



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
1000—
2025

Информационные технологии

**ПРОТОКОЛ СЕТЕВОГО КОДИРОВАНИЯ
ДЛЯ МНОГОАДРЕСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

(ITU-T TR.NCDP, Session layer network coding protocol for multicast
data transmission, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 022 «Информационные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 апреля 2025 г. № 8-пнст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к проекту международного стандарта ITU-T TR.NCDP «Протокол сетевого кодирования для многоадресной передачи данных» (ITU-T TR.NCDP «Session layer network coding protocol for multicast data transmission», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного проекта международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем проекта международного стандарта приведено в дополнительном приложении ДА

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее, чем за 4 мес до истечения срока его действия, разработчику настоящего стандарта по адресу: 193232 Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1 и в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 109074 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Термины и определения	1
3 Сокращения	1
4 Общие положения	2
4.1 Сетевое кодирование	2
4.2 Применение сетевого кодирования для многоадресной передачи данных.	5
5 Протокол сетевого кодирования для многоадресной передачи данных.	7
5.1 Описание протокола	7
5.2 Реализация	7
5.3 Структура заголовков	8
5.4 Обработка пакетов	9
5.5 Формирование заголовка	10
5.6 Порядок обмена пакетами	11
Приложение ДА (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем проекта международного стандарта.	13
Библиография	14

Введение

Появление новых, перспективных и развитие существующих услуг связи приводит к повышению требований к системам передачи данных и доставки контента. Одним из таких важных требований является уменьшение задержки доставки пакетов данных пользователю.

Между тем непрерывный рост числа пользователей и количества источников контента, а также повышение качества предоставления услуг связи ведут к значительному росту объемов передаваемого по сети трафика. Это приводит к задержке передачи пакетов данных, что вызвано необходимостью обработки и маршрутизации каждого отдельного пакета. Одним из решений данной проблемы является технология сетевого кодирования.

Задачами разработки протоколов и стандартов сетевого кодирования в настоящее время активно занимаются такие организации, как рабочая группа инженерной поддержки сети Интернет (Internet Engineering Task Force, IETF) и Международный союз электросвязи (МСЭ) (International Telecommunications Union, ITU).

В настоящем стандарте представлено описание протокола сетевого кодирования NCDP для использования его в системах доставки контента.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

ПРОТОКОЛ СЕТЕВОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОАДРЕСНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Information technology.
Session layer network coding protocol for multicast data transmission

Срок действия — с 2025—04—30
до 2026—04—30

1 Область применения

В настоящем стандарте представлен сеансовый протокол многоадресной передачи NCDP на основе метода сетевого кодирования для использования в системах доставки контента, основанных на многоадресной передаче данных от нескольких источников.

В стандарте описана базовая структура пакетов протокола NCDP и логика его работы с учетом вариативности применяемых совместно с ним сетевых протоколов, а также приведены алгоритмы обработки заголовка пакета для маршрутизирующих узлов-кодеров.

Требования настоящего стандарта следует учитывать при проектировании, построении, эксплуатации и модернизации сетей связи и передачи данных.

Настоящий стандарт предназначен для применения путем включения ссылок на него в соответствии с действующим законодательством и (или) прямого использования устанавливаемых в нем положений.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применен следующий термин с соответствующим определением:

2.1 системы передачи с сетевым кодированием: Системы передачи данных, в которых операции кодирования пакетов данных выполняются как на передающем узле, так и на промежуточных маршрутизирующих узлах.

Примечание — См. [1].

3 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

DCCP — протокол контроля перегрузки дейтаграмм (Datagram Congestion Control Protocol);

ID — идентификатор (Identifier);

IETF — группа инженерной поддержки сети Интернет (Internet Engineering Task Force);

IGMP — протокол управления групповой передачей данных (Internet Group Management Protocol);

IP — протокол межсетевого взаимодействия (Internet Protocol);

IPTV — телевидение с передачей данных по протоколу IP (Internet Protocol Television);

MLD — протокол обнаружения получателей групповой рассылки (Multicast Listener Discovery);

NCDP — протокол многоадресной передачи с сетевым кодированием (Network Coding Datagram Protocol);

OSI — модель взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection);

PIM — групповая рассылка, не зависящая от протокола (Protocol Independent Multicast);

UDP — протокол пользовательских датаграмм (User Datagram Protocol).

4 Общие положения

4.1 Сетевое кодирование

Многоадресная (или групповая) передача данных используется в современных сетях передачи данных для управления работой сети и для предоставления различных услуг абонентам. Характерными примерами служб, использующих групповую рассылку, являются такие сервисы, как интернет-радио, видео-конференц-связь, IPTV и другие системы доставки контента. Важным достоинством многоадресной передачи данных является то, что она позволяет существенно сократить объем передаваемого трафика. Отличия между одноадресной и многоадресной передачей данных показаны на рисунке 1.

