

*Надежная передача пакетов транзакционного уровня TLP-
важнейшая задача уровня передачи данных*

Основная обязанность уровня передачи данных (DLL) состоит в сохранении целостности пакета TLP(PL), когда тот перемещается между устройствами. Кроме этого уровень передачи данных (DLL) так же отвечает за настройку линий связи и управляет режимом потребляемой энергией. Исполняя эти задачи, уровень передачи данных (DLL) обменивается потоком служебных данных только со своим соседом, используя пакеты DLLP(PL), смотри Рис 2.5.3. Эти пакеты создаются и уничтожаются на уровне передачи данных DLL каждого устройства без использования ресурсов транзакционного уровня.

Надежная передача TLP (PL) пакетов через каждое соединение.

Функции уровня передачи данных при выполнении этой задачи (Протокол ACK/NAK) заключаются в обеспечении:

- надежной передачи пакетов TLP на уровне передачи данных DLL (TLP(DLL)) через соединение от одного устройства А к другому устройству Б,
- приемная часть одного устройства, например, Б должна принять пакеты TLP(DLL) и DLLP в том же самом порядке, в котором передающая часть устройства А их отправила.

Для каждого пакета TLP(DLL), который посылается от одного устройства А к другому устройству Б, приемная часть, используя поле LCRC, проверяет ошибки в принимаемом пакете TLP (DLL) . Приемник устройства Б уведомляет передатчик устройства А о правильном или неправильном приеме пакета TLP (DLL) , возвращая ACK или NAK пакеты DLLP, см. табл. 2.5.7.. Прием пакета ACK приемником устройства А указывает на то, что получатель принял

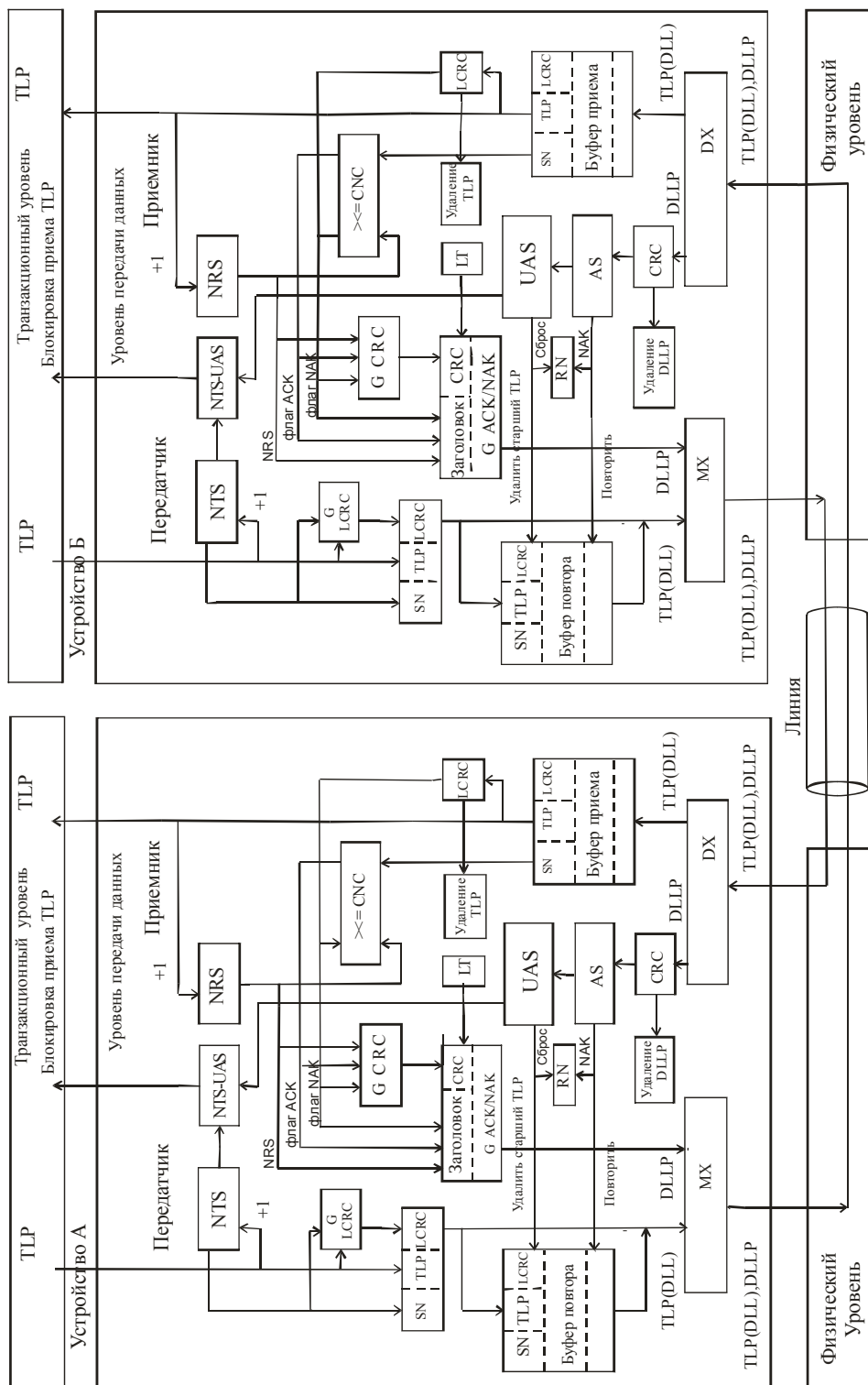
успешно один или более пакетов TLP(DLL). Прием пакета NAK передатчиком указывает, что получатель принял один или более пакетов TLP(DLL) с ошибкой. Устройство А, которое получает пакет NAK, повторяет отправку соответствующего пакета TLP(DLL) из своего буфера повтора.

