

ЛЕКЦИЯ 10. МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ОШИБКАМИ

10.1. Системы с обратной связью

10.2. Формат кадра протоколов с обнаружением ошибок

10.3. Методы повторной передачи

10.4. Основные характеристики систем с решающей обратной связью

10.5. Показатели эффективности цифровой системы связи

10.1. Системы с обратной связью

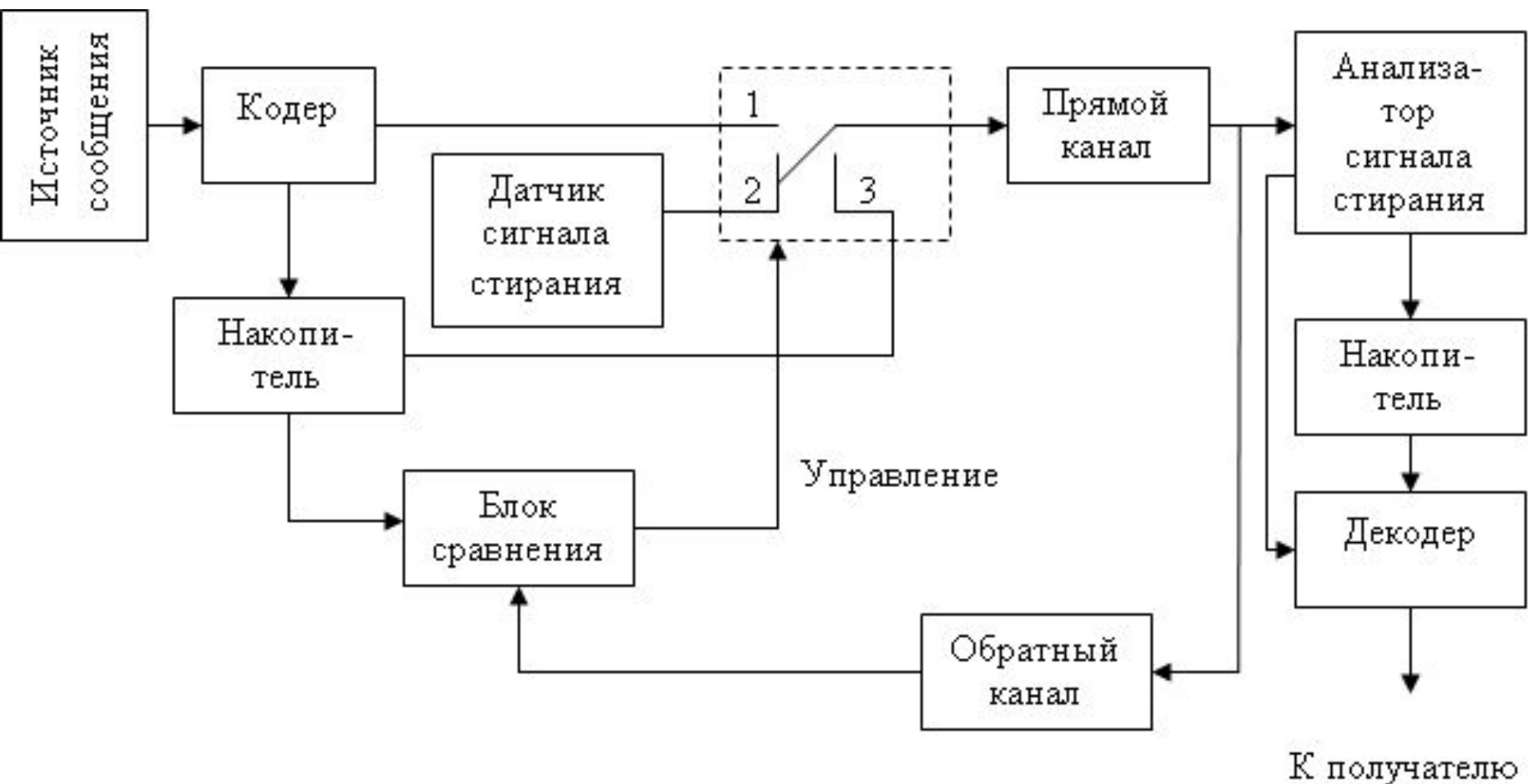


Рис. 10.1. Система с информационной обратной связью



Рис. 10.2. Система с решающей обратной связью

10.2. Формат кадра протоколов с обнаружением ошибок

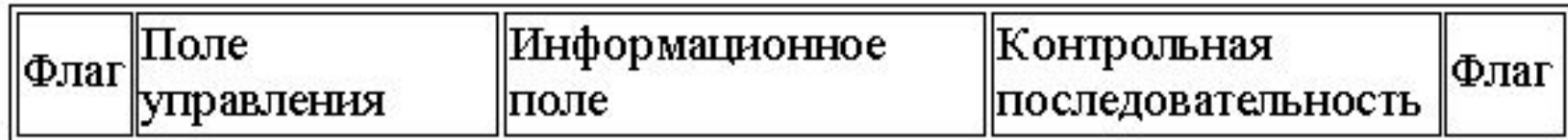


Рис.10.3. Обобщенная структура кадра

Флаги состоят из последовательности $\langle 01111110 \rangle$ и предназначены для установления и поддержания синхронизации.

Поле управления содержит команды, ответы, порядковые номера, используемые для контроля прохождения данных в канале.

Информационное поле содержит данные пользователя или прикладного процесса передаваемые получателю.

Контрольная последовательность используется для обнаружения ошибок.

10.3. Методы повторной передачи

Существует два вида ответов (подтверждения о приеме):

- положительное (ACK),
- отрицательное (NACK).

Существует три основных способа обработки ответов:

- **Стартстопный**, или передача с **остановкой и ожиданием** (SAW — **Stop And Wait**), (блочный метод передачи).
- С **возвращением на N кадров** (GBN — **Go Back N**), (поточковый метод передачи).
- Метод **выборочного (селективного) повтора** (SR — **Selective Repeat**).

