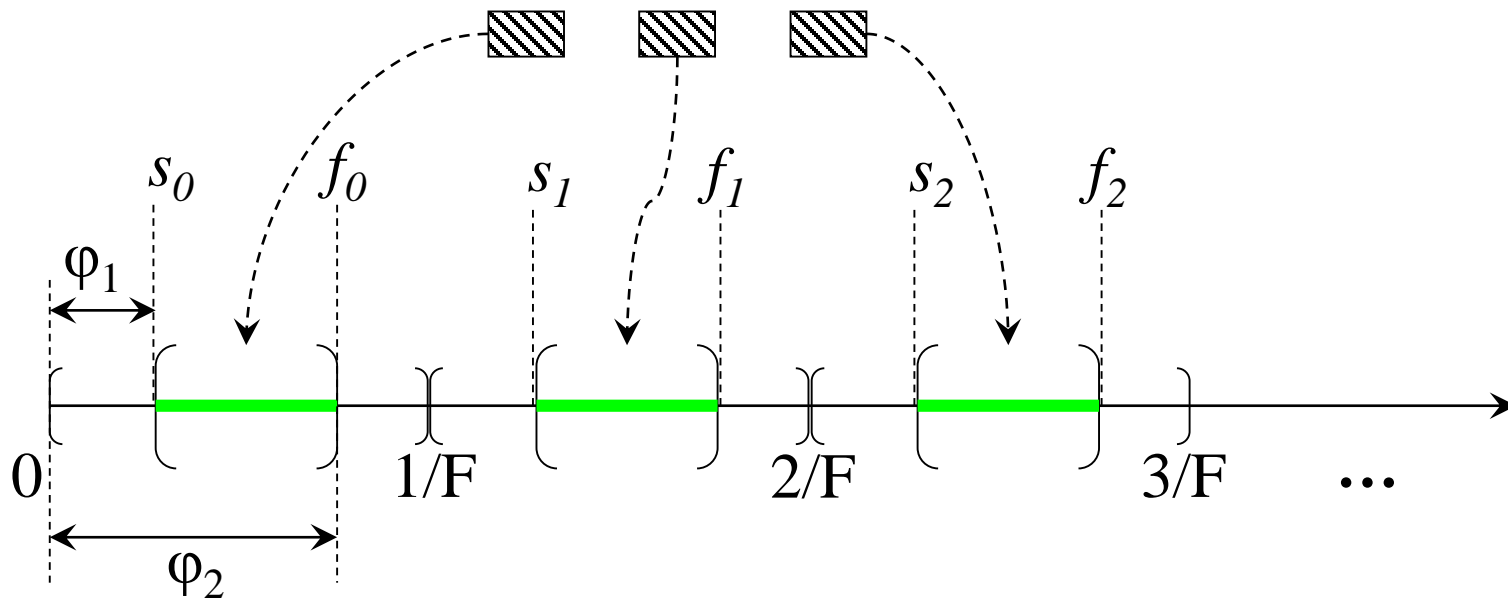
$$\max_{H \in H^*} |H|$$

$$\forall j: t_j = f_j - s_j$$

- известен оптимальный жадный алгоритм сложности  $O(n \cdot \log n)$ .

# Задача построения расписания передачи сообщений по шине

- Исходный набор периодических сообщений преобразуется во множество работ  $J$ .
- Сообщение  $m: (F, \varphi_1, \varphi_2, t)$ .

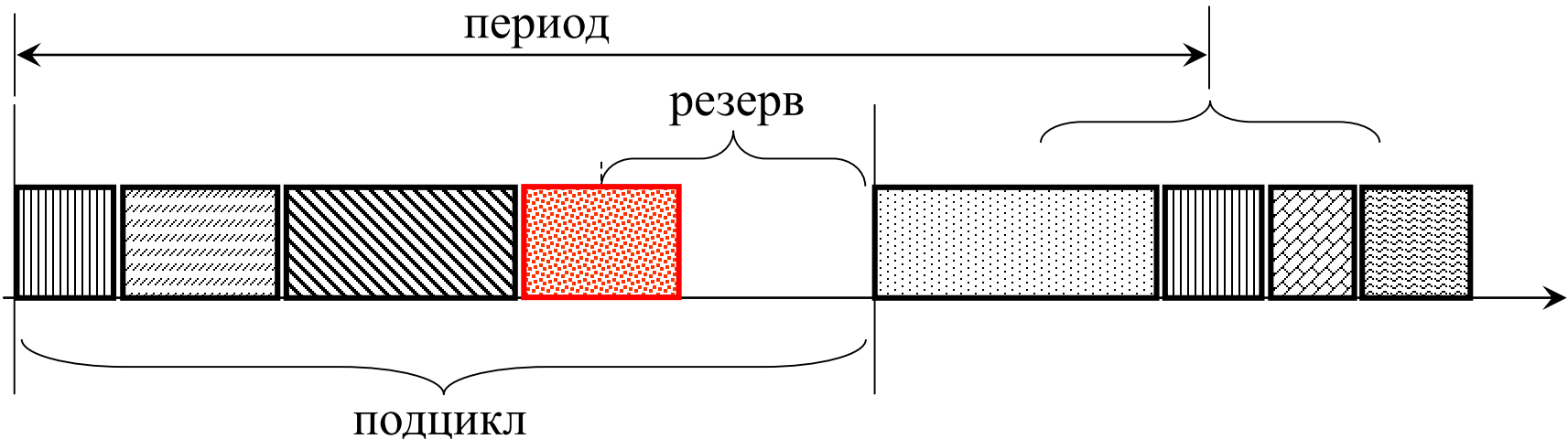


# Задача построения расписания передачи сообщений по шине

Дано:

- Множество работ, которые должны выполняться на системе  $J = \{j\}_{j=1}^{N_j}$
- Технологические ограничения на корректность расписания  $g_i(H, \bar{x}) \leq 0, i = 4 \dots N_g$
- Вектор параметров технологических ограничений  $\bar{x} = (x_1 \dots x_{N_x})$

# Пример: технологические ограничения на расписание передачи сообщений по шине



- Одна цепочка работ в подцикле
- Резерв времени в конце подцикла
- Максимальная длительность цепочки работ
- Максимальное отклонение расстояния между последовательными работами одного сообщения от периода сообщения

# Ограничения для схемы с подциклами

- g4* - в каждом подцикле может находиться не более одной цепочки работ.
- g5* - интервалы выполнения работ не должны пересекать границы подцикла.
- g6* - время начала цепочки работ относительно начала подцикла не должно быть меньше заданного значения.
- g7* - в конце подцикла должен быть зарезервирован интервал времени не меньше заданной длительности.
- g8* - число работ в цепочке не должно превышать заданного значения.



# Ограничения для схемы без подциклов

- $g_4$  - число работ в цепочке не должно превышать заданного значения.
- $g_5$  - суммарная длительность выполнения работ цепочки не должна превышать заданного значения.
- $g_6$  - интервал времени между последовательными цепочками должен быть не меньше заданного значения.

# Жадный алгоритм построения расписания

$t$ : самое раннее время, на которое допустимо планировать работы;  
 $t$  монотонно возрастает.

Алгоритм:

- 1)  $t := 0$
- 2) выбрать, в соответствии с детерминированным критерием  $CR$ , работу, которая может быть начата в момент  $t$  без нарушения ограничений;  
нет такой работы  $\rightarrow t :=$  <минимальное значение, для которого такая работа существует>; перейти к шагу 5
- 3) поместить выбранную работу в расписание, с временем начала  $t$
- 4)  $t :=$  <время завершения выбранной работы>
- 5) учесть технологические ограничения
  - обновить значение  $t$
  - обновить директивные интервалы оставшихся работ (начало  $\geq t$ )
- 6) директивные интервалы некоторых работ короче самих работ  
 $\rightarrow$  внести эти работы в список *исключенных*
- 7) есть работы, не исключенные и не вошедшие в расписание  
 $\rightarrow$  перейти к шагу 2

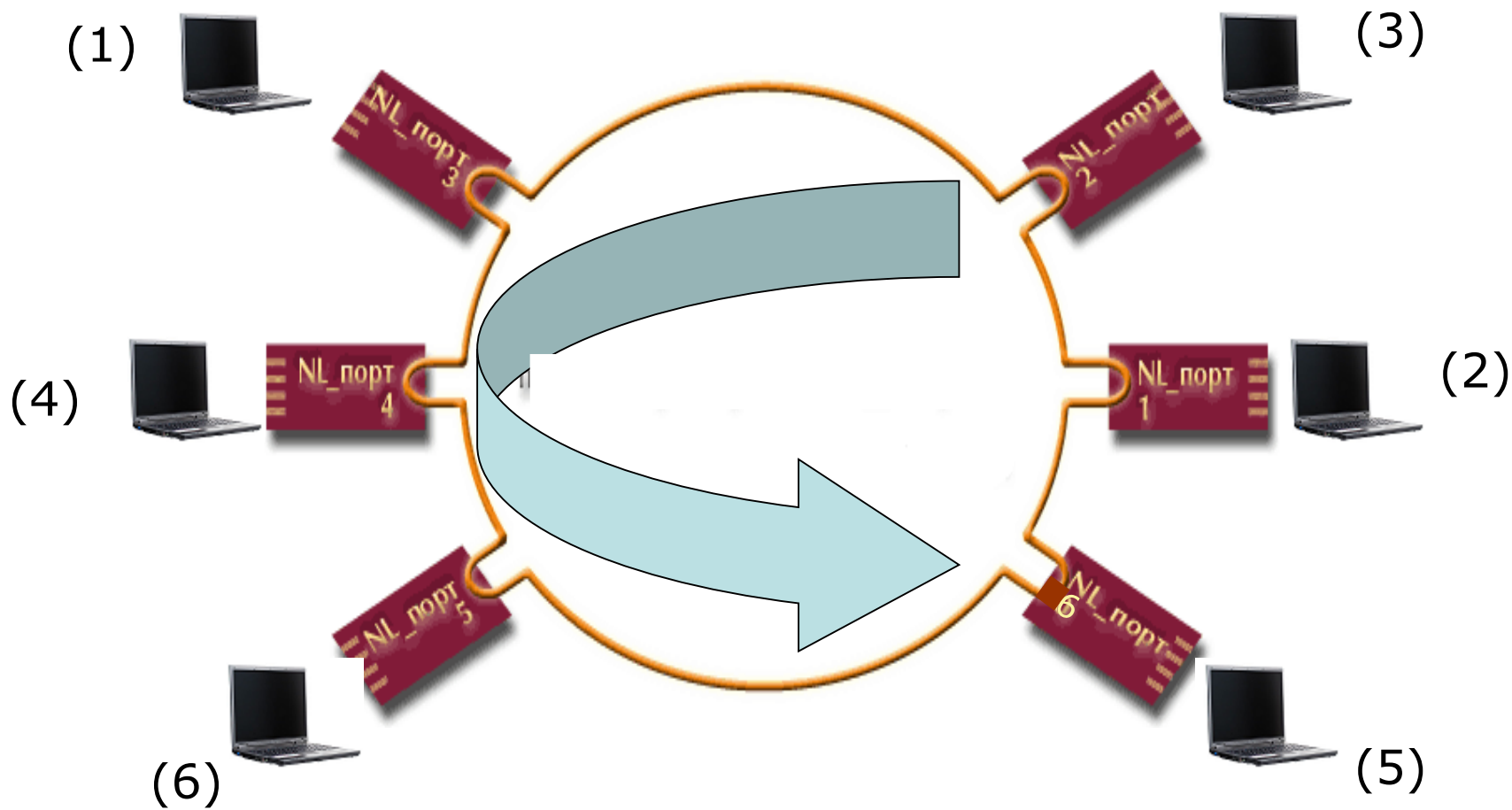
Например, EDF

# Недостатки жадного алгоритма

- Критерий выбора работ должен быть определен заранее
- Для каждого критерия (RM, EDF, ...) существуют наборы работ, на которых он дает плохой результат  
→ ручной выбор критерия или перебор критериев
- Нет «обучения» по результатам неуспешных запусков  
→ если алгоритм неуспешен на конкретных данных, он всегда будет неуспешен на них при том же критерии  $CR$

*Возможное решение:* адаптивный алгоритм с элементами недетерминизма (например, муравьиный)

# Кольцо с арбитражем



# Топологии и классы обслуживания стандарта Fibre Channel

- точка-точка (Point-to-Point),
- коммутируемая сеть (Switched Fabric),
- кольцо с арбитражем (Arbitrated Loop).

# Кольцо с арбитражем Fibre Channel (*классы обслуживания*)

- класс 1 – выделенное соединение с подтверждениями;
- класс 2 – передача без установки соединения с подтверждениями;
- класс 3 – передача без установки соединения без подтверждений.

