

УДК 621.391

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА ПОСТРОЕНИЕ ГОРОДСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ ДОСТУПА СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ



[В.С. КРИКУН](#)

ПАО «Укртелеком»

[М.Ю. ОЩЕПКОВ, А.В. БРИНДЗИЙ](#)

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

**Abstract** – The paper proposed an analytical model to estimate the capital cost of deployment next generation optical access (NGOA) network for the urban area. This model is used for solution the problems: of optical access technology selection; the optimal topology and network access scenario determination; the active and the passive network components on the site, backbone, distribution and subscriber areas definitions. One of the main objectives of the analytical model is to perform a techno-economic evaluating of different proposed solution for NGOA networks. This evaluation comprises a cost assessment of infrastructure and equipment which are dependent on the network dimensioning and the area where they will be used. Proposed in paper an analytical model is different from the earlier known more fully into account the factors and components which form the optical access network.

In this paper the problem of synthesizing the structure of next generation urban optical access network is formulated as an optimization, and it is based on the proposed analytical model. Demonstrated an example of using this analytical model for structural and parametric synthesis of urban next generation optical access network for the one of the Kharkiv regions.

**Анотація** – В статті запропонована аналітична модель для оцінки капітальних витрат на побудову міської оптичної мережі доступу наступного покоління. За допомогою моделі здійснюється розв'язання задач щодо вибору технології оптичного доступу, оптимальної топології та сценарію розвитку мережі доступу, активних та пасивних складових мережі на станційній, магістральній, розподільчій та абонентській ділянках.

**Аннотация** – В статье предложена аналитическая модель для оценки капитальных затрат на строительство городской оптической сети доступа следующего поколения. С помощью модели осуществляется решение задач выбора технологии оптического доступа, оптимальной топологии и сценария развития сети доступа, активных и пассивных составляющих сети на станционном, магистральном, распределительном и абонентском участках.

## Введение

Быстрое развитие информационных технологий, их проникновение во сферы деятельности современного общества привело к возрастанию роли мультисервисных телекоммуникационных сетей, в том числе высокоскоростных сетей доступа. К наиболее перспективным технологиям абонентского доступа относятся оптические сети доступа нового поколения NGOA (New Generation Optic Access).

Строительство сетей NGOA для того или иного города или района города по сценарию FTTH (Fiber to the home) – это сложный процесс, требующий определения наиболее эффективного способа реализации сети, минимизации затрат на ее строительство. При этом должны учитываться существующие проводные линии связи и

предоставляемые услуги в сети доступа оператора [1-6]. В связи с этим актуальной является задача создания инструментальных аналитических средств поддержки процесса проектирования сети доступа в различных условиях строительства, а также обеспечивающих предварительный расчет и количественную оценку показателей затрат на строительство сети. Для решения данной задачи в статье предложена математическая модель, позволяющая на этапе предпроектных исследований определить основные технические и экономические параметры проектируемой городской оптической сети доступа с учетом технологий NGOA [7-8].

## I. Архитектура оптические сети доступа нового поколения

Сеть доступа NGOA состоит из активных и пассивных компонентов [9], представленных на рис. 1.



Рис. 1. Основные компоненты сети NGOA

На активные компоненты сети доступа NGOA возложено ряд важных функций. Сервисный узел выполняет функции маршрутизации и обслуживания сеансов связи абонентов в своей зоне. Узел дистрибуции предназначен для организации транспортных соединений между сервисным узлом и узлами агрегации, а также для обеспечения концентрации трафика и повышения уровня использования высокоскоростных интерфейсов на устройствах сервисного уровня. Узел агрегации выполняет функции коммутации Ethernet-кадров, устанавливается на площадке доступа (АТС) и предназначен для организации транспортных соединений между узлами доступа, дистрибуции или другими узлами агрегации. Узел дистрибуции и транзитный узел агрегации

оборудованы оптическими интерфейсами (от одного до четырех) с пропускной способностью 10 Гбит/с. Узел агрегации устанавливается в случае наличия трех и более устройств доступа в пределах одной или нескольких ближайших площадок доступа (АТС). Узел доступа (OLT) выполняет функции коммутации Ethernet-кадров, к которым непосредственно подключены терминальные устройства через оптоволоконные линии связи.

Каждое коммутационное устройство доступа Ethernet содержит абонентские порты с пропускной способностью 100 или 1000 Мбит/с, а также не менее двух оптических портов с интерфейсом 10 Гбит/с для подключения к узлу агрегации. Коммутационные устройства размещаются в телекоммуникационном шкафу.

Терминальные устройства (ONT) могут быть двух типов:

– медиаконвертор, который содержит один оптический интерфейс для подключения к волоконнооптической сети, и один интерфейс RJ45 для подключения к сети Ethernet на медном кабеле. Медиаконвертор обеспечивает преобразование сигналов между этими двумя сетями. Интерфейс RJ45 обычно используется для подключения абонентского оборудования;

– сервисный маршрутизатор – это терминальное устройство с одним оптическим интерфейсом Ethernet 100 или 1000 Мбит/с и от 4 до 8 портов Ethernet 100/1000Base-T для подключения оборудования пользователя.

