



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
999—
2025

Информационные технологии

**ТЕСТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ
СВЕРХПЛОТНЫХ СЕТЕЙ**

(ITU-T Q.4071, The testing of 3D ultra-high density Internet of things networks,
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. № 7-пнст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ITU-T Q.4071 «Тестирование трехмерных сверхплотных сетей» (ITU-T Q.4071 «The testing of 3D ultra-high density Internet of things networks», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом.

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

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем 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 Основные положения	1
4.1 Общие положения	2
4.2 Представление пространства среды для сети высокой плотности	2
4.3 Фрактальные фигуры для представления неоднородного пространства среды сети высокой плотности	3
5 Структура модельной сети	4
6 Описание процесса проведения тестирования	5
6.1 Проверка работоспособности узлов сверхплотной сети, генератора и получателя трафика	5
6.2 Оценка влияния генератора и получателя трафика на пропускную способность канала IEEE 802.11 [3]	6
Приложение I (справочное) Пример результатов проведения измерений	7
Приложение ДА (справочное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем международного стандарта	8
Библиография	9

Введение

В настоящее время в связи с развитием сетей беспроводной передачи данных и появлением все большего числа различных устройств (в т. ч. мобильных), подключенных к информационно-коммуникационной сети Интернет, в т. ч. с использованием беспроводных технологий передачи данных, происходит постепенное развертывание сетей высокой и сверхвысокой плотности. Для трехмерных сверхплотных сетей (UHD) плотность устройств может составлять до 100 на 1 м³.

Особенности построения таких сетей, виды сетевого взаимодействия устройств, а также их высокая плотность размещения определяют переход от двумерных к трехмерным методам проектирования и планирования сетей связи.

Настоящий стандарт описывает методику тестирования для трехмерных сетей высокой и сверхвысокой плотности, а также структуру модельной сети для проведения подобного тестирования.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

ТЕСТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ СВЕРХПЛОТНЫХ СЕТЕЙ

Information technology.
The testing of 3D ultra-high density networks

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

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оборудование, использующее беспроводную передачу данных, функционирующее в трехмерном пространстве в условиях сверхплотного размещения узлов (до 100 устройств на 1 м³) и определяет методику тестирования и структуру модельной сети для таких сетевых структур.

Требования настоящего стандарта следует учитывать при тестировании, сертификации и верификации оборудования сетей связи пятого и последующих поколений.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 трехмерная сверхплотная сеть: Сверхплотная сеть, основанная на технологиях беспроводной связи, пользователи и узлы которой расположены в трехмерном пространстве (многоэтажные здания и другие сооружения) с плотностью до 100 устройств на 1 м³, где двумерная модель не может однозначно описать сеть и не отражает особенности распределения пользователей и узлов по сети.

3 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ФР — фрактальная размерность;

ФФ — фрактальная фигура;

SDR — программно-конфигурируемое (определяемое) радио (software defined radio);

TCP — протокол управления передачей (transmission control protocol);

UDP — протокол пользовательских датаграмм (user datagram protocol);

UHD — сверхплотная сеть (ultra-high density).

4 Основные положения

Развитие сетей связи при переходе к сетям 5G/IMT-2020 и далее происходит как в направлении создания сетей высокой и сверхвысокой плотности, так и в направлении создания сетей со сверхнизкой задержкой. В настоящем стандарте определяются методы тестирования сетей сверхвысокой плотности в трехмерном пространстве. Согласно [2] существующим стандартам для сетей высокой плотности требуется обеспечить качество обслуживания при размещении на плоскости 1 000 000 устройств на 1 км², а для трехмерных сверхплотных сетей — при размещении в трехмерном пространстве (кубе) до 100 устройств на 1 м³.

Для планирования таких сетей в настоящее время используются методы фрактальной геометрии.

4.1 Общие положения

Сети *связи* строятся в самых разнообразных элементах инфраструктуры поселений, а также на природных объектах, например, таких как берега рек, горные и лесные массивы, морские побережья и прочие. В таких условиях внешняя среда определяет возможную структуру размещения узлов сети. При этом форма сети в некоторой степени повторяет форму тех объектов, в которых она строится.

