

ЭКОНОМИКА СВЯЗИ

УДК 621.391.1

ПРЕДПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ПОСТРОЕНИЕ ГОРОДСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА GPON**О. Л. Смирнов**, председатель совета директоров ОАО «ИАС», д.т.н., проф. Московского авиационного института; smirnov@iasnet.ru**Ю. А. Керженцев**, заместитель директора департамента стратегического развития ОАО «Интеллект Телеком»; kerzhencev@i-tc.ru

Рассматриваются модель и разработанные на ее основе инструментальные средства для предпроектной оценки капитальных затрат на строительство городской сети доступа GPON. Модель может быть использована оператором связи или интегратором на этапах предпроектных исследований и проектирования городской сети доступа в соответствии с технологией FTTH (GPON) для оценки ожидаемых капитальных затрат на построение сети требуемой емкости и конфигурации. Анализ результатов работы модели при разных исходных данных позволяет улучшить конфигурацию сети и выбрать оптимальный набор компонентов на станционном, магистральном, распределительном и абонентском участках сети доступа. Результаты моделирования могут стать основой для построения бизнес-плана проектируемой сети доступа и обоснования целесообразности ее построения.

Ключевые слова: технология FTTH, сеть доступа, GPON, CAPEX, станционный участок, магистральный участок, распределительный участок, абонентский участок.

Введение. Рынок проводного широкополосного доступа (ШПД), как показывают исследования J'son & Partners Consulting [1], стоит на пороге тотального перехода от медных кабелей к оптическим, которые позволяют поддерживать высокие скорости для реализации современных услуг связи. При этом используются различные способы доступа абонентов к сети: традиционные ADSL, ADSL2+, VDSL, VDSL2, Ethernet, перспективные EPON, GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network), P2P и др. В соответствии с физическими свойствами оптоволокна скорость и качество передачи данных пользователей сети тем выше, чем ближе к пользователю точка доступа. По этой причине операторы в последнее время все активнее применяют способ подключения, обеспечивающий доведение оптоволокна до квартиры пользователя: FTTH (Fiber To The Home). В качестве предпочтительного варианта довольно часто используется способ доступа Gigabit PON семейства Passive Optical Network (PON) с подключением FTTH [2, 3]. Ожидается, что «последняя миля» станет полностью пассивной и технология GPON постепенно заменит другие технологии, используемые для организации широкополосного доступа.

GPON обеспечивает высокую скорость передачи данных пользователя (до 2,5 Гбит/с), динамическое распределение пропускной способности канала между пользователями, независимость от источников питания, экономию оптических волокон за счет мультиплексирования пропускной способности волокна и высокую надежность пассивного оборудования. К недостаткам этого способа доступа следует отнести относительно высокую текущую стоимость станционного оборудования и, как следствие, довольно долгий срок окупаемости.

Технические особенности применения GPON (FTTH), его достоинства и некоторые проблемы использования от-

мечены во многих работах (например, в [4]). В данной статье дано краткое описание модели и разработанных на ее основе инструментальных средств для предпроектной оценки капитальных затрат на строительство городской сети доступа GPON.

Постановка задачи. Процесс проектирования городской сети обычно начинается с предпроектных исследований и сбора необходимой информации для оценки возможных затрат и ожидаемых доходов. Основным вопросом при проектировании и планировании сети, на который потенциальные инвесторы и оператор связи обращают внимание в первую очередь, является вопрос капитальных затрат (CAPEX) на строительство сети.

Планирование и расчет этого показателя будущей сети — весьма сложный и долговременный процесс, требующий изучения исходных данных и условий строительства сети, а также выбора наиболее эффективного способа ее реализации. Оптимальный вариант в такой ситуации — использование аналитического подхода, поскольку при расчете капитальных затрат на создание сети необходимо принимать во внимание множество факторов: стоимость пассивного и активного оборудования, емкость доступных оптических кабелей на магистральном и распределительном участках сети, территориальный разброс потенциальных пользователей, архитектуру и конструктивные параметры подключаемых к сети домов, технологические особенности способа подключения. Для решения вопросов, связанных с определением CAPEX на строительство сети доступа по технологии FTTH (GPON), разработана аналитическая модель, которая учитывает отмеченные факторы.

Общее описание модели. В аналитической модели рассчитывается сеть доступа, структура которой представлена на рис. 1. Активное оборудование (АО) сети доступа располагается на узле сети оператора связи (Optical Line Terminal, OLT) и непосредственно в помещении (квартире) пользователя (Optical Network Terminal, ONT), а между ними прокладывается физическая среда, полностью состоящая из компонентов пассивного оборудования (ПО). Топология такой сети чаще всего представляется в виде дерева, причем в узлах сети размещаются пассивные оптические разветвители сигнала — сплиттеры. Для организации прямого и обратного каналов используется одно оптическое волокно. Технология GPON реализует динамическое распределение пропускной способности канала между пользователями.