Стартстопный метод

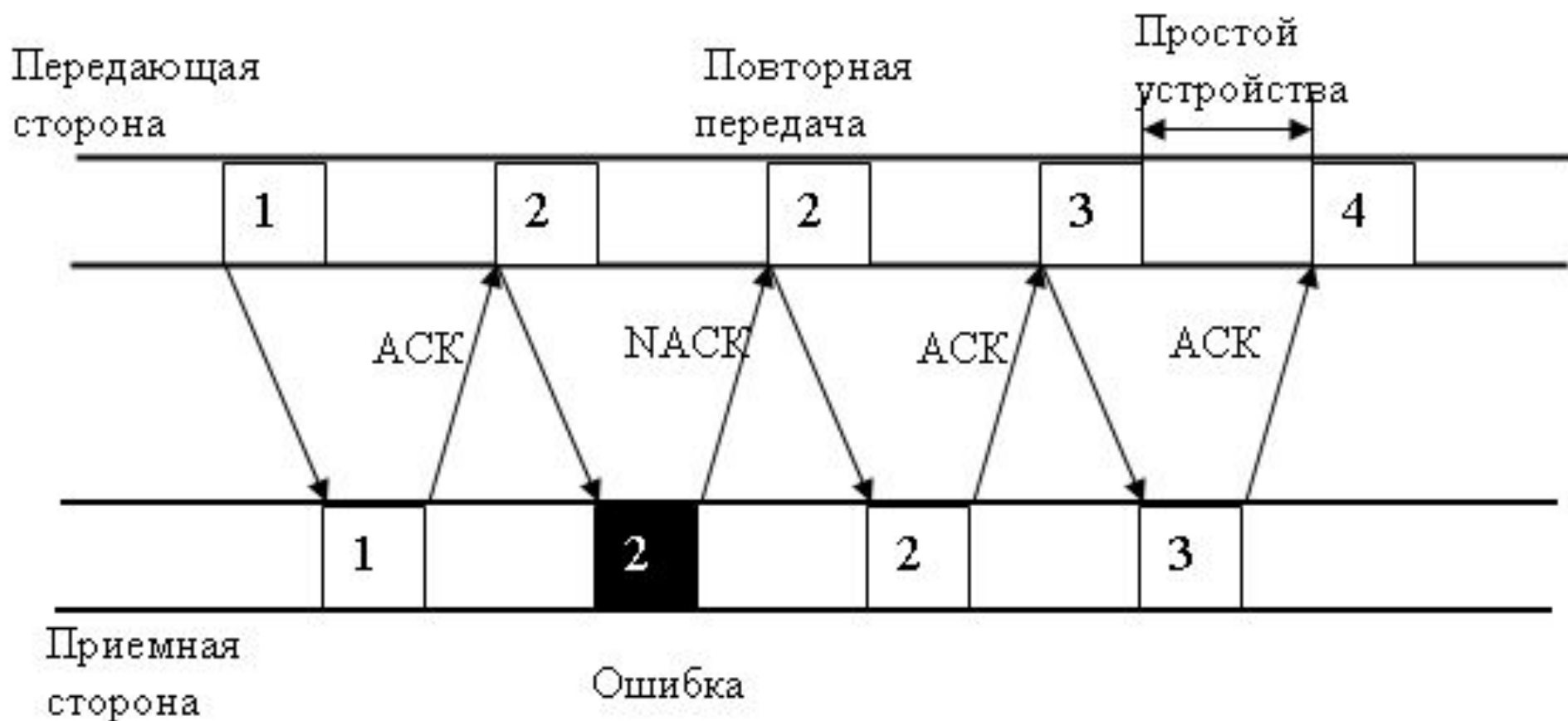


Рис. 10.4. Передача кадров согласно процедуре SAW

С возвращением на N кадров

Передающая
сторона

Повторная передача с