На рис. 2.5.7. приведена структурная схема, поясняющая работу протокола АСК/NAK уровня передачи данных, для устройств А и Б. Рассмотрим основные блоки этой схемы.

NTS (Next transmit sequence) - счетчик последовательностного номера следующей передачи TLP(DLL) пакета. Этот счетчик задает последовательностный номер, связанный с каждым новым отправляемым пакетом TLP(DLL). Он 12 разрядный и устанавливается в нулевое состояние при системном сбросе. Счетчик *NTS* инкрементируется на 1 при отправлении каждого нового пакета TLP(DLL) до тех пор, пока содержимое счетчика не достигнет значения 4095, после чего счетчик сбрасывается в 0.

G LCRC -генератор LCRC, который вычисляет 32-битную контрольную последовательность LCRC при формировании пакета TLP(DLL). LCRC рассчитывается с использованием всех полей TLP, включая поле заголовка (Header), поле данных (Data Payload), поле ECRC, и поле последовательностного номера (Sequence Number), смотри рис. 2.5.2. Приемник использует поле LCRC, чтобы проверить на ошибку CRC принятый пакет TLP(DLL).

CRC -это блок проверок на ошибки CRC пакетов DLLP, приходящих на вход приемника устройства. Пакеты DLLP без ошибок идут на дальнейшую обработку. Если обнаружена ошибка CRC в пакете DLLP, этот пакет DLLP аннулируется и сообщается об ошибке.



Регистр AS (ACK_SEQ) этот 12-битный регистр, отслеживающий и сохраняющий последовательностный номер последнего полученного пакета ACK DLLP или пакета NAK DLLP. В этот регистр записывается значение поля AckNak_Seq_Num [11:0], полученного пакета ACK DLLP или пакета NAK DLLP, смотри табл. 2.5.7. В разряды регистра AS записываются все единицы при сбросе или когда передача данных не активна.

Регистр UAS (Update ACK_SEQ) этот 12-битный регистр, отслеживающий и сохраняющий последовательностный номер последнего полученного ACK пакета DLLP или NAK пакета DLLP. Он инициализируется всеми единицами при сбросе или когда передача данных неактивна. Этот регистр модифицируется значением поля AckNak_Seq_Num [11:0], полученного ACK пакета DLLP или NAK пакета DLLP. Значение регистра UAS сравнивается с значением счетчика NTS (NEXT_TRANSMIT_SEQ).

Если $(NTS - UAS) \bmod 4096 \geq 2048$, тогда новые пакеты TLP с уровня транзакции не принимаются уровнем передачи данных, до тех пор, пока это соотношение будет нарушено. Кроме того, уровень передачи данных сообщает об ошибке протокола, которая является неисправимой некорректируемой ошибкой.