Традиционно сеть доступа GPON условно делится на четыре участка: станционный, магистральный, распределительный и абонентский.

Станционный участок (СТ) — это головной узел сети доступа, включающий активное оборудование (OLT), установленное в шкафу OLT, и пассивные оптические элементы (оптические кроссы высокой плотности, патч-корды и др.), размещаемые в кроссовом оптическом шкафу (ШКО).

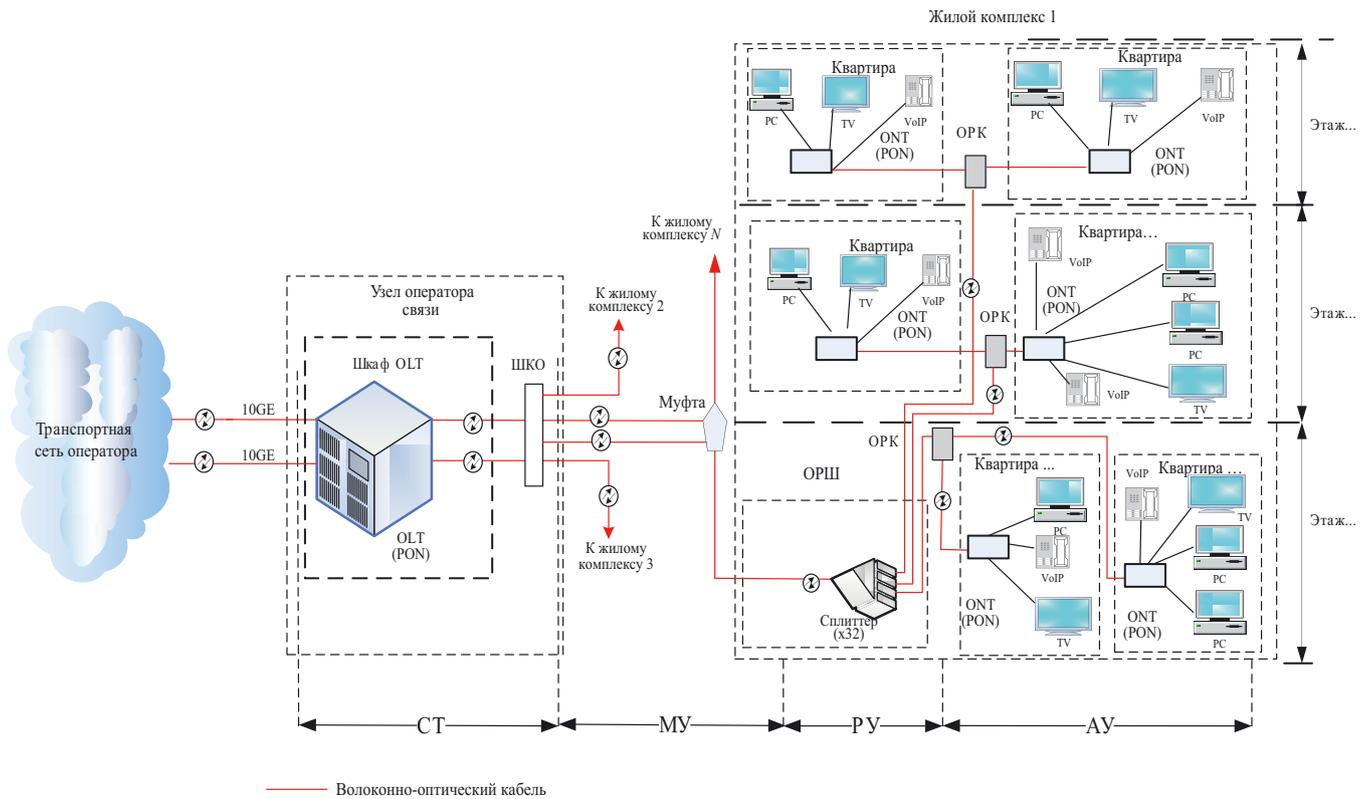


Рис. 1. Техническая реализация технологии FTTH (GPON)

Магистральный участок (МУ) — линейная оптическая магистраль (оптический многожильный кабель), проложенная от здания головного узла связи до группы многоэтажных жилых домов, оптические муфты и распределительный кабель от муфт до оптического распределительного шкафа (ОРШ) дома.

