

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 21.09.2018 22:50:21

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426179e5f1c11eabbf73e943dfa4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г.Локтионова  
02 2018 г.



## МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Методические указания  
по выполнению практической работы  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем  
передачи»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, Е. С. Маклаков

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
профессор кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Модели и технологии оптических транспортных сетей:**  
методические указания по выполнению практической работы /  
Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Е. С. Маклаков. - Курск,  
2018. – 14 с.: ил. 4, табл. 2. – Библиогр.: с. 14.

Методические указания по выполнению практической работы содержат теоретические сведения о моделях и технологиях применяемых для построения оптических транспортных сетей, а также задания для выполнения работы и перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Полученные знания в результате выполнения работы дают возможность сформировать целостную картину информационного взаимодействия в современных телекоммуникационных системах доступа. Данное методическое указание направлено на формирование у студентов следующих профессиональных компетенций: ПК-5.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Проектирование оптических систем доступа», утверждённой методическими комиссиями по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем передачи» очной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 14.02.18. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,736. Тираж 100 экз. Заказ. 996. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения.....	4
3 Транспортная сеть АТМ.....	10
4 Задание на практическую работу.....	12
5 Контрольные вопросы.....	13
6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию.....	14

## 1 Цели работы

- изучение моделей и технологий применяемых для построения оптических транспортных сетей;
- освоение методики расчёта необходимой ёмкости и типа транспортной сети.

## 2 Краткие теоретические сведения

### 2.1 Модели и технологии оптических транспортных сетей

Транспортные сети строятся в соответствии с моделями (Рисунок 1), предложенными в рекомендациях МСЭ-Т:

- транспортная сеть SDH, рекомендации G.707, G.783, G.803, G.841 и др.;
- транспортная сеть ATM (асинхронный режим передачи), рекомендации I.311, I.326, I.432, I.630 и др.;
- транспортная сеть OTN-ОТН (оптическая транспортная сеть – оптическая транспортная иерархия), рекомендации G.709, G.798, G.872, G.873.1 и др.;
- транспортная сеть Ethernet EoT, рекомендации G.8010, G.8011, G.8012 и др.

Указанные модели имеют общие черты: иерархическое уровневое построение, где каждый уровень имеет самостоятельный и независимый от других уровней набор функций; наличие физического уровня, представляемого системой передачи с организацией секций; образование трактов (маршрутов) физического и виртуального происхождения; уровня взаимодействия с пользователем транспортной сети.

Ниже приводятся отдельные характеристики моделей и технологий мультиплексирования, дается их сравнительная оценка, указывается на их совместимость в мультисервисной транспортной платформе. Для достаточного понимания материала главы необходимо изучить учебную литературу [1].

### 2.2 Транспортная сеть SDH

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень среды передачи; уровень трактов (маршрутов передачи информации); уровень каналов.

Уровень среды передачи (Рисунок 1) базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных, поддерживаемые соответствующими секционными заголовками RSOH (Regeneration Section Overhead) и MSOH (Multiplex Section Overhead). Среда передачи содержит: стекловолокна в конструкциях различных кабелей; электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков - секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Секции регенерации и мультиплексирования являются предметом проектных расчетов в интерфейсных точках подключения передачи S и приёма R, построений и технической эксплуатации. Для этого в рамках стандартизации SDH предусмотрены служебные сообщения по контролю качества передачи по битовым ошибкам, служебная связь, каналы управления и синхронизации. Секция мультиплексирования вместе с входящими в неё секциями регенерации может дублироваться с целью гарантированной защиты от повреждений.