Буфер приема (Receive buffer) временно сохраняет принимаемый пакет TLP(DLL), пока проводятся проверка на CRC и проверка последовательностного номера. Если нет никаких ошибок, пакет TLP(DLL) обрабатывается (удаляются поля SN и LCRC) и пакет TLP передается на транзакционный уровень получателя. Если в пакете TLP(DLL) есть ошибки, то пакет TLP(DLL) отбрасывается, и пакет NAK DLLP может быть поставлен в очередь на отправку. Если вновь принятый пакет TLP(DLL) является дубликатом ранее принятого

пакета TLP(DLL), то пришедший пакет отбрасывается, и пакет ACK DLLP ставится в очередь на отправку.

LCRC этот блок, который проверяет принятые пакеты TLP(DLL) на ошибки CRC, используя его 32битное поле LCRC.

Счетчик NRS- 12битный счетчик последовательностного номера следующего приема (NEXT_RCV_SEQ) следит за последовательностным номером следующего ожидаемого пакета TLP(DLL). Все разряды этого счетчика устанавливаются в нуль при системном сбросе, или когда передача данных неактивна. Содержимое этого счетчика увеличивается на 1 каждый раз, когда безошибочный пакет TLP(DLL) принят и передан на транзакционный уровень. Счетчик сбрасывается в 0 после достижения значения 4095. Содержимое счетчика не увеличивается для пакетов TLP(DLL), принятых с ошибкой CRC, аннулированных пакетов TLP(DLL), или пакетов TLP(DLL) с неправильными последовательностными номерами.

CNC () - блок проверки последовательностного номера полученного пакета TLP(DLL) на соответствие текущему значению содержимого счетчика NRS, а именно:

если последовательностный номер пакета TLP(DLL) равен значению содержимого счетчика NRS, то пакет TLP(DLL) принимается, обрабатывается (удаляются поля SN и LCRC) и передается уровню транзакции. Значение счетчика NRS инкрементируется. Получатель продолжает обрабатывать входящие пакеты TLP(DLL) и не обязан возвращать пакет ACK DLLP, пока таймер LT (ACKNAK_LATENCY_TIMER) не превышает свое установленное значение.

если последовательный номер пакета TLP(DLL) является более ранним последовательным номером по отношению к последовательному номеру, хранимому в счетчике NRS, то такой пакет TLP(DLL) является дубликатом. Он отбрасывается, и пакет ACK DLLP ставится в очередь на отправку передатчика.

если последовательный номер TLP(DLL) является более поздним последовательным номером по отношению к последовательному номеру, хранимому в счетчике NRS, то пакет TLP(DLL) отбрасывается, и пакет NAK DLLP ставится в очередь для возвращения передатчику.

Таймер LT (ACKNAK_LATENCY_TIMER) контролирует прошедшее время, с того момента, как последний из пакетов ACK DLLP или NAK DLLP были поставлены в очередь для отправки. Получатель использует этот таймер, чтобы убедиться, что он обрабатывает пакеты TLP(DLL) достаточно быстро и возвращает пакеты ACK DLLP или NAK DLLP, когда таймер превышает установленное значение.

ACK/NAK G (Генератор пакетов ACK/ NAK DLLP)-этот блок, который создает пакеты ACK DLLP или NAK DLLP, смотри табл. 2.5.7. . Пакеты ACK DLLP и NAK DLLP содержит в себе поле AckNak_Seq_Num [11:0], полученное от счетчика NRS и равное значению NRS минус 1.

Подробности Протокола Передатчика

Прежде, чем передатчик уровня передачи данных устройства А посылает пакет TLP(DLL), поступающий в него как пакет TLP с транзакционного уровня, уровень передачи данных устройства А присоединяет последовательный номер для каждого пакета TLP(DLL). Последовательный номер

формируется 12 битным счетчиком NTS. Передатчик устройства А также присоединяет 32-разрядную контрольную последовательность LCRC (Link CRC), рассчитываемую на основе содержимого TLP, включающую в себя поля заголовка, данных, ECRC и NTS.

Прежде, чем устройство передает TLP (DLL) на физический уровень, оно сохраняет копию пакета TLP(DLL) в буфере повторной передачи (Retry buffer). Каждая запись в буфере сохраняет законченный TLP(DLL) со всеми его полями, включая заголовок (Header, до 16 байтов), возможно, данные(Data Payload, до 4 КБайт) и ECRC (до четырех байтов), Sequence of Number (12 битов) и поле LCRC (четыре байта). Буфер должен быть достаточно большим, чтобы сохранить переданные пакеты TLP(DLL), передача которых еще не подтверждена с помощью пакетов ACK DLLP.