Распределительный участок (РУ) — оптический кабель, проложенный вертикально в здании от места установки ОРШ дома с оптическим кроссом и сплиттерами до этажных оптических распределительных коробок (ОРК).

Абонентский участок (АУ) — одножильный оптический кабель, прокладываемый от ОРК до места установки розетки (либо ОНТ) в квартире абонента.

Магистральный и распределительный участки образуют **линейный участок (ЛУ)**.

При расчете используются следующие основные исходные данные: число ожидаемых абонентов (квартир) в сети доступа, коэффициент деления сплиттера, процент резервирования ОВ домового и магистрального кабеля, процент проникновения услуги в подключаемых домах.

В модели сети доступа приняты некоторые допущения. Например, все жилые и административные здания классифицируются по типам, где каждый тип характеризуется конструктивными особенностями: количеством этажей, подъездов, квартир на этаже и внутренним размером здания (высота этажа, габариты подъезда). Количество возможных типов зданий, используемых в модели, и их конструктивные особенности определяются заказчиком и служат исходными данными для моделирования.

На этапе предпроектирования сети получить информацию о территориальном расположении жилищного и производственного фонда чаще всего не представляется возможным. Для определения удаленности пользователей от центрального узла (где размещается ОЛТ) введены понятия

«зона» и «сектор», что позволяет получить более точные данные по требуемому количеству магистрального волоконно-оптического кабеля (рис. 2).

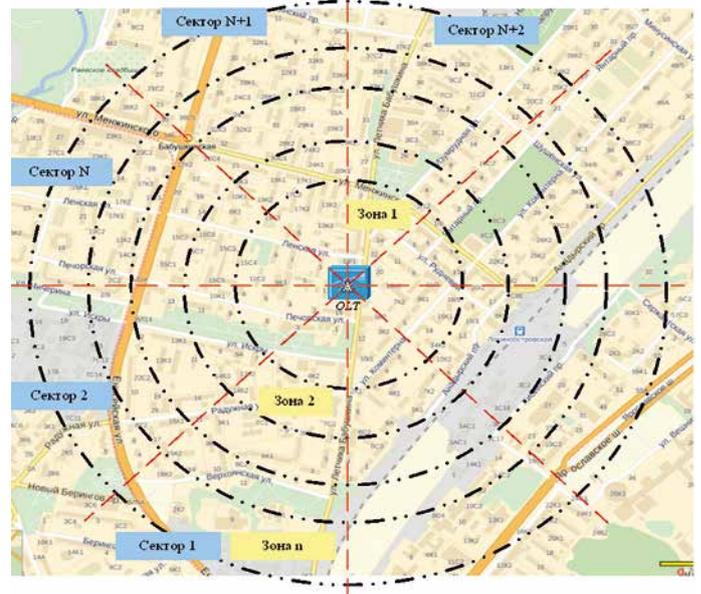


Рис. 2. Иллюстрация зонального подхода по расположению пользователей

При таком подходе район города, в котором планируется строительство сети оптического доступа, условно делится на произвольное количество зон в зависимости от удаленности от центрального узла связи; затем получен-

ные зоны разбиваются на сектора. После таких преобразований можно с достаточной точностью определить число пользователей в каждом секторе (сектор включает в себя фрагменты всех зон), количество жилых домов и длину оптических волокон до центрального узла связи из сектора. В дальнейшем на основе этих данных рассчитывается количество магистрального оптического кабеля и его метраж, а также определяется, сколько потребуется оптических муфт.

Протяженность каждой зоны вычисляется с учетом оптического бюджета сети GPON. Согласно рекомендации ITU-T G.983.4, оптический бюджет линии является суммой всех потерь, возникающих на участке оптической сети, и представляет собой энергетический бюджет затухания. Аналитическая модель учитывает особенности оптического бюджета линии при определении протяженности зон сети.

Алгоритм расчета. Состав оборудования OLT, количество шкафов OLT и ШКО для станционного участка в основном определяются количеством подключаемых на участке сети пользователей (квартир) и технологическими особенностями применяемого оборудования (коэффициент деления сплиттера). Отметим, что полнота заполнения шкафа OLT (и, соответственно, его стоимость) зависит от расчетного количества подключаемых пользователей, при этом учитывается ожидаемый процент проникновения оператора в дома зоны в течение заданного периода времени. А полнота заполнения ШКО обусловлена расчетным количеством подключаемых пользователей при 100%-ном проникновении.

