



Столыпинский  
вестник

Научная статья

Original article

УДК 001

**ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ OTN-OTN**  
**ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ OTN-OTN**  
**OTN-OTN OPTICAL TRANSPORT NETWORK TECHNOLOGY**  
**TERMS, DEFINITIONS AND DESIGNATIONS OF OTN-OTN**

**Еремеев Евгений Леонидович**, преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Буравцова Дарья Александровна**, старший преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Дмитриев Алексей Максимович**, кандидат военных наук, старший преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Буцев Сергей Федорович**, кандидат технических наук, доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Горай Иван Иванович**, кандидат технических наук, доцент, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Усацкий Владимир Анатольевич**, преподаватель, Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

**Yeremeev Evgeny Leonidovich**, Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Buravtsova Daria Alexandrovna**, Senior Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Dmitriev Alexey Maksimovich**, Candidate of Military Sciences, Senior Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Butsaev Sergey Fedorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Gorai Ivan Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Usatsky Vladimir Anatolyevich**, Lecturer, Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg

**Аннотация:** Оптическая транспортная сеть OTN (*Optical Transport Network*) на основе технологии мультиплексирования оптической транспортной иерархии OTN предназначена для построения транспортных магистралей с пропускной способностью до десятков Тбит/с. Это достигается сочетанием гибкого цифрового мультиплексирования стандартных циклических блоков, с одной стороны, и гибким построением оптических каналов и их мультиплексированием в управляемые оптические модули, с другой стороны.

**Abstract:** The optical transport network OTN (*Optical Transport Network*) based on the multiplexing technology of the optical transport hierarchy OTN is designed to build transport highways with a capacity of up to tens of Tbit/s. This is achieved by combining flexible digital multiplexing of standard cyclic blocks, on the one hand, and flexible construction of optical channels and their multiplexing into controlled optical modules, on the other hand.

**Ключевые слова:** сети OTN/OTH, волоконно-оптические системы передачи, оптическое мультиплексирование, технологии волнового разделения каналов, оптические модули.

**Keywords:** OTN/OTH networks, fiber-optic transmission systems, optical multiplexing, wave channel separation technologies, optical modules.

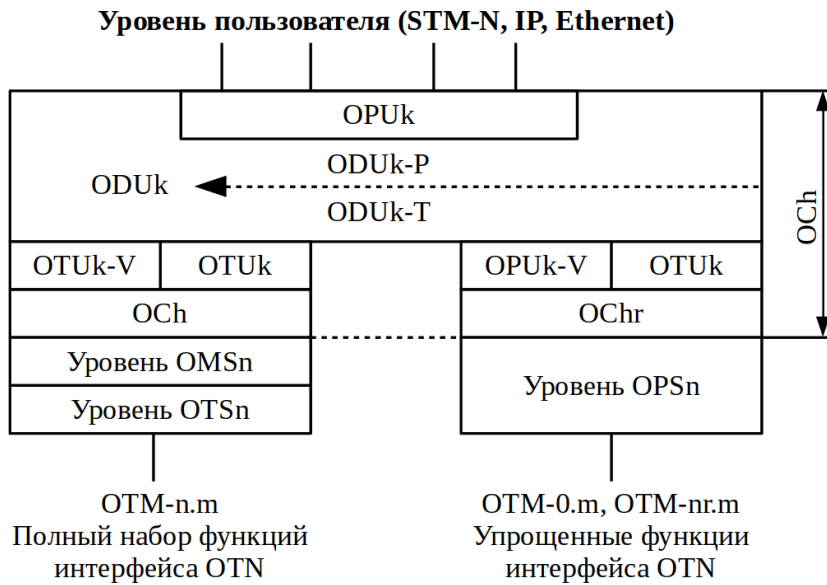
Для реализации возможностей OTN-OTH Рекомендациями G.709 и G.798 МСЭ-Т предусмотрена иерархическая структура интерфейса (рис. 1).