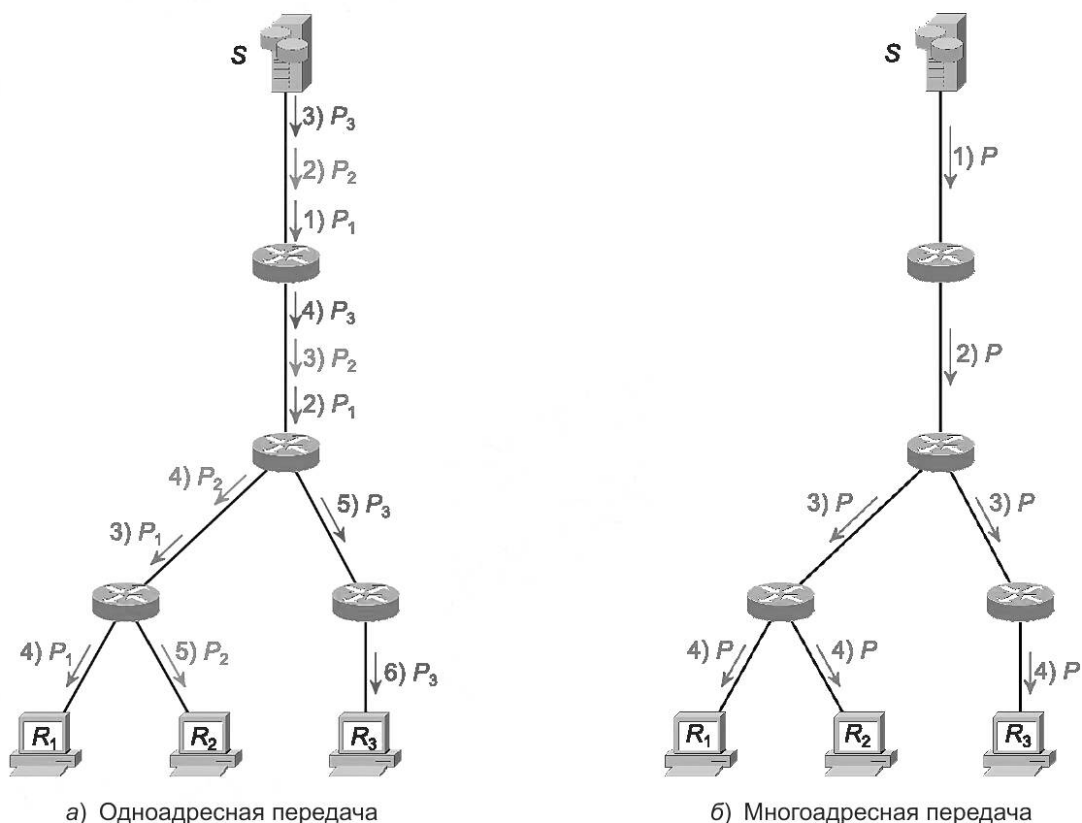


Рисунок 1 — Отличие одноадресной и многоадресной передачи

В примере, рассмотренном на рисунке 1, компьютеры-адресаты R_1 , R_2 и R_3 должны получить от источника S одну и ту же информацию. При последовательной одноадресной передаче, показанной на рисунке 1а), источник S один за другим отправляет три отдельных пакета P_1 , P_2 и P_3 , которые маршрутизируются независимо и в итоге достигают получателей за разное время. Предполагается, что началом отсчета будет время отправки первого пакета P_1 от сервера-источника. Само время измеряют условными шагами передачи — интервалами времени передачи пакета между парами сетевых узлов. Тогда первый адресат R_1 получит пакет P_1 через четыре шага, второй адресат R_2 — через пять шагов, а третий адресат R_3 — через шесть шагов.

При многоадресной передаче, представленной на рисунке 1б), источник S отправляет один пакет P сразу группе адресатов R_1 , R_2 и R_3 . В итоге каждый адресат получает пакет за одно и то же время, равное условным четырем шагам от начала передачи.

Появление новых и развитие классических услуг, предоставляемых абонентам, приводит к повышению требований к системам доставки контента и передачи данных, для чего могут быть использованы технологии сетевого кодирования.

Под системами передачи с сетевым кодированием понимают такие системы передачи данных, в которых операции кодирования пакетов данных выполняются как на передающем узле, так и на проме-

жуточных маршрутизирующих узлах [1]. Как правило, сетевое кодирование пакетов данных сводится к обратимому линейному преобразованию двух или более пакетов данных посредством математических операций. Основной целью сетевого кодирования является сокращение объема передаваемого по сети трафика для уменьшения величины задержки передачи данных.

Основной математической операцией, применяемой в системах сетевого кодирования, является поразрядное сложение по модулю 2 как простейшая обратимая операция. Также возможно использование иных обратимых операций, обеспечивающих однозначное декодирование, например математических операций над конечными полями Галуа.

В общем случае передачи N пакетов процедура сетевого кодирования для формирования общего пакета представлена формулой

$$P_{NC} = P_1 * P_2 * \dots * P_N, \quad (1)$$

где « $*$ » — это обратимая математическая операция или совокупность операций, лежащих в основе сетевого кодирования и обладающих свойством $(P * P = E)$, где E — это единичный элемент — такой, что $P * E = P$.

Для восстановления любого из пакетов P_i необходимо знать общий пакет P_{NC} и оставшиеся $N - 1$ исходных пакетов. К примеру, для восстановления (декодирования) пакета P_1 потребуется провести следующий расчет:

$$P_1 = P_{NC} * (P_2 * \dots * P_N). \quad (2)$$

Следует рассмотреть в качестве примера случай двух источников. Берут два пакета P_1 и P_2 . В простейшем случае результат их сетевого кодирования представлен пакетом

$$P_{NC} = P_1 \oplus P_2, \quad (3)$$

где « $\oplus$ » — это оператор поразрядного сложения по модулю 2, он же операция XOR.

Таким образом, зная закодированный пакет P_{NC} и один из исходных пакетов, возможно восстановить второй исходный пакет. Например, если известны P_{NC} и P_1 , то

$$P_2 = P_1 \oplus P_{NC} = P_1 \oplus P_1 \oplus P_2 = P_2. \quad (4)$$

В общем случае необходимо учесть, что пакеты P_1 и P_2 могут иметь различный размер. Следовательно, при кодировании они должны быть приведены к одному размеру. Для примера предположим, что пакет P_1 имеет длину L_1 , меньшую длины L_2 пакета P_2 .

В простейшем случае меньший пакет может быть дополнен нулями до необходимой длины. В этом случае формула сетевого кодирования может быть записана, как

$$P_{NC} = ([P_1] \oplus [P_2]_{L_1}) \parallel [P_2]_{(L_1 \dots L_2)}, \quad (5)$$

где « $\parallel$ » — операция конкатенации массивов данных пакетов P_1 и P_2 .