Пассивные компоненты сети доступа включают в себя:

- станционный сегмент – часть сети доступа, которая состоит из оптического кросса с большой плотностью портов и станционного кабеля для соединения кросса с узлом доступа;

- магистральный сегмент – часть сети доступа, которая состоит из пристанционной муфты, магистрального волоконнооптического кабеля, магистральной распределительной и соединительных муфт;

- распределительный сегмент – часть сети доступа, которая состоит из распределительного оптического кабеля и домовых распределительных муфт;

- абонентский сегмент – часть сети доступа, которая прокладывается внутри дома от домовой распределительной муфты к квартире абонента и в свою очередь состоит из внутридомовой и внутриквартирной части.

Внутридомовая часть состоит из волоконно-оптического кабеля межэтажного прокладывания, этажного распределительного бокса на последнем этаже, этажных распределительных устройств и модуля абонентской розетки. Внутриквартирная часть – часть сети доступа, которая состоит из ШОС (шнура оптического соединительного) к терминалу абонента ONT и другого оборудования конечного потребителя.

Схема оптической сети абонентского доступа, содержащая активные и пассивные компоненты, приведена на рис. 2.

Базируясь на приведенном выше описании архитектуры оптической сети абонентского доступа, а также на рекомендациях и результатах, изложенных в [10-12], синтезируем аналитическую модель для оценки капитальных затрат на сеть доступа.

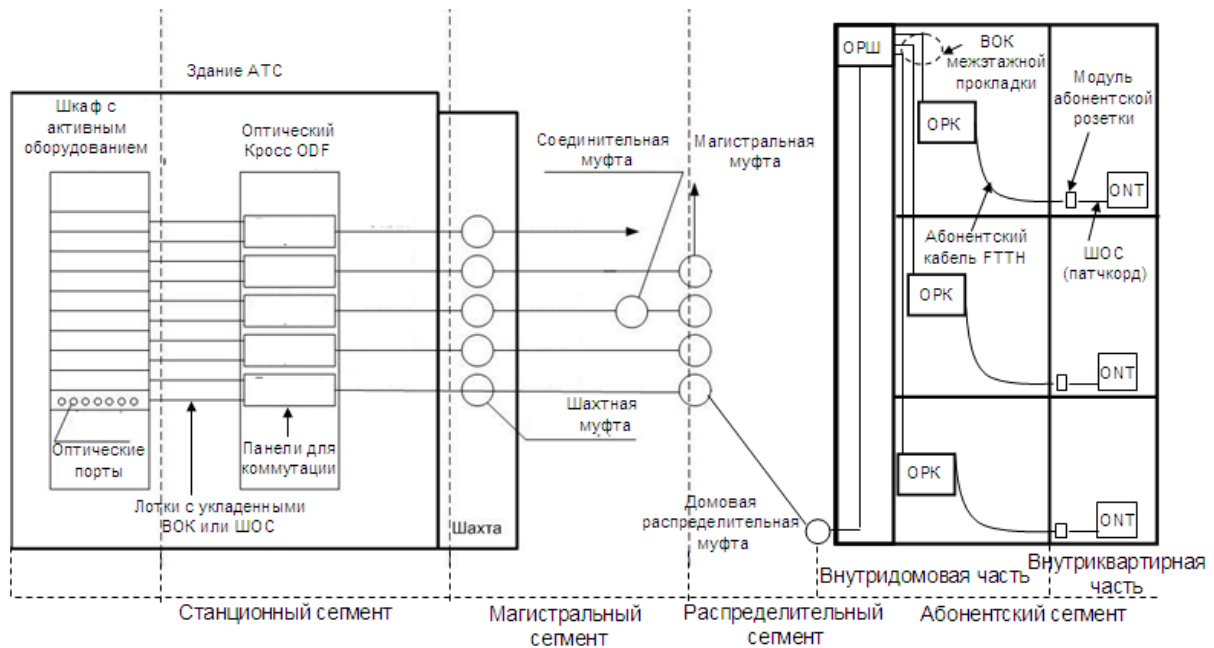


Рис. 2. Схема организации сети абонентского доступа NGOA по сценарию FTTH

Аналитическая модель должна определять следующие параметры проектируемой сети:

- суммарные капитальные затраты на каждом участке сети и в целом для всей сети с учетом доли подключенных абонентов;
- суммарные приведенные капитальные затраты на подключение одного абонента с учетом доли подключенных абонентов;
- объемы активного и пассивного оборудования (по типам оборудования), необходимого для строительства сети;
- длины оптоволоконного кабеля (по типам кабеля) и его емкости для строительства магистрального и распределительных участков сети;
- количество шкафов OLT (по типам шкафа), размещаемых на узле оператора сети;
- количество и тип оптических распределительных шкафов, устанавливаемых внутри домов;
- количество и тип этажных оптических распределительных коробок;
- количество и длина питейлов или патч-кордов на стороне OLT/ ONT при различных вариантах подключения станционного и абонентского оборудования;
- количество розеток, адаптеров, оптических модулей.