Однако в структуре интерфейса подчеркнуты технологические решения для всех составляющих уровней сети OTN, в частности представлены полный и упрощенный набор функций интерфейса при формировании оптического транспортного модуля OTM.

Для реализации функций интерфейса используется электронное и оптическое оборудование (рис. 2), объединяемое в транспондерные TPD и оптические блоки OMX с оптической ретрансляцией R. Через транспондерные блоки реализуются функции уровня оптического канала OCh (Optical Channel).

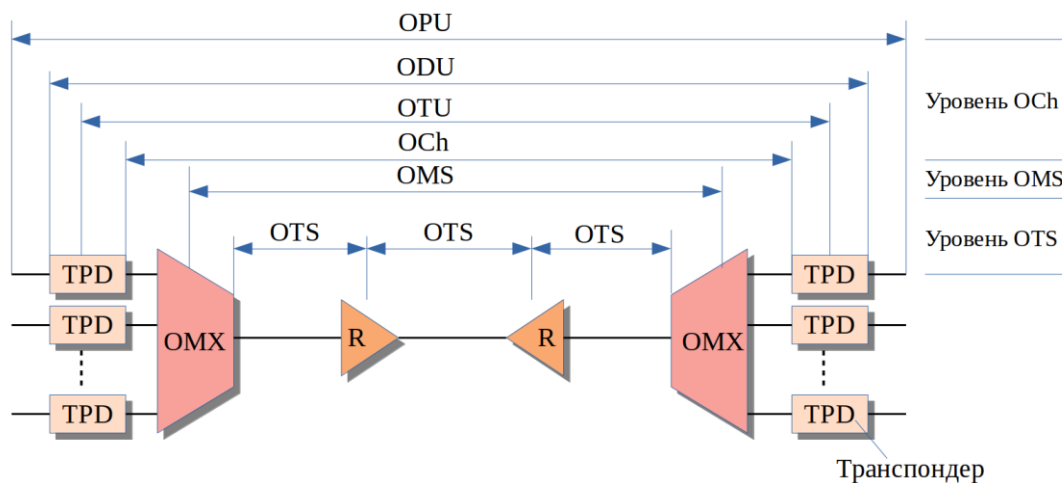
*Уровень OCh* обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU. Также уровень OCh обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R).

Рассмотрим компоненты структуры, представленной на рис. 1.



**Рисунок 1. Структура интерфейса OTN-OTN**

*Уровень OCh* обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU.



**Рисунок 2. Структура соединения в сети OTN-OTN:  
TDP - транспондер**

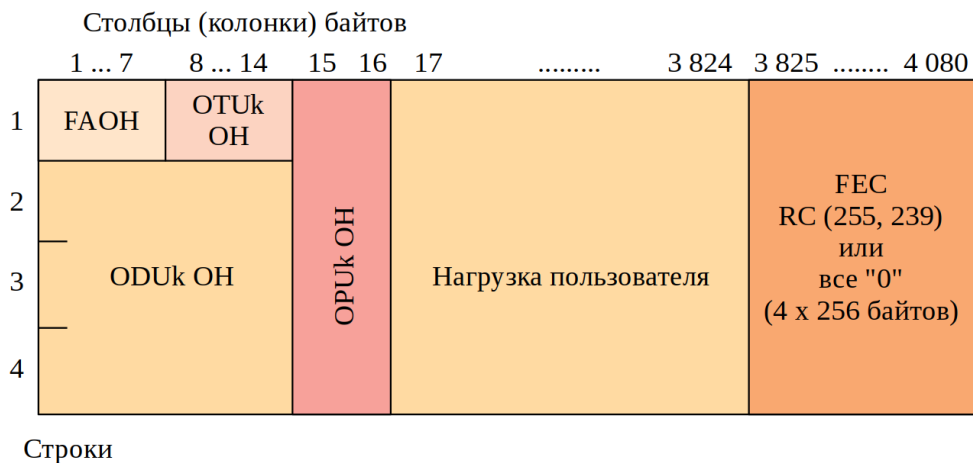
Также уровень OCh обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R).