Когда передатчик получает через свой приемник пакет ACK DLLP от устройства Б, он удаляет из буфера повторной передачи пакеты TLP(DLL) с последовательностным номером, равным или более ранним, чем последовательностный номер, принятого пакета ACK DLLP.

Один пакет ACK DLLP, возвращенный устройством Б может быть использован, для подтверждения приема устройством Б нескольких пакетов TLP(DLL). Вовсе не обязательно, чтобы каждый отправленный пакет TLP(DLL) подтверждался соответствующим пакетом ACK DLLP. Приемник устройства Б принимает и буферизирует несколько пакетов TLP(DLL) и затем подтверждает их одним квитанционным пакетом ACK DLLP, который соответствует последнему принятому правильно пакету TLP(DLL).

Когда приемник устройства А получает пакет NAK DLLP, он удаляет из буфера повторной передачи пакеты TLP(DLL) с последовательностными номерами,

равными или более ранними, чем последовательностный номер, принятого пакета NAK DLLP, и повторяет передачу пакетов TLP(DLL) с более поздними последовательностными номерами, оставшимися в буфере повторной передачи. Подразумевается, что пакет NAK DLLP подтверждает правильность передачи пакетов TLP(DLL) с равным или более ранними последовательностными номерами, чем поле AckNak_Seq_Num [11:0] пакета NAK DLLP и инициирует повторную передачу остальных оставшихся пакетов TLP(DLL) в буфере повторной передачи.

Когда повторная передача устройством А становится необходимой, передатчик устройства А блокирует передачу новых пакетов TLP с транзакционного уровня. Затем он повторяет отправку содержимого буфера повторной передачи, начиная с самого раннего пакета TLP(DLL) (с последовательностным номером = AckNak_Seq_Num [11:0] + 1), до тех пор, пока в буфере повторной передачи есть данные для отправки. После того, как повторная передача завершена, уровень передачи данных разблокирует прием новых пакетов TLP с транзакционного уровня. Передатчик продолжает сохранять повторно переданные TLP (DLL), пока они не будут подтверждены в более позднее время.

Повторяющаяся передача TLP

Каждый раз, когда передатчик устройства А получает пакет NAK DLLP, он повторяет отправку содержимого буфера повторной передачи. Передатчик использует 2х-битный счетчик числа повторных передач, называемый счетчиком повтора RN (REPLAY_NUM), для того, чтобы отследить количество повторных передач. Прием пакета NAK DLLP инкрементирует счетчик RN. Этот счетчик устанавливается в нуль при сбросе, или когда уровень передачи данных неактивен. Он так же обнуляется, если принятый пакет ACK DLLP или NAK

DLLP имеет более поздний последовательный номер, чем номер, содержащийся в регистре AS. Пока имеет место продвижение в отправке пакетов TLP(DLL), счетчик RN обнуляется. Когда подряд получен четвертый пакет NAK DLLP, показывающий, что никакого продвижения в отправке пакетов TLP не было, счетчик RN сбрасывается в 0. Передатчик не будет повторять отправку пакета TLP(DLL) в следующий раз, вместо этого он сигнализирует об ошибке сброса счетчика повторных передач. Устройство предполагает, что соединение не функционирует, или есть проблемы с физическим уровнем со стороны передатчика или приемника.

Отметим, что на уровне передачи данных параллельно могут идти два идентичных процесса: надежная передача пакетов TLP(DLL) под контролем пакетов ACK/NAK DLLP из устройства А в устройство Б и надежная передача пакетов TLP(DLL) под контролем пакетов ACK/NAK DLLP из устройства Б в устройство А. Естественно, что механизмы этих процессов одинаковы.

Пример обработки передатчиком пакета ACK DLLP

1. Устройство А, смотри Рис. 2.5.8., отправляет пакеты TLP с последовательными номерами 523, 524, 525, 526, 527, где TLP 523 - первый отправленный TLP, и TLP 527 - последний отправленный TLP.
2. Устройство Б принимает в приемный буфер пакеты TLP с последовательными номерами 523, 524, 525 в таком порядке. Пакеты TLP 526, 527 - все еще в пути.