## II. Постановка задачи оптимизации

В процессе строительства сети оптического доступа следующего поколения на основе существующей инфраструктуры районных АТС необходимо минимизировать капитальные затраты на станционном, магистральном и распределительном участках. При этом также необходимо произвести оптимальный выбор активных и пассивных

компонентов по критерию стоимости в соответствии с заданными ограничениями. Для решения поставленной задачи необходимо минимизировать целевую функцию:

$$\min(CAPEX_{OLT} + CAPEX_{Mag} + CAPEX_{Distr} + CAPEX_{ONT}). \quad (1)$$

Капитальные затраты на станционном участке в общем виде можно представить как:

$$CAPEX_{OLT} = C_{Board} + C_{Section} + C_{Rack} + C_{ODF} + C_{rest\_OLT}, \quad (2)$$

где  $C_{Board}$  – стоимость периферийных плат оптических портов OLT;  $C_{Section}$  – стоимость телекоммуникационных секций для установки периферийных плат OLT;  $C_{Rack}$  – стоимость телекоммуникационных шкафов для монтажа секций OLT;  $C_{ODF}$  – стоимость оптических соединительных шкафов (ОСШ);  $C_{rest\_OLT}$  – стоимость других активных или пассивных компонентов на стороне РАТС.

Капитальные затраты на магистральном участке:

$$CAPEX_{MAG} = C_{Cab\_mag} + C_{Muft} + C_{rest\_mag}, \quad (3)$$

где  $C_{Cab\_mag}$  – стоимость магистрального кабеля;  $C_{Muft}$  – стоимость соединительных муфт;  $C_{rest\_mag}$  – стоимость других компонентов на магистральном участке.

Капитальные затраты на распределительном участке:

$$CAPEX_{Distr} = C_{Cab\_distr} + C_{Muft\_distr} + C_{ODF\_distr} + C_{rest\_mag}, \quad (4)$$

где  $C_{Cab\_distr}$  – стоимость распределительного кабеля;  $C_{Muft\_distr}$  – стоимость распределительных муфт;  $C_{ODF\_distr}$  – стоимость распределительных шкафов;  $C_{rest\_mag}$  – стоимость других компонентов на распределительном участке.

Капитальные затраты на абонентском участке FTTH (сетевом окончании ONT):

$$CAPEX_{ONT} = C_{ONT} + C_{rest\_ONT}, \quad (5)$$

где  $C_{ONT}$  – стоимость активного оборудования на стороне ONT;  $C_{rest\_ONT}$  – стоимость пассивных компонентов на сетевом окончании ONT.

### III. Определение состава оборудования на станционном участке

В соответствии со схемой организации сети абонентского доступа NGOA по сценарию FTTH количество портов OLT на станционном участке для активной оптической сети определяется по формуле:

$$OLT_{AON} \geq \sum_{j=1}^J B_j g_j e_j a_j Kpr, \quad (6)$$

где  $J$  – количество типов домов;  $B_j$  – количество домов типа  $j$ ;  $g_j$  – количество подъездов в доме  $j$ -го типа;  $e_j$  – количество этажей в доме  $j$ -го типа;  $a_j$  – количество квартир на этаже в доме  $j$ -го типа;  $Kpr$  – коэффициент проникновения услуг оператора в дом.

Количество портов OLT на станционном участке для пассивной оптической сети выбирается из условия:

$$OLT_{PON} \geq \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T B_j g_j e_j a_j split_{jt} Kpr, \quad (7)$$

где  $split_{jt}$  – коэффициент деления сплиттера  $t$ -го типа в доме  $j$ -го типа,  $T$  – количество типов сплиттера.

По количеству портов OLT и емкости плат доступа OLT определяется их количество:

$$N_{Board\_AON} \geq \sum_{k=1}^K x_k \times OLT_{AON} / E_{Board\_AON(k)}, \quad (8)$$

$$N_{Board\_PON} \geq \sum_{k=1}^K x_k \times OLT_{PON} / E_{Board\_PON(k)}, \quad (9)$$

где  $E_{Board\_AON(k)}$  – количество портов платы активного оптического доступа  $k$ -го типа;  $E_{Board\_PON(k)}$  – количество портов платы пассивного оптического доступа  $k$ -го типа.

Ограничивающим фактором выступает индикатор выбора типа платы оптического доступа  $\sum_{k=1}^K x_k = 1$ .

Количество телекоммуникационных шкафов для размещения оборудования зависит от их емкости для размещения шасси и емкости шасси для размещения плат доступа соответственно:

$$N_{Rack\_AON} \geq \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M N_{Board\_AON} / E_{Rack\_AON(i)} y_i E_{Section\_AON(m)} z_m, \quad (10)$$

$$N_{Rack\_PON} \geq \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M N_{Board\_PON} / E_{Rack\_PON(i)} y_i E_{Section\_PON(m)} z_m, \quad (11)$$

где  $E_{Rack\_AON(i)}$  и  $E_{Rack\_PON(i)}$  – емкости телекоммуникационного шкафа  $i$ -го типа;  $E_{Section\_AON(m)}$  и  $E_{Section\_PON(m)}$  – количество периферийных позиций шасси  $m$ -го типа;  $y_i$  – индикатор выбора типа телекоммуникационного шкафа, принимает значение 0 или 1;  $z_i$  – индикатор выбора типа шасси, принимает значение 0 или 1.