## Описание работы кольца с арбитражем

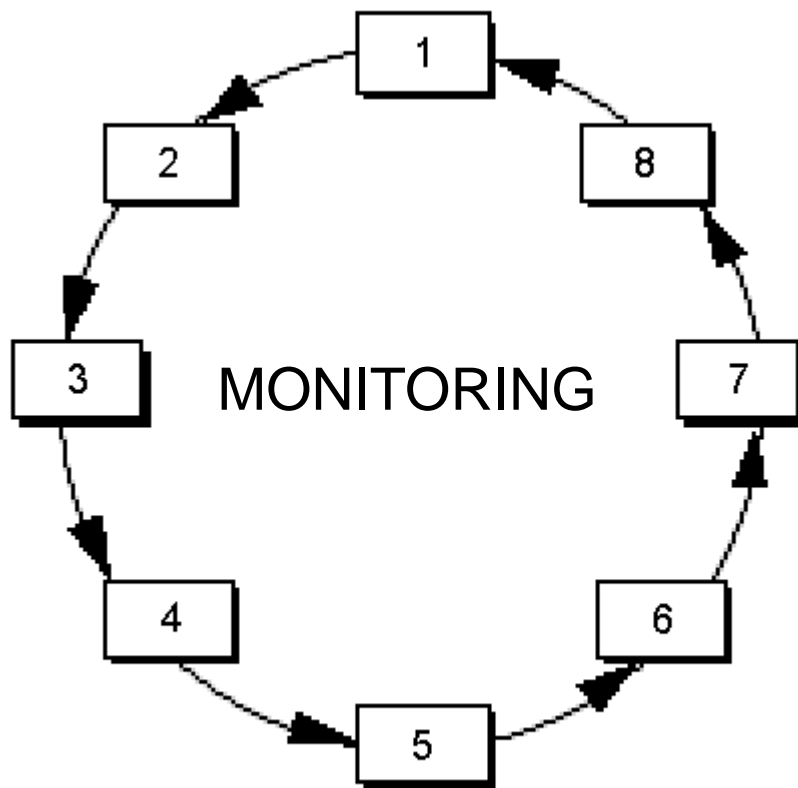
- *MONITORING* - все принятые портом слова ретранслируются далее, т.е. порт передает в выходной канал принятый набор из 40 бит.
- *ARBITRATING* - порт переходит в это состояние, когда ему необходимо получить доступ к кольцу для передачи информации.
- *ARBITRATION WON* - состояние, в котором порт считается выигравшим арбитраж.
- *OPENED* - порт-приемник переходит в это состояние, когда он получает слово OPN с указанием своего адреса.

## Описание работы кольца с арбитражем

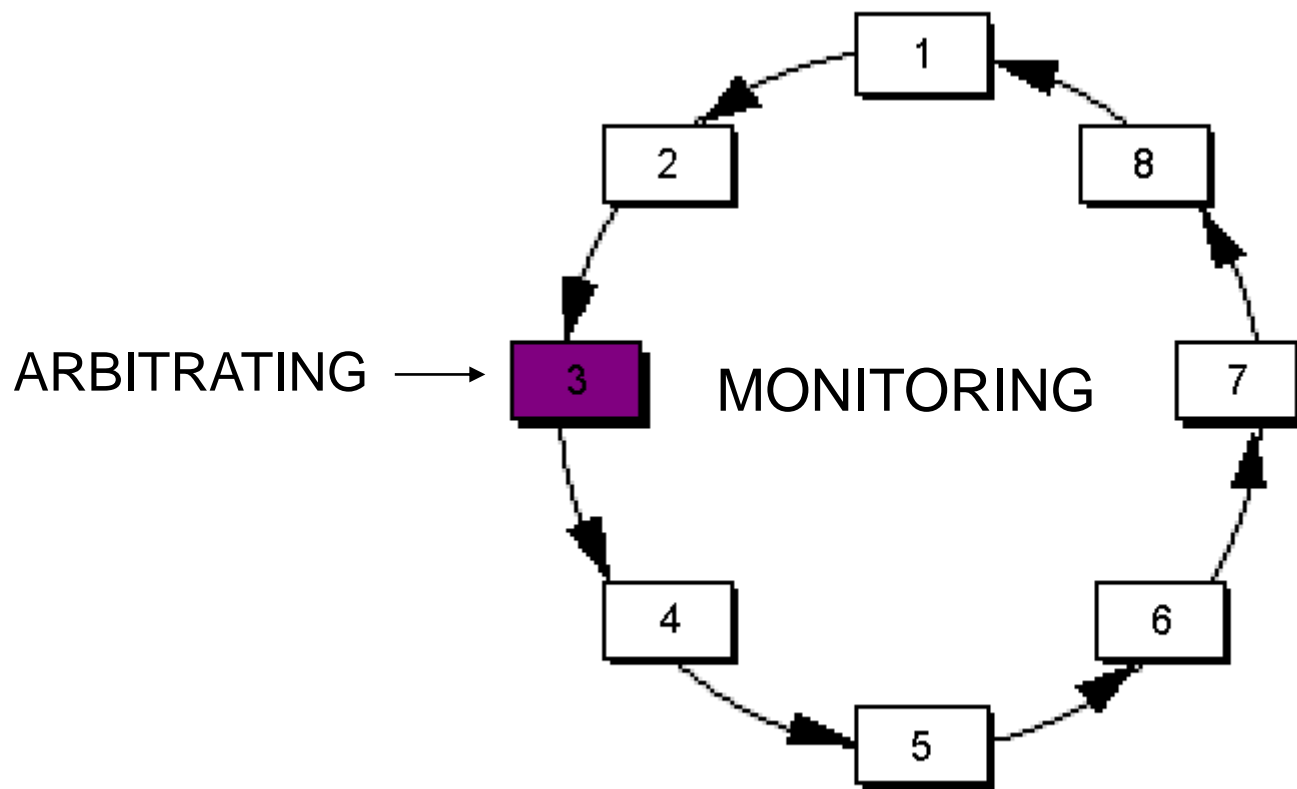
- *OPEN* - порт начинает передавать кадр с данными.
- *XMITTED CLOSE* - порт переходит в это состояние, когда у него больше нет данных для передачи, и для закрытия портов-приемников он передал служебное слово CLS.
- *RECEIVED CLOSE* - порт-приемник переходит в это состояние, когда он получает служебное слово CLS. В этом состоянии порт ретранслирует слово CLS и переходит в состояние *MONITORING*.