Для магистрального участка емкость магистрального кабеля в ОВ и количество кабелей по зонам и секторам выбираются автоматически из возможного ряда номиналов на

кабель оптический типа ДПЛ-П от восьми до 96 ОВ в кабеле. При этом учитывается заданный процент резервирования ОВ в магистральном кабеле. Длина и тип магистрального кабеля для каждого участка определяются с учетом требуемой емкости кабеля в ОВ и размерности зоны. Пример расчета длины магистрального кабеля в секторе для пяти зон ($m = 5$) представлен на рис. 3.

Искомой величиной является вектор-столбец

$$LM = \text{colon}(LM_j), j = \overline{1, a},$$

где элементы LM_j формируют длину магистрального кабеля для каждого типа кабеля (емкостью V_j оптических волокон) для сектора C (табл. 1).

Элементы столбца LM_j , емкостью $V_j(j = \overline{1, a})$ рассчитываются как сумма длин отрезков $L3_i(i = \overline{1, m})$ магистрального кабеля емкостью V_j во всех зонах m сети доступа для сектора C :

$$LM_j = \sum_{i=1}^m L3_i Q_{ij},$$

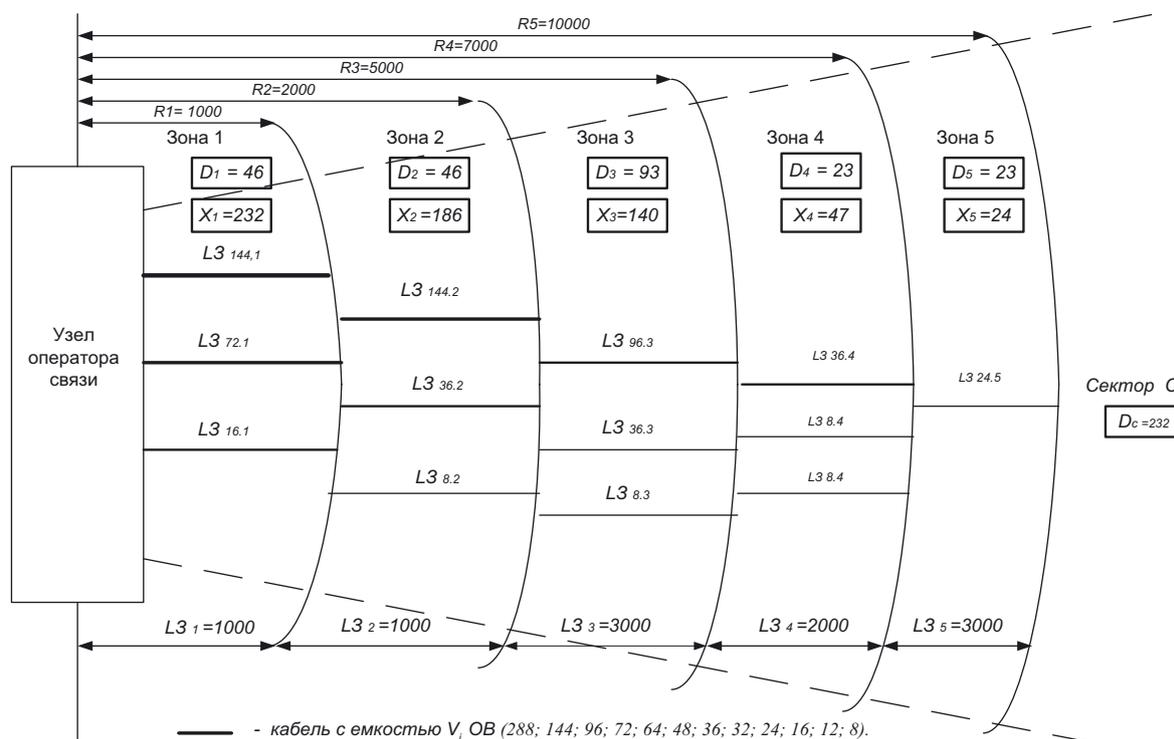
где i — номер зоны $\{1, 2, \dots, m\}$; j — номер типа магистрального кабеля $\{1, 2, \dots, a\}$.

$L3$ определяется как вектор-столбец $L_0 = \text{colon}(L3_i)$. Здесь $i = \overline{1, m}$ — элементы, которые рассчитываются по следующей формуле и задают размер зоны i :

$$L3_i = (R_i - R_{i-1}) / 2,$$

где R_i и R_{i-1} — радиусы последующей и предыдущей зоны; $R_0 = 0$.

Q равно (Q_{ij}) размерностью $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, a}$ — матрица, элементы которой определяют общее количество отрезков магистрального кабеля емкостью V_j для каждой зоны i . Здесь $V_j = \{288, 144, 96, 72, 64, 48, 36, 32, 24, 16, 12, 8\}$.