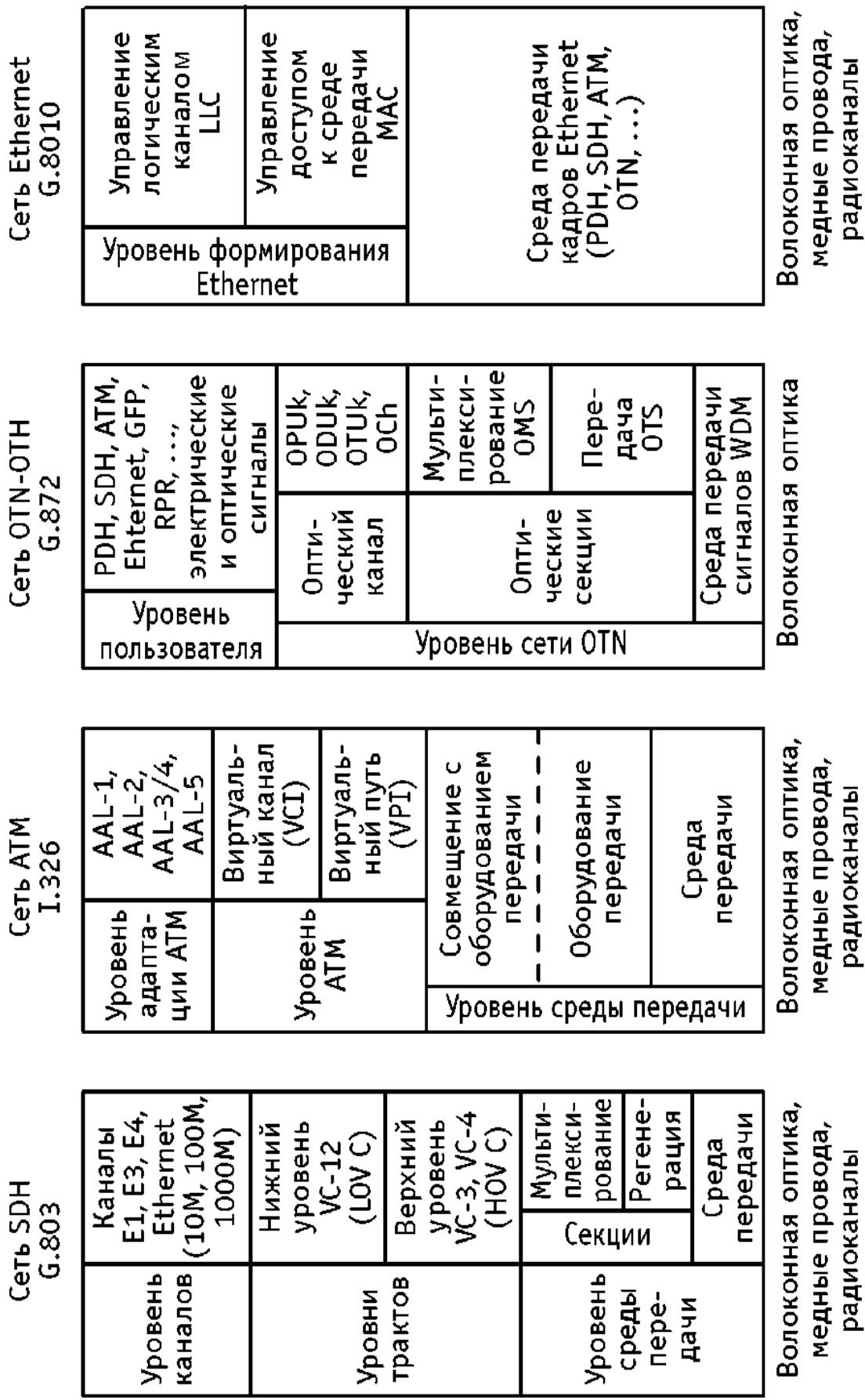


Рис. 2.1. Модели транспортных сетей связи, определенные МСЭ-Т

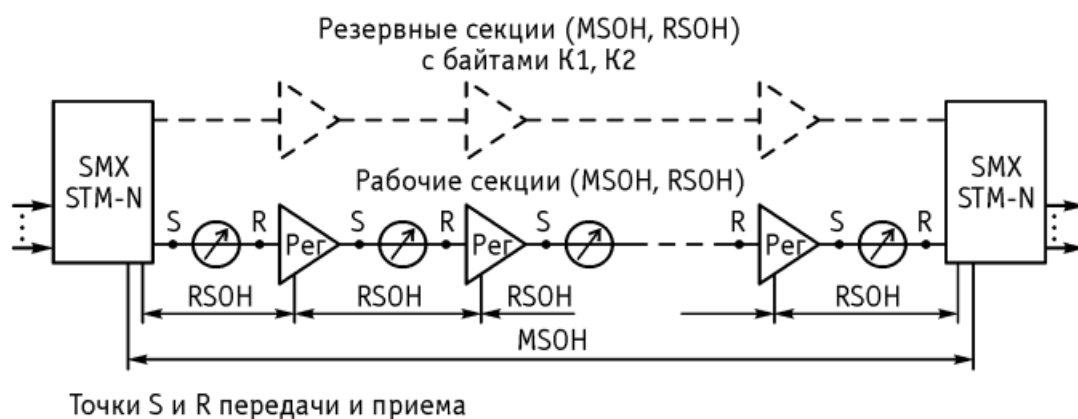


Рисунок-1 – Уровень среды передачи SDH

Для этого дублирующая (защитная) секция оснащается сигналами автоматического переключения (байты K1, K2) за интервал времени не более 50 мс. Сигналы, передаваемые через физическую среду модели сети SDH, представляют собой циклы длительностью 125 мкс, называемые синхронными транспортными модулями STM-N (Synchronous Transport Module) порядка  $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$ ; где порядок характеризует иерархический уровень и соответствующий скоростной режим передачи (Рисунок 2). Любая из иерархических скоростей STM-N вычисляется простой операцией умножения, например, STM-1 имеет емкость  $270 \times 9 = 2430$  байт, которая повторяется 8000 раз за 1 секунду, а число бит составит

$$2430 \text{ байт} \times 8000 \times 8 = 155520000 \text{ бит/с.}$$

Другие иерархические скорости получаются умножением  $155520000 \times N$ , т.е. на 4, 16, 64 и 256.

*Уровни трактов* сети SDH представлены двумя плоскостями: высокого и низкого уровней (порядков), стандартно обозначаемых в технической литературе: HOV-C (Higher Order Virtual Container) - виртуальный контейнер высшего уровня и LOV-C (Lower Order Virtual Container) – виртуальный контейнер низшего уровня.