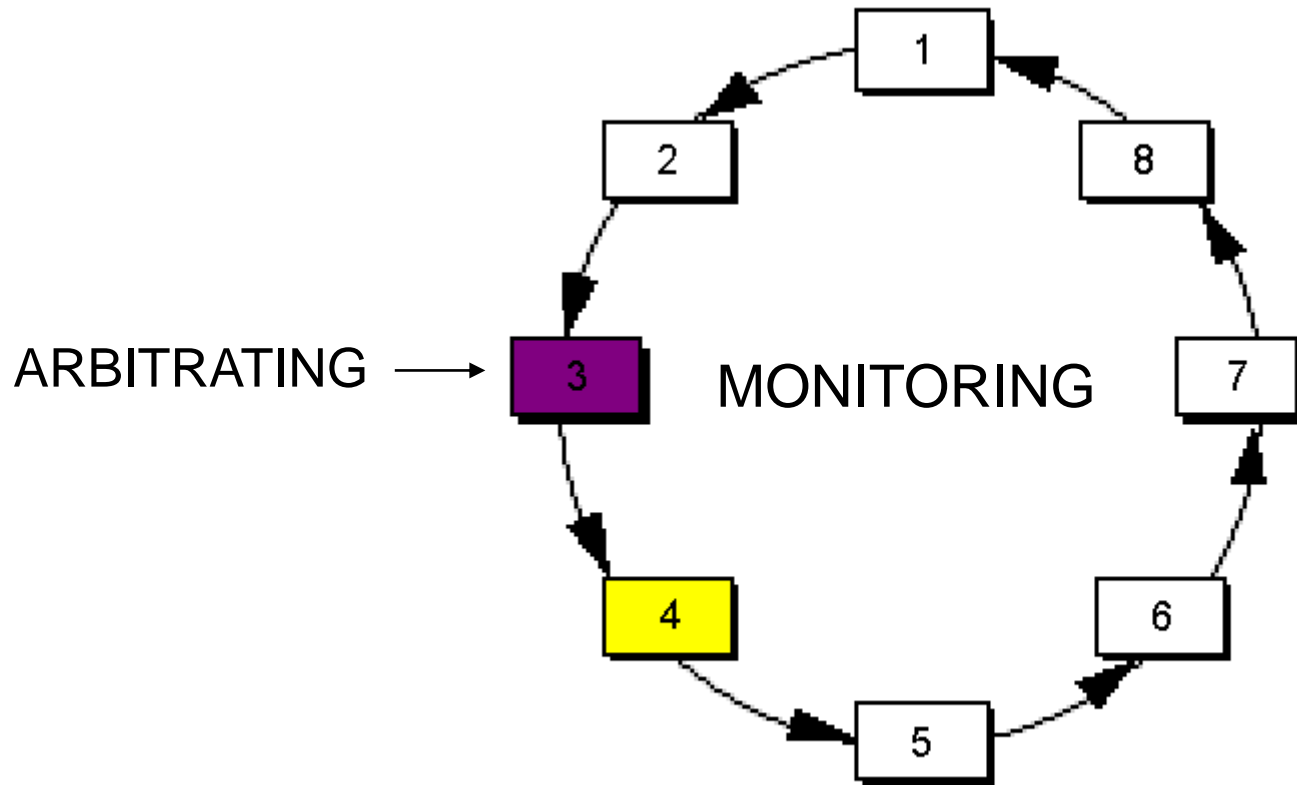
# Передача сообщения



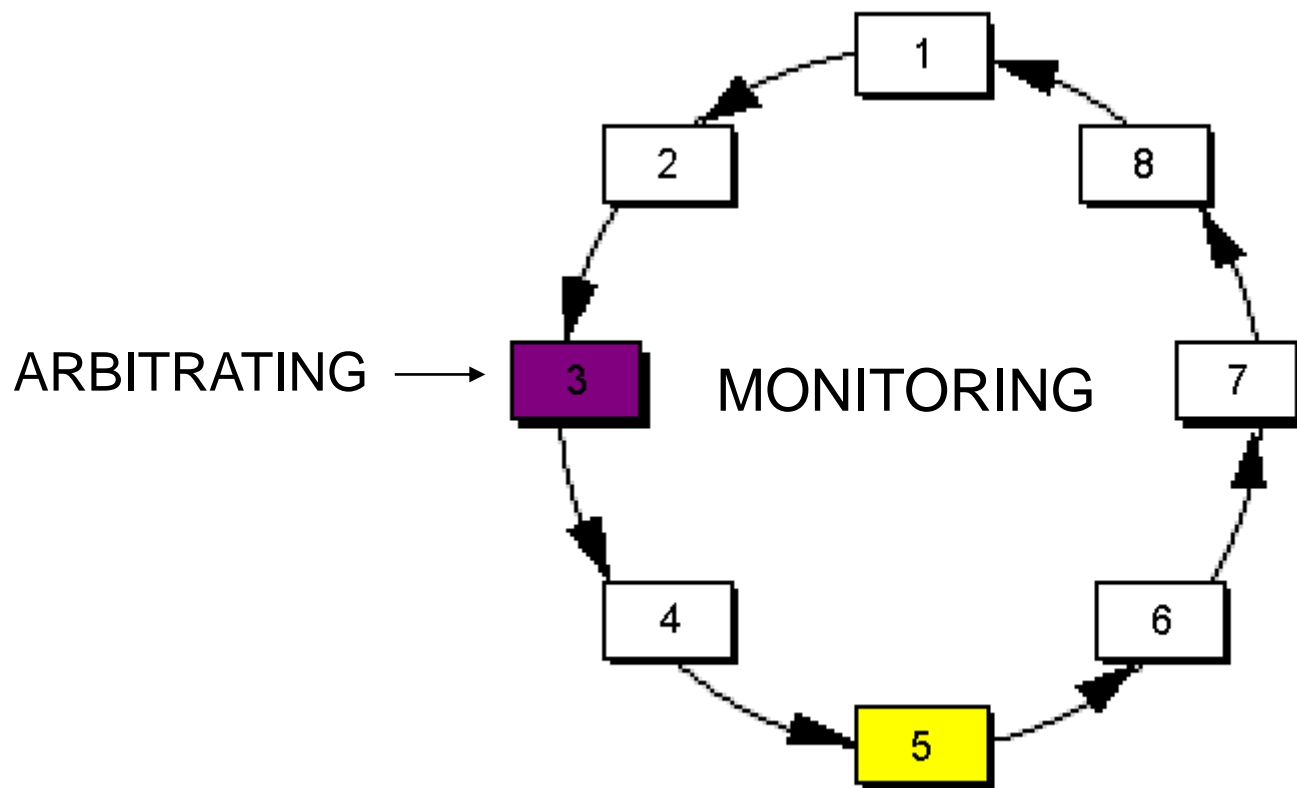
# Передача сообщения



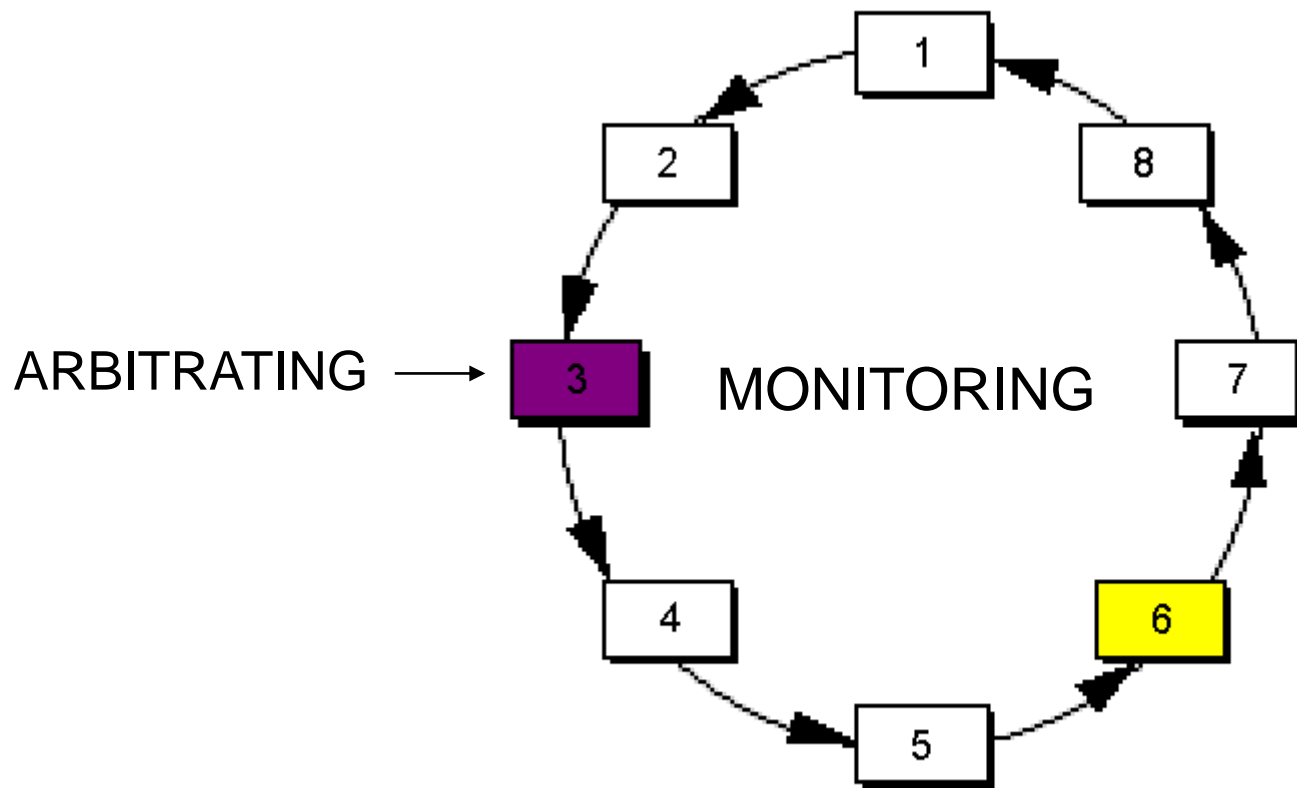
# Передача сообщения



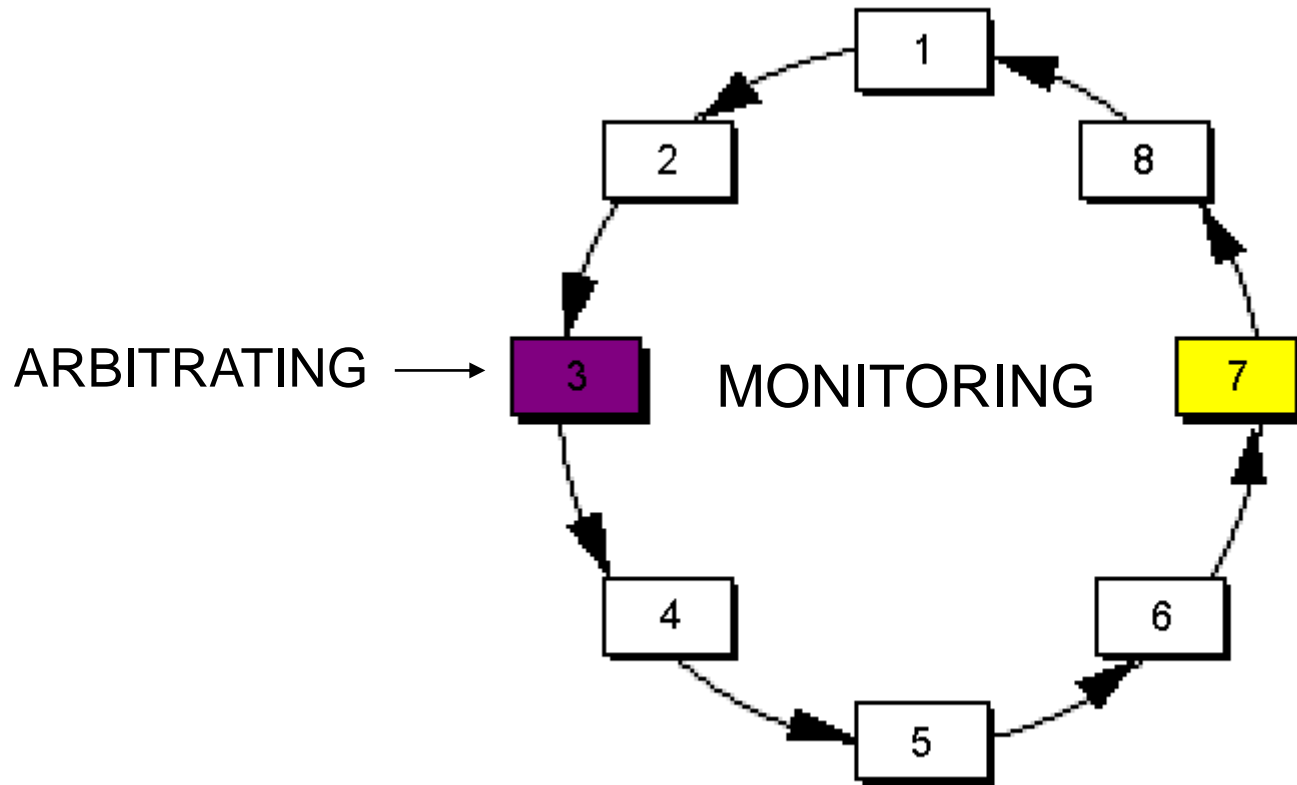
# Передача сообщения



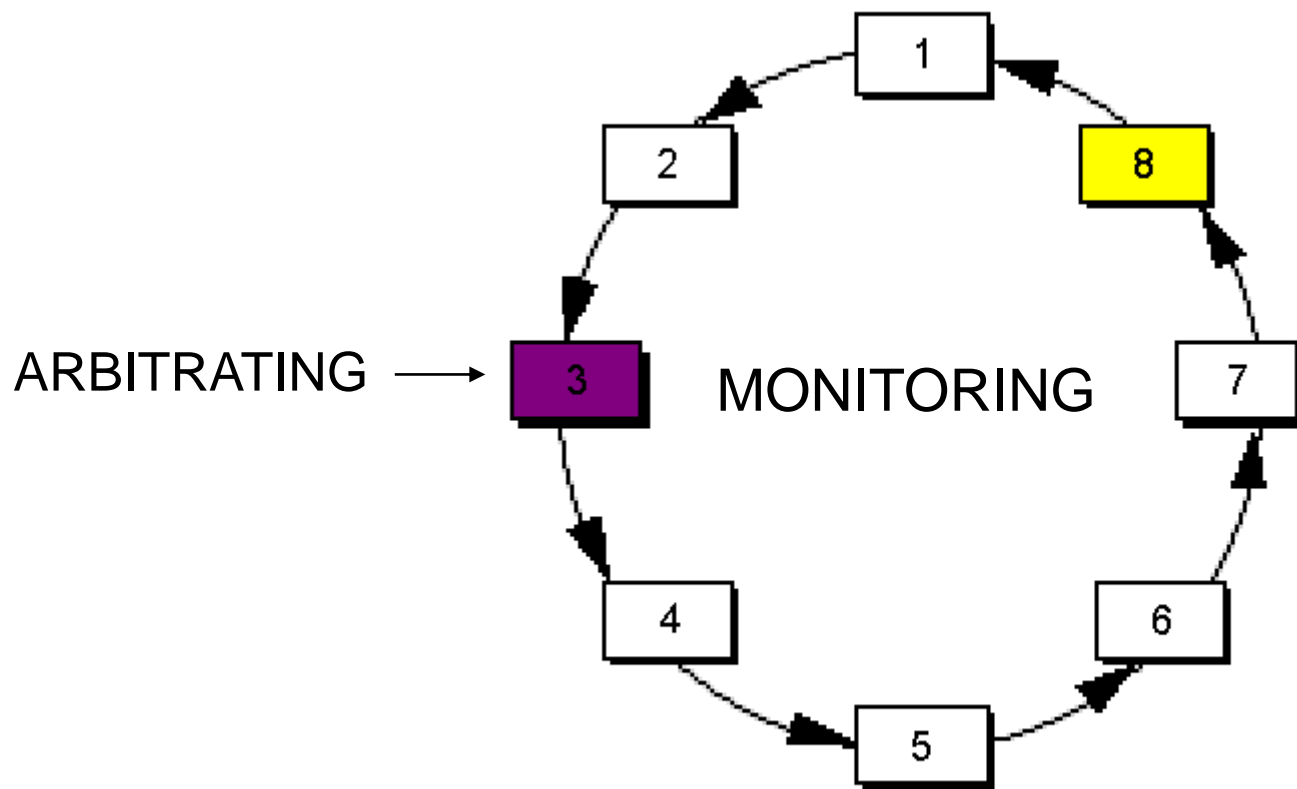
# Передача сообщения



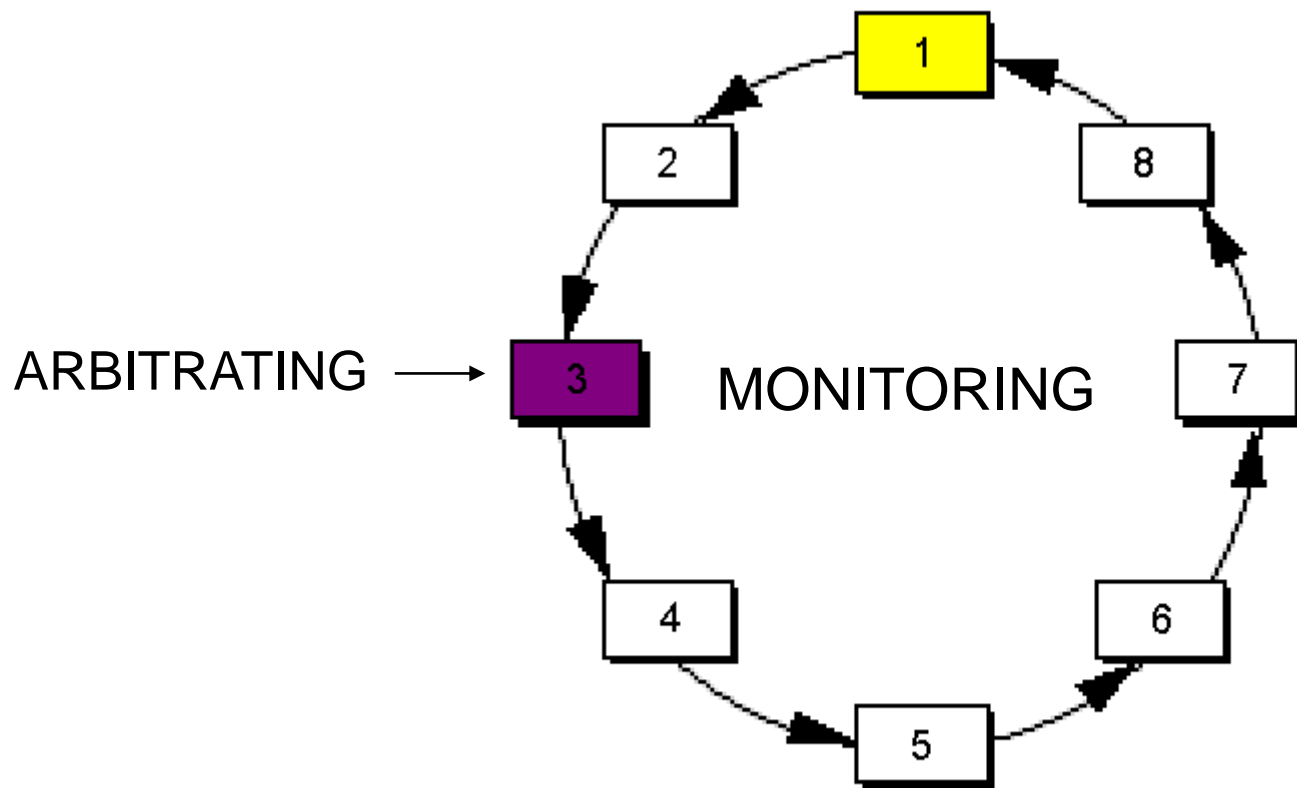