Выбирается один тип шкафа  $i$  и один тип шасси  $m$ :  $\sum_{i=1}^I y_i = 1, \sum_{m=1}^M z_m = 1$ .

Количество оптических соединительных шкафов (ОСШ):

$$N_{ODF\_AON} \geq \sum_{n=1}^N OLT_{AON} / E_{ODF(n)} \theta_n, \quad (12)$$

$$N_{ODF\_PON} \geq \sum_{n=1}^N OLT_{PON} / E_{ODF(n)} \theta_n, \quad (13)$$

где  $E_{ODF(n)}$  – емкость ОСШ типа  $n$ ;  $\theta_n$  – индикатор выбора типа ОСШ, принимает значение 0 или 1.

На площадке доступа РАТС устанавливается только один определенный тип

$$\text{ОСШ: } \sum_{n=1}^N \theta_n = 1$$

Количество оптических адаптеров, патчкордов и пигтейлов для пассивной и активной оптических сетей равняется количеству портов OLT:

$$N_{Adap.} = N_{Patch} = N_{Pigt.} = OLT_{AON/PON}. \quad (14)$$

#### IV. Определение длины и емкости волоконно-оптического кабеля на магистральном сегменте сети

Емкость магистрального кабеля следует выбирать такой, чтобы обеспечить возможность подключения необходимого количества абонентов в зоне обслуживания. Таким образом, емкость магистрального сегмента (суммарная емкость кабеля) к дому  $j$  типа зависит от типа волоконно-оптического кабеля (ВОК)  $p$  и для сетей AON/PON выбирается из условий:

$$\sum_{p=1}^P N_{oc_{cab\_mag(pj)}} \cdot N_{ov_{cab\_mag(p)}} \geq g_j e_j a_j Kpr, \quad (15)$$

$$\sum_{p=1}^P N_{oc_{cab\_mag(pj)}} \cdot N_{ov_{cab\_mag(p)}} \geq g_j e_j a_j Kpr \sum_{t=1}^T N_{split(tj)} split_t, \quad (16)$$

где  $N_{oc_{cab\_mag(pj)}}$  – число волоконно-оптических кабелей  $p$  типа к дому  $j$  типа;  $N_{ov_{cab\_mag(p)}}$  – число оптических волокон ВОК  $p$  типа;  $N_{split(tj)}$  – число оптических сплиттеров  $t$  типа, устанавливаемых в доме  $j$  типа.

Длина кабеля на участках сети рассчитывается в соответствии с аналитическими моделями геометрического планирования, представленными в работах [13, 14]:

$$L_{cab\_mag(s)} = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J N_{oc_{cab\_mag(pj)}} B_j |x_s| \cdot |y_s| + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J (B_j - 1) \sqrt{\frac{x_{aria(s)}^l y_{aria(s)}^l}{\sum_{j=1}^J B_j}}, \quad (17)$$

где  $|x_s|, |y_s|$  – модуль координат точки входа в зону распределения магистрального кабеля  $s$ ;  $x_{aria(s)}^l, y_{aria(s)}^l$  – размеры зоны распределения магистрального кабеля по горизонтали и вертикали соответственно.

Количество станционных соединительных муфт определяется как:

$$N_{Muff\_OLT} = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J N_{oc_{cab\_mag(pj)}} \cdot B_j. \quad (18)$$

#### V. Внутридомовая часть распределительного сегмента

Расчет параметров внутридомовой части сегмента сети зависит от выбранной схемы построения. В основном установка ОРШ производится на последнем этаже

дома, внутридомовая часть распределительного сегмента в этом случае состоит из межэтажного транзитного кабеля от распределительной домовой муфты к распределительному шкафу и кабеля между подъездами (рис. 3).

$$L_{cab\_distr} = \sum_{j=1}^I \sum_{p=1}^P B_j \cdot Noc_{cab\_mag(pj)} \cdot (h_{floor} e_j + l_{entrance} g_j (g_j + 1) / 2), \quad (19)$$

где  $h_{floor}$  – высота этажа, м;  $l_{entrance}$  – расстояние между подъездами, м.