Рассмотрим компоненты структуры, представленной на рис. 1.

OPUk (*Optical Channel Payload Unit-k*) - блок оптического канала нагрузки порядка  $k$ , где  $k = 1, 2, 3$ . Эта циклическая информационная структура используется для адаптации информации пользователя к транспортировке в оптическом канале. Блок OPUk состоит из поля информационной нагрузки и заголовка.

ODUk (*Optical Data Unit-k*) - блок данных оптического канала порядка  $k$ , где  $k = 1, 2, 3$ . Эта информационная структура состоит из поля информации OPUk и заголовка.

ODUk-P (*ODUk Path*) - блок данных оптического канала порядка  $k$ , поддерживающий тракт из конца в конец сети OTN.



**Рисунок 3. Структура блока OTUk**

ODUk-T, ODUk-TCM (*ODUk Tandem Connection Monitoring*) - блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандемных) соединений в сети OTN. Один блок ODUk-T допускает поддержку мониторинга до шести тандемных соединений.

OTUk (*Optical Transport Unit-k*) - оптический транспортный блок порядка  $k$ , где  $k = 1, 2, 3$ . Эта информационная структура используется для транспортировки ODUk через одно или больше соединений (кроссовые соединения в узлах) оптических каналов. Блок OTUk определен в двух версиях - OTUkV и OTUk. Он

рекомендован к применению на локальных участках OTN в полной и упрощенной формах исполнения.

OTUkV характеризуется как частично стандартизированная структура, рекомендуемая для применения в составе оптического транспортного модуля OTM в полной форме исполнения. OTUkV состоит из блока данных оптического канала, заголовка для управления соединением оптического канала и поля исправления ошибок FEC (рис. 3). Блок OTUk направляется на оптический модулятор, где формируются импульсные оптические посылки на определённой волне излучения. Волны излучения каждого OCh объединяются в оборудовании оптической секции мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section).

**На уровне оптической секции мультиплексирования OMS-*n*** производится мультиплексирование/демультиплексирование *n* оптических каналов. Число  $1 \leq n \leq 16$  указывает на оптические частоты, рекомендованные для передачи сигналов через волоконно-оптические линии в диапазоне 1260...1675 нм. В этом диапазоне возможно группирование оптических частот блоками из *n* в модули OTM-*n* для их последующей трансляции в оптических секциях OTS (Optical Transmission Section).

**На уровне оптической секции передачи OTS-*n*** формируются и расформировываются оптические транспортные модули OTM-*n.m*, OTM-*nr.m*, OTM-0.*m* (Optical Transport Module). Индексы OTM определены для обозначения различных вариантов построения интерфейсов.

Индекс «*n*» используется для обозначения максимального числа волн передачи. Если  $n = 0$ , то это признак одной волны передачи.

Индекс «*r*» используется для обозначения упрощенных функций, в частности OTM не содержит отдельный волновой сервисный канал передачи заголовков.

Индекс «*m*» используется для обозначения иерархической ступени OTN с соответствующей скоростью передачи в варианте комбинирования скоростей. Он

является расширенным, по сравнению с индексом « $k$ », обозначением ( $m = 1, 2, 3, 12, 123, 23$ ).

Индекс « $k$ » используется для обозначения поддерживаемой иерархической скорости OTN (табл. 1). Так  $k = 1$  соответствует скорости 2,7 Гбит/с,  $k = 2$  соответствует скорости 10,7 Гбит/с,  $k = 3$  соответствует скорости 41,2 Гбит/с.