Очевидным подходом является копирование свойств окружения целевой сети, т. е. составление плана и его перенос *некоторым способом* в среду модели сети. Такой способ реализуется многими системами имитационного моделирования сетей беспроводной связи.

В сетях высокой плотности число сетевых элементов настолько велико, что образуемые сетевые структуры могут быть достаточно «стабильны», это позволяет делать обобщения и устанавливать их связь со структурой окружения.

Большинство объектов пространства окружения, в котором создается сеть, т. е. природных и архитектурных объектов, обладают свойствами ФФ. Численной характеристикой формы в таком случае является ФР, понятие которой введено при исследовании самоподобных объектов.

Цель этого подхода состоит в том, чтобы приблизить структуру модели сети к структуре реальной сети. Сложность данной задачи состоит в представлении и оценке схожести форм окружения планируемой сети и пространства окружения.

4.2 Представление пространства среды для сети высокой плотности

К задаче приближения структуры модели сети к структуре реальной сети относится подбор модели для представления пространства окружения планируемой сети. Критерием выбора модели является наибольшая схожесть окружения целевой сети и модели. Оценка схожести представляет определенную сложность. Во-первых, необходимо определить, каким образом может быть задано описание окружения, модель которого следует построить. Во-вторых, необходимо определить критерий и метод оценки схожести.

Связь свойств модели со свойствами объекта, выбранного в качестве модели окружения, дает возможность подобрать для планирования сети фрактальную фигуру, имеющую схожие свойства со свойствами объектов в планируемой структуре.

В качестве модели окружения для городской инфраструктуры может быть использована кривая Гильберта. Кривая Гильберта не единственная фигура, метод построения которой и фрактальные свойства известны.

На рисунке 1 приведен пример построения модели сети, в качестве окружения для которой использовано изображение ФФ — салфетки Серпинского, полученной на шестой итерации построения.

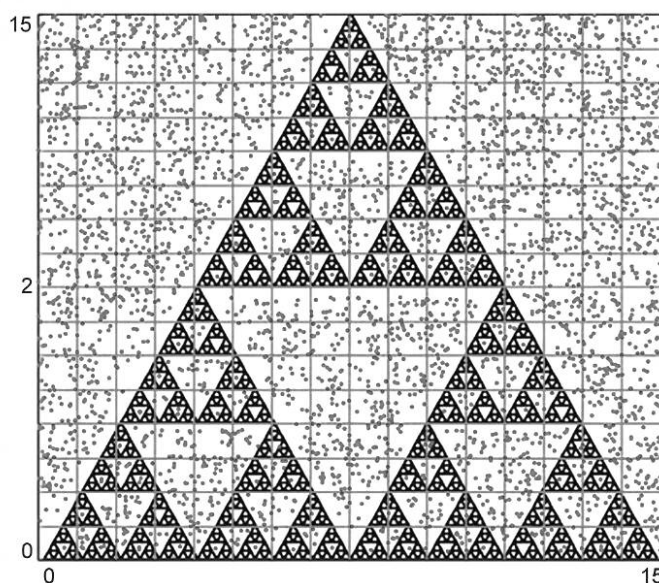


Рисунок 1 — Пример структуры высокоплотной сети при использовании салфеток Серпинского

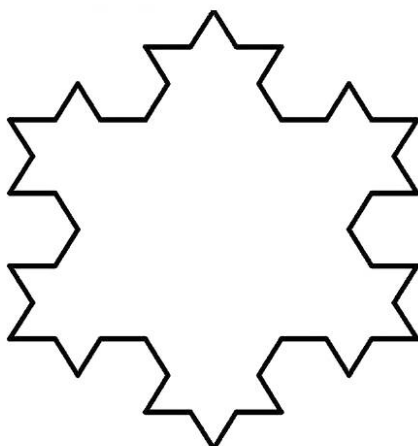
Существует достаточно много $\Phi\Phi$, для которых применяют методы построения и их фрактальные свойства. Эти фигуры также могут быть использованы при решении задач планирования структуры сети, однако для выбора конкретной фигуры следует определить параметры, позволяющие произвести ее выбор для конкретных условий.