# Передача сообщения



# Передача сообщения

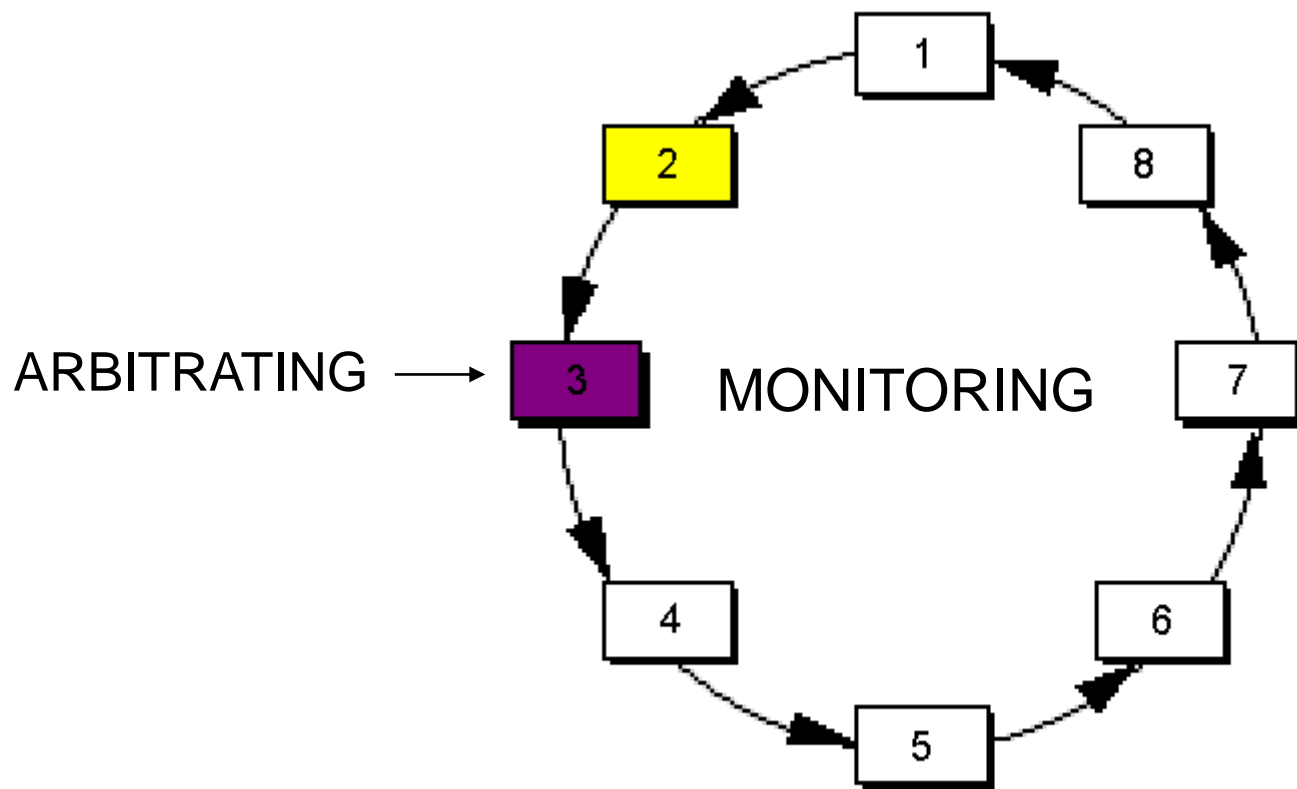


# Передача сообщения

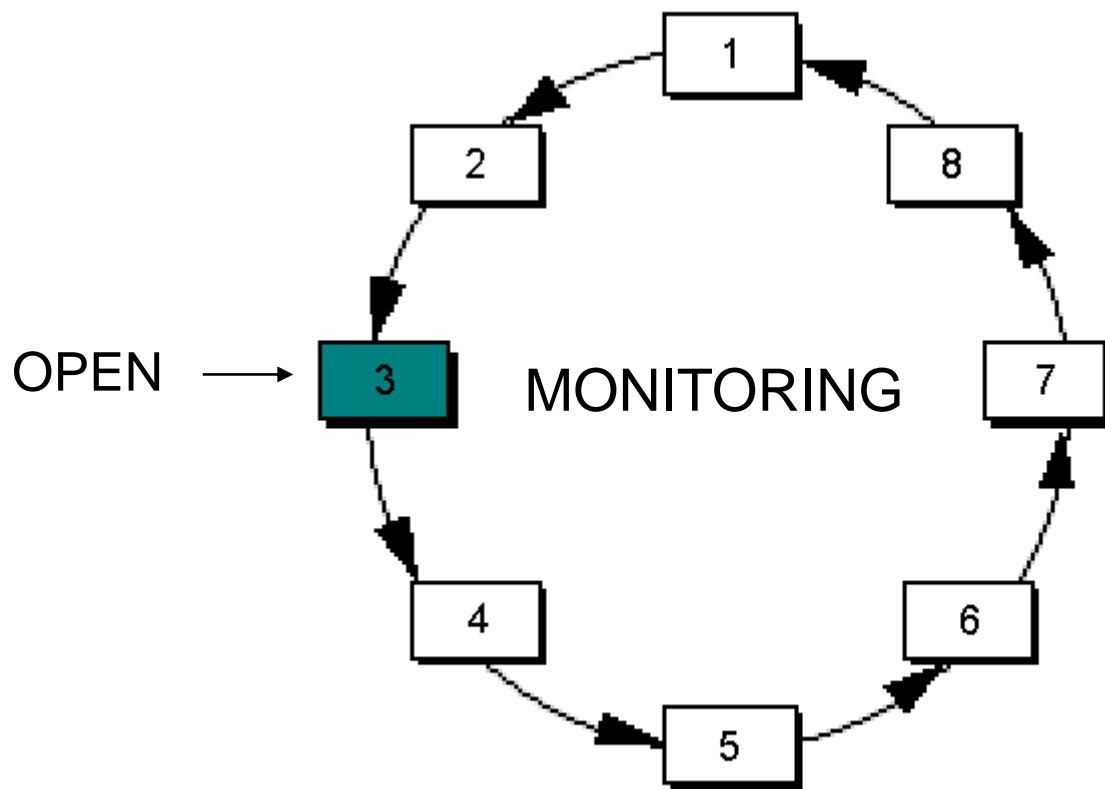




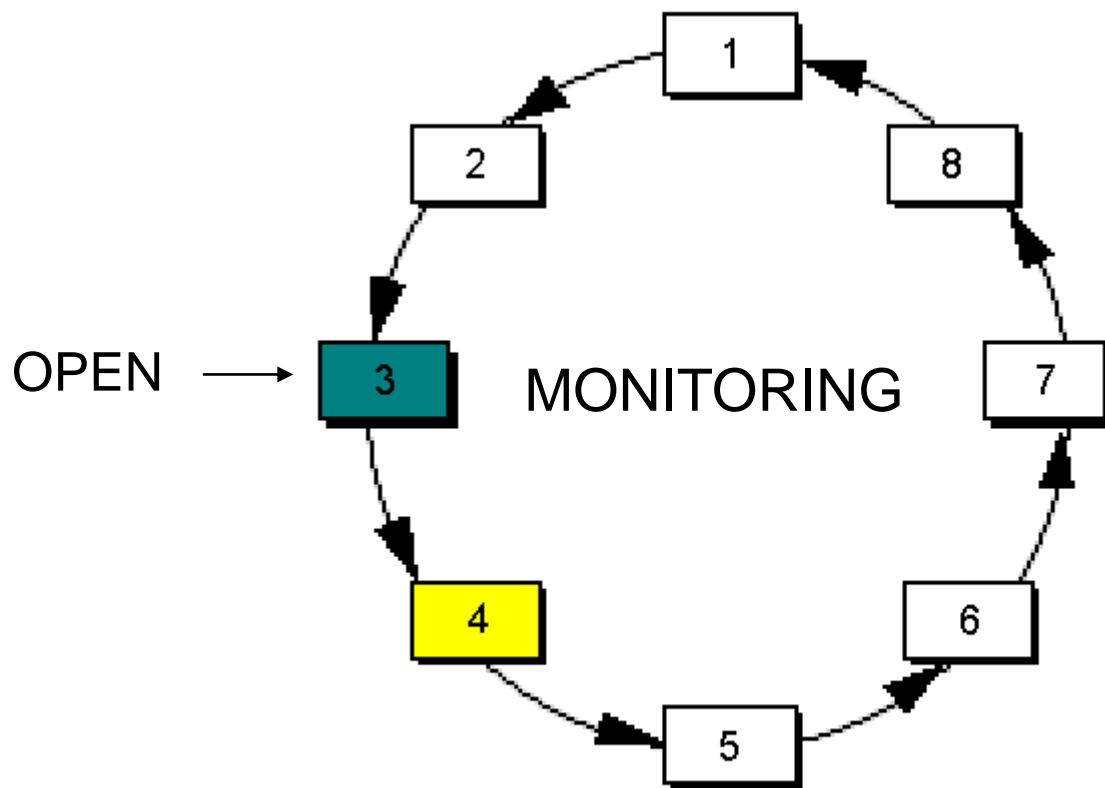
# Передача сообщения



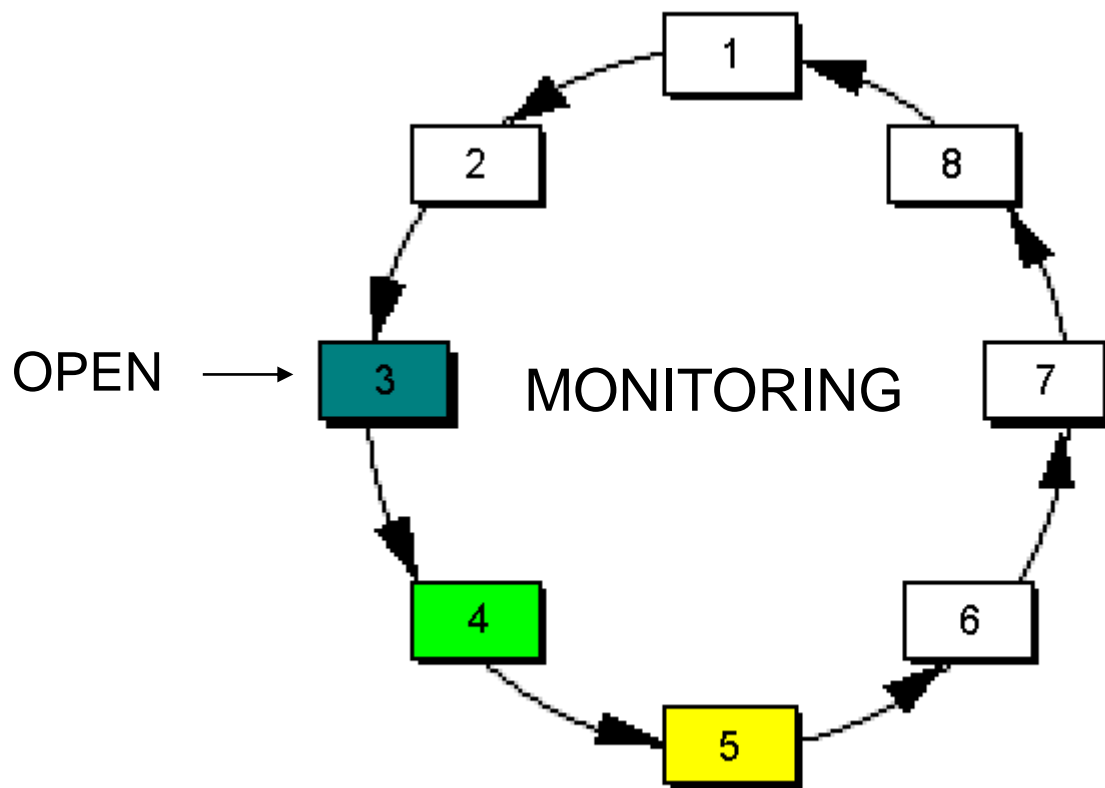
# Передача сообщения



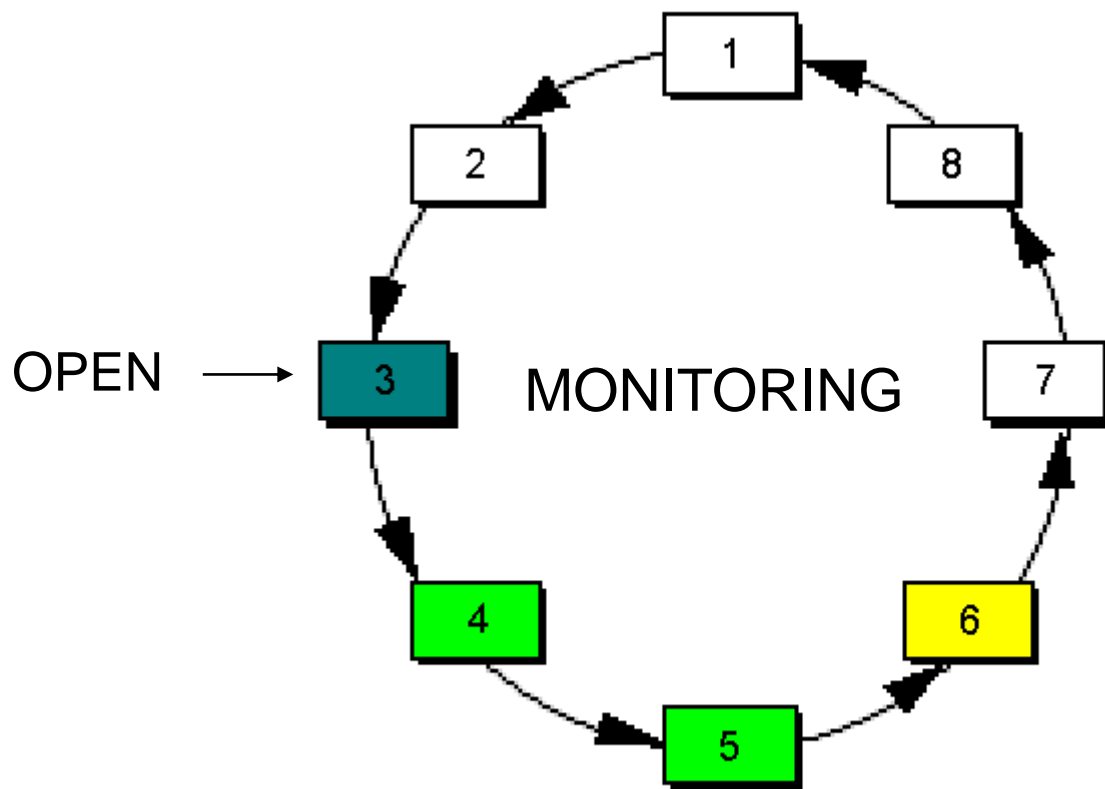
# Передача сообщения



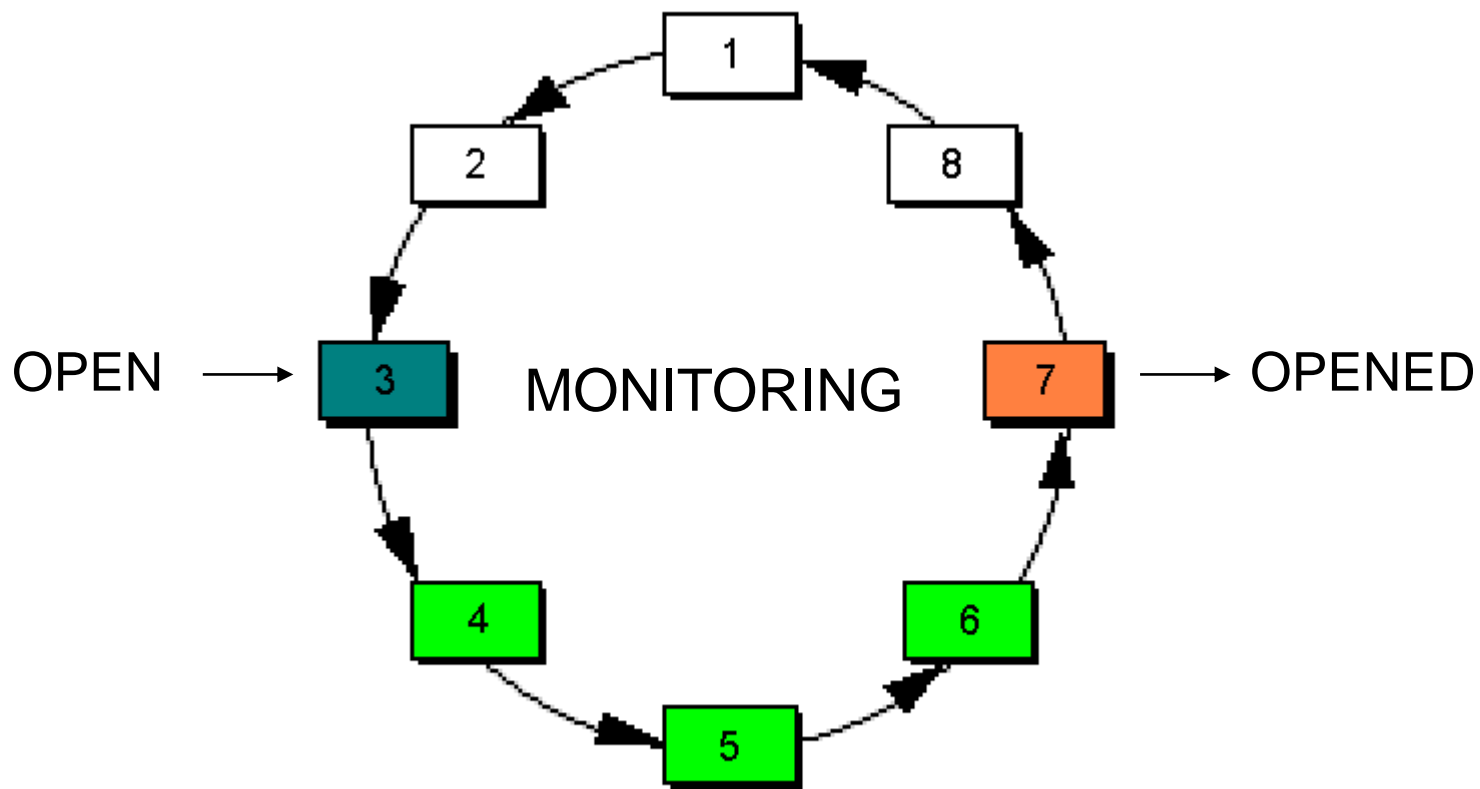