— кабель с емкостью V_j ОВ (288; 144; 96; 72; 64; 48; 36; 32; 24; 16; 12; 8).

D_c - количество ОВ на сектор C

D_i - количество ОВ, завершающихся в зоне i

$L3_i = (R_i - R_{i-1}) / 2$, где $i = (\overline{1, m})$; $R_0 = 0$; $m = 5$

X_i - количество ОВ, входящих в зону i

$X_i = X_{(i-1)} - D_{i-1}$

Для первой зоны ($i=1$) $X_0 = D_0$ и $D_0 = 0$

Рис. 3. Пример определения длины магистрального кабеля для пяти зон ($m = 5$)

В модели рассчитываются элементы матрицы Q . Аналогичным образом автоматически выбираются оптимальная емкость и тип кабеля разводки для каждого типа дома. Размер кабеля разводки является переменной величиной, зависит от радиуса зон и числа секторов, что позволяет более точно вычислить стоимостные характеристики магистрального участка сети.

LD_i рассчитывается по формуле

$$LD_i = 2\pi \frac{R}{4K},$$

где K — число секторов; $R = (R_i - R_{i-1})/2 + R_{i-1}$; i — тип зоны $\{1, 2, \dots, n\}$.

В итоге модель позволяет определить оптимальное количество (в метрах) магистрального кабеля и кабеля разводки для каждого типа кабеля и каждого участка (зоны и сектора) сети и подключения каждого дома в зоне.

Для участка распределения для каждого типа дома из возможного ряда типов шкафов ШКО 32, 64, 96, 144 автоматически выбираются оптимальный тип шкафа и количество ШКО в доме, для каждого шкафа — требуемое количество сплиттеров (из ряда 16, 32, 64, 128) и адаптеров в шкафу. Аналогично для каждого типа дома из возможного ряда типов этажных ОРК 4, 8, 12, 16 автоматически рассчитывается оптимальный тип шкафа для дома и количество ОРК в доме. При этом рассматриваются варианты установки ОРК, при которых этажный ОРК может использоваться для подключения квартир на одном, двух, трех и четырех этажах. Возможны также варианты оснащения этажных ОРК механическими соединителями ОБ и адаптерами. Тип, оптимальное количество и оптимальная длина кабеля распределения для каждого типа дома определяются автоматически из возможного ряда номиналов на кабель оптический типа ДПО-П от 8 до 96 в кабеле. При этом учитывается заданный процент резервирования ОБ в кабеле распределения.

Искомой величиной является вектор-столбец $LL = \text{colon}(LL_j)$, где его элементы задают длину распределительного кабеля емкостью V_j по всем домам сети доступа. Длина распределительного кабеля LL_j емкостью V_j ($j = 1, c$) вычисляется как сумма длин отрезков LK_i ($i = 1, n$) распределительного кабеля с V_j количеством ОБ во всех домах типа n сети доступа (рис. 4):

$$LL_j = \sum_{i=1}^n LK_i Q_{ij},$$

где i — номер типа дома $\{1, 2, \dots, n\}$; j — номер типа распределительного кабеля емкостью V_j $\{1, 2, \dots, c\}$.

LK_i определяется как вектор-столбец $LK_i = \text{colon}(L_i)$, элементы которого задают максимальную длину распределительного кабеля для дома типа i . Элементы LK_i рассчитываются по формуле

$$LK_i = H_i h_i K_i + Lg_i; \quad i = \overline{1, n},$$

где H_i — количество этажей в доме типа i ; h_i — высота этажа в доме типа i ; K_i — количество подъездов в доме типа i ; Lg_i — длина межподъездного кабеля в доме типа i .

Вектор-строка $Q_{ij} = \text{row}(Q_j)$ размерностью $j = \overline{1, c}$ определяет общее количество отрезков распределительного кабеля емкостью V_j для дома типа i . В модели рассчитываются элементы Q_j . Общее количество ОБ в кабеле распределения в подъезде дома типа i не должно быть меньше количества квартир, обслуживаемых в данном подъезде.

Таким образом, модель позволяет определить оптимальное количество (в метрах) кабеля распределения для каждого типа кабеля для каждого типа дома.

Для абонентского участка для каждого типа дома и каждого варианта установки ОРК определяются тип (пигтейлы или патчкорды), количество и длина соединительного кабеля. При этом учитываются заданный способ подключения (розетка или напрямую к ONT), а также возможный процент проникновения оператора в дом (ожидаемое количество подключаемых квартир в доме).