возвращением на $N=3$

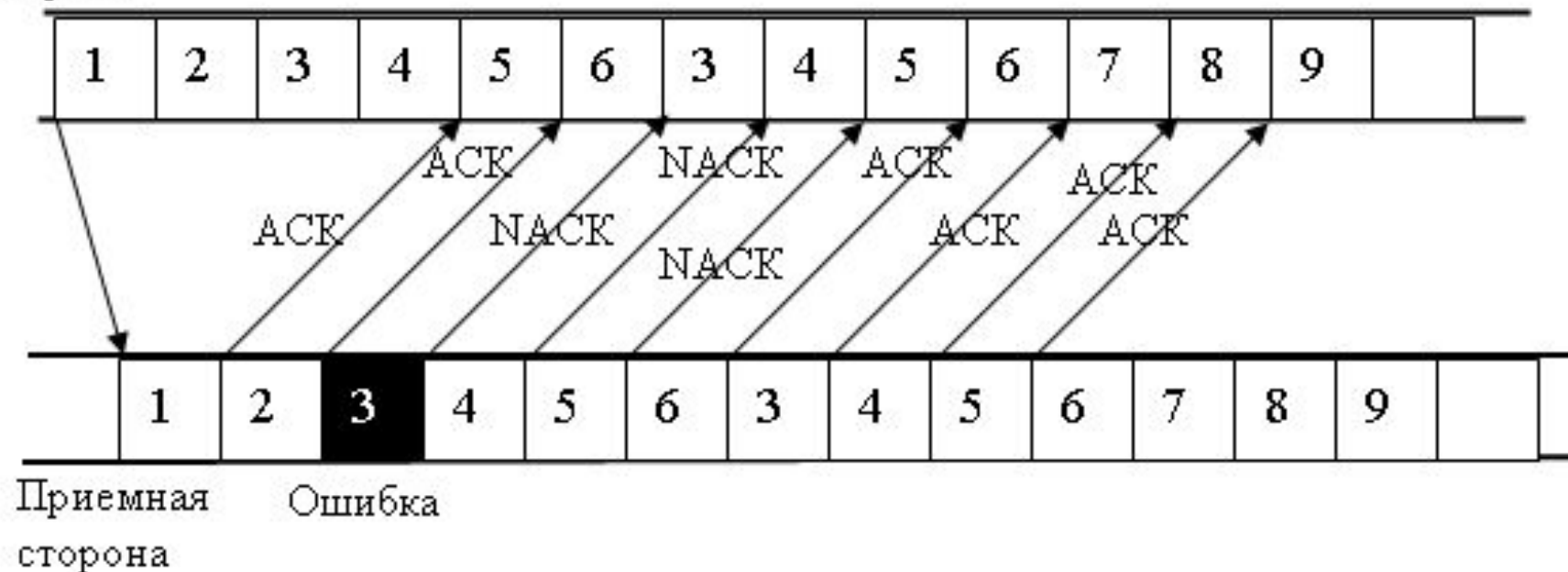


Рис. 10.5. Передача кадров согласно процедуре GBN

Метод выборочного (селективного) повтора