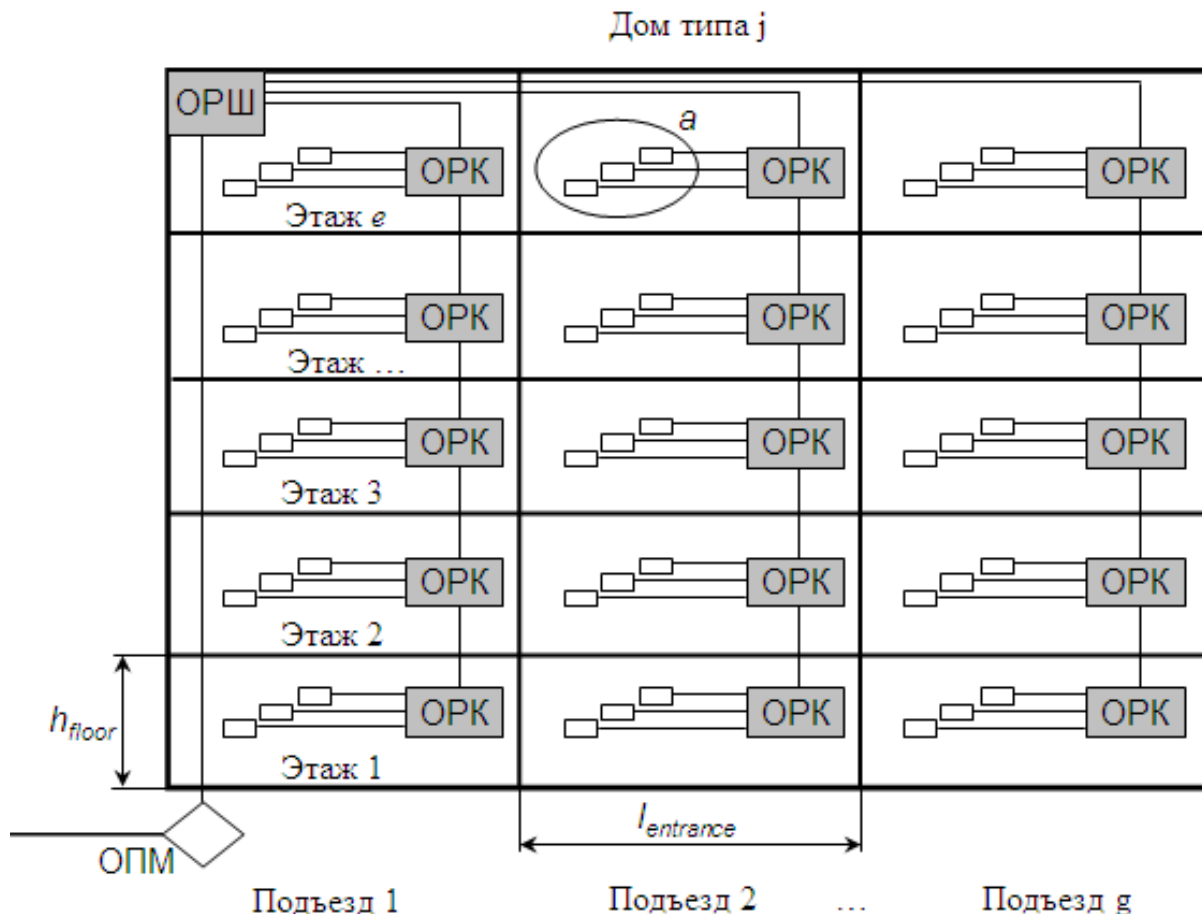


Рис. 3. Схема организации внутридомовой связи

## VI. Внутридомовая часть абонентского сегмента

Внутридомовая часть абонентского сегмента состоит из кабеля междуэтажной прокладки и соединяет ОРШ с этажными оптическими распределительными коробками (ОРК). Количество и емкость кабелей выбираются из условия обеспечения необходимого количества квартирных подключений:

$$\sum_{q=1}^Q Noc_{cab\_distr(qj)} \cdot Nov_{cab\_mag(q)} \geq g_j e_j a_j Kpr, \quad (20)$$

$$Nov_{cab\_mag(q)} \geq a_j Kpr, \quad (21)$$



где  $N_{oc_{cab\_dist}(q)}$  – число междуэтажных ВОК  $q$ -го типа в доме  $j$ -го типа;  $N_{ov_{cab\_dist}(q)}$  – число оптических волокон ВОК  $q$ -го типа.

Количество ОРК определяется как:

$$N_{ODB} = \sum_{j=1}^J B_j g_j e_j K_{pr}. \quad (22)$$

## VII. Внутриквартирная часть абонентского сегмента

В помещении клиента устанавливается абонентский терминал ONT, модуль абонентской розетки и шнур оптический соединительный. Их количество должно соответствовать количеству планируемых для подключения квартир:

$$N_{ONT} = N_{OSM} = N_{LC} = \sum_{j=1}^J B_j g_j e_j a_j K_{pr}, \quad (23)$$

где  $N_{ONT}$  – число абонентских модулей ONT;  $N_{OSM}$  – число абонентских розеток;  $N_{LC}$  – число шнуров оптических соединительных.

Схема функционирования программного пакета, базирующегося на предложенной аналитической модели, представлена на рис. 4.