Таким образом, задача методики состоит в определении метода выбора и оценки параметров для сравнения свойств планируемой структуры сети и структуры модели для создания методики планирования и проектирования высокоплотных сетей связи в условиях неоднородной структуры пространства окружения.

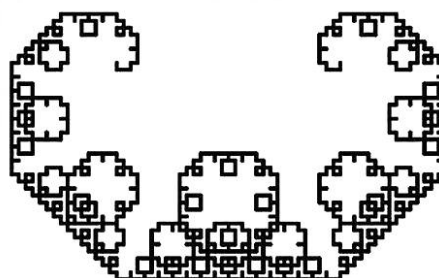
4.3 Фрактальные фигуры для представления неоднородного пространства среды сети высокой плотности

На рисунке 2 приведены построения фрагментов некоторых $\Phi\Phi$, которые могут найти применение при планировании сети.

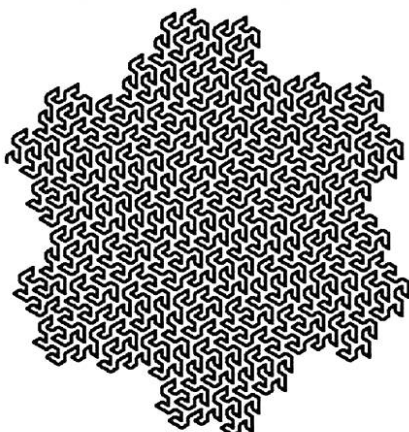
Сравнения приведенных моделей с различными вариантами пространства окружения показали большую близость моделей с прямоугольными построениями пространства, в которых доминируют объекты прямоугольной формы, а для иных моделей — когда доминируют различного рода многоугольники.



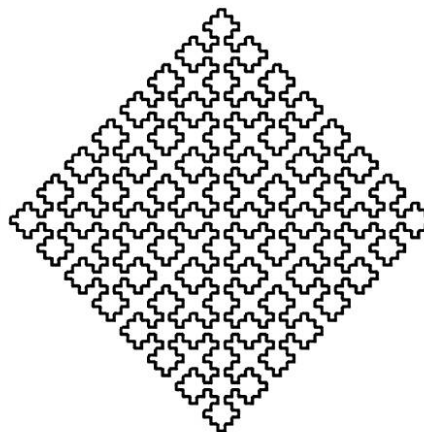
а) Снежинка Коха



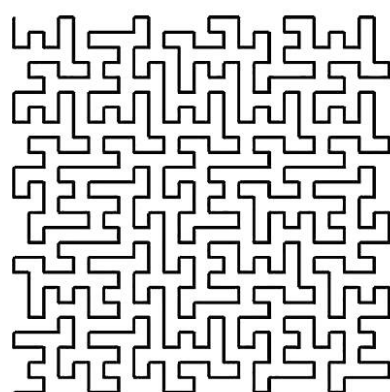
б) Кривая Леви



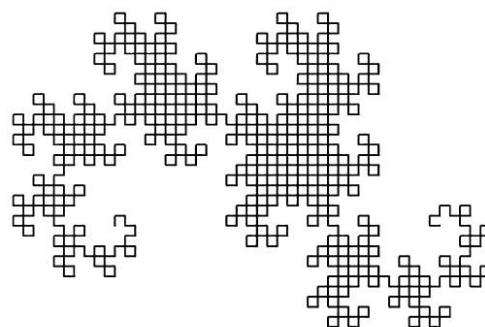
с) Кривая Пеано-Госпера



д) Кривая Серпинского



е) Квадрат Госпера



f) Кривая дракона

Рисунок 2 — Примеры фрактальных фигур

5 Структура модельной сети

Оценка работоспособности элементов модельной сети, а также оценка основных параметров ее работы с помощью генераторов трафика производится согласно структурным схемам, приведенным на рисунках 3 и 4. Структура двумерной и трехмерной модельных сетей приведена на рисунках 3 и 4.