Дом типа n

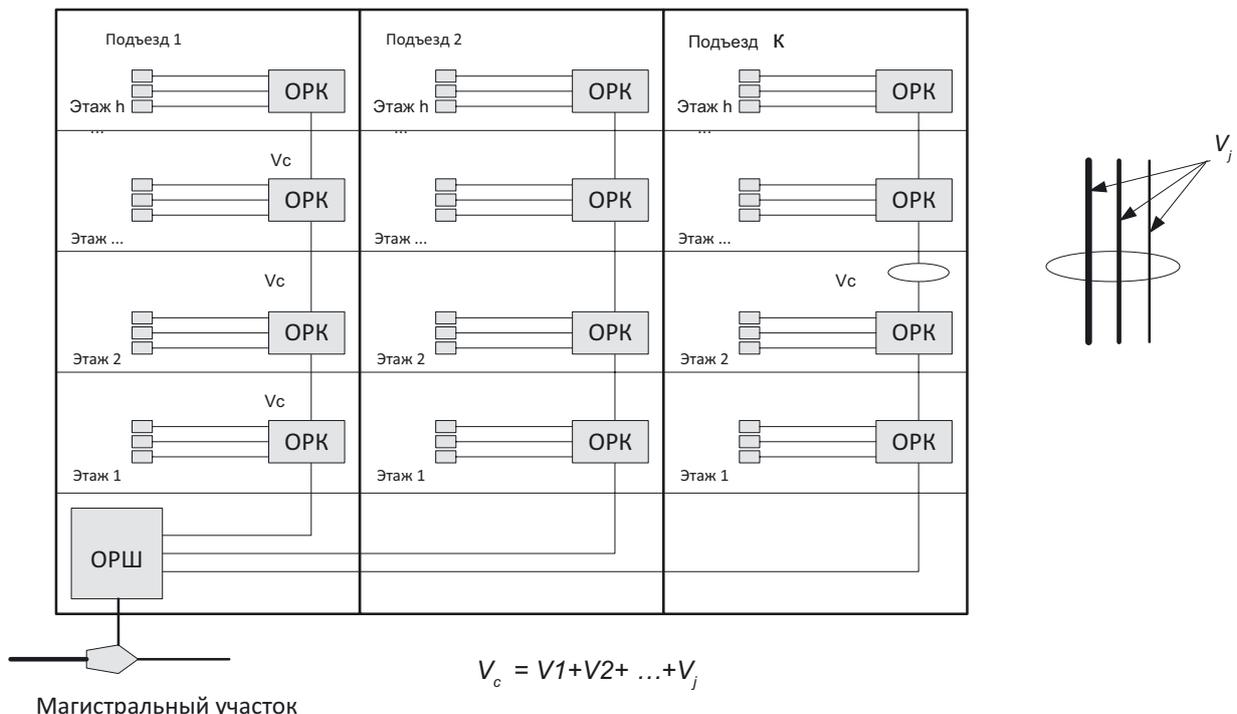


Рис. 4. Пример определения состава оборудования и длины кабеля на распределительном и абонентском участках

Для определения капитальных затрат на строительство сети доступа в модели могут использоваться текущие цены на активное и пассивное оборудование, кабельную продукцию, проектно-изыскательские (ПИР), строительно-монтажные (СМР) и пусконаладочные (ПНР) работы, которые осуществляют привлекаемые оператором к строительству компании.

Более подробно алгоритмы расчета количественных и стоимостных параметров городской сети доступа GPON представлены в [5].

Результаты моделирования. В соответствии с основным алгоритмом модели на базе исходных данных и настроек вначале определяются количественные параметры сети:

- количество активного и пассивного оборудования (по типам оборудования), необходимого для строительства сети;
- длина ОВ-кабеля (по типам кабеля) и его емкость для строительства магистрального и распределительных участков сети;
- количество шкафов OLT (по типам шкафа), размещаемых на узле оператора сети;
- количество и тип оптических распределительных шкафов в подключаемых домах;
- количество и тип этажных оптических распределительных коробок (с поэтажным размещением или с размещением для подключения квартир на нескольких этажах);
- количество и длина пигтейлов или патч-кордов при различных вариантах подключения абонентского оборудования (ONT);
- количество розеток (если они используются) для подключения абонентского оборудования.

Выбор емкости магистрального и распределительного кабелей, а также типа и количества распределительных и этажных распределительных шкафов выполняется автоматически из перечня возможных значений.