На рисунке 2 показан пример выполнения операции по формуле (5) и обратного преобразования согласно формуле (4). Все данные представлены в 16-ричной системе счисления. Пакет P_1 имеет длину $L_1 = 5$ байт и равен [23 A5 82 34 D2]. Пакет P_2 имеет длину $L_2 = 8$ байт и равен [4F 28 56 AE D6 EA 39 48].

		Заполнение					
$P_1(L_1 = 5)$	$\oplus$	23	A5	82	34	D2	00 00 00
$P_2(L_2 = 8)$		4F	28	56	AE	D6	EA 39 48
$P_{NC}(L_{NC} = 8)$	=	6C	8D	D4	9A	04	EA 39 48
$\Downarrow$							
P_{NC}	$\oplus$	6C	8D	D4	9A	04	EA 39 48
P_1		23	A5	82	34	D2	00 00 00
P_2	=	4F	28	56	AE	D6	EA 39 48

Рисунок 2 — Пример выполнения операции по формуле (5)

В результирующем пакете P_{NC} будет присутствовать незатронутая кодированием часть большего пакета (в примере — $[P_2]_{(L_1...L_2)}$). Для того чтобы этого не происходило, при сложении пакетов можно использовать в качестве третьего слагаемого predetermined константу A :

$$P_{NC} = (A \oplus [P_1] \oplus [P_2]_{L_1}) \parallel (A \oplus [P_2]_{(L_1...L_2)}). \quad (6)$$

На рисунке 3 показан пример выполнения операции по формуле (6) при константе $A = 76_{\text{hex}}$.

	Заполнение						
$P_1(L_1 = 5)$	23	A5	82	34	D2	00	00
$\oplus$							
$P_2(L_2 = 8)$	4F	28	56	AE	D6	EA	39
$\oplus$							
A	76	76	76	76	76	76	76
$=$							
$P_{NC}(L_{NC} = 8)$	1A	FB	A2	EC	72	9C	4F
$\downarrow$							
P_{NC}	1A	FB	A2	EC	72	9C	4F
$\oplus$							
P_1	23	A5	82	34	D2	00	00
$\oplus$							
A	76	76	76	76	76	76	76
$=$							
P_2	4F	28	56	AE	D6	EA	39

Рисунок 3 — Пример выполнения операции по формуле (6)

Еще одним вариантом наращивания длины меньшего пакета является его зацикливание при помощи конкатенации в циклическом регистре сдвига. То есть меньший пакет как бы наращивается до длины L_2 большего пакета P_2 использованием собственных младших разрядов.

$$P_{NC} = ([P_1] \oplus [P_2]_{L_1}) \parallel ([P_1]_{(L_2 - L_1)} \oplus [P_2]_{(L_1...L_2)}). \quad (7)$$

Пример вычисления по формуле (7) показан на рисунке 4.

	Защицикливание						
$P_1(L_1 = 5)$	23	A5	82	34	D2	23	A5
$\oplus$							
$P_2(L_2 = 8)$	4F	28	56	AE	D6	EA	39
$=$							
$P_{NC}(L_{NC} = 8)$	6C	8D	D4	9A	04	C9	9C
$\downarrow$							
P_{NC}	6C	8D	D4	9A	04	C9	9C
$\oplus$							
P_1	23	A5	82	34	D2	23	A5
$=$							
P_2	4F	28	56	AE	D6	EA	39

Рисунок 4 — Пример выполнения операции по формуле (7)

При необходимости в этом случае также может быть использовано опциональное третье слагаемое — константа:

$$P_{NC} = (A \oplus [P_1] \oplus [P_2]_{L_1}) \parallel (A \oplus [P_1]_{(L_2 - L_1)} \oplus [P_2]_{(L_1...L_2)}). \quad (8)$$

Пример вычисления по формуле (8) показан на рисунке 5.



Рисунок 5 — Пример вычисления операции по формуле (8)

4.2 Применение сетевого кодирования для многоадресной передачи данных

При анализе механизма сетевого кодирования традиционно рассматривают передачу в сети с топологией «бабочка», представленной на рисунке 6. Топология сети содержит два узла-источника S_1 и S_2 , которые должны одновременно передать пакеты данных P_1 и P_2 сразу двум узлам-адресатам R_1 и R_2 . Маршрутизацию пакетов данных от узлов-источников к узлам-адресатам обеспечивают шесть транзитных маршрутизирующих узлов — от G_A до G_F . Маршруты пакетов в сети приведены в таблице 1.