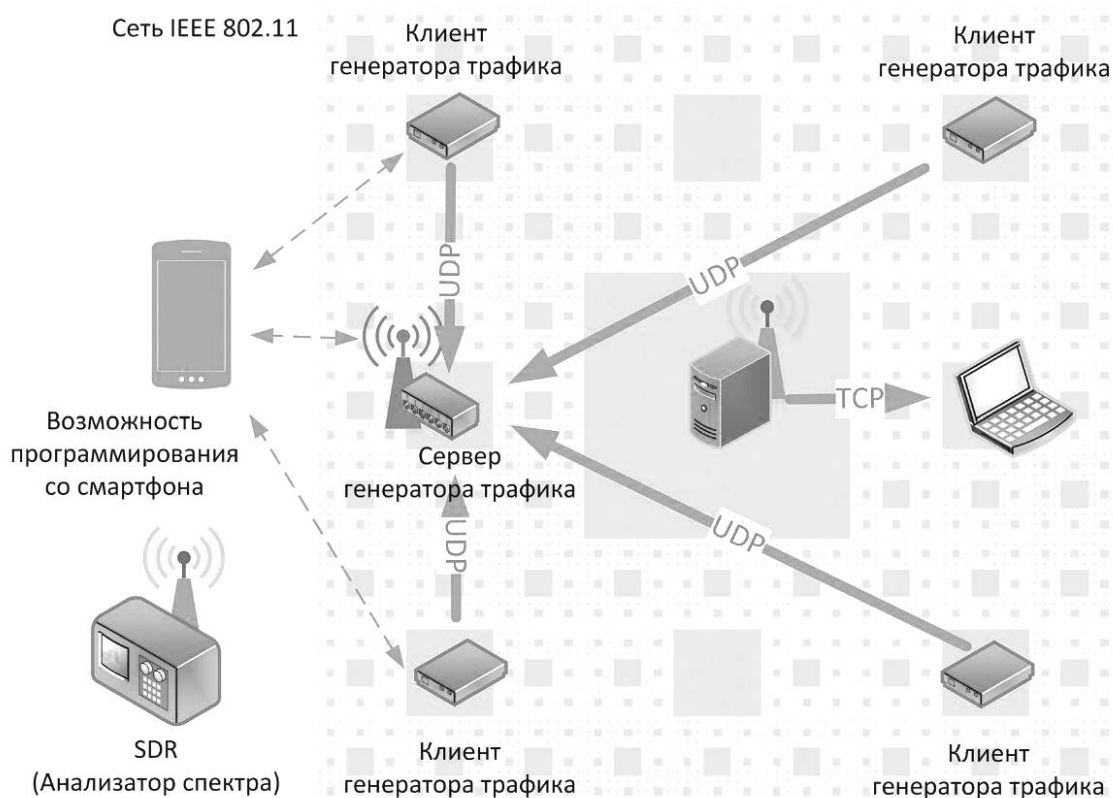


Рисунок 3 — Структурная схема испытаний на двумерной сети

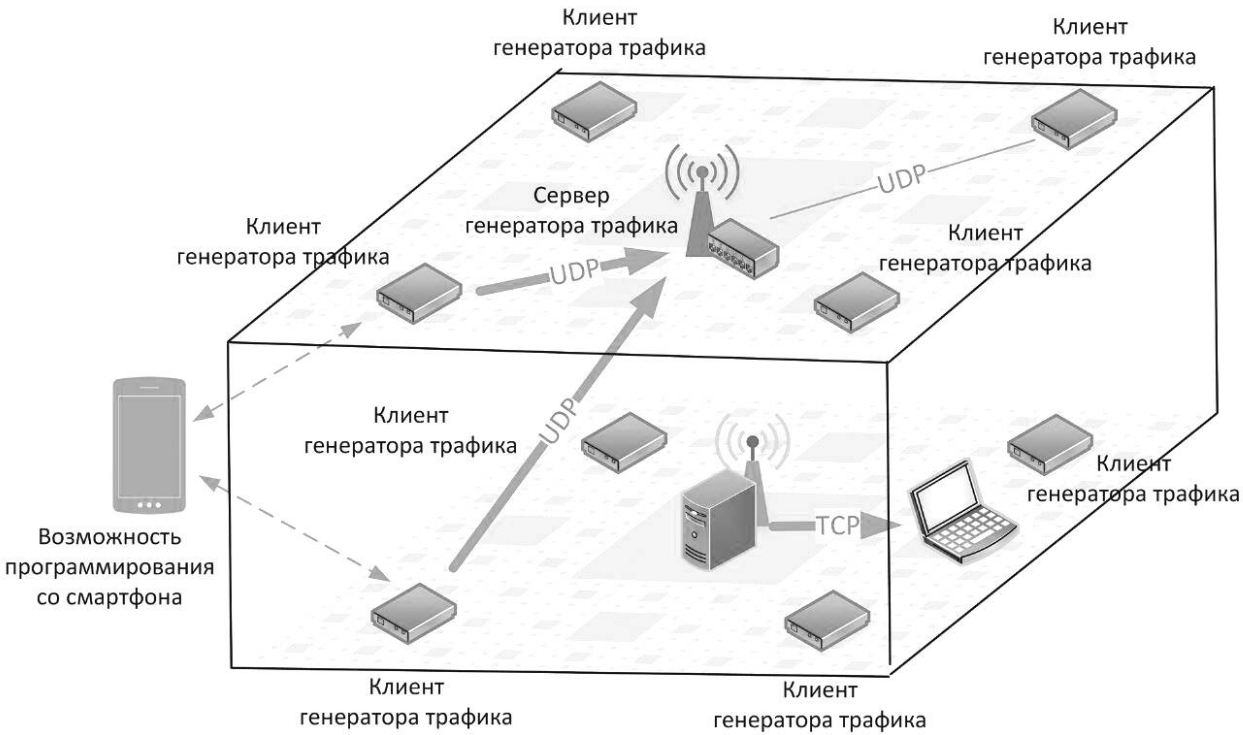


Рисунок 4 — Структурная схема испытаний на трехмерной сети

6 Описание процесса проведения тестирования

Тестирование состоит из двух этапов. На первом этапе оценивается производительность элементов модельной сети. На втором этапе оценивается влияние загрузки канала на пропускную способность с использованием генераторов трафика.

6.1 Проверка работоспособности узлов сверхплотной сети, генератора и получателя трафика

Оценка работоспособности узлов сверхплотной сети и выполнения ими функции генератора и получателя трафика.

Таблица 1 — Оценка работоспособности устройства генерации трафика

Действие	Результат
1 Включение компьютера	Компьютер включен, операционная система загружена
2 Запуск программы терминала	Запущена программа терминала
3 Подключение узла получателя трафика	Получено сообщение на экране терминала от узла получателя трафика
4 Выбор места расположения узла генератора трафика согласно выбранной фрактальной фигуре	После выбора места расположения генератора и получателя трафика согласно выбранной фигуре (квадрат Серпинского) получены данные о приеме и регистрации трафика на экране терминала
5 Включение узла генератора трафика и узла приемника трафика	На экране терминала получены данные о приеме и регистрации трафика
6 Включение SDR (анализатора спектра)	Получены результаты наблюдения энергетического спектра, излучаемого узлом генератора трафика [активность на канале № 1 диапазона 2,4 ГГц (см. [3])]