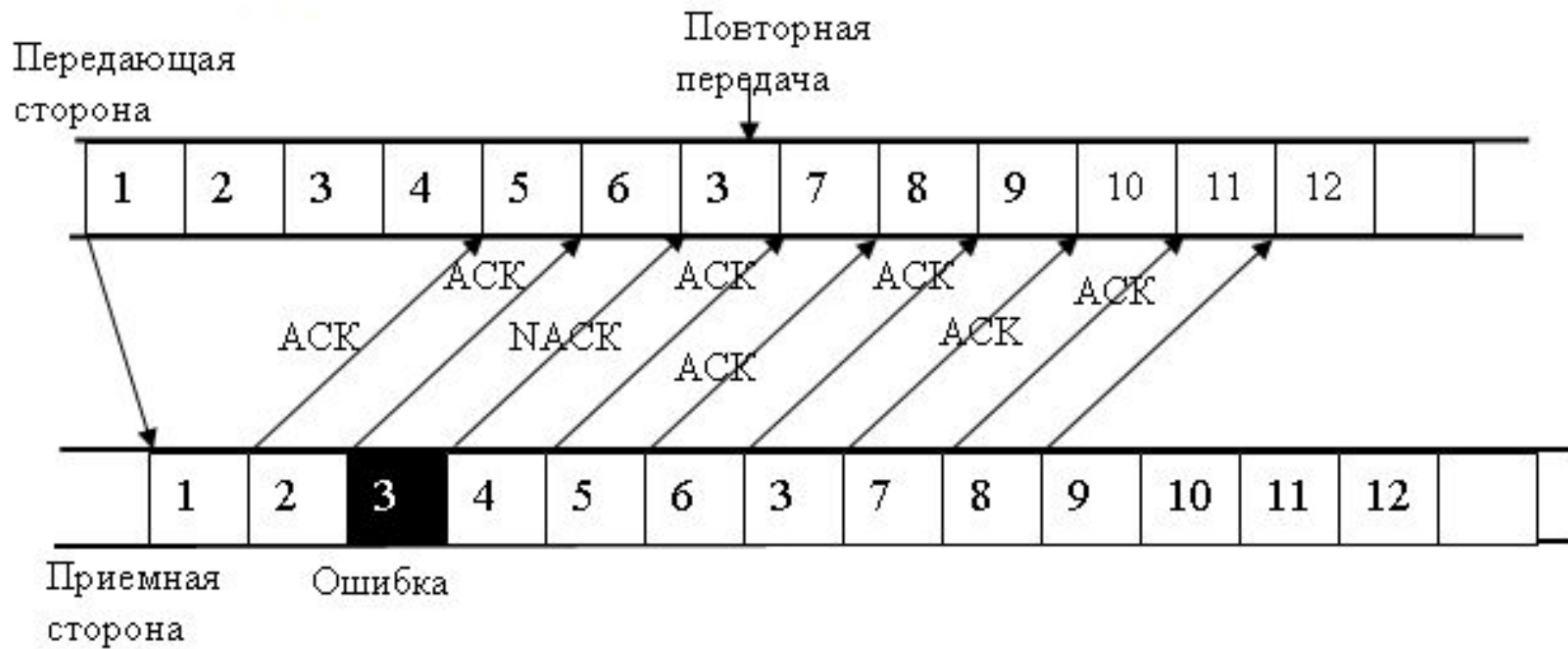


Рис. 10.6. Передача кадров согласно процедуре SR

10.4. Основные характеристики систем с решающей обратной связью

В системах с РОС возможны три случая:

1) Правильный прием (без ошибок) (Пр) с вероятностью правильного приема

$$P_{пр} = C_n^i q^i (1 - q)^{n-i},$$

где q - вероятность ошибки (определяется каналом связи),

$i = 0$ нет ошибок,

$$P_{пр} = C_n^0 q^0 (1 - q)^n = (1 - q)^n.$$

2) В кодовой комбинации обнаружена ошибка (ОО) с вероятностью

$$P_{oo} = P_{oш} K_{oo},$$

где $P_{oш}$ - вероятность возникновения ошибок в кодовой комбинации

$$P_{oш} = 1 - P_{np}.$$

K_{oo} - коэффициент обнаружения ошибок

$$K_{oo} = \frac{N_z}{N_0} = \frac{2^n - 2^m}{2^n} = 1 - \frac{2^m}{2^n} = 1 - \frac{1}{2^{n-m}} = 1 - \frac{1}{2^k}.$$

$$P_{oo} = (1 - P_{np}) \left(1 - \frac{1}{2^k} \right) = \left(1 - (1 - q)^n \right) \left(1 - \frac{1}{2^k} \right).$$

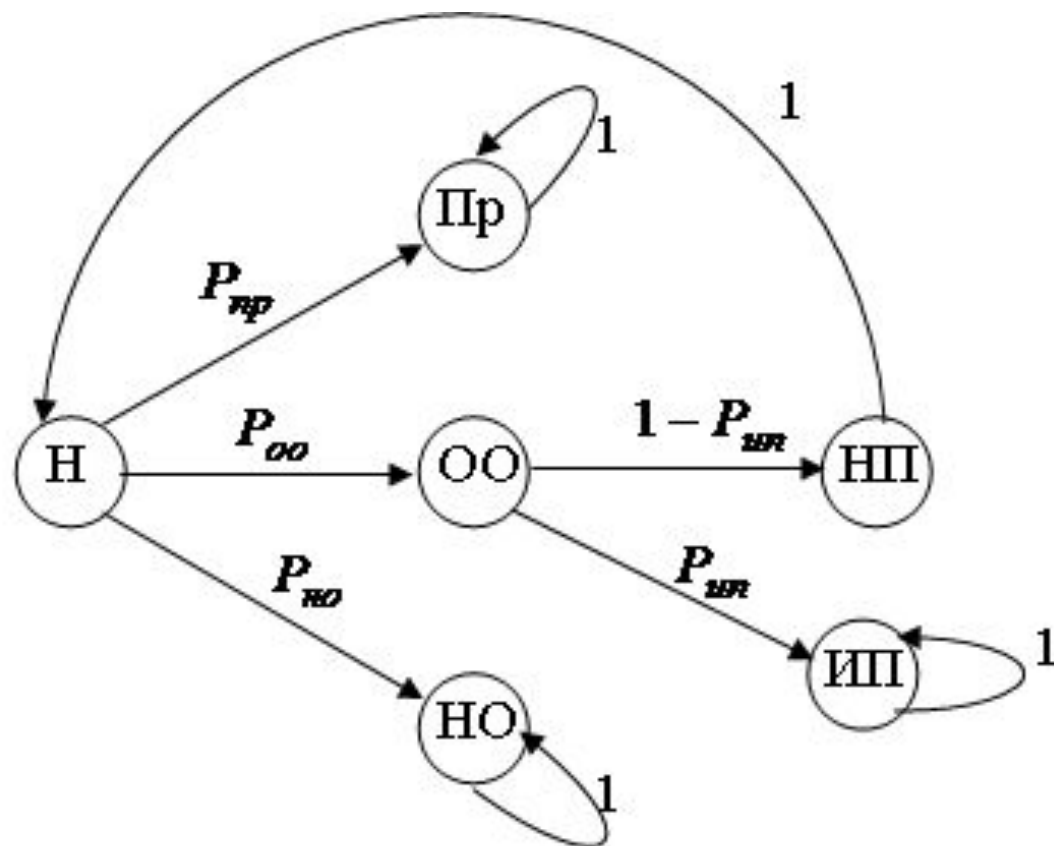
3) В кодовой комбинации присутствуют ошибки, но они не обнаружены (НО) с вероятностью

$$P_{\text{но}} = P_{\text{ош}} K_{\text{но}},$$

где $K_{\text{но}} = \frac{N_p}{N_o} = \frac{2^m}{2^n} = \frac{1}{2^k}$.