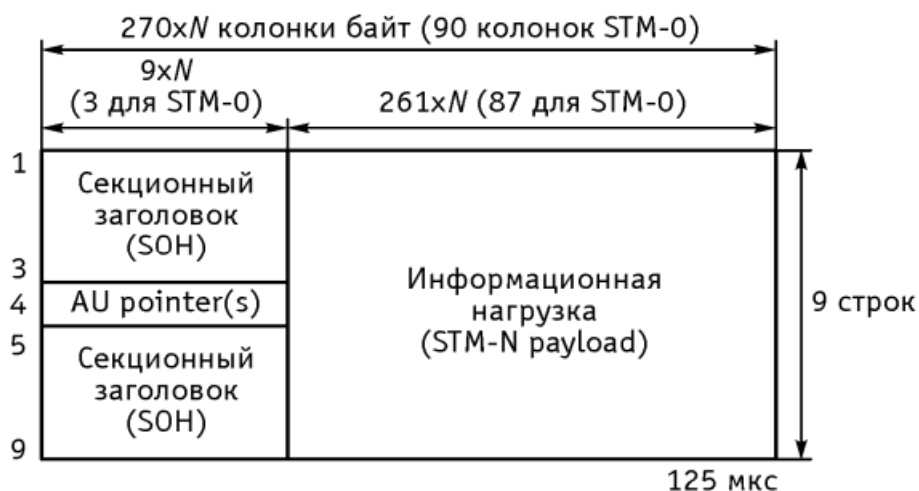


Рисунок 2 – Структура синхронного транспортного модуля STM-N

Виртуальные контейнеры высокого и низкого уровней представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Виртуальные контейнеры низкого порядка могут объединяться для размещения в виртуальные контейнеры высокого порядка. Понятие «виртуальности» этим цифровым блокам присвоено из-за специальных данных, называемых заголовками, в которых прописывается уникальный маршрутный идентификатор для адресного переноса каждого контейнера через транспортную сеть от источника информации до получателя, ведется контроль качества передачи из конца в конец и по отдельным участкам маршрута, вставляются сообщения о необходимости защитных переключений, вставляются сообщения о виде информационных данных, поддерживается служебная связь и т.д.

Виртуальные контейнеры могут сцепляться для переноса нестандартных информационных нагрузок (Таблица 1). Сцепки виртуальных контейнеров подразделяются на последовательные (VC-4-Xc) и виртуальные (VC-4-Xv).

Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение - тракт или маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг. Эти соединения могут проходить через различные системы передачи SDH (волоконно-оптические и радиорелейные) с различными иерархическими



уровнями STM-N.

Таблица 1. Иерархия виртуальных контейнеров в SDH

VC -тип	VC - нагрузка(кбит/с)	Шаг (кбит/с)
VC-11	1 600	
VC-12	2 176	
VC-2	6 784	
VC-3	48 384	
VC-4	149 760	
VC-4-4с	599 040	
VC-4-16с	2 396 160	
VC-4-64с	9 584 640	
VC-4-256с	38 338 560	
VC-11-Xv, X = 1 до 64	1 600 to 102 400	1 600
VC-12-Xv, X = 1 до 64	2 176 to 137 088	2 176
VC-2-Xv, X = 1 до 21	6 784 to 142 464	6 784
VC-3-Xv, X = 1 до 3	48 384 to 145 152	48 384
VC-4-Xv, X = 1 до 256	149 760 to 38 338 560	149 760

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2.048 Мбит/с (обозначается E1), с компьютерными сетями Ethernet на скоростях передачи 10, 100 и 1000Мбит/с через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования LAPS (Link Access Procedure SDH), GFP (Generic Framing Procedure). Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма – тактовой сетевой синхронизации (TCC). Создание и поддержка всех соединений в сети SDH и контроль всех функций обеспечиваются системой управления, имеющей сеть выделенных каналов связи и средства протокольного взаимодействия через эти каналы.

### 3 Транспортная сеть АТМ

Модель транспортной сети АТМ представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень среды передачи; уровень асинхронного режима передачи АТМ; уровень адаптации АТМ.

Уровень среды передачи в транспортной сети АТМ может быть реализован согласно стандартов АТМ (I.432) любой системой передачи, например, системой PDH или системой SDH. Допускается также использование любой среды и оборудования передачи (медные провода с модемами, радиоканалы с радиочастотными модемами, атмосферные оптические каналы, волоконно-оптические системы).

Уровень АТМ разбит на подуровни виртуального канала и виртуального пути. Эти подразделения уровня АТМ обусловлены форматом представления данных, называемых ячейками и имеющими ёмкость 53 байта, которая поделена на поле заголовка (5 байт) и поле нагрузки – сегмент пользователя (48 байт). Заголовок содержит идентификаторы ячеек, принадлежащих одному соединению (Рисунок 3), виртуальному пути VPI (Virtual Path Identifier) и виртуальному каналу VCI (Virtual Circuit Identifier).