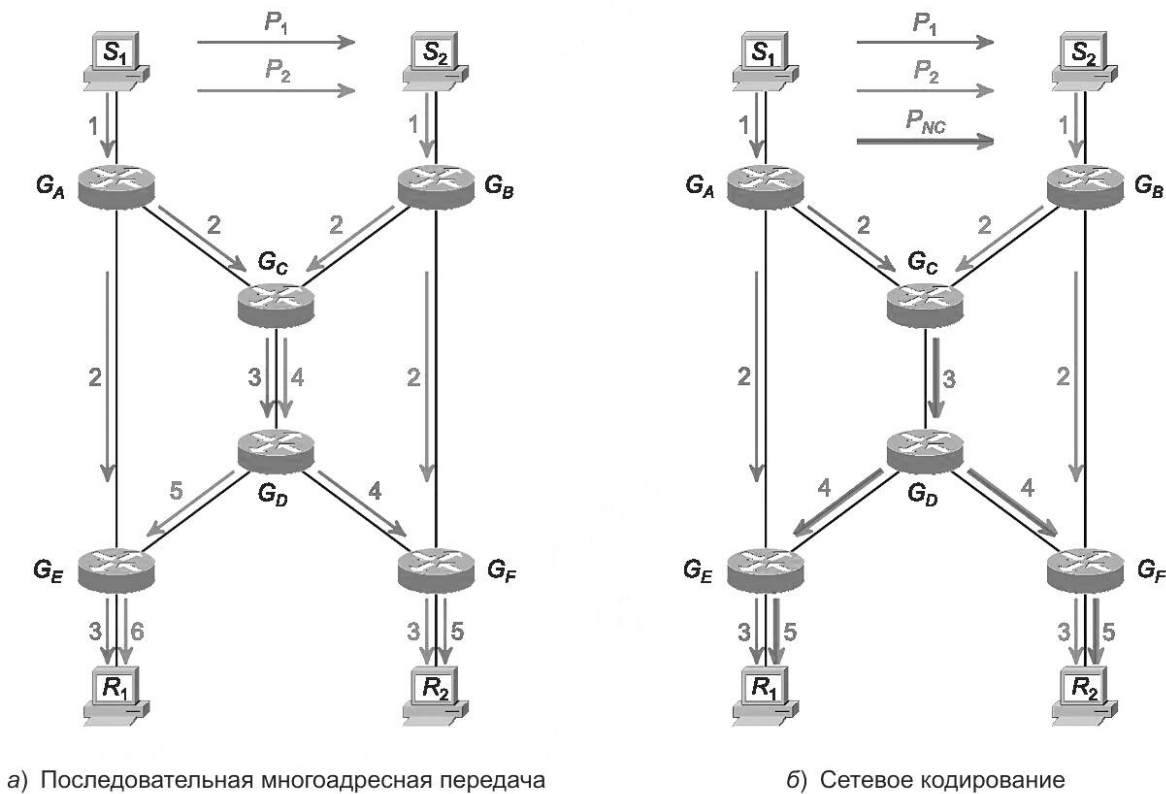


Рисунок 6 — Сеть с топологией «бабочка»

Таблица 1 — Маршруты пакетов в сети «бабочка»

Узлы-источники	Узлы-адресаты	
	R_1	R_2
S_1	$G_A—G_E$	$G_A—G_C—G_D—G_F$
S_2	$G_B—G_C—G_D—G_E$	$G_B—G_F$

Рассматривают процедуру передачи данных в сети «бабочка» согласно указанному выше сценарию одновременной передачи данных. Номерами условно показан порядок прохождения пакетов по сети.

На рисунке 6а) показано, что при обычной многоадресной передаче без сетевого кодирования пакеты P_1 и P_2 достигают узлов R_1 и R_2 неодновременно. Узел R_1 получает оба пакета условно через пять шагов, а узел R_2 — через шесть, т. е. возникает задержка. Это происходит за счет того, что на участке $G_C—G_D$ пакеты передаются последовательно. В случае применения сетевого кодирования, показанном на рисунке 6б), на участке $G_C—G_D$ передается сразу линейная комбинация пакетов P_{NC} , вычисленная по формуле (3). Поэтому узлы R_1 и R_2 получают оба пакета одновременно за пять шагов.

Таким образом, применение сетевого кодирования позволяет выиграть время передачи одного пакета и приблизительно в два раза уменьшить объем трафика, передаваемого на участке $G_C—G_D$. При точном расчете уменьшения объема передаваемого трафика необходимо учесть служебную информацию и размеры заголовков протоколов, необходимых для обеспечения работы механизмов сетевого кодирования и маршрутизации пакетов.

Следует отметить, что поскольку сетевое кодирование выполняется на маршрутизирующих узлах, его часто рассматривают как алгоритм маршрутизации, а протоколы, использующие методы сетевого кодирования для передачи данных по сетям связи, относят к протоколам маршрутизации.

Помимо топологии «бабочка» сетевое кодирование может применяться и в так называемой ромбовидной сетевой топологии, представленной на рисунке 7а).

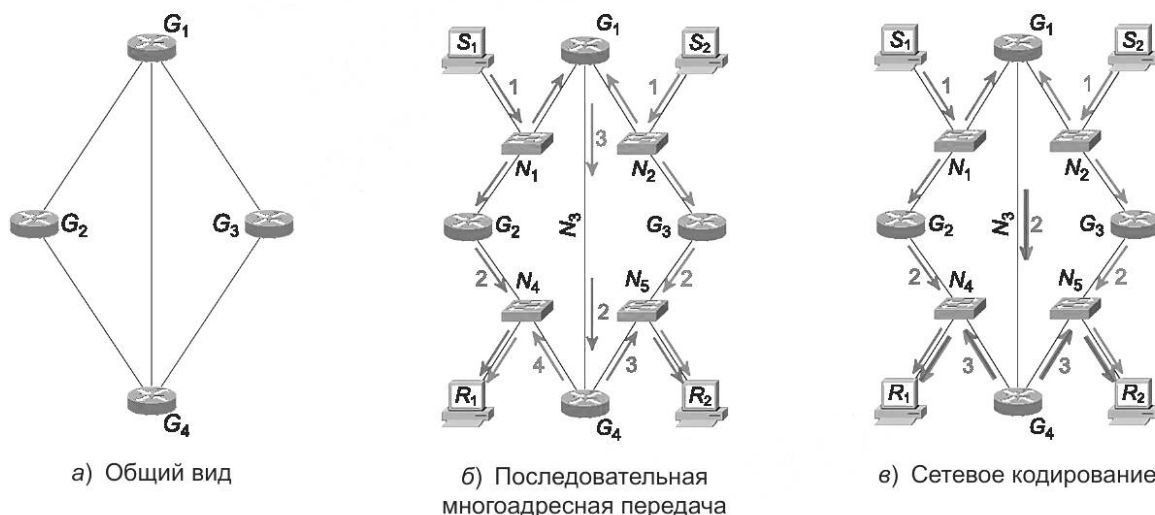


Рисунок 7 — Ромбовидная топология

Ромбовидная топология имеет различные варианты реализации. В настоящем стандарте рассматривается вариант ромбовидной топологии, в которой каждая из сторон ромба относится к одной пользовательской подсети, как показано на рисунке 7б). Узлы — источники сигнала S_1 и S_2 относятся к верхним подсетям N_1 и N_2 , в которые входят пары маршрутизаторов (G_1, G_2) и (G_1, G_3) соответственно. Узлы-адресаты R_1 и R_2 принадлежат нижним сетям N_3 и N_4 , в которые входят пары маршрутизаторов (G_2, G_4) и (G_3, G_4) соответственно. Внутренняя подсеть N_3 образует дополнительный маршрут между маршрутизаторами G_1 и G_4 . Маршруты пакетов в сети приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 — Маршруты пакетов в сети ромбовидной топологии