# Передача сообщения



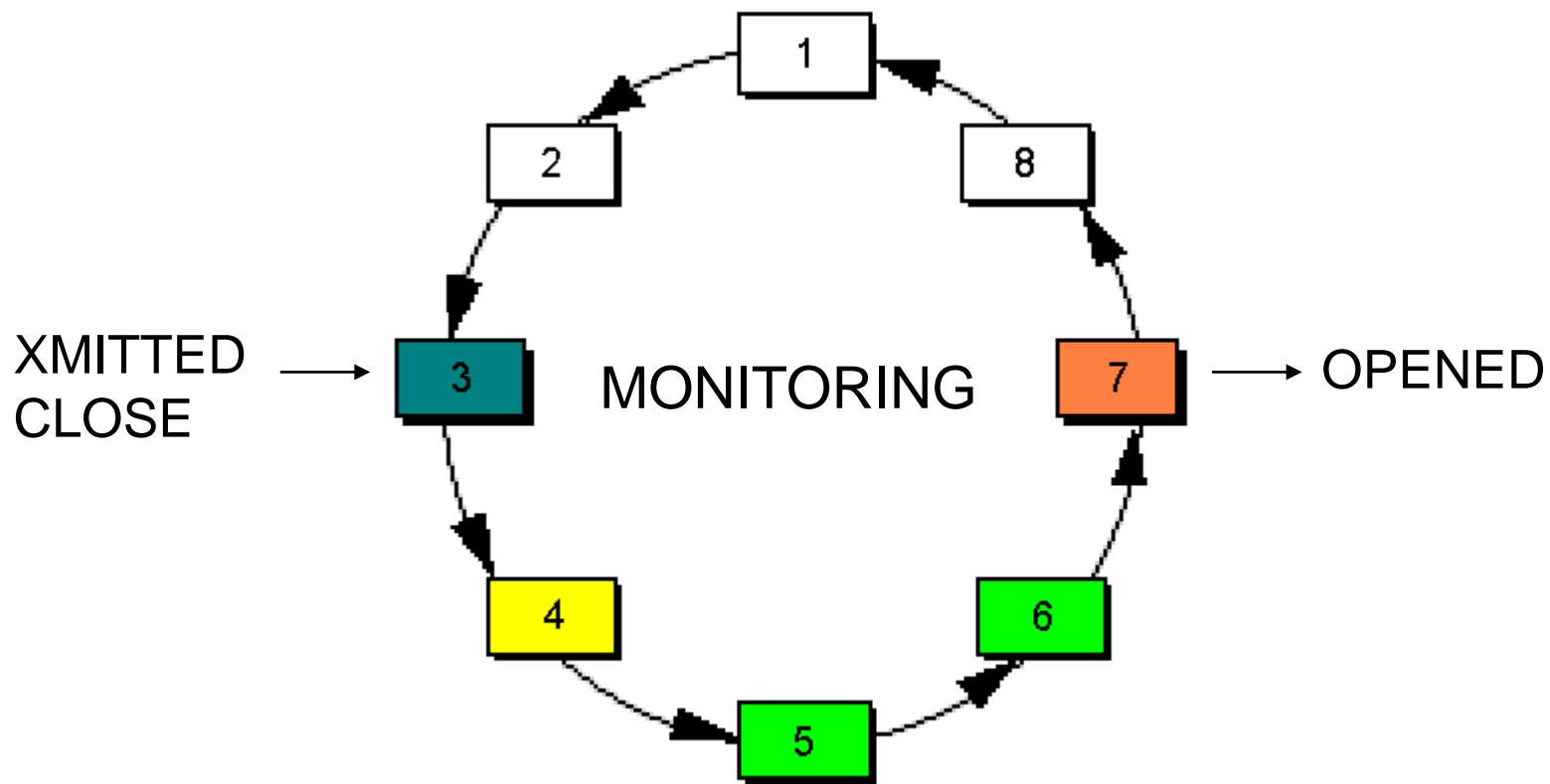
# Передача сообщения



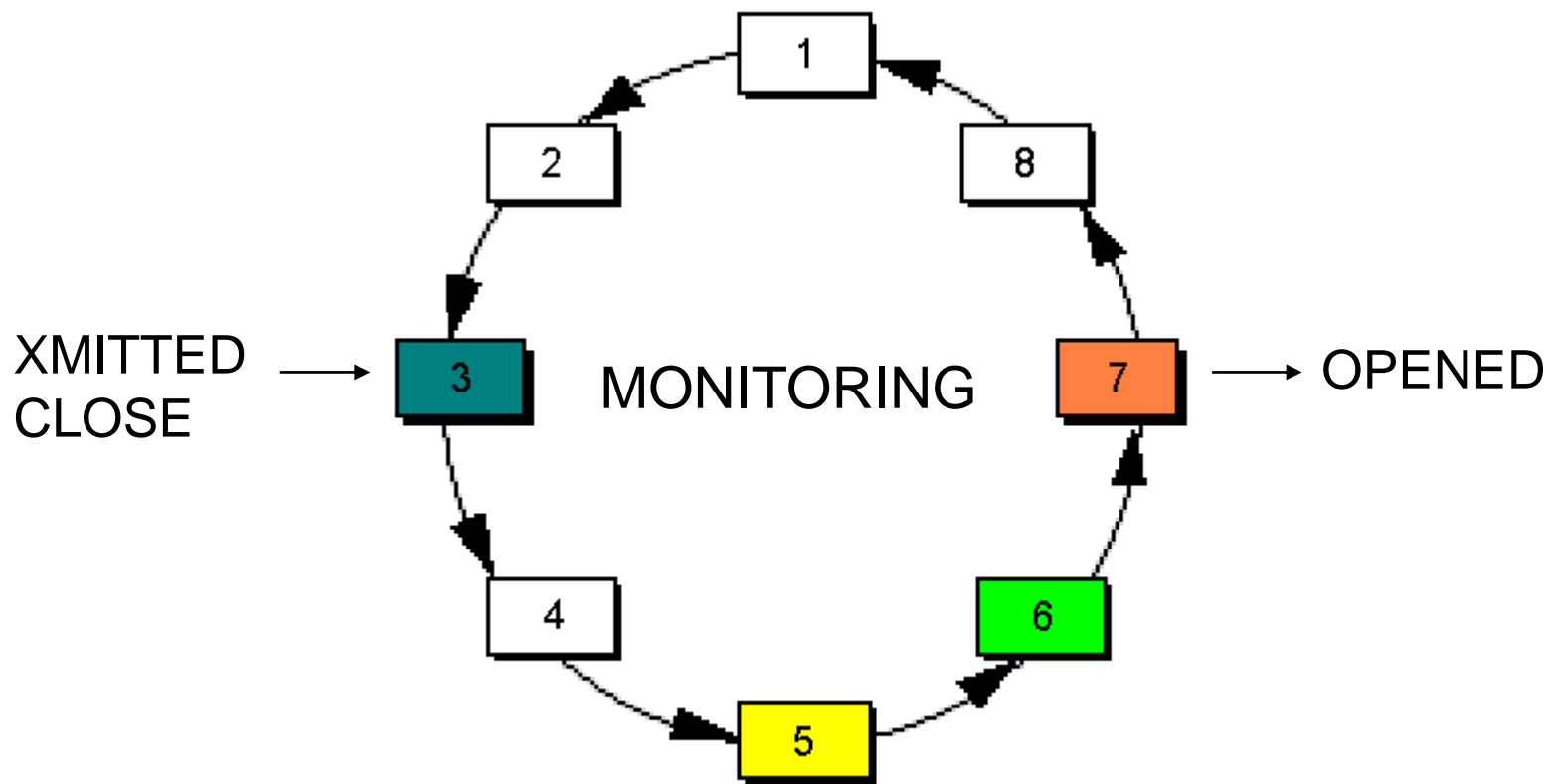
# Передача сообщения



# Передача сообщения

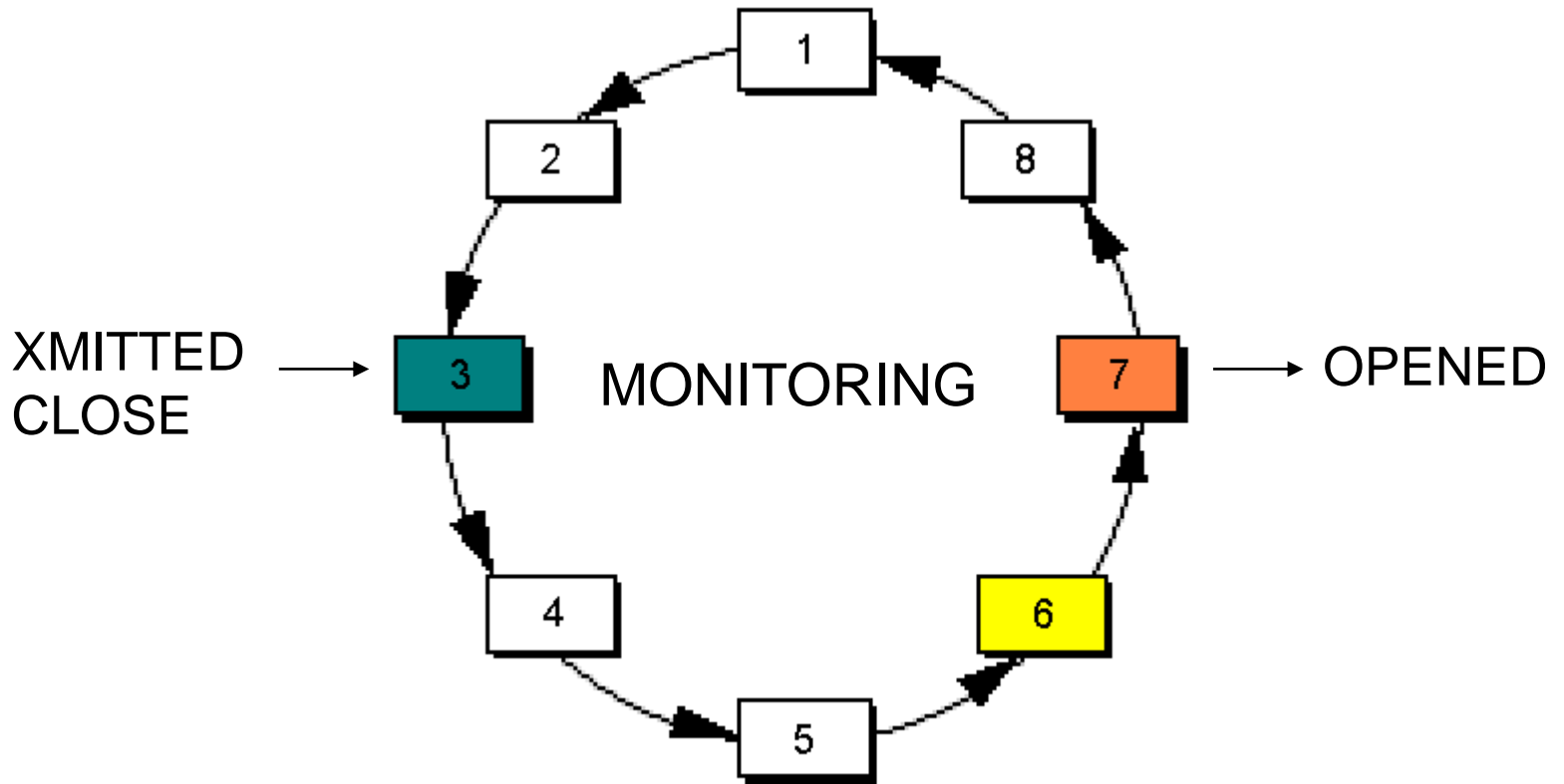


# Передача сообщения

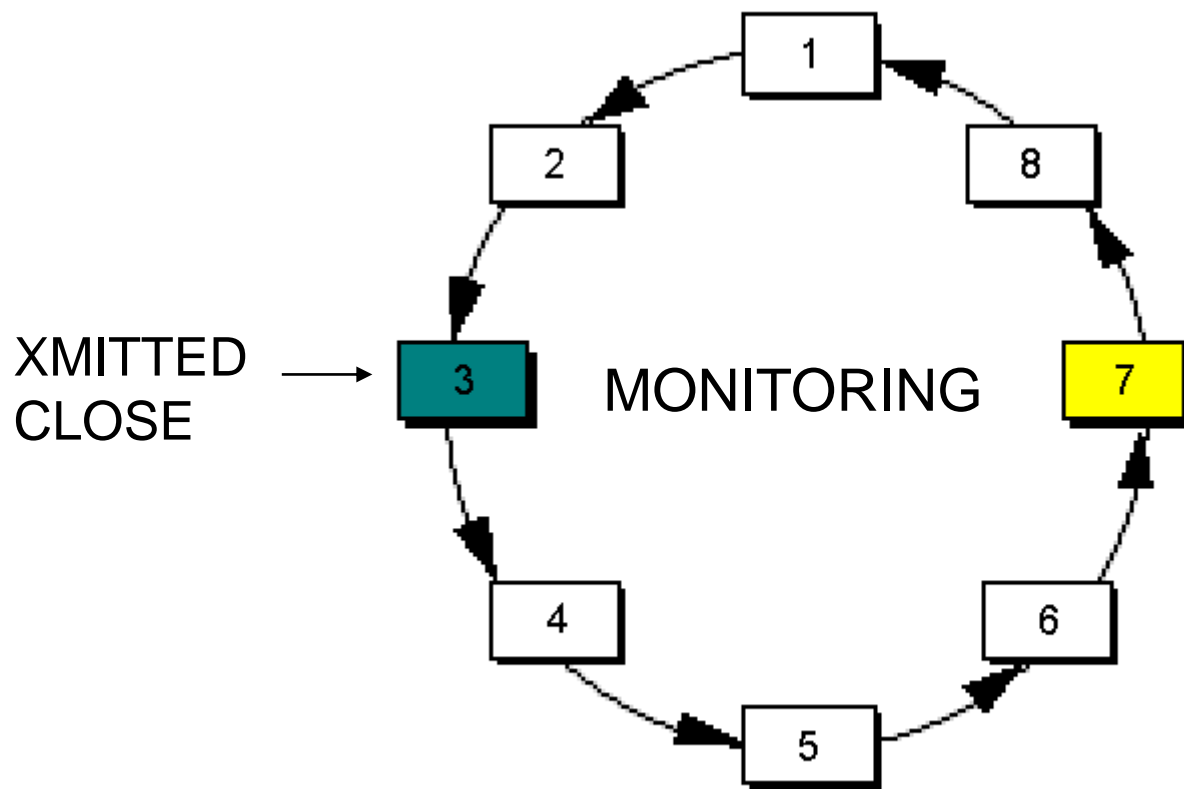




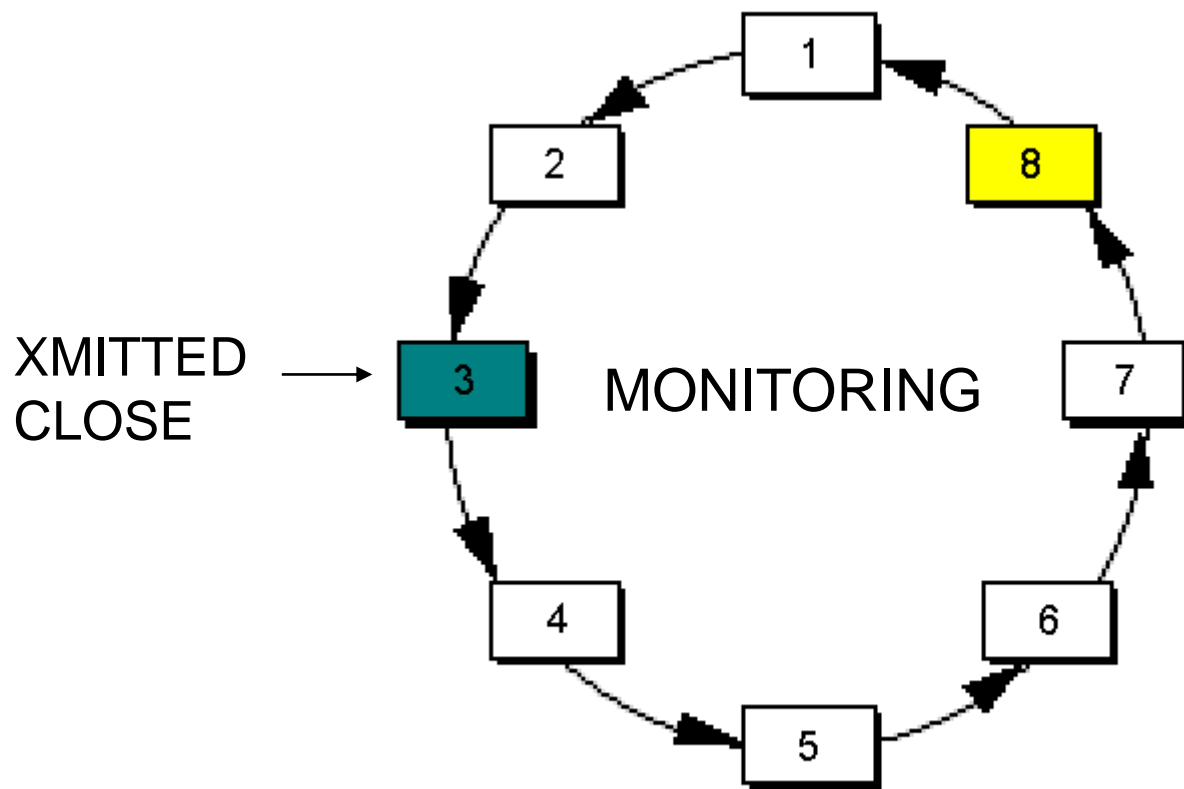
# Передача сообщения



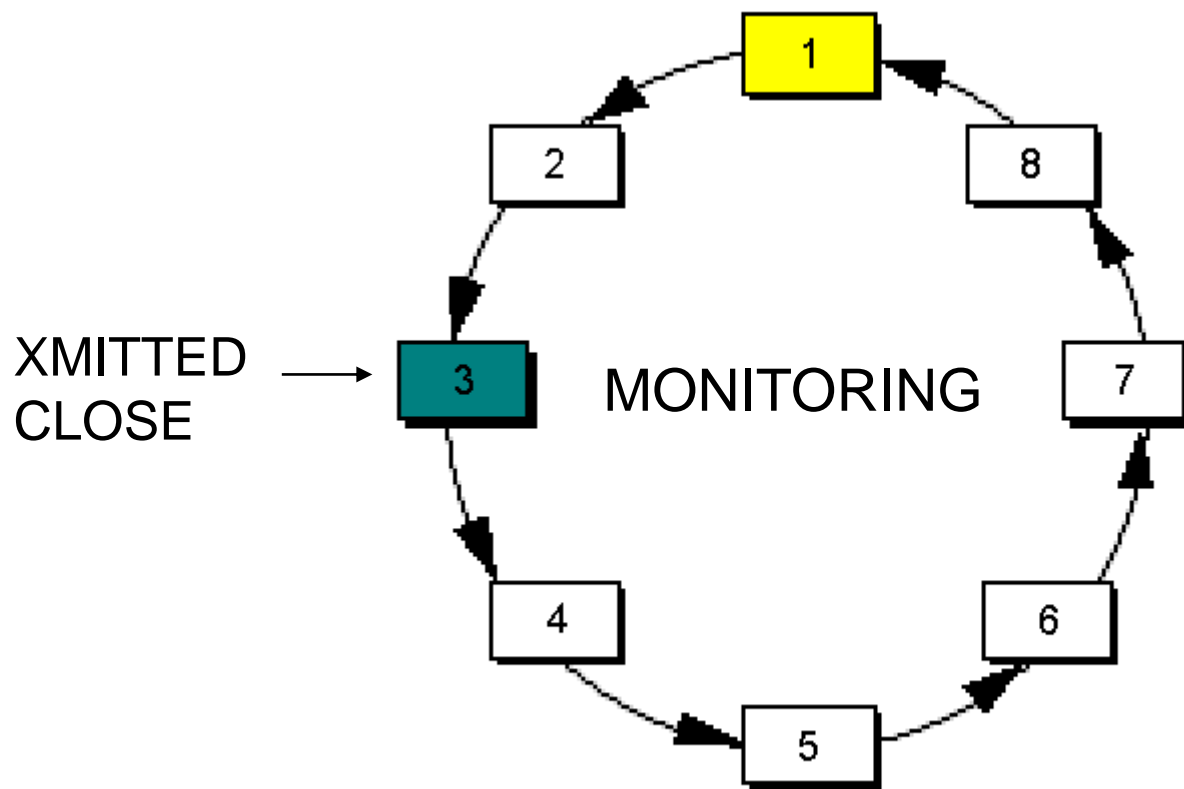