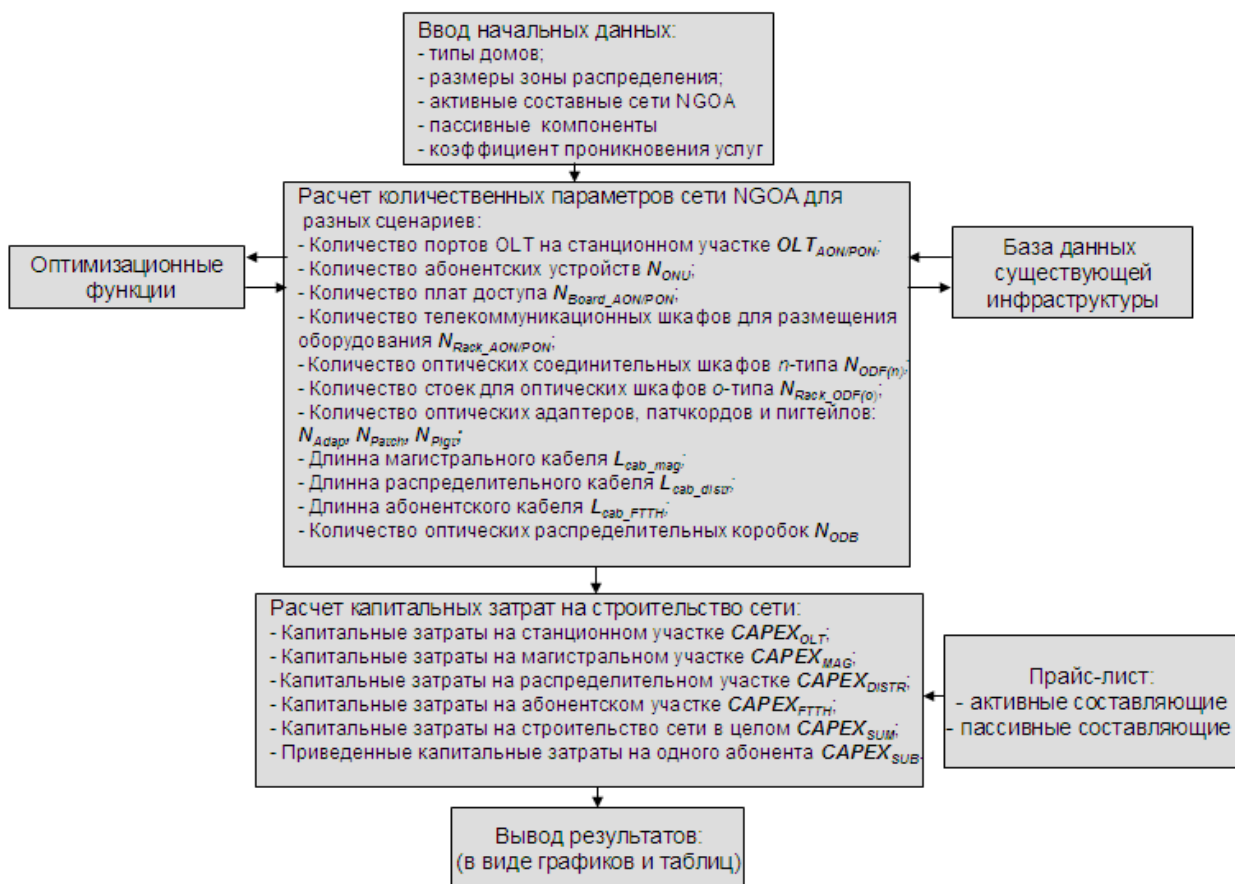


Рис. 4. Схема функционирования программного пакета расчета капитальных затрат на строительство сети NGOA

## VIII. Использование разработанной аналитической модели на типовом примере планирования одного из городских районов

В качестве примера использования аналитической модели приведем результаты моделирования построения оптической сети доступа для одного из районов города Харькова. Расчет емкости магистрального и распределительного кабелей, а также типа и количества распределительных, этажных распределительных шкафов выполняется автоматически.

Расчет и оценка капитальных затрат на строительство сети доступа по технологии NGOA выполнены для следующих основных исходных данных: сеть охватывает 8 тыс. потенциальных пользователей (квартир в домах района), коэффициент проникновения услуг 0,01 – 1. Характеристики типов домов района приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики типов домов в зоне планирования сети доступа

Тип дома	Количество подъездов в доме	Количество этажей в доме	Количество квартир на этаже	Количество домов в зоне планирования
1	1	16	4	9
2	2	16	6	2
3	13	12	4	5
4	6	12	4	2
5	6	9	6	10
6	8	9	4	2
7	3	9	4	2

Результаты расчета для технологий активного и пассивного оптического доступа, и диапазона коэффициента проникновения услуг от 0,01 до 1 приведены на рис. 5 и рис. 6.