Узлы-источники	Узлы-адресаты	
	R_1	R_2
S_1	G_2	$G_1—G_4$
S_2	$G_1—G_4$	G_3

На рисунке 7б) представлена многоадресная передача пакетов от источников S_1 и S_2 адресатам R_1 и R_2 без применения сетевого кодирования. На рисунке 7в) показана передача пакетов с сетевым кодированием на маршрутизаторе G_1 и декодированием на узлах-адресатах. Сравнивая представленные варианты передачи, можно увидеть, что, как и в случае с топологией «бабочка», сетевое кодирование позволяет выиграть время передачи одного пакета на участке $G_1—G_4$. При простой многоадресной передаче для получения адресатами R_1 и R_2 пакетов P_1 и P_2 требуются четыре шага, а с сетевым кодированием — три шага.

5 Протокол сетевого кодирования для многоадресной передачи данных

5.1 Описание протокола

Протокол NCDP представляет собой протокол сеансового уровня, реализующий прослойку между протоколом предоставления услуги и транспортным протоколом передачи данных, как показано в таблице 3.

Протокол рассчитан на многоадресную передачу данных, поэтому в качестве протокола транспортного уровня должны использоваться датаграммные протоколы без установления соединения (например, UDP и DCCP).

Сеансовая часть взаимодействия, в том числе управление соединением и нумерация пакетов, возлагается на протокол сетевого кодирования NCDP.

Т а б л и ц а 3 — Размещение протокола NCDP в рамках модели OSI

Уровень	Протокол
7 Приложений	—
6 Представления	
5 Сеансовый	NCDP
4 Транспортный	UDP, DCCP
3 Сетевой	IP
2 Канальный	—
1 Физический	

Многоадресная передача в рамках сети реализуется на основе групповых адресов межсетевого протокола IP. Для обеспечения записи адресатов в группы и уведомления маршрутизаторов о прохождении групповых пакетов должны использоваться либо протоколы управления групповой передачей PIM, IGMP (для IPv4) и MLD (для IPv6), либо служебные пакеты самого протокола NCDP.

5.2 Реализация

Протокол NCDP может быть реализован как в пространстве ядра сетевой операционной системы, так и в пространстве пользователя. Следует отметить, что реализация протокола в виде приложения, работающего в пространстве пользователя, обеспечивает более удобное внедрение и тестирование протокола, но при этом повышает задержки при работе с памятью и системными вызовами сетевого устройства, на котором реализуется протокол. Этот подход удобен на начальном этапе разработки и внедрения, а также при развертывании протокола на устройствах, где возможность встраивания логики протокола на уровень ядра операционной системы отсутствует или ограничена.

5.3 Структура заголовков

Структура заголовка NCDP показана на рисунке 8а). Заголовок состоит из фиксированной части, используемой для всех пакетов NCDP, и вариативной, зависящей от типа пакета и значений флагов в фиксированной части.

8 бит	16 бит	8 бит
Тип пакета	ID сеанса	Флаги IP
Зависит от типа пакета		

а) Общая структура заголовка

8 бит	16 бит	8 бит
0x01	ID сеанса	Флаги NC IP
Номер пакета		Длина пакета (байт)
IP-адрес источника		
Номер пакета		Длина пакета (байт)
IP-адрес источника Второй источник указывается в случае сетевого кодирования (NC=1)		
Данные		

б) Заголовок пакета данных

8 бит	16 бит	8 бит
0x02	ID сеанса	SF Флаги IP
IP-адрес источника		

в) Заголовок пакета управления

8 бит	16 бит	8 бит
0x03	0...0	Флаги IP
IP-адрес клиента		

г) Заголовок пакета запроса

Рисунок 8 — Заголовок пакета NCDP

Поле «Тип пакета» (8 бит) определяет его назначение. Идентификатор (ID) сеанса (16 бит) служит для того, чтобы различать пакеты разных групповых рассылок NCDP друг от друга. Флаги (8 бит) указывают на конкретные настройки при передаче пакетов и могут зависеть от типа пакета. Обязательным является флаг IP, который определяет версию сетевого протокола IP—IPv4 или IPv6. В зависимости от этого поля адресов источника в вариативной части заголовка будут иметь разный размер.

В протоколе используется три типа пакетов:

- тип 1 — пакет данных. Передается от источника до адресата. При передаче подвергается процедуре сетевого кодирования;
- тип 2 — служебный пакет управления передачей. Передается от источника до адресата. Сигнализирует о начале и окончании передачи потока данных. Служит для инициализации буферов памяти на узле-кодере и узлах-адресатах, выполняющих декодирование;

- тип 3 — служебный пакет запроса данных. Передается от узла-адресата на узел-источник контента, чтобы начать получение потока данных.

Вариативная часть заголовка пакета данных представлена на рисунке 8б). Она содержит информацию о данных и их источниках: номер пакета данных, длину поля данных и IP-адрес. Для пакетов данных добавляется флаг сетевого кодирования NC, который указывает на прохождение/непрохождение процедуры сетевого кодирования. Для пакета, сформированного на источнике и еще не прошедшего процедуру сетевого кодирования, указывается только один источник, и флаг NC задается равным 0. Когда пакеты проходят процедуру сетевого кодирования на узле-кодере, флаг NC задается равным 1 и добавляется информация о втором источнике данных.

Нумерация пакетов осуществляется циклически по модулю 2^{16} . Номер пакета показывает позицию первого байта пакета от начала сеанса передачи данных. Поля длин пакетов данных необходимы, так как узлы-источники могут передавать пакеты разного размера. При сложении таких пакетов данные меньшего пакета дополняются нулевыми октетами. Поскольку для поля длины выделено 16 бит, всего в одном пакете может быть передано до 64 кбайт данных с учетом ограничений сетевого и транспортного протоколов.