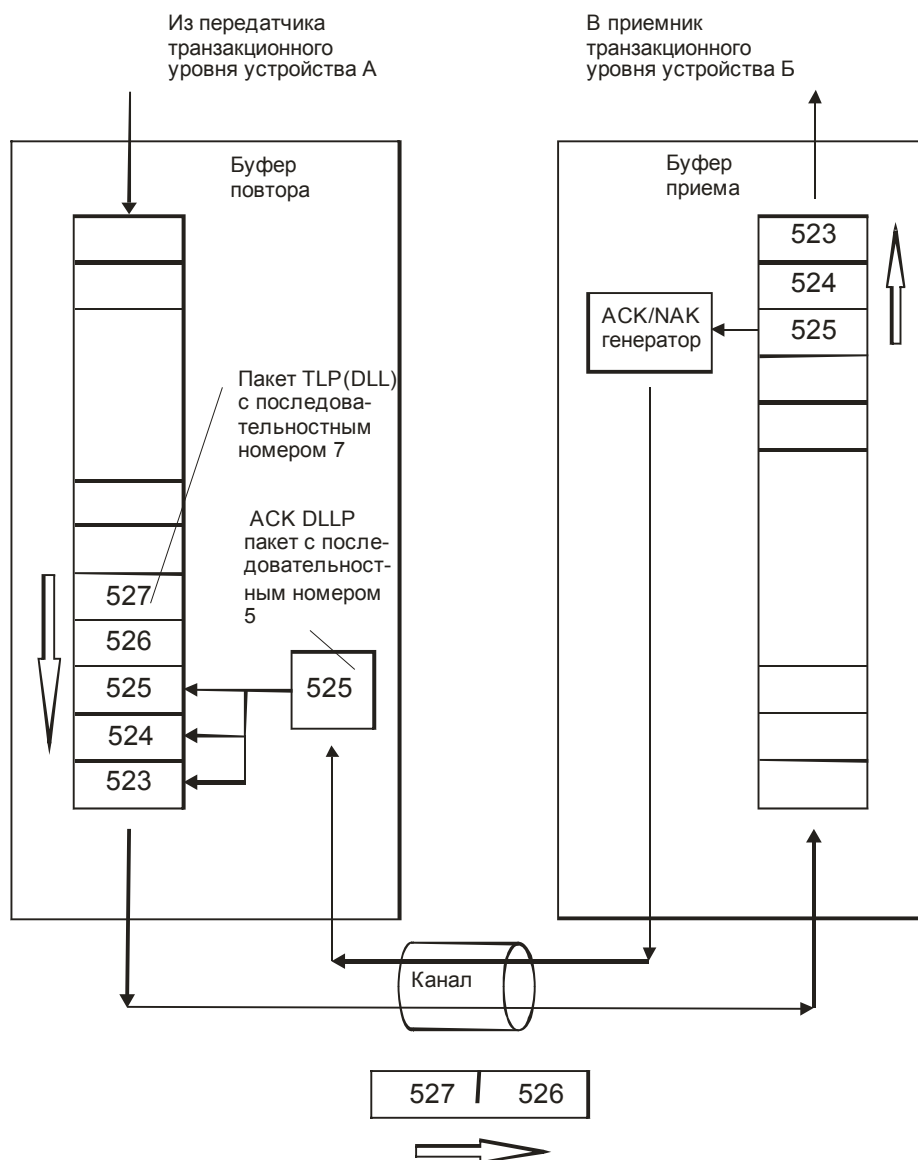


Рис. 2.5.8. Пример обработки передатчиком пакета ACK DLLP.

3. Устройство Б производит проверку на ошибки и подтверждает получение пакетов TLP 523, 524, 525 возвратом пакета ACK DLLP с последовательным номером 525.

4. Устройство А получает пакет ACK DLLP с последовательностным номером 525.
5. Устройство А удаляет пакеты TLP с последовательностными номерами 523, 524, 525 из буфера повторной передачи.
6. Когда устройство Б принимает пакеты TLP с последовательностными номерами 526 и 527, шаги 3 - 5 могут быть повторены так же и для этих пакетов.