Т а б л и ц а 2 — Оценка работоспособности устройства мониторинга трафика

Действие	Результат
1 Включение <i>компьютера</i>	<i>Компьютер</i> включен, операционная система загружена
2 Запуск программы терминала	Запущена программа терминала
3 Подключение узла устройства мониторинга трафика	Получено сообщение на экране терминала от устройства мониторинга трафика
4 Включение узла генератора трафика и узла приемника трафика	На экране терминала получены данные от устройства мониторинга трафика

6.2 Оценка влияния генератора и получателя трафика на пропускную способность канала IEEE 802.11 [3]

Последовательность действий для оценки влияния нагрузки на активный канал:

1) подключают точку доступа (маршрутизатор), совместимую со стандартом IEEE 802.11 [3], к *компьютеру*, на котором установлен файловый сервер и находится файл *достаточно большого размера* (не менее 1 ГБ), затем включают функцию ручного выбора канала на маршрутизаторе и выбирают нужный канал, например канал № 1;

2) подключают *компьютер* к точке доступа. На *компьютере* должно быть установлено программное обеспечение, измеряющее скорость передачи данных на беспроводном интерфейсе;

3) подключаются по ранее указанному каналу, создают соединение с файловым сервером, а затем начинают загрузку (или скачивание) файлов;

4) включают сервер и клиент генератора трафика после начала процесса измерения. Следует регулярно подключать к серверу новые генераторы трафика;

5) сохраняют файл с результатами измерений, затем строят модель влияния количества подключенных генераторов трафика на скорость передачи данных.