Заголовок пакета управления передачей протокола NCDP представлен на рисунке 9в). Заголовок содержит IP-адрес источника информации. Для указания начала/конца передачи используется флаг SF обязательной части заголовка: 1 — обозначает начало передачи, 0 — ее конец.

Заголовок пакета запроса данных представлен на рисунке 8г). Заголовок содержит IP-адрес клиента, запрашивающего данные от серверов-источников. Идентификатор сессии не указывается — поле заполняется нулями.

5.4 Обработка пакетов

Поскольку формат заголовка протокола зависит от назначения пакета, то его обработка на принимающем узле (кодере или адресате-декодере) осуществляется последовательно. Первоначально проводится проверка типа пакета. В зависимости от него обработка проводится по одному из двух вариантов.

Общая блок-схема порядка обработки заголовка управляющего пакета NCDP представлена на рисунке 9.

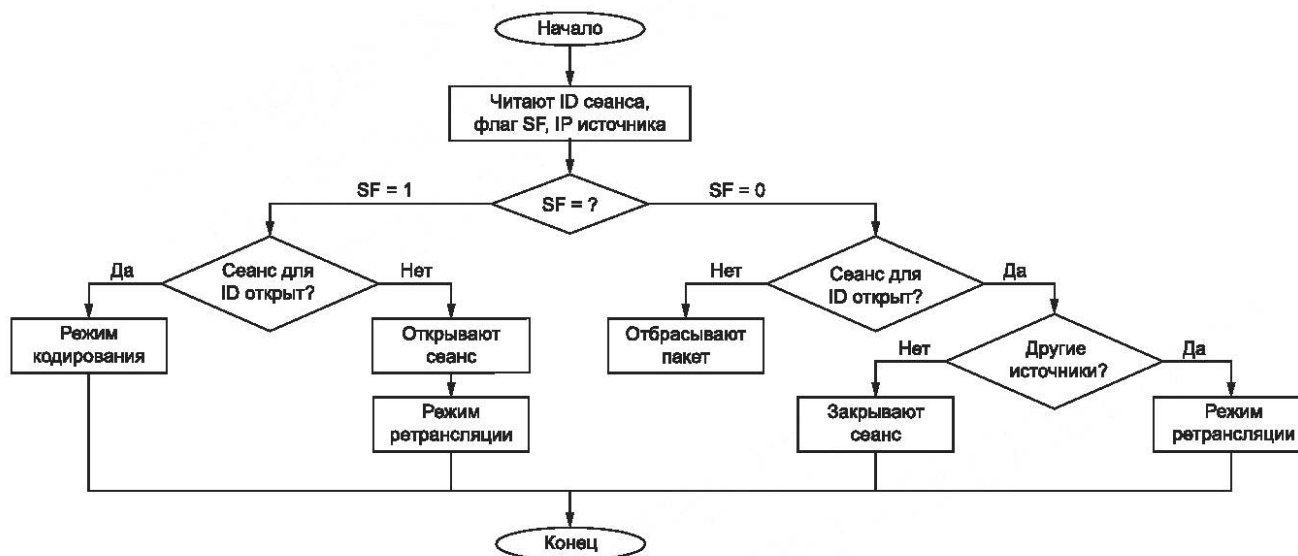


Рисунок 9 — Порядок обработки заголовка управляющего пакета NCDP на узле-кодере

Для управляющего пакета первоначально проверяется флаг SF и считываются идентификатор сеанса и IP-адрес источника (согласно флагу IP). Если флаг SF равен 1, то проверяется наличие активного сеанса, соответствующего ID. Если сеанса нет, то производится инициализация областей памяти, предназначенных для накопления и обработки пакетов данных, после чего узел переходит в режим ретрансляции пакетов. Если сеанс уже был установлен ранее другим источником, то узел переводится в режим кодирования пакетов данных, при котором все поступающие пакеты данных записываются в буфер памяти для последующей обработки.

Если флаг SF равен 0, то проверяется наличие активного сеанса передачи для этого ID. Если такой сеанс открыт, то источник информации помечается как выключенный. Если это был последний источник для этого сеанса, то сеанс завершается, а ранее выделенные для него ресурсы освобождаются. Если сеанс для полученного ID отсутствует, то такой пакет принимается ошибочным и отбрасывается.

Блок-схема обработки пакетов данных на узле-кодере представлена на рисунке 10.