Пример обработки передатчиком пакета NAK DLLP

1. Устройство А, смотри Рис. 2.5.9., передает пакеты TLP с последовательностными номерами 4094, 4095, 0, 1, и 2, где TLP 4094 - первый отправленный TLP, и TLP 2 - последний отправленный TLP.
2. Устройство Б принимает пакеты TLP 4094, 4095, и 0 в таком же порядке. TLP 1, 2 - все еще в пути.
3. Устройство Б принимает TLP 4094 без ошибок и инкрементирует счетчик NRS до 4095
4. Устройство Б принимает TLP 4095 с ошибкой CRC.
5. Устройство Б ставит в очередь на отправку NAK DLLP с последовательностным номером 4094 (NRS - 1).
6. Устройство А получает NAK DLLP с последовательностным номером 4094 и блокирует прием новых пакетов TLP до тех пор, пока повторная отправка не завершиться.
7. Устройство А сначала удаляет из буфера повтора пакет TLP с последовательностным номером 4094 (и более ранние пакеты TLP; в этом

примере их нет) как пакет нормально переданный.

8. Устройство А повторяет отправку пакетов TLP 4095, 0, 1, и 2, но не удаляет их.

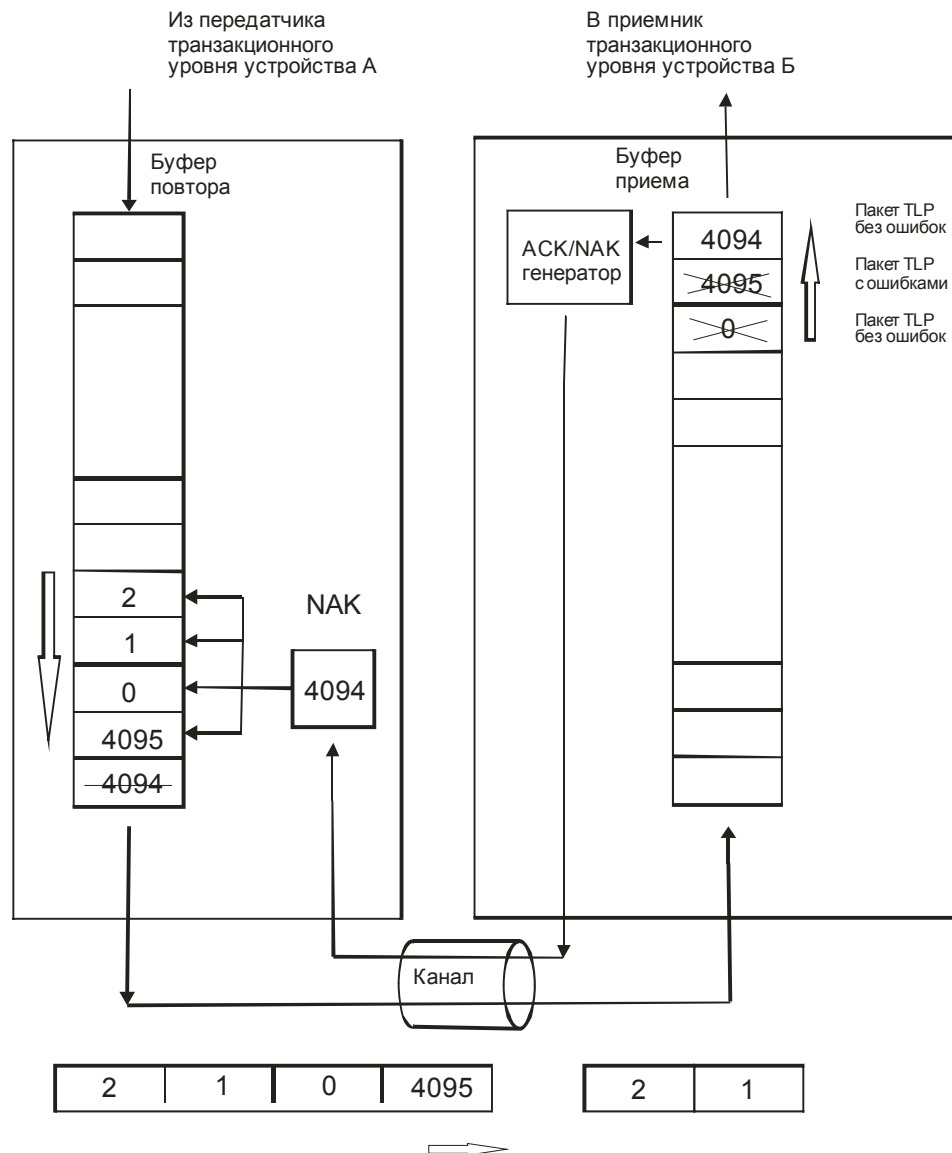


Рис. 2.5.9. Пример обработки передатчиком пакета NAK DLLP