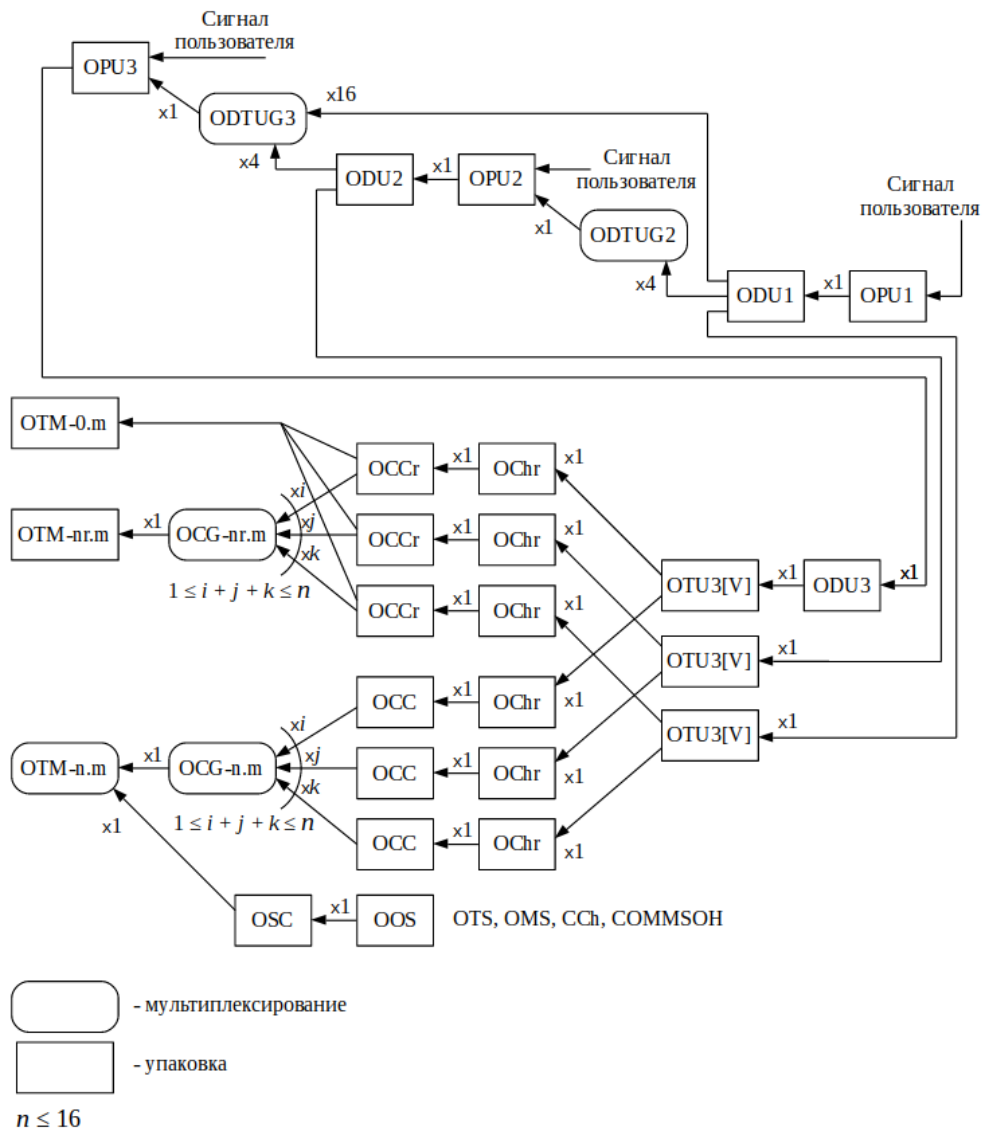
Таблица 1

**Иерархические скорости и циклы OTU $k$**

OTU $k$	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность цикла, мкс
OTU1	255/238 × 2 488 320	±20*10 <sup>-6</sup>	48,971
OTU2	255/237 × 9 953 280		12,191
OTU3	255/236 × 39 813 120		3,035

*Уровень оптической физической секции порядка  $n$  OPS $n$  (Optical Physical Section- $n$ )* предусмотрен для передачи многоволнового оптического сигнала через оптические среды разных типов (одномодовые волокна с характеристиками G.652, G.653, G.655, G.656). Порядок волновой передачи определен индексом « $n$ », который может лежать в пределах  $0 \leq n \leq 16$ . В этом интерфейсе отсутствует волновой сервисный канал.