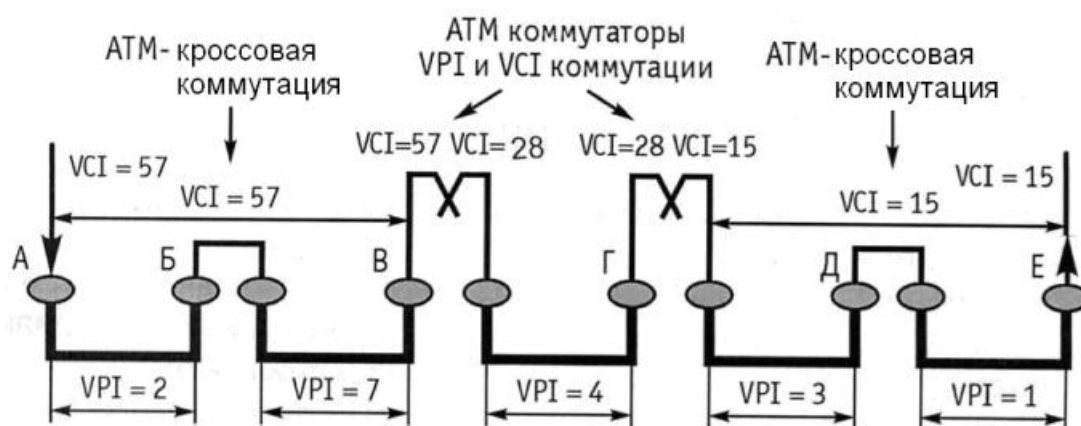


Рисунок 3 – Соединение в транспортной сети АТМ

Благодаря этим идентификаторам ячейки в общем потоке различаются при демультиплексировании и коммутации. В коммутаторах для выполнения коммутаций прописываются все идентификаторы в виде таблиц маршрутизации, по которым

входящие ячейки идентифицируются и транслируются на нужные выходы с последующим мультиплексированием в новые потоки участка сети. Потоки ячеек АТМ формируются случайно во времени в силу случайности поступления информационных сообщений, упакованных в сегменты. При этом потоки случайных ячеек, происходящих от различных источников, статистически мультиплексируются в общий неслучайный поток данных, согласуемый с уровнем среды передачи функциями совмещения с оборудованием передачи. В общий поток информационных ячеек могут включаться и ячейки служебного назначения, например, для управления в сети, для контроля перегрузок коммутаторов, для тестирования и т.д. На уровне среды передачи поток ячеек синхронно байт за байтом размещается в циклы передачи, например, в циклы E1, E3 PDH или в циклы виртуальных контейнеров SDH.

Уровень адаптации АТМ выполняет функции интерфейса между транспортной сетью АТМ с её виртуальными соединениями и пользователями транспортных услуг (вторичными сетями связи), например, телефонными сетями, сетями Internet, локальными сетями Ethernet и т.д. При этом различным видам трафика определены различные типы уровневой адаптации AAL (AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5, АТМ Adaptation Level), предусматривающие формирование различных по структуре сегментов для пользовательской нагрузки. Пользовательская информация, поступающая непрерывным потоком данных или случайными во времени пакетами, приспособляется к процессу формирования сегментов, т.е. происходит согласование битовой скорости, исключаются неинформативные, т.е. пустые интервалы, формируются коды исправления ошибок для приёмной стороны и т.д. Развернутая картина формирований потока ячеек в модели транспортной сети АТМ представлена на Рисунке 4.

Принципиальное отличие моделей транспортных сетей SDH и АТМ состоит в следующем:

- транспортный ресурс сети SDH – тракт высокого или низкого порядка предоставляется в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) постоянно, независимо от информационного потока и с фиксированной скоростью передачи, что часто является причиной низкой эффективности использования соединения, например, в телефонии с коммутацией каналов при

активности канала от 0.1 до 1.0;

- транспортные ресурсы сети АТМ – виртуальный канал или виртуальный путь, поддерживаемые коммутаторами с маршрутными таблицами каждого соединения, предоставляются в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) только при наличии потока информационной нагрузки, т.е., когда ячейки АТМ формируются и следуют через физическую среду. В противном случае среда передачи предоставляется потокам ячеек других источников благодаря статистическому мультиплексированию на уровне АТМ. Это позволяет в несколько раз повысить эффективность использования физического соединения, например, тракта SDH.

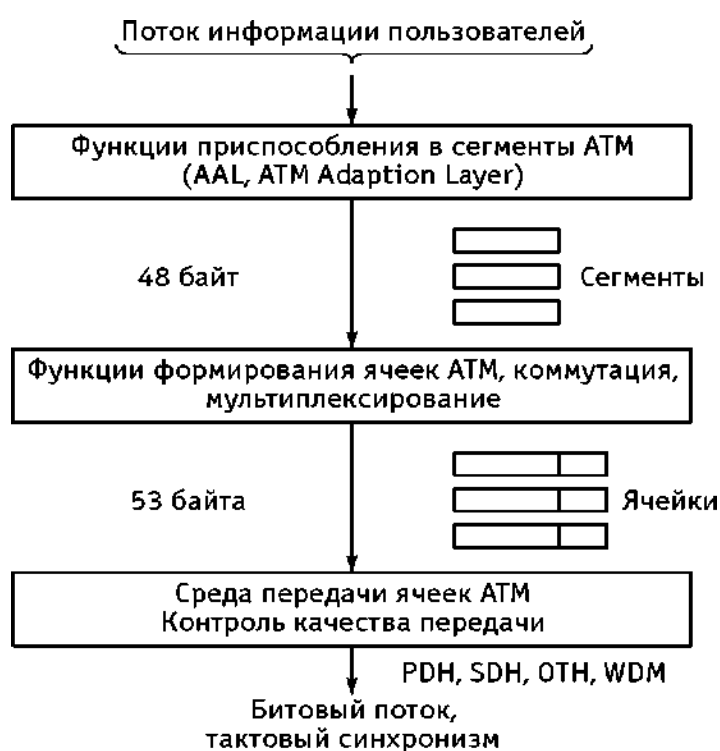


Рисунок 4 – Формирование потока ячеек транспортной сети АТМ

#### 4 Задание на практическую работу

Используя данные Таблицы 1 и примеры формирования STM 1 в SDH, произвести расчет необходимого количества и типа VC-контейнеров для передачи данных соответствующих варианту (таблица 2) и определить, какой тип STM будет применим в данном примере.

Таблица 2 – Варианты заданий на практическую работу

Номер варианта	Виды нагрузки	Кол-во
1	Поток E1 = 2048 кбит\с	86
2	Поток E1 = 2048 кбит\с	63
3	Поток E1 = 2048 кбит\с	79
4	Поток E1 = 2048 кбит\с	198
5	Поток E1 = 2048 кбит\с	463
6	Поток E1 = 2048 кбит\с	65
7	Поток E1 = 2048 кбит\с	1009
8	Поток E1 = 2048 кбит\с	986
9	Поток E1 = 2048 кбит\с	532
10	Поток E1 = 2048 кбит\с	123

### 5 Контрольные вопросы

1. Сколько моделей транспортных сетей предусмотрено стандартами МСЭ-Т?
2. Что общего и различного в моделях транспортных сетей?
3. Сколько и какие уровни имеет модель сети SDH?
4. Какие основные функции присвоены уровню среды передачи в модели сети SDH?
5. Какие функции должны исполнять уровни трактов в модели сети SDH?
6. Какие каналы может поддерживать уровень каналов сети SDH?
7. Сколько и какие уровни имеет модель сети АТМ?
8. Какой из уровней модели сети АТМ обеспечивает коммутацию ячеек АТМ?
9. Чем образуются виртуальные пути и виртуальные каналы в сети АТМ?
10. Какое назначение имеет уровень адаптации в модели сети АТМ?
11. Что может использоваться в качестве среды передачи ячеек АТМ?

6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию

1)Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. -М.: Эко-Трендз, 2008.- 288с.

2)Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети: учебное пособие/ 2009 г. - 205с.