На основании практических результатов проведения измерений в соседнем канале (см. приложение I) рекомендуется переместить генератор (или точку доступа) на ближайший канал, например канал № 2, прежде чем повторять описанный ранее процесс измерения.

Приложение I (справочное)

Пример результатов проведения измерений

На рисунках I.1 и I.2 приведены зависимость пропускной способности канала связи при его загрузке трафиком, а также зависимость пропускной способности канала от загрузки трафиком соседнего канала (межканальное влияние). Данные зависимости получены в результате проведения измерений при тестировании трехмерной сверхплотной сети.

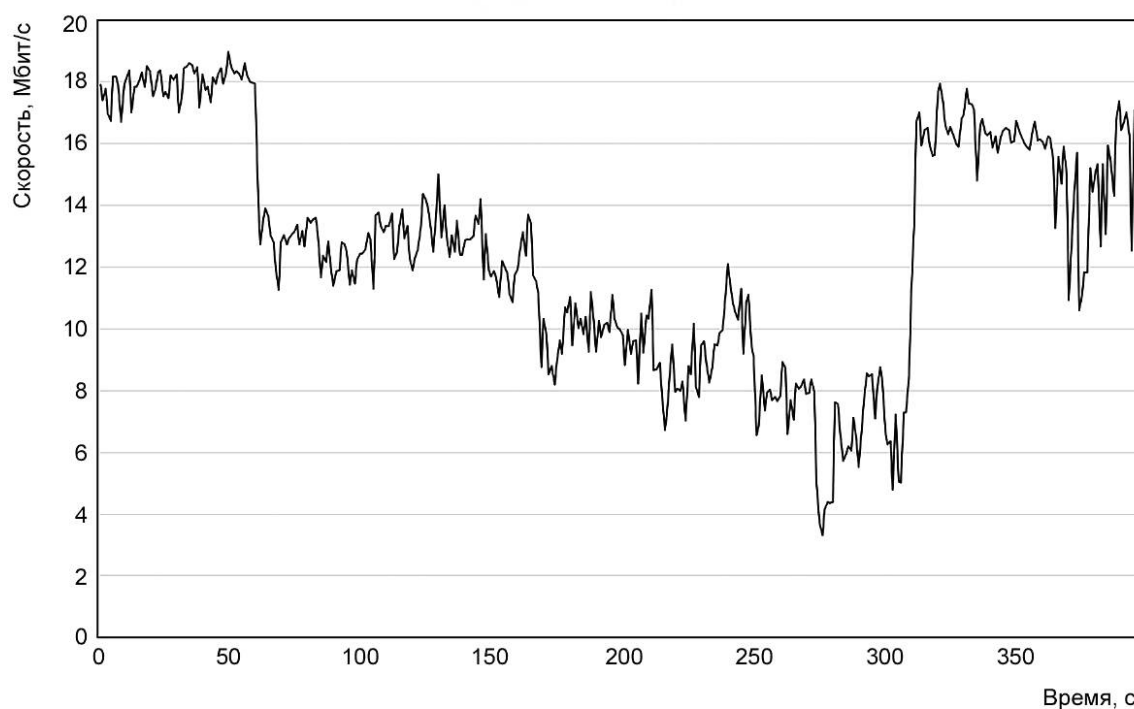


Рисунок I.1 — Зависимость пропускной способности от загрузки канала

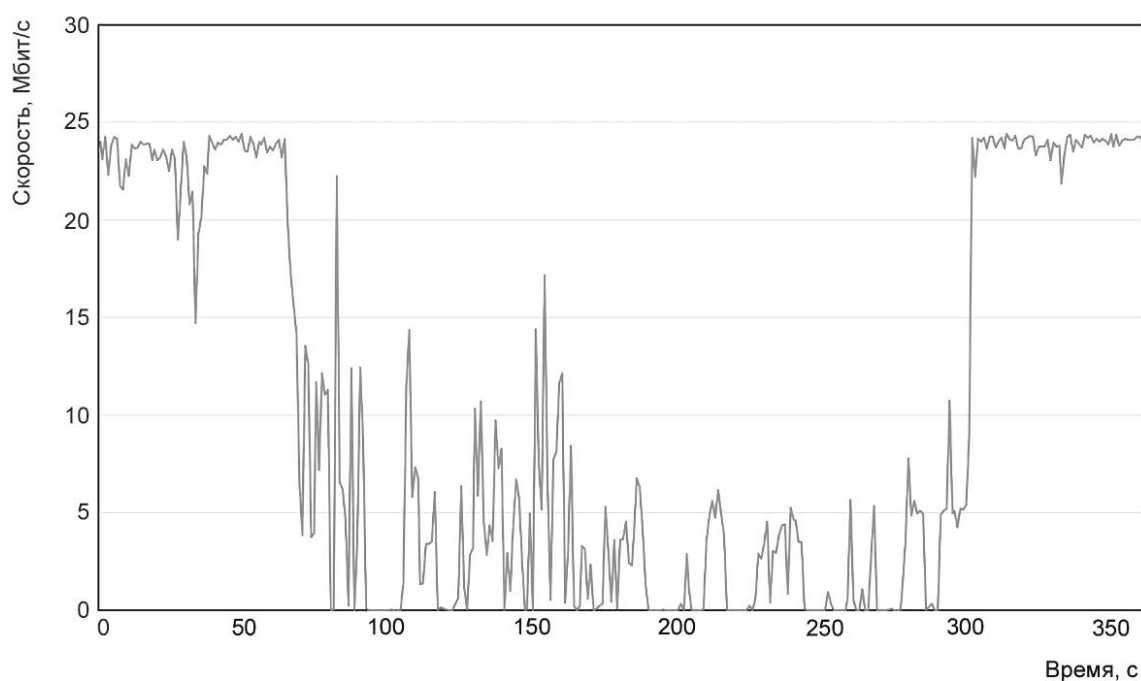


Рисунок I.2 — Зависимость пропускной способности канала от загрузки соседнего канала (межканальное влияние)

**Приложение ДА
(справочное)**

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

Таблица ДА.1

Структура настоящего стандарта	Структура международного стандарта ITU-T Q.4071
1 Область применения	1 Область применения
*	2 Нормативные ссылки
2 Термины и определения (раздел 3)	3 Термины и определения 3.1 Термины, определенные в других источниках 3.2 Термины, определенные в настоящем стандарте
3 Сокращения (раздел 4)	4 Сокращения
**	5 Соглашения
4 Основные положения (раздел 6)	6 Обзор