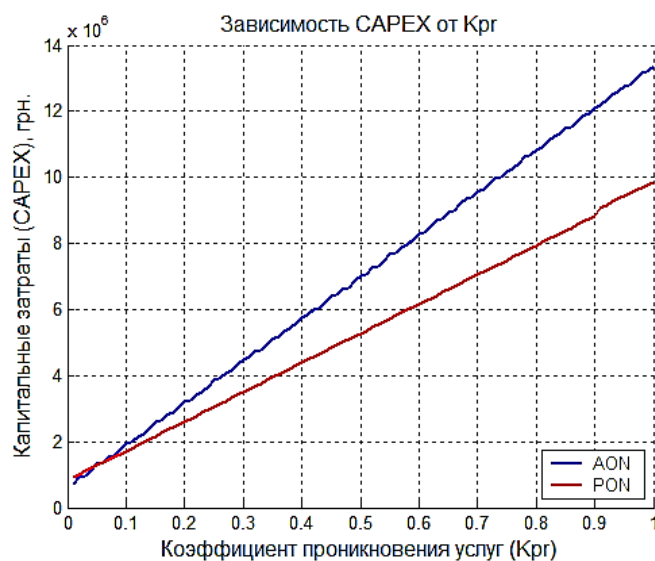


Рис. 5. Капитальные затраты на активные и пассивные составляющие сети доступа NGOA в зависимости от коэффициента проникновения услуг

Из анализа полученных зависимостей при использовании технологии PON: капитальные затраты на начальном этапе развития сети выше, нежели для технологии AON. Однако с ростом коэффициента проникновения услуг суммарные затраты на развитие сети доступа (рис. 5) и приведенные затраты на одного абонента (рис. 6) с использованием технологии PON становятся меньше, нежели при использовании технологии активного оптического доступа AON.

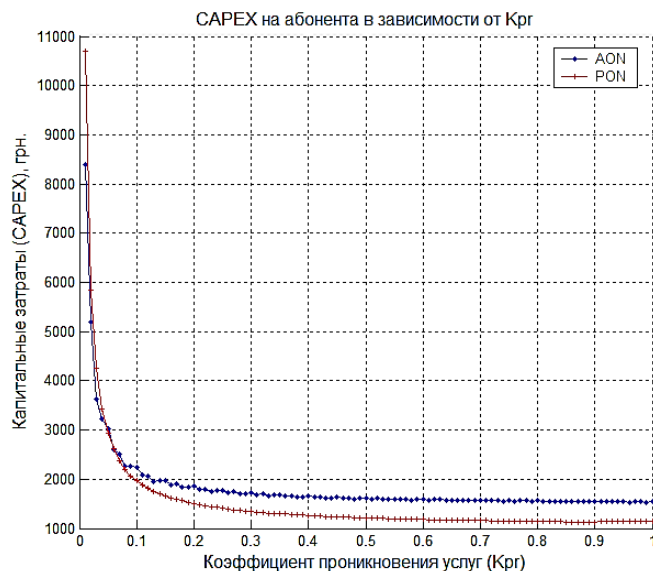


Рис. 6. Приведенные капитальные затраты на подключение одного абонента в зависимости от коэффициента проникновения услуг для технологий NGOA

Соотношение капитальных затрат на активные и пассивные компоненты сети доступа для данных типов технологий при коэффициенте проникновении услуг равном единице приведены на рис. 7 и рис. 8.

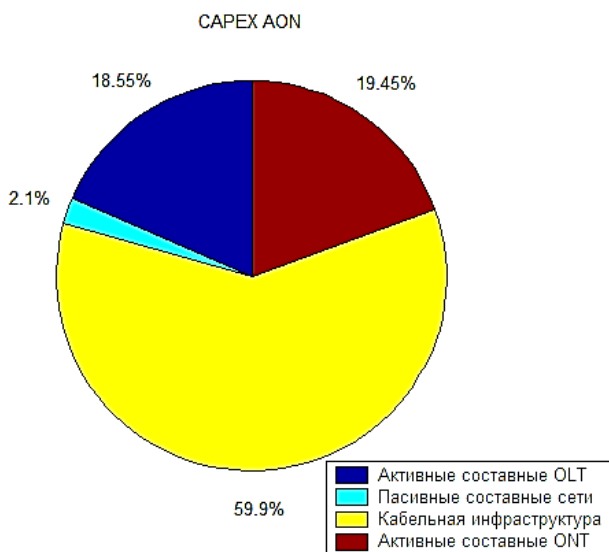


Рис. 7. Соотношение затрат при коэффициенте проникновении услуг равном единице для технологии активного оптического доступа

При использовании технологии AON основная доля капитальных затрат приходится на развитие кабельной инфраструктуры: порядка 59,9% (рис. 7), в то время как при использовании технологии PON основная доля затрат приходится на активное оборудование на сетевом окончании ONT – порядка 78,54% (рис. 8).