# Передача сообщения



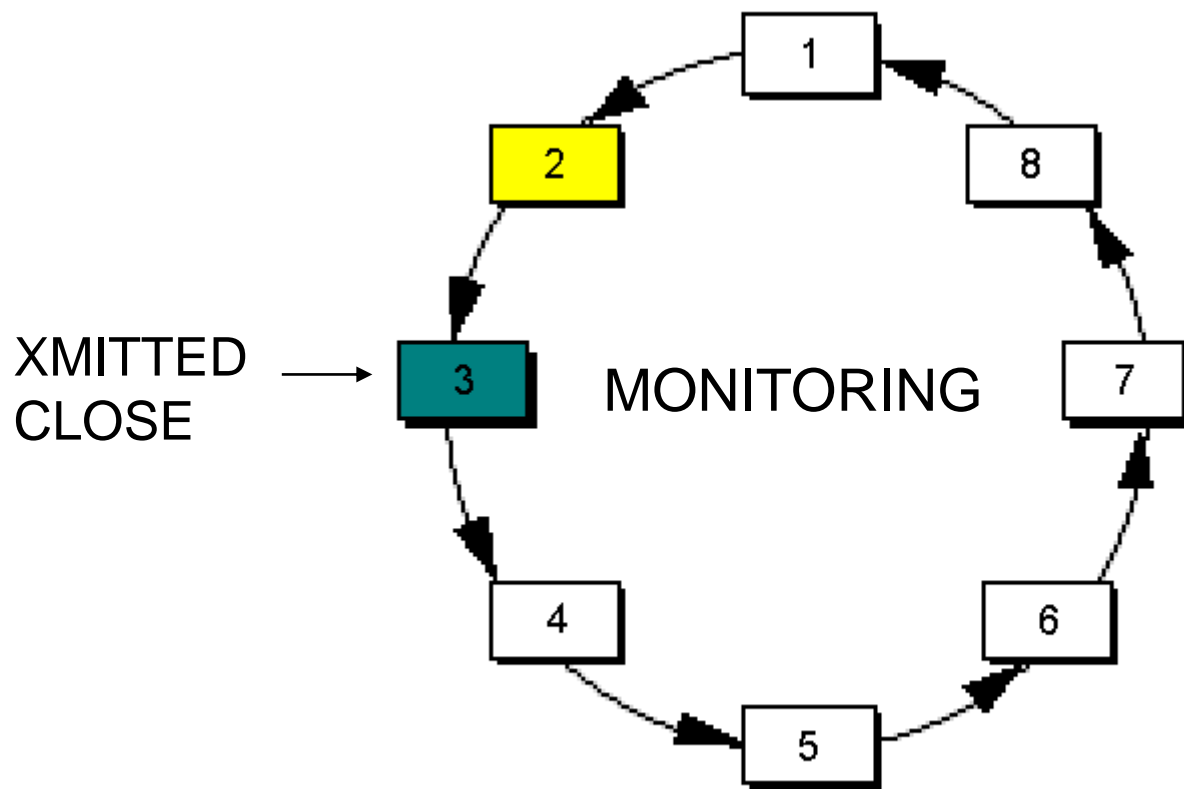
# Передача сообщения



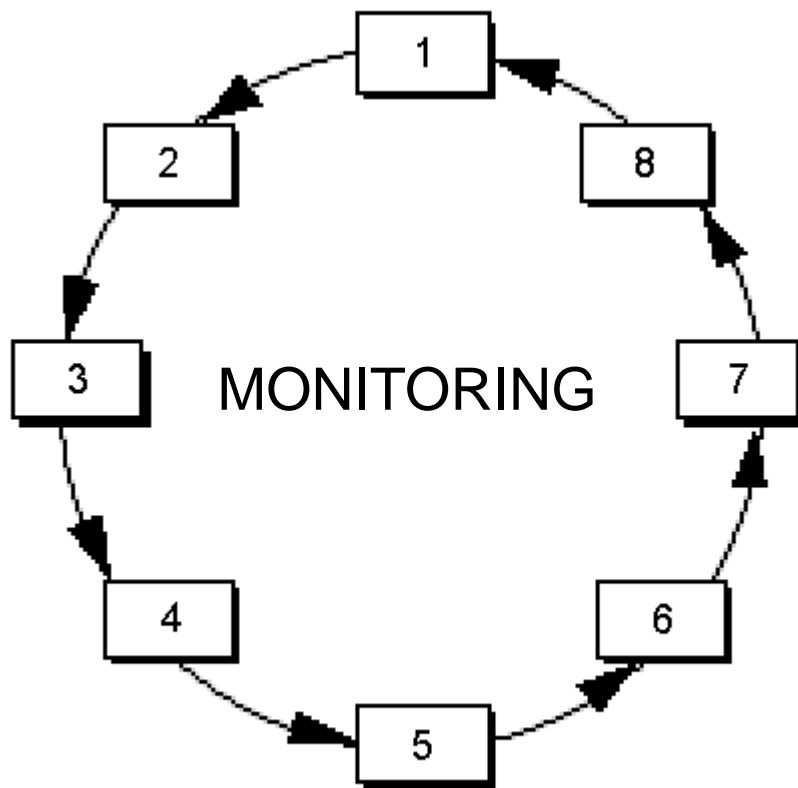
# Передача сообщения



# Передача сообщения

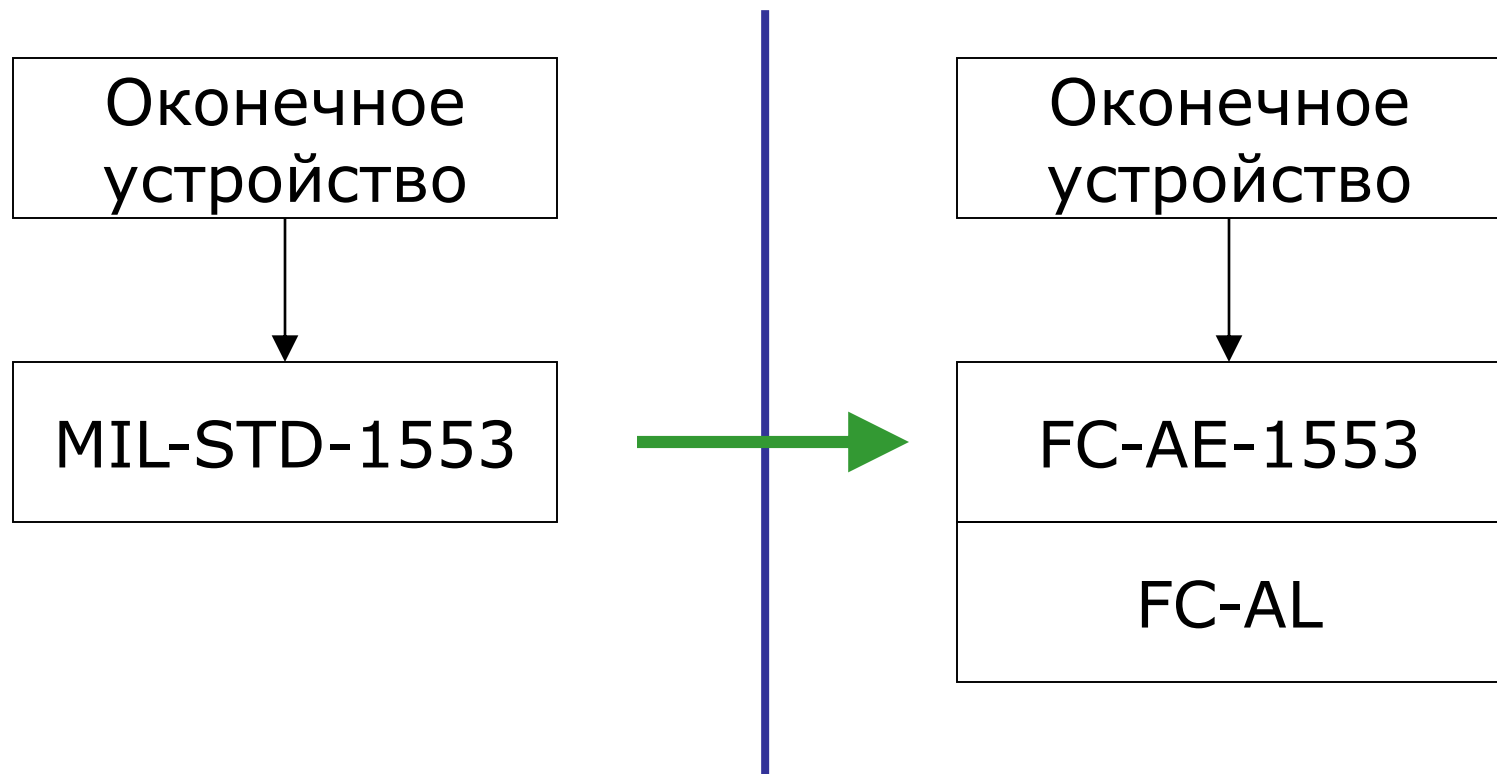


# Передача сообщения



# Протокол FC-AE-1553

предназначен для «имитации» протокола MIL STD-1553 на кольце с арбитражем