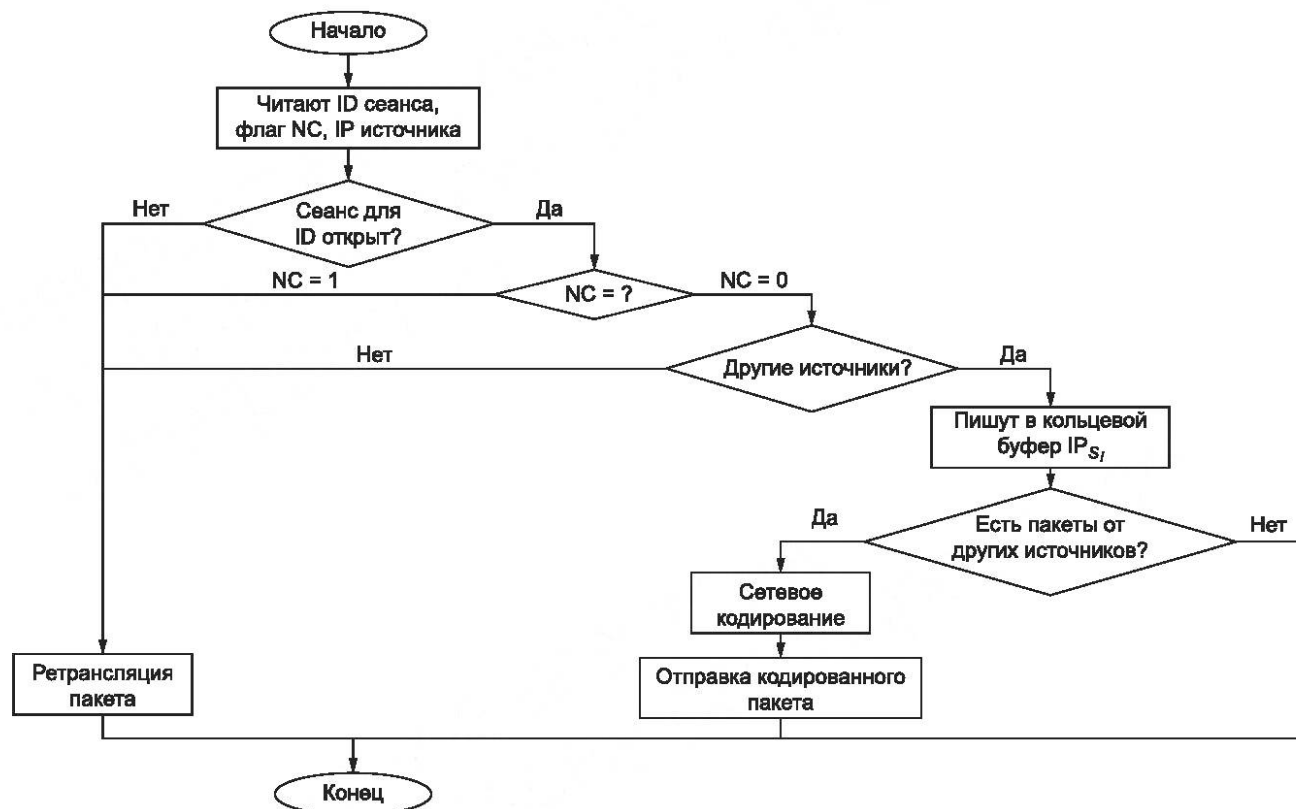


Рисунок 10 — Порядок обработки заголовка пакета данных протокола NCDP на узле-кодере

При обработке пакета данных изначально считывается идентификатор сеанса. Далее проводится проверка наличия открытого сеанса для этого ID. Если сеанс отсутствует, то пакет просто ретранслируется далее согласно правилам маршрутизации для используемой группы мультивещания. Если сеанс с данным ID открыт, то пакет обрабатывается дальше. Проводится проверка флага NC. Если флаг NC = 1, то этот пакет уже закодирован ранее и, следовательно, ретранслируется далее согласно правилам маршрутизации. Если флаг NC = 0, то проводится проверка количества активных источников информации. Если источник информации только один, то пакет ретранслируется далее. Если источников несколько, то в этом случае возможно выполнить процедуру сетевого кодирования и полученный пакет записывается в кольцевой буфер памяти, соответствующий IP-адресу источника IP_{S_i} . Как только в буферах памяти появляются два пакета, принадлежащих разным источникам, выполняется процедура сетевого кодирования и сформированный закодированный пакет отправляется далее.

5.5 Формирование заголовка

Процедура формирования заголовка закодированного пакета показана на рисунке 11. Первым указывается источник, который был зарегистрирован раньше.

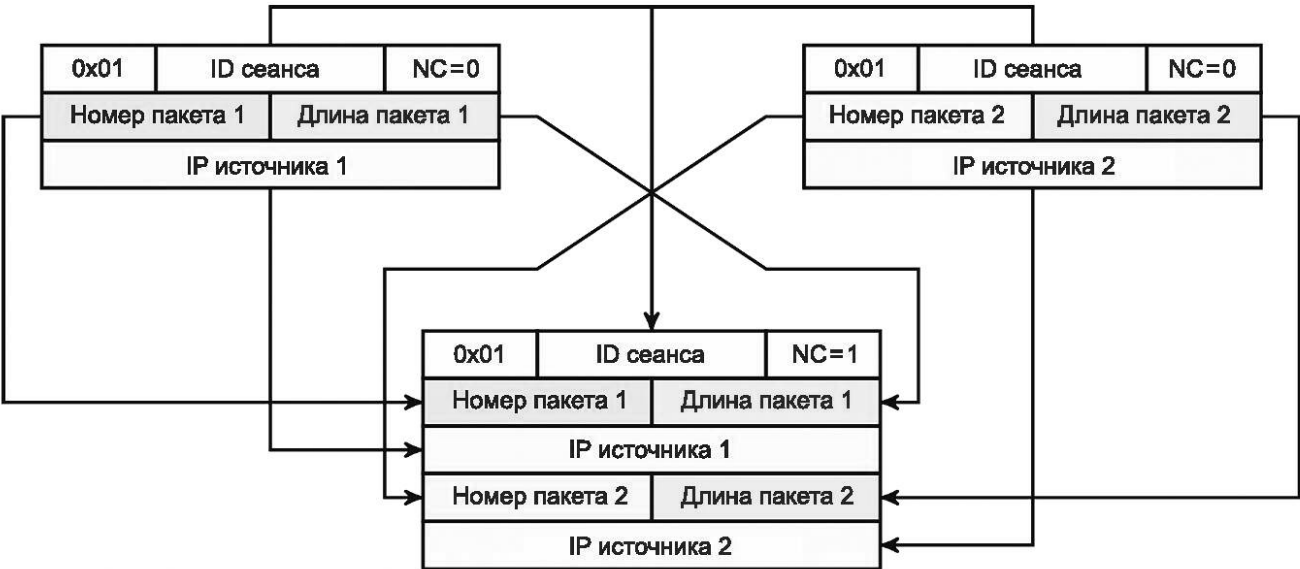
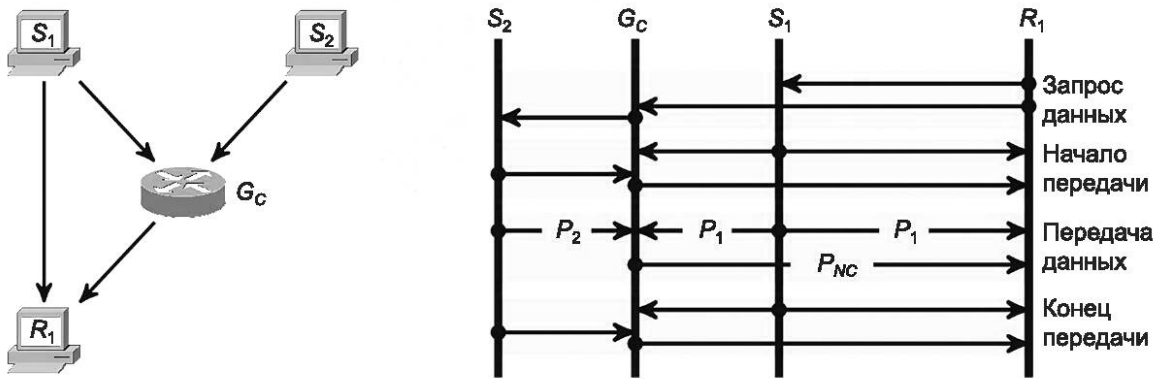