Затем по полученным количественным данным рассчитываются капитальные затраты:

- капитальные затраты на каждом из участков сети и для сети в целом;
- приведенные капитальные затраты на подключение одного абонента на каждом из участков сети и для сети в целом;
- стоимость ПИР, СМР и ПНР.

Изменяя значения исходных данных и осуществляя моделирование для различных значений параметров сети, можно получить результаты, которые позволяют сравнить различные варианты построения сети доступа. На основе этих данных выбираются наиболее эффективное решение и значения параметров для конкретного объекта строительства. Результаты моделирования выводятся в качестве таблиц, графиков и рисунков.

Пример моделирования. В качестве примера использования аналитической модели приведем результаты моделирования одного из вариантов построения оптической сети доступа для городского района.

Расчет и оценка капитальных затрат на строительство сети доступа по технологии GPON выполнены для следующих основных исходных данных: сеть охватывает 30 тыс. потенциальных пользователей (квартир в домах района), коэффициент деления сплиттера — 64, резервирование ОВ распределительного кабеля — 10%, резервирование ОВ в магистральном кабеле — 10%. Для расчета капитальных затрат при помощи аналитической модели использованы цены и тарифы ведущих производителей активного

и пассивного оборудования, а также тарифы строительных фирм Москвы.

На рис. 5–7 и в табл. 1 и 2 представлены некоторые результаты моделирования при перечисленных начальных условиях.

Таблица 1. Расчет длины магистрального кабеля

Тип (емкость в ОВ) магистрального кабеля	Длина кабеля, м
Кабель оптический ДПЛ-П-8А-2,7 кН	0
Кабель оптический ДПЛ-П-12А-2,7 кН	0
Кабель оптический ДПЛ-П-16А-2,7 кН	0
Кабель оптический ДПЛ-П-24А-2,7 кН	5875
Кабель оптический ДПЛ-П-48А-2,7 кН	3917
Кабель оптический ДПЛ-П-64А-2,7 кН	0
Кабель оптический ДПЛ-П-96А-2,7 кН	17557

Таблица 2. Расчет количества ОРШ

Домовые ОРШ	Количество ОРШ	Этажные ОРШ	Количество ОРШ
ШКО-Р32	0	ШКО-4 с механическим соединителем Fibrlok Splice 2529	24228
ШКО-Р64	0	ШКО-8 с механическим соединителем Fibrlok Splice 2530	6288
ШКО-Р96	221	ШКО-12 с механическим соединителем Fibrlok Splice 2531	0
ШКО-Р144	65	ШКО-16 с механическим соединителем Fibrlok Splice 2531	0

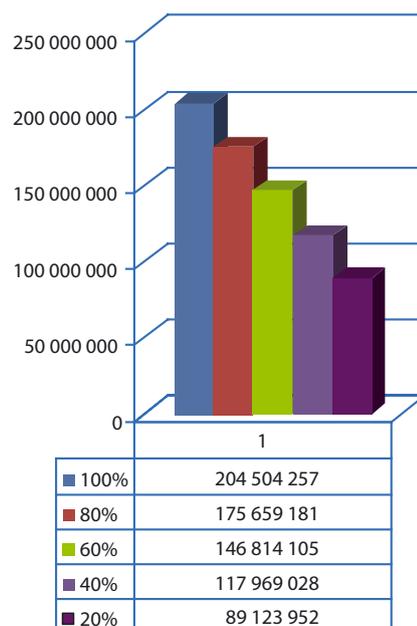


Рис. 5. Капитальные затраты (в руб.) на строительство сети доступа

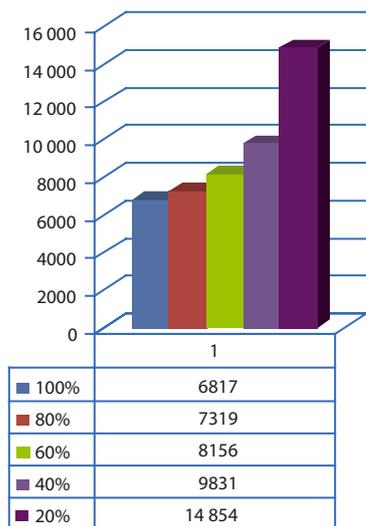


Рис. 6. Приведенные капитальные затраты (в руб.) на одного абонента

Заключение. Предложенная аналитическая модель может быть использована оператором связи или интегратором на этапах предпроектных исследований и проектирования городской сети доступа в соответствии с технологией FTTH (GPON) для оценки ожидаемых капитальных затрат на построение сети требуемой емкости и конфигурации. Анализ результатов работы модели при разных исходных данных позволяет оптимизировать конфигурацию сети и выбрать наиболее подходящий по различным показателям, в том числе стоимостным и количественным, набор компонентов на станционном, магистральном, распределительном и абонентском участках сети доступа.