## Протокол FC-AE-1553

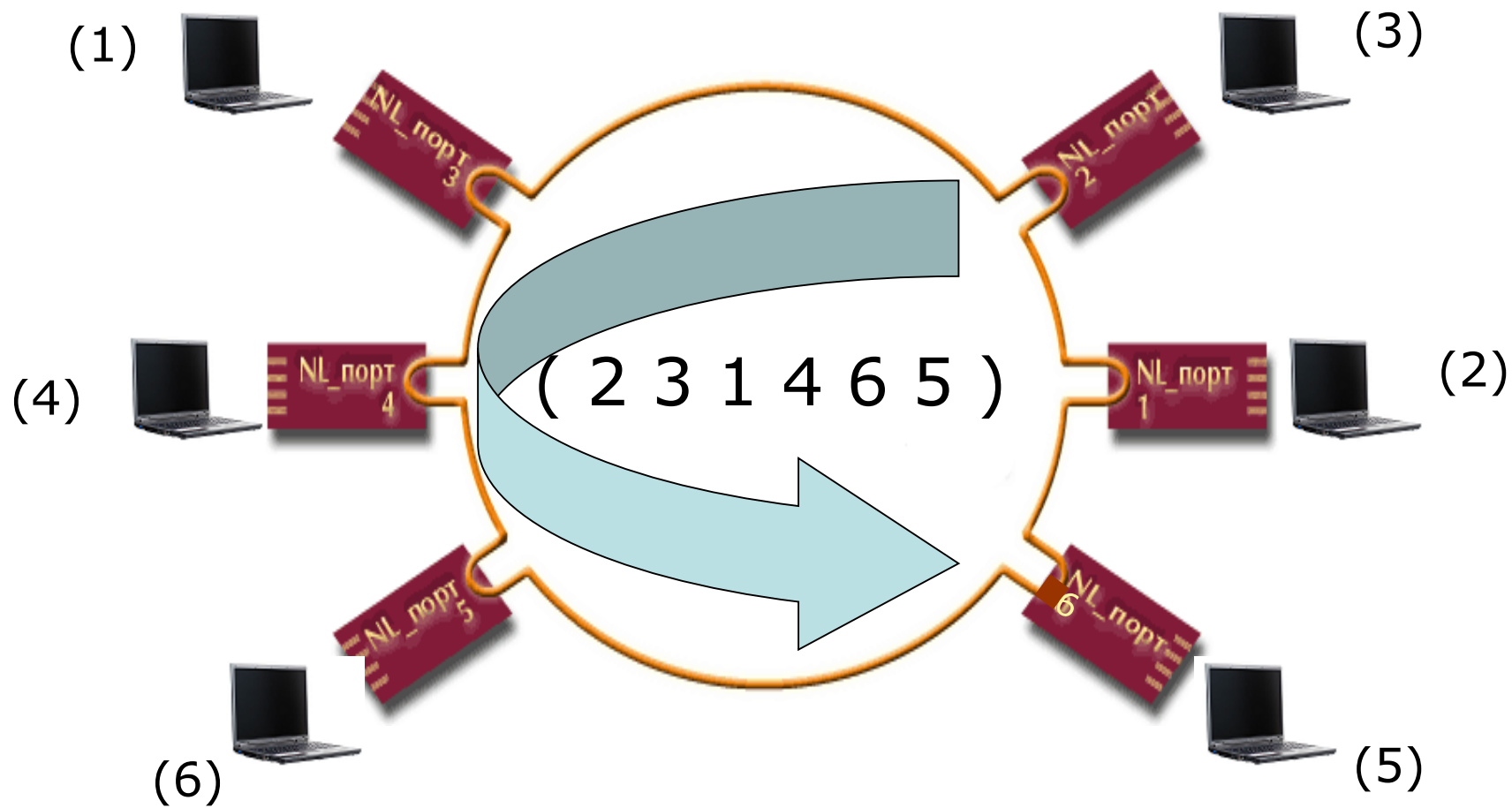
- Передача данных от абонента *A* к абоненту *B*:
  - 1) передача сообщения от контроллера кольца оконечному устройству с адресом *A* с командой передать сообщение оконечному устройству с адресом *B*;
  - 2) передача сообщения с данными от оконечного устройства с адресом *A* оконечному устройству с адресом *B*.



# Задача построения магистральных каналов информационного обмена с использованием кольца с арбитражем FC

- Выбор порядка расположения оконечных устройств в кольце с арбитражем
  - от порядка следования устройств зависит длительность передачи сообщений
- Назначение адресов оконечным устройствам
  - влияет на конвейеризацию:  
арбитраж( $n+1$ ) || передача( $n$ )
- Построение расписания обменов
  - учет конвейеризации

# Топология кольца с арбитражем

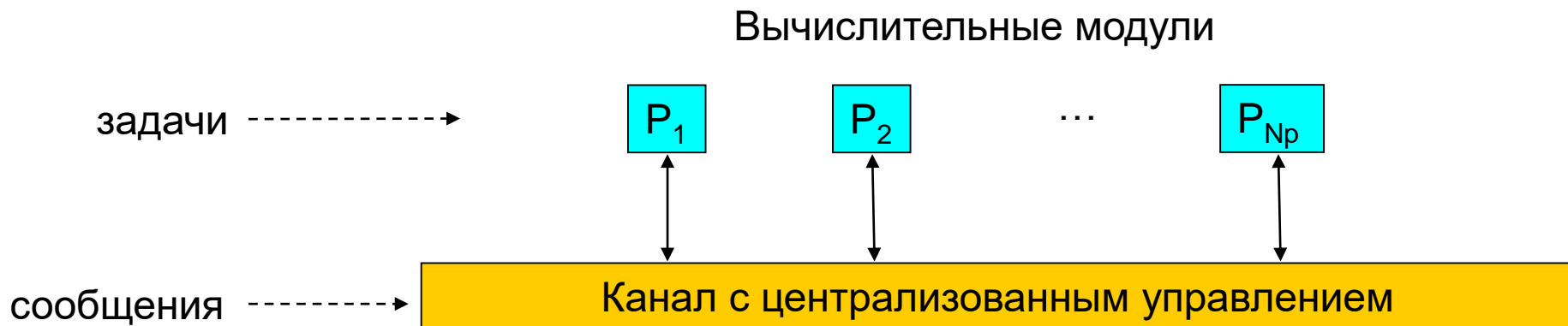


# Построение расписания обменов

- Для схемы с централизованным управлением. Эта задача возникает, если используется протокол FC-AE-1553 и формулируется аналогично задаче для канала MIL STD-1553B.
- Для схемы с децентрализованным управлением. В этом случае должно составляться расписание выставления заявок на арбитраж для каждого оконечного устройства.

# Совместное планирование вычислений и обменов

# Система реального времени

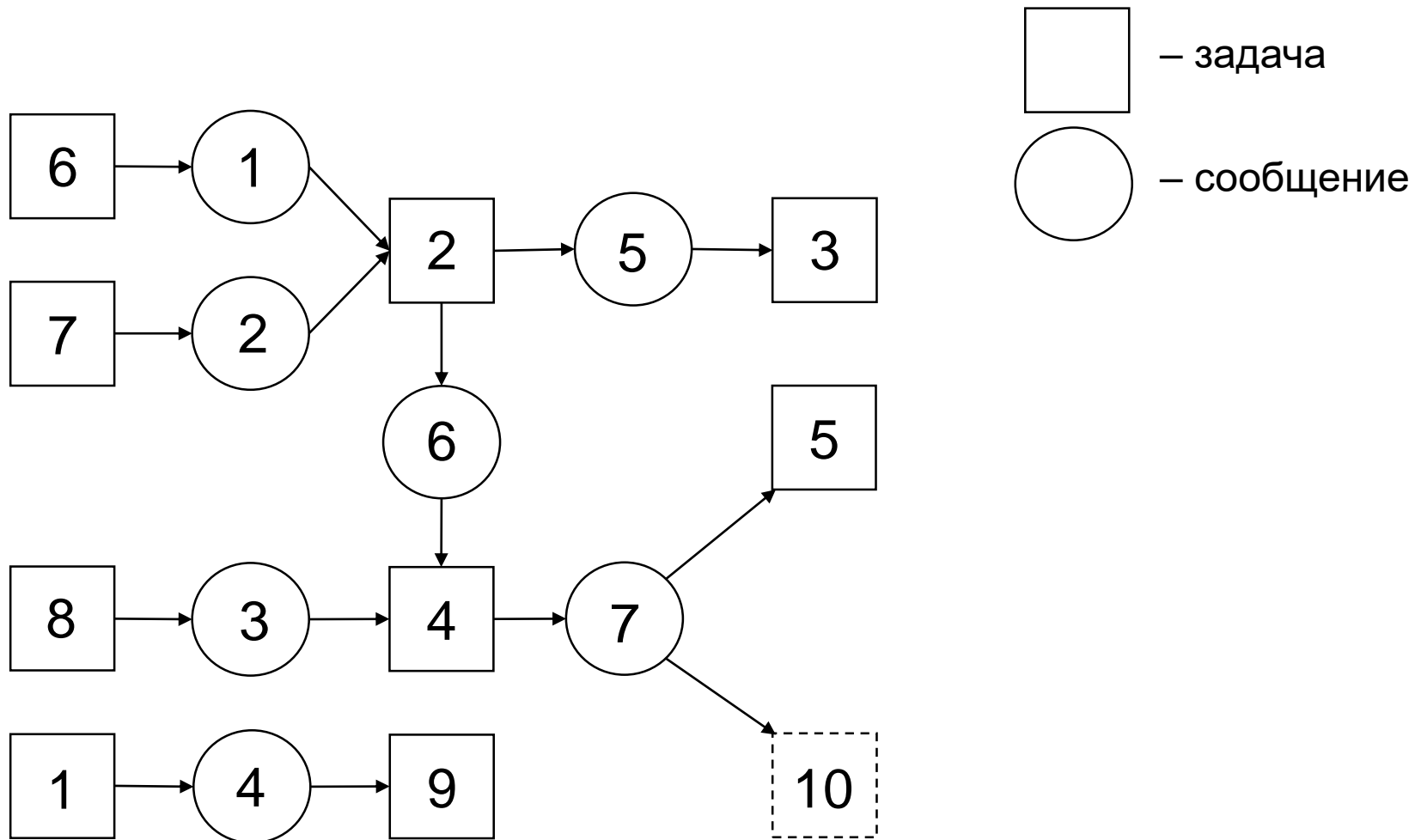


Длительность передачи сообщения зависит от того, на какие вычислительные модули размещены задачи

# Цель

- Построение расписания выполнения задач на вычислительных модулях в составе ИУС РВ и расписания передачи сообщений между ними по каналу с централизованным управлением с соблюдением ограничений:
  - реального времени
  - совместимости расписаний
  - ограничений, связанных со спецификой аппаратных и программных средств ИУС РВ

# Задачи и сообщения



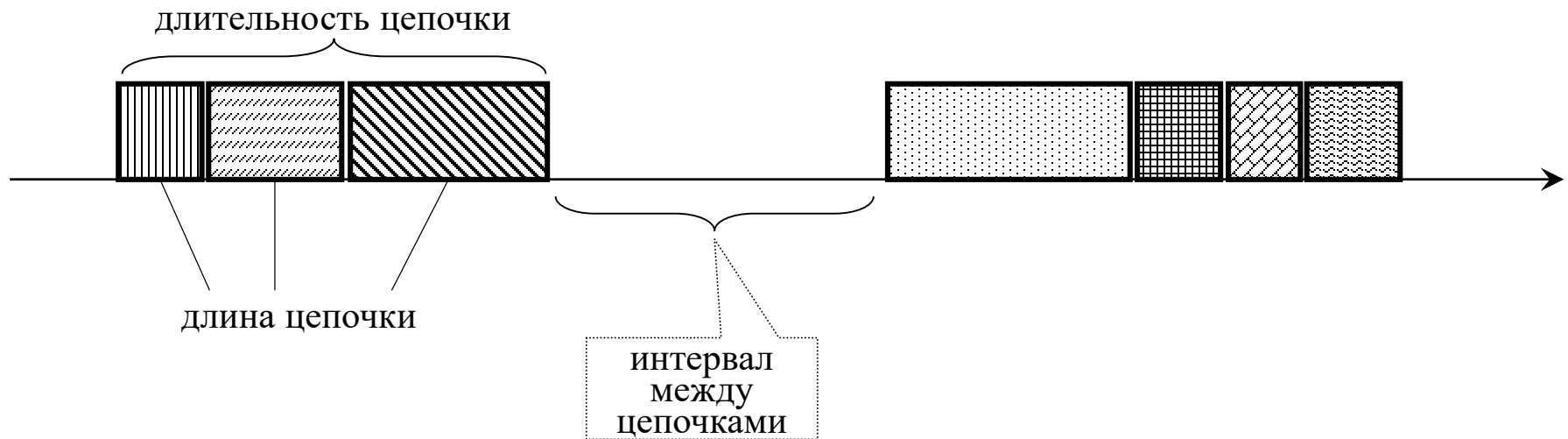
# Расписание выполнения задач

- Требования реального времени
- На одном и том же вычислительном модуле в каждый момент времени может выполняться только одна задача
- Каждая задача запланирована на допустимый вычислительный модуль



# Расписание передачи сообщений

- Требования реального времени
- В каждый момент времени может передаваться только одно сообщение
- Технологические ограничения на обмен данными



# Задача

- По заданным наборам задач и сообщений построить корректные совместимые расписания выполнения задач и передачи сообщений, содержащие максимальное количество задач и сообщений

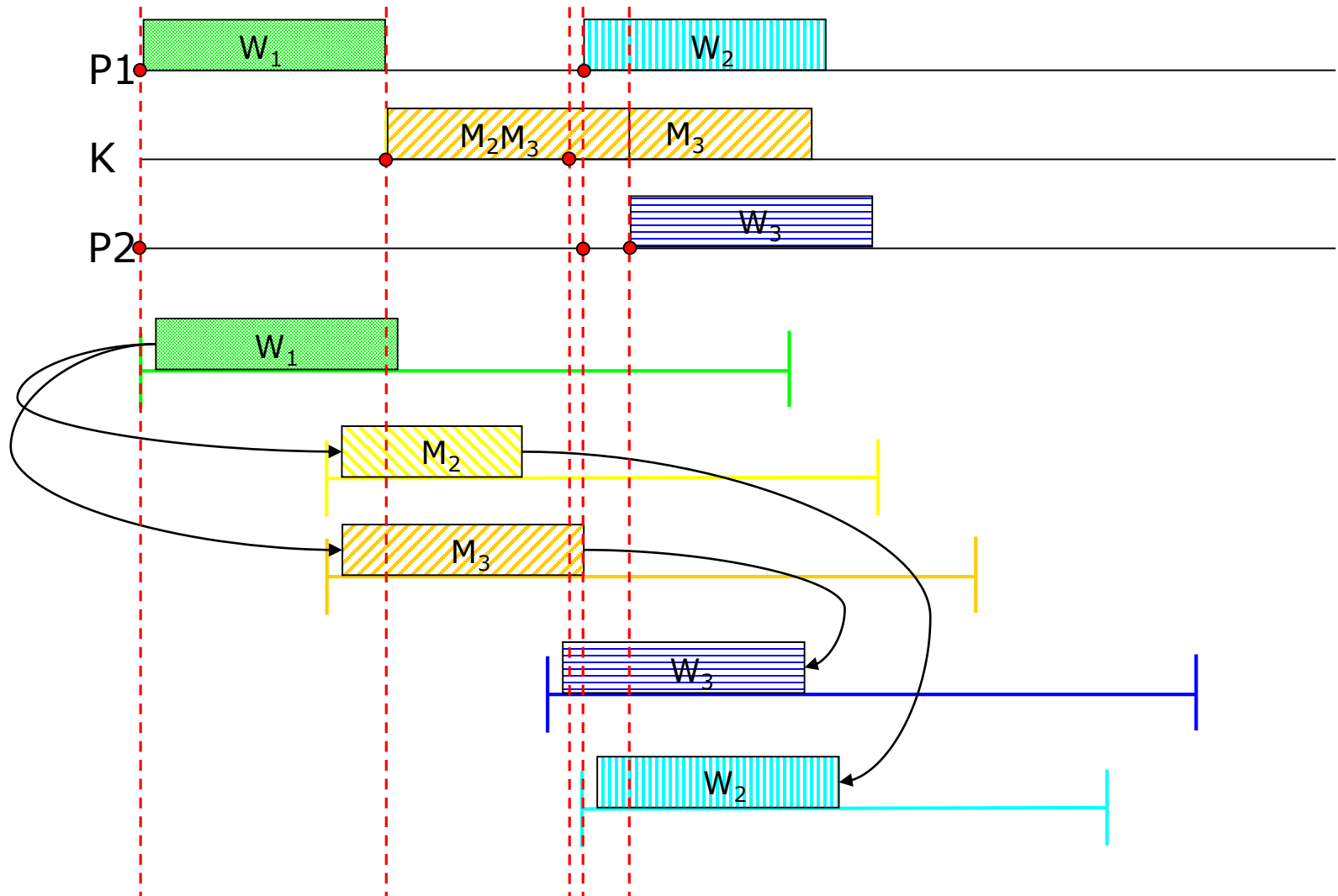
# Подходы

- 3 подхода:
  - Сначала построить расписание сообщений, затем расписание задач
  - Сначала построить расписание задач, затем расписание сообщений
  - Одновременное построение обоих расписаний
- Для первых двух подходов существуют частные задачи, имеющие полное расписание, которое нельзя построить в рамках этих подходов

# Жадный алгоритм

- Проблема:
  - Изменяющаяся длительность передачи сообщений
- Решение:
  - Считать длительность передачи сообщения максимально возможной и корректировать её в процессе работы алгоритма

# Жадный алгоритм: пример



# Далее...

- Каналы информационного обмена на основе коммутаторов
  - топология
  - виртуальные каналы
  - планирование обмена / построение конфигурации

**Спасибо за внимание!**