5 Структура модельной сети (раздел 7)	7 Структура модельной сети для тестирования трехмерных сверхплотных сетей Интернета вещей
6 Описание процесса проведения тестирования (раздел 8)	8 Методы тестирования трехмерных сверхплотных сетей Интернета вещей
Приложение I Примеры результатов проведения измерений	Приложение I Примеры результатов измерений
Приложение ДА Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем проекта международного стандарта	Библиография
Библиография	
* Данный раздел исключен, т. к. в разделе «Нормативные ссылки» международного стандарта ITU-T Q.4071 ссылки отсутствуют. ** Данный раздел исключен, т. к. в разделе Соглашения международного стандарта ITU-T Q.4071 информация о соглашениях отсутствует. П р и м е ч а н и е — После заголовков разделов (подразделов) настоящего стандарта приведены в скобках номера аналогичных им разделов (подразделов) проекта международного стандарта.	

Библиография

- [1] ИСО/МЭК 20924:2024 Интернет вещей (IoT) и цифровой двойник. Словарь
- [2] 3GPP TS 22.261 — Service requirements for the 5G system
- [3] IEEE 802.11TM (2024) Беспроводные локальные сети

УДК 004.057.4:006.354

ОКС 35.020
35.110

Ключевые слова: информационные технологии, передача данных, трехмерные сверхплотные сети, модельная сеть, тестирование

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 29.04.2025. Подписано в печать 05.05.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,54.

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