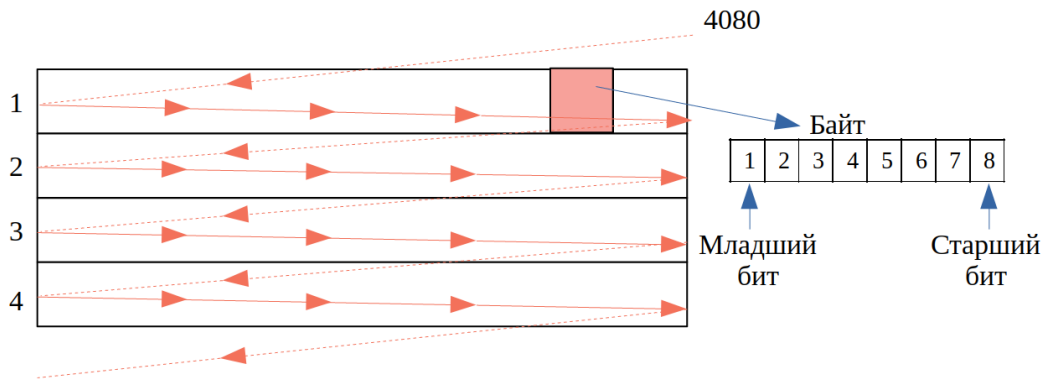
*Схема мультиплексирования и упаковки* оптической транспортной иерархии OTN отражает последовательность преобразований информационных данных и оптических сигналов в интерфейсе OTN (рис. 4). Процедуры преобразований показаны стрелками. Блоки схемы, изображенные в виде прямоугольников, предназначены под упаковку цифровых данных. Блоки схемы, изображенные в виде овалов, предназначены для операций мультиплексирования.



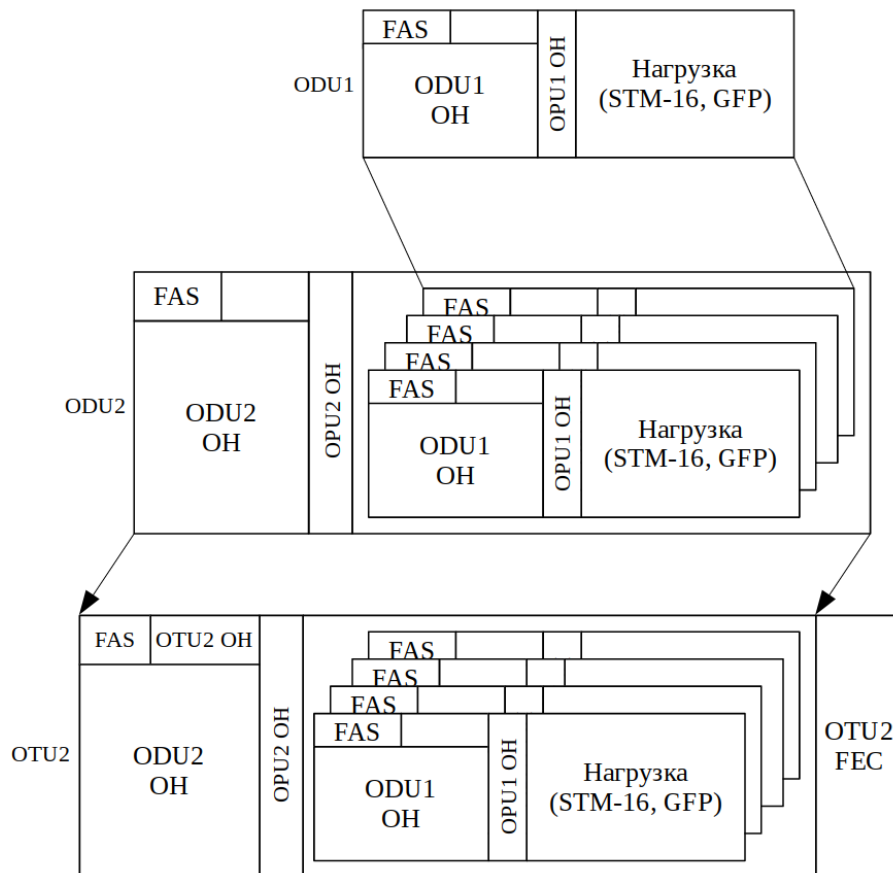
**Рисунок 4. Схема мультиплексирования и упаковки OTN-OTN**