$$P_{\text{но}} = (1 - P_{\text{пр}}) \frac{1}{2^k} = (1 - (1 - q)^n) \frac{1}{2^k}.$$

$$P_{\text{пр}} + P_{\text{оо}} + P_{\text{но}} = 1.$$



Н – начальное состояние;
 Пр – комбинация принята правильно;
 ОО – обнаружение ошибки;
 НО – необнаружение ошибки;
 НП – неискажение переспроса;
 ИП – искажение переспроса.

Рис. 10.7. Вероятностный граф

Принятая комбинация выдается потребителю информации с ошибкой с вероятностью $P_{\text{ош пот}}$ в следующих случаях:

- ошибки в принятой комбинации не обнаруживаются с вероятностью $P_{\text{но}}$;

- ошибки в принятой комбинации обнаруживаются, но искажается сигнал переспроса. Вероятность этого события равна $P_{\text{оо}}P_{\text{ип}}$.

$$P_{\text{ош пот}} = P_{\text{но}} + P_{\text{оо}}P_{\text{ип}}.$$

Вероятность возникновения переспроса

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{оо}}(1 - P_{\text{ип}}).$$

Вероятность ошибки в системе с РОС

$$\begin{aligned} P_{\text{ош РОС}} &= P_{\text{ош пот}} + P_{\text{ош пот}} P_{\text{нер}} + P_{\text{ош пот}} P_{\text{нер}}^2 + P_{\text{ош пот}} P_{\text{нер}}^3 + \dots = \\ &= P_{\text{ош пот}} (1 + P_{\text{нер}} + P_{\text{нер}}^2 + P_{\text{нер}}^3 + \dots) = \frac{P_{\text{ош пот}}}{1 - P_{\text{нер}}} \end{aligned}$$

$$P_{\text{ош РОС}} = \frac{P_{\text{но}} + P_{\text{шл}} P_{\text{оо}}}{1 - P_{\text{оо}} (1 - P_{\text{шл}})}$$

При $P_{\text{шл}} \ll 1$

$$P_{\text{ош РОС}} \approx \frac{P_{\text{но}}}{1 - P_{\text{оо}}}$$

Скорость передачи информации

$$I' = B \frac{m}{n} \left[1 - \frac{P_{oo}(M+1)}{P_{nn} + P_{oo}(M+1)} \right],$$

где M - емкость накопителя,

P_{oo} - вероятность обнаружения ошибки,

P_{nn} - вероятность правильного приема,

B - скорость модуляции, Бод.

Емкость накопителя передатчика

$$M = \left(3 + \frac{2t_p}{t_k} \right)$$

где $t_p = \frac{L}{c}$ - время распространения сигнала по каналу,

$t_k = \frac{n}{B}$ - время передачи кодовой комбинации,

L - расстояние между передатчиком и приемником,

c - скорость распространения сигнала по каналу связи км/с ($3 \cdot 10^5$),

10.5. Показатели эффективности цифровой системы связи

Коэффициент использования канала связи по мощности (энергетическая эффективность)

$$\beta = \frac{I'}{P_c / N_o},$$

где I' – скорость передачи информации,
 P_c / N_o — отношения сигнал/шум на входе демодулятора,

Коэффициент использования канала по полосе частот γ (частотная эффективность)

$$\gamma = \frac{I'}{\Delta F},$$

ΔF - ширина полосы частот, которую занимает сигнал.

Обобщенной характеристикой является коэффициент использования канала по пропускной способности (информационная эффективность):

$$\eta = \frac{I'}{C},$$

C - пропускная способность канала.