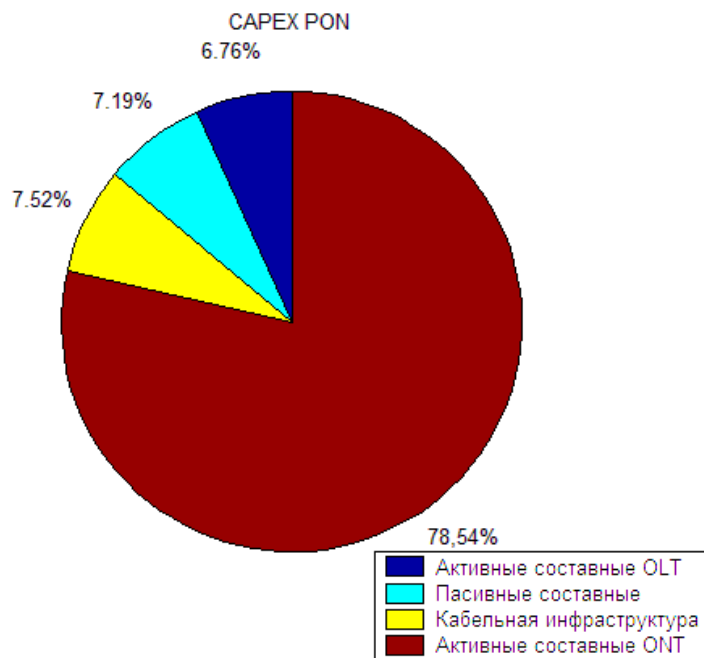


Рис. 8. Соотношение затрат при коэффициенте проникновения услуг равном единице для технологии пассивного оптического доступа

Представленная аналитическая модель позволяет сопоставить капитальные затраты на активные и пассивные составляющие сети доступа для разнотипных технологий NGOA и определить оптимальные план и сценарий построения мультисервисной сети доступа, отвечающие стратегии развития оператора связи.

## Выводы

Основные приведенные выше аналитические выражения, составляющие разработанную математическую модель, позволяют рассчитать необходимое для построения сети доступа количество активного и пассивного оборудования, а также дать общую оценку капитальных затрат на этапе предпроектных исследований. С использованием модели тип, емкость и длина ОВ на различных участках сети доступа, а также количество портов, количество и емкость шкафов и другого оборудования определяются из условия минимальных затрат, необходимых для обеспечения возможности подключения заданного количества пользователей.

Таким образом, разработанная методика расчета, базирующаяся на предложенной математической модели, может быть использована оператором связи или интегратором на этапах предпроектных исследований и проектирования городской сети NGOA с целью выбора технологии оптического доступа, оценки ожидаемых ка-

питальних затрат і визначення складу мережі. Аналіз результатів розрахунку при різних початкових даних дозволить вибрати ефективну і оптимальну конфігурацію мережі на станційному, магістральному, розподільчому і абонентському ділянках мережі доступу.

Зміна результатів моделювання при зміні цих або інших початкових даних відображає фізичну сутність моделюваних процесів і підтверджує правильність функціонування моделі. Аналіз результатів роботи моделі при різних початкових даних дозволяє вибрати ефективну конфігурацію мережі на станційному, магістральному, розподільчому і абонентському ділянках мережі доступу для конкретних варіантів будівництва.

### Список літератури:

1. Концепція конвергенції телефонних мереж і мереж з пакетною комутацією в Україні. – К.: Державний комітет зв'язку та інформатизації України, 2003. – 47 с.
2. Крикун В.С., Ощепков М.Ю. Методика оцінки якості існуючих провідних ліній зв'язу // Радіотехніка: Всеукр. міжвед. науч.-техн. зб. – 2009. – Вип.159. – С. 224 - 228.
3. Крикун В.С., Пастушенко Н.С., Пастушенко А.Н. Аналітична модель вибору маршруту доставки послуг і сервісів // Математика і кібернетика – фундаментальні і прикладні аспекти. – 2010. – № 4/4 (46). – С. 16 - 19.
4. Крикун В.С., Бриндзій О.В. Методика оцінки швидкісного потенціалу з'єднань ADSL2+ для надання послуг Triple Play Service // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – №2 (44). – С. 58 - 62.
5. Krikun V., Brindziy A. Estimation method of speed potential ADSL2+ connections for grant of Triple Play service // Proceeding of the XI<sup>th</sup> International Conference on modern problem of radio engineering, telecommunication and computer science. TCSET' 2010. – Lviv-Slavsko, 2010. – P. 257.
6. OASE WP6 Market demands and revenues. // Deliverable 6.2. – 2011. – P. 29 – 40.
7. OASE WP4 Technical assessment and comparison of Next-Generation Optical Access system concepts // Deliverable 4.2.1. – 2011. – P. 40 – 68.
8. Goderis D. Flexible GPON architectures for mass market FTTH [Електронний ресурс]. – Alcatel Lucent, 2007. – Режим доступу: <http://www.localret.cat/revistesinews/broadband/num18/docs/13num18.pdf>.
9. Тимчасове керівництво з проектування мереж ширококутного доступу на базі технології Fiber to the home (FTTH) – Волокно до квартири. – К.: ВАТ «Укртелеком», 2011. – С. 4-16.
10. Бриндзій О.В., Агеев Д.В. Планування мереж абонентського доступу xDSL [Електронний ресурс] // Проблеми телекомунікацій. – 2011. – №2 (4). – С. 54 – 71. – Режим доступу: [http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112\\_brindziy\\_planning.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/2/1/112_brindziy_planning.pdf).
11. OASE WP4 Operational impact on system concept // Deliverable 4.3.1. – 2011. – P. 12 – 38.
12. Casier C. Future Proof Strategies towards Fibre to the Home. – PhD Thesis. Gent University, 2010. – P. 187 - 198.
13. OASE WP5 Process modeling and first version of TCO evaluation tool // Deliverable 5.2. – 2011. – P. 66 – 74.