В результате операций упаковки создаются адаптированные блоки цифровых данных OTU, которые передаются в оптических каналах. В результате операций мультиплексирования создаются групповые блоки цифровых данных ODTUG и групповые блоки оптических каналов OCG.





**Рисунок 5. Порядок передачи блока OTUk**



**Рисунок 6. Пример формирование структуры циклов OTN второго уровня**

При создании OTUk на этапах мультиплексирования применяется синхронное побайтовое объединение информационных данных ODUk в групповые блоки ODTUGk, где  $k = 1, 2, 3$ . Формирование структур OTUk, ODUk и OPUk также связано с присоединением заголовков OH (Overhead) и согласованием скоростей.

Цикл OTUk начинается синхрословом в заголовке FAOH емкостью 7 байтов в головной части. В завершении цикла применяется блок  $4 \times 256$  байт, который может быть заполнен кодом Рида-Соломона (RS, Reed-Solomon) для упреждающей коррекции ошибок FEC или содержать нулевое балластное заполнение. Передача байтов блоков OTUk производится слева направо и сверху вниз байт за байтом (рис. 5).

Конечным результатом выполнения операций схемы мультиплексирования является оптический транспортный модуль OTM в одном из трех вариантов исполнения: OTM-0.m; OTM-nr.m и OTM-n.m. В этих вариантах могут сочетаться различные по скорости и цикличности оптические каналы с загружаемыми в них блоками OTUk. Например, OTM-n.1 переносит сигналы OTU1 в  $n$ -оптических каналах или OTM-n.23 переносит  $j$  сигналов OTU2 и  $i$  сигналов OTU3, причем сумма  $i + j \leq n$ .

Пример технологической последовательности операций формирования цифровых блоков OPU2, ODU2, OTU2 представлен на рис. 6.

#### **Литература:**

1. В.Г. Фокин. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. - М.: Эко-Трендз, 2008.
2. Зингеренко Ю.А. Оптические цифровые телекоммуникационные системы и сети синхронной цифровой иерархии. - Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013.
3. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. — М.: Техносфера, 2003.
4. Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В. Оптические телекоммуникационные системы: Учебное пособие для вузов / Под редакцией В.Н. Гордиенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2019.

#### **References:**

1. V.G. Fokino. Optical transmission systems and transport networks. Textbook. - М.: Eco-Trends, 2008.

2. Zingerenko Yu.A. Optical digital telecommunication systems and networks of synchronous digital hierarchy. - Study guide. – St. Petersburg: ITMO Research Institute, 2013.
3. Freeman R. Fiber-optic communication systems. — Moscow: Technosphere, 2003.
4. Gordienko V.N., Krukhmalev V.V. Optical telecommunication systems: A textbook for universities / Edited by V.N. Gordienko. – 2nd ed., reprint. and add. – M.: Hotline – Telecom, 2019.

© Еремеев Е.Л., Буравцова Д.А., Дмитриев А.М., Буцев С.Ф., Горай И.И., Усацкий В.А., Научный сетевой журнал «СтолЫПИНСКИЙ вестник», номер 4/2022.

**Для цитирования:** Еремеев Е.Л., Буравцова Д.А., Дмитриев А.М., Буцев С.Ф., Горай И.И., Усацкий В.А. ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ OTN-OTN ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ OTN-OTN // Научный сетевой журнал «СтолЫПИНСКИЙ вестник», номер 4/2022.