Для непрерывного канала связи с учетом формулы Шеннона

$$C = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{N_0 \Delta F} \right)$$

$$\eta = \frac{I'}{\Delta F \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{N_0 \Delta F} \right)} = \frac{\gamma}{\log_2 \left(1 + \frac{\gamma}{\beta} \right)}.$$

При $\eta = 1$:

$$\beta = \frac{\gamma}{2^\gamma - 1}.$$

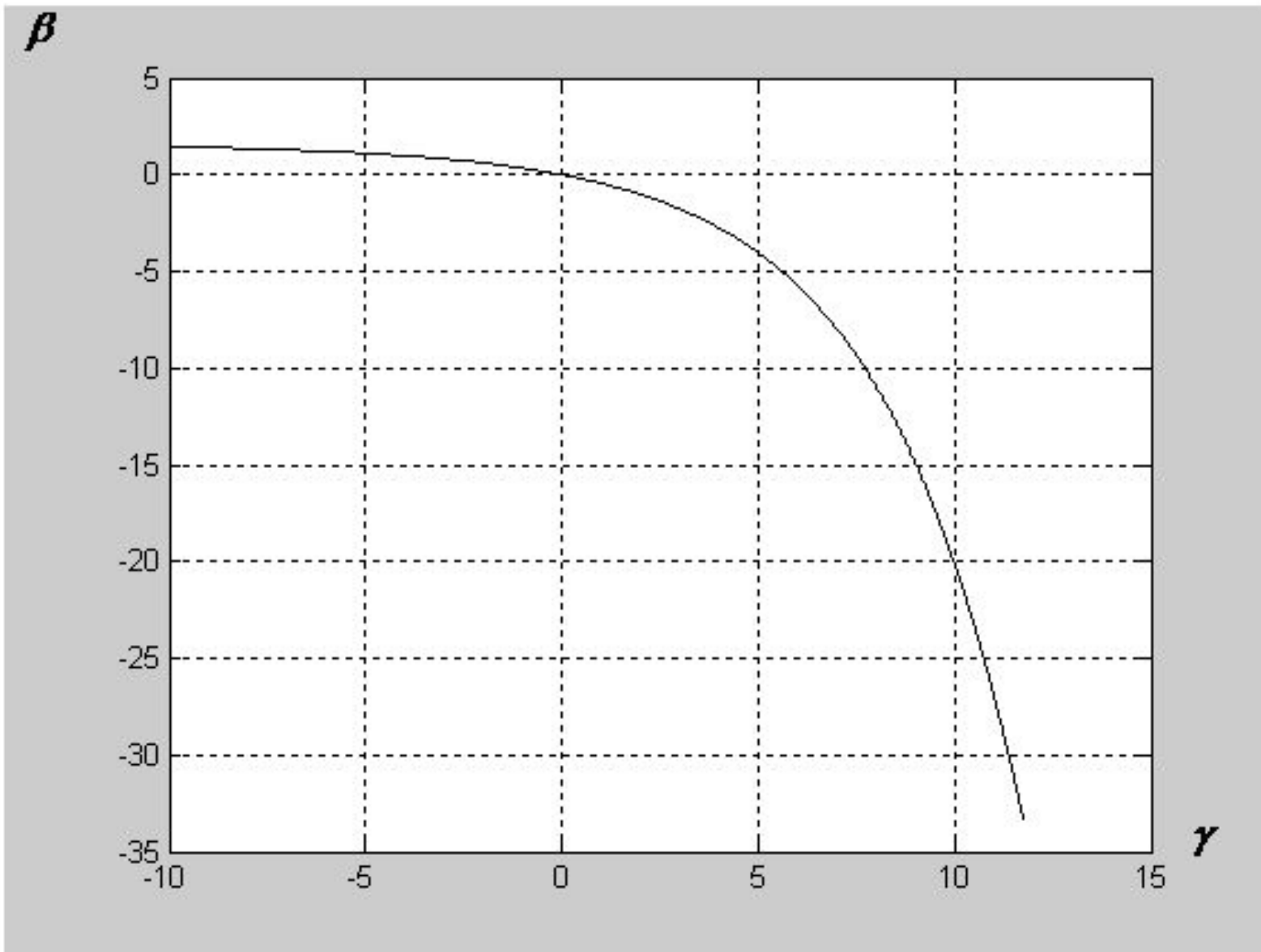


Рис. 10.8 Граница Шеннона