Результаты моделирования могут стать основой для бизнес-плана проектируемой сети доступа и обоснования целесообразности ее построения.

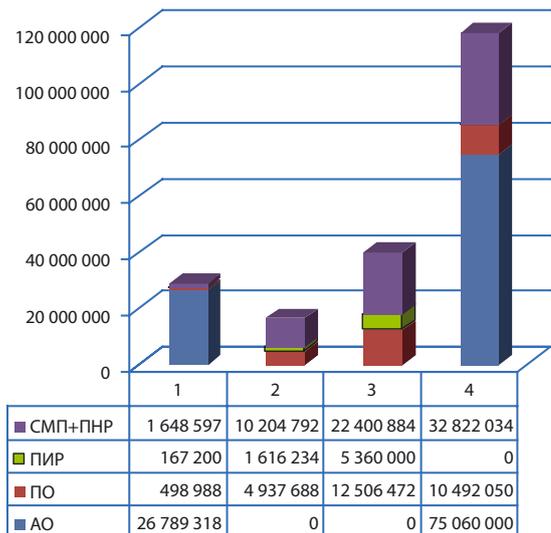


Рис. 7. Соотношение капитальных затрат: 1 — станционный участок, 2 — магистральный участок, 3 — распределительный участок, 4 — абонентский участок

ЛИТЕРАТУРА

1. J'son & Partners Consulting. Технология GPON. Развитие в России и за рубежом. Февраль 2013 г. // Онлайн-ресурс: <http://safe.snews.ru/news/line/index.shtml?2013/02/07/518357>.
2. Число абонентов сети GPON МГТС в 2013 году выросло до 700 тысяч // Онлайн-ресурс РИА «Новости»: <http://www.digit.ru/telecom/20140127/411321112.html>.
3. «Ростелеком» подключил к GPON 75 тысяч сибиряков // Онлайн-ресурс: http://www.rostelecom.ru/about/konkurs/mrf/sibir/mkf/altai/@page1402.htm?sphrase_id=402927.
4. Новые горизонты PON // Онлайн-ресурс: <http://www.tssonline.ru/articles2/pronsol/novye-gorizonty-pou/2>.
5. **Керженцев Ю. А.** Расчет количественных и стоимостных параметров при проектировании городской GPON сети доступа // Технологии и средства связи.— 2012.— № 3.

Получено 09.07.14

ПОЗДРАВЛЯЕМ В. В. ЮДИНА



Седьмого февраля 2015 года исполнилось 50 лет со дня рождения начальника научно-исследовательской лаборатории филиала ФГУП НИИР-СОНИИР, доктора технических наук, профессора Вячеслава Викторовича Юдина.

В его трудовой книжке единственная запись: в 1988 году, после окончания с отличием Куйбышевского авиационного

института им. С.П. Королева, он поступил на работу в КОНИИР (ныне СОНИИР). И практически сразу же определилось научное направление, которому он посвятил все последующие годы: электродинамическое моделирование и синтез антенн и антенных систем различных диапазонов, находящихся в разных средах.

В 1997 г. Вячеслав Викторович успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка и программная реализация эффективных численных методов электродинамического анализа антенн диапазона ОВЧ» (научный руководитель — профессор Ю. М. Сподобаев). И менее пяти лет ему понадобилось для того, чтобы защитить докторскую диссертацию на тему «Теория и проектирование кольцевых антенных решеток, обеспечивающих схемно-пространственную мультиплексию и направленное излучение некогерентных сигналов».

Научная основа практически всех разработок СОНИИР в области ан-

тенной техники формируется при непосредственном участии Вячеслава Викторовича. В 2007 году за разработку уникального комплекса антенно-фидерных устройств системы президентской подвижной радиосвязи на Останкинской телевизионной башне В. В. Юдину присвоено звание лауреата Государственной премии РФ имени маршала Советского Союза Г. К. Жукова.

Свою плодотворную научную работу в области электродинамики и антенной техники Вячеслав Викторович успешно сочетает с педагогической деятельностью, и в 2006 году ему было присвоено ученое звание профессора.

В. В. Юдин является автором более 100 научных трудов, индексируемых в РИНЦ (индекс Хирша 7). Он внес большой вклад в развитие прикладной электродинамики, в теорию и технику антенн, СВЧ-устройств и их технологий.

Коллектив ФГУП НИИР поздравляет Вячеслава Викторовича и желает ему дальнейших успехов в его деятельности.