Рисунок 11 — Процедура формирования заголовка закодированного пакета

5.6 Порядок обмена пакетами

Порядок обмена пакетами протокола NCDP между узлами-источниками и адресатами на основе упрощенной схемы сети представлен на рисунке 12а). Схема содержит два узла-источника S_1 и S_2 , маршрутизирующий узел G_C , на котором выполняется сетевое кодирование, и один из узлов-адресатов R_1 . Поскольку прочие маршрутизаторы в стандартной архитектуре «бабочка» выполняют только маршрутизацию трафика без обработки, они не рассматриваются. Обмен трафиком с узлом-адресатом R_2 будет выполняться симметрично, поэтому он также не приводится.



а) Упрощенная топология «бабочка» для рассмотрения диаграммы обмена пакетами

б) Диаграмма обмена пакетами

Рисунок 12 — Порядок обмена пакетами протокола NCDP

Порядок обмена пакетами между узлами представлен на рисунке 12б). Передача начинается с того, что узел-адресат запрашивает данные от узлов-источников. Это может быть как прямой запрос по протоколу NCDP, так и запрос подключения к группе мультивещания по протоколам IGMP или MLD. Далее узлы-источники отправляют управляющие пакеты с флагом $SF = 1$, сигнализирующие о начале передачи и сообщающие маршрутизатору G_C и узлу-адресату R_1 о необходимости выделить ресурсы для обработки пакетов данной сессии. Ниже стартового сообщения показан пример передачи пакета с данными — передача одной пары пакетов P_1 и P_2 . Дальнейшая передача пакетов данных будет проводиться аналогично.

По окончании передачи узлы-источники отправляют управляющие пакеты с флагом $SF = 0$, сообщающие о завершении передачи. Это финальное сообщение передается аналогично стартовому сообщению.

Стартовый и финальный управляющие пакеты маршрутизатор G_C перенаправляет только от тех узлов-источников, для которых он получал запрос данных от адресата. В примере на рисунке 12б) маршрутизатор G_C получил запрос данных от R_1 для S_2 . Запрос данных для S_1 прошел мимо G_C по прямому маршруту $R_1—S_1$ ($R_1—G_E—G_A—S_1$ из полной схемы сети «бабочка»). Следовательно, управляющие пакеты от S_1 , приходящие на G_C , не будут ретранслироваться на R_1 .

Приложение ДА
(справочное)

**Сопоставление структуры настоящего стандарта
со структурой примененного в нем проекта международного стандарта**

Таблица ДА.1

Структура настоящего стандарта	Структура проекта международного стандарта ITU-T TR.NCDP
1 Область применения	1 Область применения
*	2 Нормативные ссылки
2 Термины и определения (раздел 3)	3 Определения 3.1 Термины, определенные в других источниках 3.2 Термины, определенные в настоящем проекте стандарта
3 Сокращения (раздел 4)	4 Сокращения
4 Общие положения (раздел 5) 4.1 Сетевое кодирование (раздел 8) 4.2 Применение сетевого кодирования для многоадресной передачи данных (раздел 7)	5 Обзор
5 Протокол сетевого кодирования для многоадресной передачи данных 5.1 Описание протокола (раздел 6) 5.2 Реализация** 5.3 Структура заголовков (раздел 9) 5.4 Обработка пакетов (раздел 10) 5.5 Формирование заголовка (раздел 10) 5.6 Порядок обмена пакетами (раздел 11)	6 Место протокола многоадресной рассылки на основе сетевого кодирования в модели OSI
Приложение ДА Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем проекта международного стандарта	7 Архитектура протокола многоадресной рассылки на основе сетевого кодирования
Библиография	8 Процедуры кодирования
	9 Структура пакета
	10 Обработка заголовка протокола
	11 Процедуры сигнализации
***	12 Тестирование NCDP
* Данный раздел исключен, т. к. его содержание перенесено в структурный элемент «Библиография». ** Данный раздел добавлен, т. к. он описывает возможности практической реализации протокола NCDP. *** Данный раздел проекта международного стандарта ITU-T TR.NCDP исключен, т. к. в нем представлены результаты моделирования, доказывающие эффективность работы протокола. Примечание — После заголовков разделов (подразделов) настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов (подразделов) проекта международного стандарта.	

Библиография

- [1] *RFC 8406 Taxonomy of Coding Techniques for Efficient Network Communications* [Электронный ресурс] // *IETF Datatracker*: [сайт]. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc8406> (дата обращения: 12.03.2024)

УДК 004.057.4:006.354

ОКС 35.020
35.110

Ключевые слова: информационные технологии, передача данных, сетевое кодирование, протокол NCDP

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 29.04.2025. Подписано в печать 12.05.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,97.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru