

УДК 621.391.812/004

DOI: 10.33310/2524-0978-2019-1-7-5-12

Валерій БОНДАРЕНКО

bondarenkoval@ukr.net

ORCID: 0000-0002-9389-3084

Назар АНТІПОВ

dnu_ffeks_kt-15-1-01@ukr.net

ORCID: 0000-0001-5333-1397

м. Дніпро

ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ТОПОЛОГІЇ ТА ПОКРИТТЯ МЕРЕЖІ GPON СИСТЕМИ EHEALTH М. ДНІПРО

Розроблено геометричну модель топології та покриття телекомунікаційної мережі доступу регіональної системи eHealth (м. Дніпро) за технологією GPON, на основі якої запропоновано метод параметричної оптимізації мережі доступу за критеріями мінімізації витрат енергетичного бюджету згасання/втрат оптичного сигналу на повній оптичній лінії – від точки підключення волокна до активного обладнання OLT до найвіддаленішого ONU.

Ключові слова: eHealth, медична інформаційна система (MIS), топологія, покриття, GPON, OLT, ONU, оптоволоконний кабель, енергетичні втрати, енергетичний бюджет згасання, параметрична оптимізація.

Постановка проблеми

Закон України «Про державні фінансові гарантії медичного обслуговування населення» запроваджує державну «електронну систему охорони здоров'я» (eHealth) – інформаційно-телекомунікаційну систему для управління медичною інформацією та автоматизації ведення медичної звітності. На виконання закону постановою КМУ від 25 квітня 2018 р. № 411 затверджено порядок її функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

За проектування мереж телекомунікацій, геотопологія та покриття мережі постають як сукупність емпіричних базових проектних процедур у рамках традиційного «ситуаційного планування». Лише останнім часом вони набувають комп'ютеризованого втілення у спеціалізованих базах даних, зокрема автоматизованої системи технічного обліку на базі платформи General Electric Smallworld [3].

Постановка завдання

Мета даної роботи полягає у визначенні оптимальних за вищезазначеними

критеріями геометричних параметрів взаємного розташування на території м. Дніпро активних портів OLT оптичної мережі доступу GPON для 33 ONU – міських закладів охорони здоров'я, що складають регіональний рівень eHealth [1].

Виклад основного матеріалу

Дніпро – одне з 5-х міст-мільйонників України (за станом на січень 2018 р. його населення складало 1 002 900 осіб) – обіймає площу 397 км². За адміністративним поділом має 8 районів: Амур-Нижньодніпровський, Шевченківський, Соборний, Індустріальний, Центральний, Чечелівський, Новокодацький, Самарський та с.м.т. Авіаторське (рис. 1).

Повний комплекс сучасних медичних послуг з охорони здоров'я населенню м. Дніпро системно надають 33 лікувально-профілактичні установи (ЛПУ) Дніпровської міської ради, підпорядковані Департаменту охорони здоров'я населення Дніпровської міської ради. Нижче наведено загальна структура системи установ охорони здоров'я м. Дніпро – офіційних об'єктів міської системи eHealth. **Центри первинної допомоги:** Комунальне неко-

мерційне підприємство «Дніпровський центр первинної медично-санітарної допомоги №XX» Дніпровської міської ради, $XX = 1, 2, 3, \dots, 12$. У складі кожного – Амбулаторія ЗПСМ №Y, $Y = 1, 2, 3$. **Поліклініки:** Комунальний заклад «Дніпровська міська поліклініка №X» Дніпровської міської ради, $X = 1, 2, 4, 5, 6$; у складі №1 – 3 Заклади, №2 – 2 Заклади, №№ 4, 5, 6 – по 1 Закладу. **Лікарні:** Комунальний заклад «Дніпровська міська клінічна лікарня №XX» Дніпровської міської ради, $XX = 1, 11, 12, 15$; у складі №1 – 1 Заклад, №11 – 2 Заклади, №12 – 3 Заклади, №15 – 1 Заклад; Комунальний заклад «Дніпровський міський пологовий будинок №1» Дніпровської міської ради – 1 Заклад; Комунальний за-

клад «Дніпровське клінічне об'єднання швидкої медичної допомоги» Дніпровської міської ради – 3 Заклади. **Дитячі лікарні:** Комунальний заклад «Дніпровська міська дитяча клінічна лікарня №X» Дніпровської міської ради, $X = 2, 5, 6$ – по 1 Закладу. **Стоматології:** Комунальний заклад «Стоматологічна поліклініка №X» Дніпровської міської ради, $X = 1, 2, 3$; у складі кожного – по 1 Закладу; Комунальний заклад «Дніпровська міська клінічна стоматологічна поліклініка №X» Дніпровської міської ради, $X = 4$; у складі №4 – 1 Заклад; Комунальний заклад «Дніпровська (міська) дитяча стоматологічна поліклініка №X» Дніпровської міської ради, $X = 1, 2, 3$; у складі кожного – по 1 Закладу.

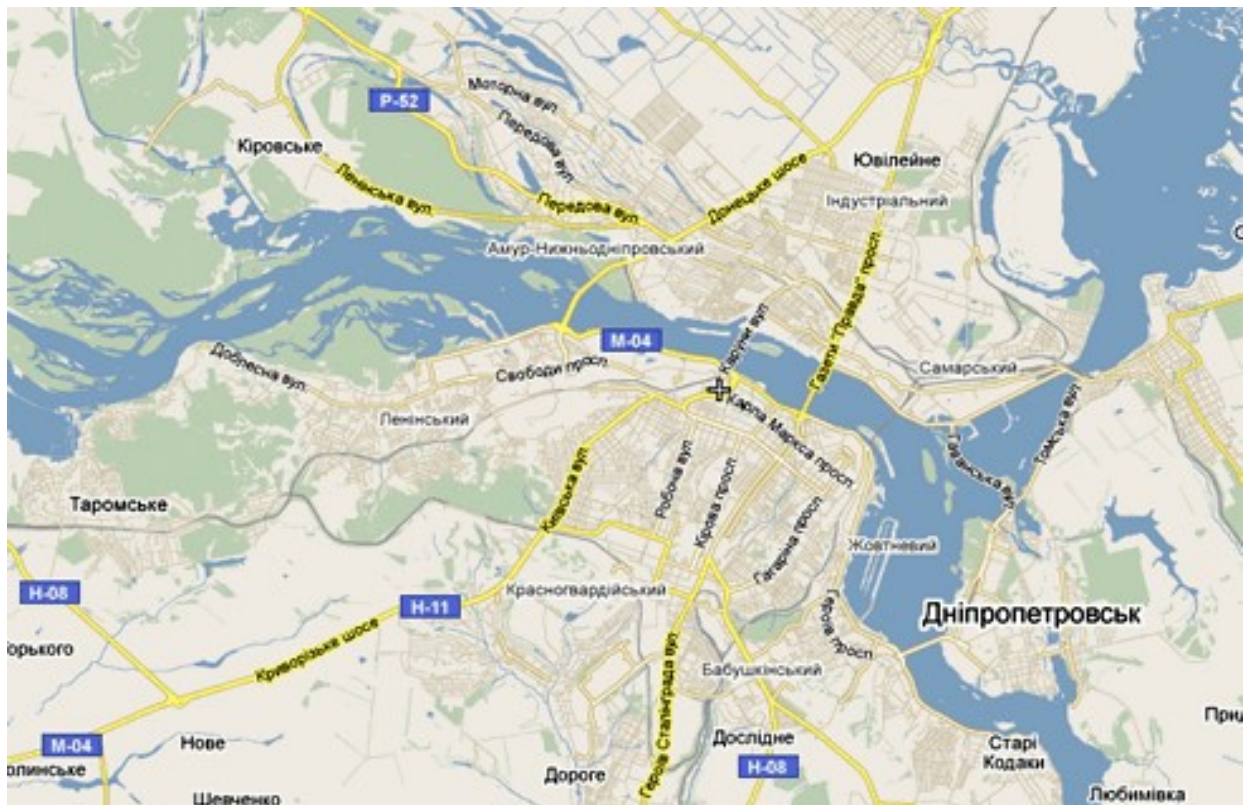


Рис. 1. Google Map. Мапа м. Дніпра

Архітектура мережі GPON. Мережа GPON складається з чотирьох ділянок:

- станційна ділянка – обладнання OLT и ODF, змонтовані на вузлі електрозв'язку у приміщенні АТС (опорному вузлі);
- магістраль – сукупність ВОК, магістральних та розподільчих шаф (ОРШ,

ШКО), муфт (боксів), конекторів та з'єднувачів, що розміщуються між лінійним портом ODF та вхідним інтерфейсом оптичного сплітера у муфті або в ОРШ (вхідним інтерфейсом ШКО за розміщення сплітерів першого рівня сплітування у АТС);

- БРМ – ділянка мережі від виходу сплітера в ОРШ (вихідних інтерфейсів ШКО за розміщення сплітерів першого рівня сплітування у АТС) до абонентських портів ОРК;
- абонентська ділянка – персональне абонентське розведення одноволоконним ВОК від абонентського порта ОРК до ОРА

або до активного обладнання ONT у офісі корпоративного клієнта (ділянка між розподільчою коробкою (ОРК) – ONT).

За побудови оптичної розподільчої мережі GPON використовується двокаскадна схема поділу оптичного сигналу з сумарним коефіцієнтом 1:64 (рис. 2).

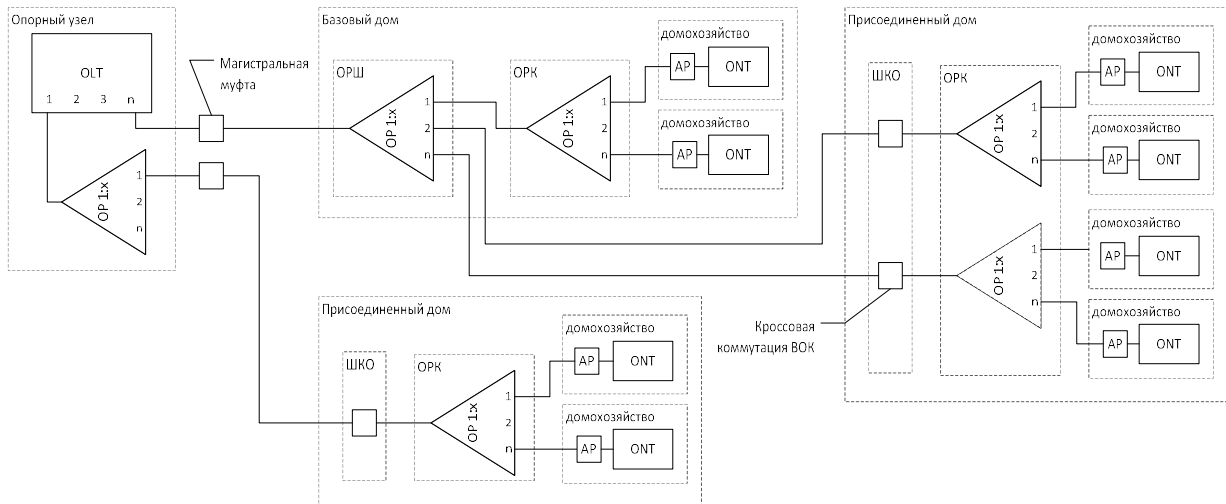


Рис. 2. Схема організації двокаскадної мережі GPON

Після вибору активного обладнання, що здійснюється переважно емпіричними методами, проектування зазначеної мережі доступу GPON складається з такої послідовності типових проектних процедур:

- визначення місць установки OLT;
- побудова топології мережі доступу GPON;
- побудова покриття – трас проходження оптоволоконного кабелю для кожної віти;
- вибір місць встановлення розгалужувачів ОР;
- визначення оптимальних коефіцієнтів поділу всіх розгалужувачів ОР;
- розрахунок бюджету втрат для кожної віти.

Для викладення методики побудови інтегрованої Топології та Покриття оптичних мереж абонентського доступу GPON для eHealth доречно запровадити такі означення.

Хмара – елемент Покриття, що являє собою одноз'вязну ділянку території міста,

на якій розташовані усі міські будівлі, охоплені фракталом мережі від одного опорного вузла.

Кластер – елемент Хмари, що складається з групи будівель, охоплених одним зв'язаним набором лінійно-кабельних споруд деревовидної структури з коренем на опорному вузлі. До Топології Кластера належить магістральна волоконно-оптична мережа, що являє собою сукупність волоконно-оптичних кабелів, організованих в топології «дерево», та БРМ в усіх будівлях Кластера. Кількість будівель, що входять до складу Кластера, визначається кількістю волокон кореневого кабелю ВОЛЗ, що йдуть від опорного вузла. Мікрорайон – елемент міського Покриття, що визначається як угруповання будівель, обмежене широкими вулицями.

Опорний вузол – АТС міської телекомунікаційної мережі, на якій встановлені GPON OLT.

Кореневий кабель ВОЛЗ – ділянка магістрального кабелю від оптичного кроса, встановленого на АТС (до якого підклю-

чено OLT мережі GPON), до першої розгалужувальної муфти у кабельній каналізації. Кількість волокон у кореновому ВОК має складати 96 ОВ, в окремих випадках припустимо застосування кабелю с числом волокон 144.

Магістральні волокна – волокна магістральної ВОЛЗ від оптичного кросу опорного вузла до входу сплітера БРМ, встановлюваного в ОРШ мережі GPON.

Обрання опорних вузлів. Опорні вузли обирають з існуючих АТС м. Дніпра за таких умов:

- АТС, обрані у якості опорних вузлів, мають бути рівномірно розподілені по території м. Дніпра;
- від одного з опорних вузлів до кожного обслуговуваного ним району м. Дніпра має бути доступна принаймні одна траса (канал) по багатоотворовій кабельній каналізації;
- відстань від опорного вузла до будь-якої будівлі у м. Дніпро (радіус Хмари) має бути не більше 10 км по кабельній трасі;
- достатня потужність електропостачання опорного вузла (у тому числі, з урахуванням розташування обладнання з реконструйованих АТС).

Визначення меж Хмар. Для визначення меж Хмари використовується така картографічна інформація:

- межі сусідніх Хмар;
- адміністративні межі районів м. Дніпра, обслуговуваних опорними вузлами;
- наявність та стан каналів багатотворової кабельної каналізації у радіусі 10 км від опорного вузла.

Якщо проєктована Хмара має примикання до раніше зпроєктованих Хмар, у якості її внутрішньої межі використовують безперервну сукупність ділянок зовнішніх меж усіх примикаючих Хмар. Якщо Хмари двох чи більше опорних вузлів не мають спільних меж, здійснюється первинна кластеризація, що полягає у нанесенні на мапу адміністративних меж районів обслуговування опорних вузлів.

До складу Хмари залучають весь район, на якому знаходиться опорний вузол. Якщо два опорних вузли знаходяться у сусідніх районах, то у якості межі Хмар приймають межу районів.

Після первинної кластеризації здійснюється поелементний аналіз приєднаних районів щодо наявності багатоотворової каналізації. Для цього у кожному з мікрорайонів перевіряються наявність та приблизна довжина трас до сусідніх опорних вузлів. Якщо для групи елементів, віднесених до певного опорного вузла, аналіз показує доцільність їхнього перезакріплення за іншим опорним вузлом, здійснюється топологічне виокремлення цієї групи. Для цього група повинна бути топологічно зв'язною й мати спільну з районом межу. Після цього межа Хмари коригується приєднанням до сусіднього району.

За виявлення на території Хмари групи малоповерхової забудови (тобто лише приватними будинками та/або малоквартирними будинками до 16 квартир), здійснюється топологічне виокремлення цієї групи (група має бути топологічно зв'язною). Якщо у приєднаному районі (за критерієм спільних меж з раніше зпроєктованою Хмарою) аналіз виявляє технічно важко доланні підімкнення деяких елементів до даного опорного вузла (наприклад, необхідність будівництва більш як 500 м каналізації, або будівництво каналізації через автомагістралі, залізницю, ріку Дніпро тощо), проводиться повторний аналіз стосовно раніше зпроєктованого опорного вузла, і його Хмара розширюється.

Загальні правила формування кластерів. Основним критерієм за формування кластеру є мінімізація питомої суми довжин магістральних кабелів й ВОК приєднаних будинків кластера, приведених до кількості обслуговуваних у кластері клієнтів.

Формування кластеру здійснюється на основі об'єднання близько розташованих будівель з ознакою «ОРШ». Спочатку для

кожного з них обчислюється кількість обслуговуваних ONT. Для цього здійснюється прив'язка будівель без ОРШ до базових будинків. На першому етапі прив'язки визначаються базові будівлі Кластера, до яких відносять будівлі з ознакою «ОРШ». Надалі підлягають прив'язці до базових будинків інші будівлі, за винятком охоплених мережами FTTB/FTTC. Для кожного з них за мапою з нанесеною каналізацією визначається найближчий базовий будинок.

Критерій прив'язки – мінімальна довжина по кабельній каналізації й дотримання норм на загасання за двокаскадної схеми побудови дерева PON відповідно до Рекомендацій ITU-T G.984. Визначення кількості магістральних волокон для кластера. Для нежитлових будинків, що мають ознаку «ОРШ», а кількість клієнтів – юридичних осіб більше 32, кількість магістральних волокон визначається як поділена на 32 сума запланованих до розміщення ONT з урахуванням резерву (10 – для компенсації можливих помилок висхідних даних та перспективи підімкнення в подальшому раніше охоплених будівель):

$$K_{мвнжд} = \frac{OKPBBEPX(K_{соно} + K_{СМП} + 10)}{32} + K_{KK} * 2 + 1 \text{ (резерв)}.$$

За розрахунку кількості магістральних волокон $K_{мвxxx}$ належить враховувати коефіцієнти поділу сплітерів, встановлюваних в ОРШ та ОРК.

Формування кластера. Для формування кластера використовується адаптивна процедура з оберненим контролем, в якій відстежується загальна кількість задіяних волокон, що потрапляють до кожного кластеру:

$$K_k = K_{мвокн} + K_{мвнжд} + K_{мвбд} + K_{мвfttb} + K_{мвштк}.$$

Також розраховується загальна кількість вільних волокон у кореновому кабелі кластера:

$$K_{св} = 91 - K_{мвxxx}.$$

Заповнення кластера будинками здійснюється послідовно – за критерієм досягнення належного резерву вільних волокон у кореновому кабелі, що складає від 17 до

22. Після цього здійснюється заповнення наступного за номером кластера. Кластери нумеруються послідовно, розпочинаючи з одиниці.

Побудова кластерного дерева. Перед побудовою кластерного дерева має бути визначена кількість волокон магістрального кабелю $K_{мвxxx}$ для кожної будівлі кластера с урахуванням резервних волокон.

Побудова кластерного дерева здійснюється послідовно, розпочинаючи з найбільш віддалених – за кабельною каналізацією – будівель. Вибір ємності кабелю для підімкнення кожної будівлі здійснюється з заданого списку номіналів (табл. 1) з урахуванням необхідної кількості магістральних волокон, що надходять до ОРШ, та резерву – не менше 2-х волокон.

Табл. 1. Прийнятні до застосування типи магістральних ВОК

N, номінал кабелю	1	2	3	4	5	6
Кількість волокон	8	12	24	48	96	144

Об'єднання кабелів для підімкнення будівель здійснюється у розгалужувальних муфтах, з кількістю відгалужень, необхідною для підімкнення транзитних кабелів до сусідніх муфт. Ємність транзитних та відгалужувальних кабелів обирається з списку номіналів у табл. 1.

Обирається прийнятний кабель з найменшою ємністю. Даний кабель графічно прокладається до кластерної муфти за трасою каналізації. Якщо на відповідних ділянках траси кількість кабелів перевищує 3, у найближчому колодязі розташовується перша об'єднувальна муфта. Зображення подальшої ділянки траси редагується – з урахуванням використання проміжного кабелю. Ємність проміжного кабелю обирається з табл. 1, при цьому вона має дорівнювати сумі волокон об'єднувальних кабелів, якщо об'єднуються транзитні кабелі та один розгалужувальний кабель.

Надалі процедура повторюється – якщо за трасою каналізації до кластерної

муфти знаходяться більше 3-х кабелів (відгалужувальних чи об'єднувальних), вони знов об'єднуються у муфті й т.д. Для розрахунку ємності об'єднувального (транзитного) кабелю використовується табл. 1, кількість волокон визначається аналогічно.

Для розрахунку бюджету втрат кожної оптичної лінії(віти) повні втрати на лінії подаються у вигляді суми загасань на усіх її складниках [2]:

$$A_{\Sigma} = (l_1 + \dots + l_n)\alpha + N_p A_p + N_z A_z + (A_{POZ_1} + \dots + A_{POZ_m}), \text{ дБ.}$$

Перший доданок цієї суми надає сумарні втрати в оптичному кабелі, другий – втрати в роз'ємах, третій – втрати на

зварках, четвертий – втрати в розгалужувачах.

Саме цей вираз постає як критерій оптимальності за розв'язання задачі мінімізації енергетичного бюджету згасання/втрат оптичного сигналу.

Шуканими геометричними параметрами мережі доступу GPON є довжини l_i ділянок/віт i мережі.

Програма обліку й адміністрування мережі телекомунікацій оператора. Програма **CrossProject** дозволяє створювати, зберігати та редагувати **базу даних телекомунікаційних об'єктів** (у вигляді файлів Excel), переглядати існуючі траси та формувати нові (рис. 3-4).

Трасса:	Трасса линии ADSL + 243905		
Имя файла:	\\server\Files\Трассы\243905.trace		
Составлена:	EducatedFool 02.06.2010 14:53:42		
Металлургов 12 - станционная			
1	4 хом. 1 пл. 1 порт	12 порт LG - 243905	ATC LG Metallургов 12 порты 11-20
2	3 хом. 1 пл. 9 порт	8 порт POTS - 243905	ZTE ZXDSL 826 POTS 1-12
3	3 хом. 0 пл. 7 порт	8 порт ADSL - 243905	ZTE ZXDSL 826 ADSL 1-12
4	3 хом. 27 пл. 4 порт	ADSL + 243905	50 пар на чердак Metallургов 12
Металлургов 12 на чердаке			
5	2 хом. 1 пл. 4 порт	ADSL + 243905	к1 50 пар в офис
6	1 хом. 0 пл. 8 порт	ADSL + 243905	к3 20 пар на Чекистов 25
Чекистов 25			
7	1 хом. 0 пл. 8 порт	ADSL + 243905	к4 20 пар на чердак Metallургов 12
8	1 хом. 4 пл. 0 порт	ADSL + 243905	к2 10 пар на Радищева 23 (кабель 2)
Радищева 23			
9	1 хом. 3 пл. 0 порт	ADSL + 243905	10 пар на Чекистов 25 (кабель 2)
10	1 хом. 1 пл. 8 порт	ADSL + 243905	20 пар на Радищева 27 (кабель № 2)
Радищева 27			
11	1 хом. 8 пл. 8 порт	ADSL + 243905	20 пар на Радищева 23
12	1 хом. 3 пл. 6 порт	ADSL + 243905	20 пар на Отель
Отель			
13	1 хом. 3 пл. 6 порт	ADSL + 243905	20 пар на Радищева 27
14	Кабель 9 - синяя пара	ADSL + 243905	к9 Отель оф 46

Рис. 3. Скріншот програми CrossProject. Траса магістральних волокон кластера

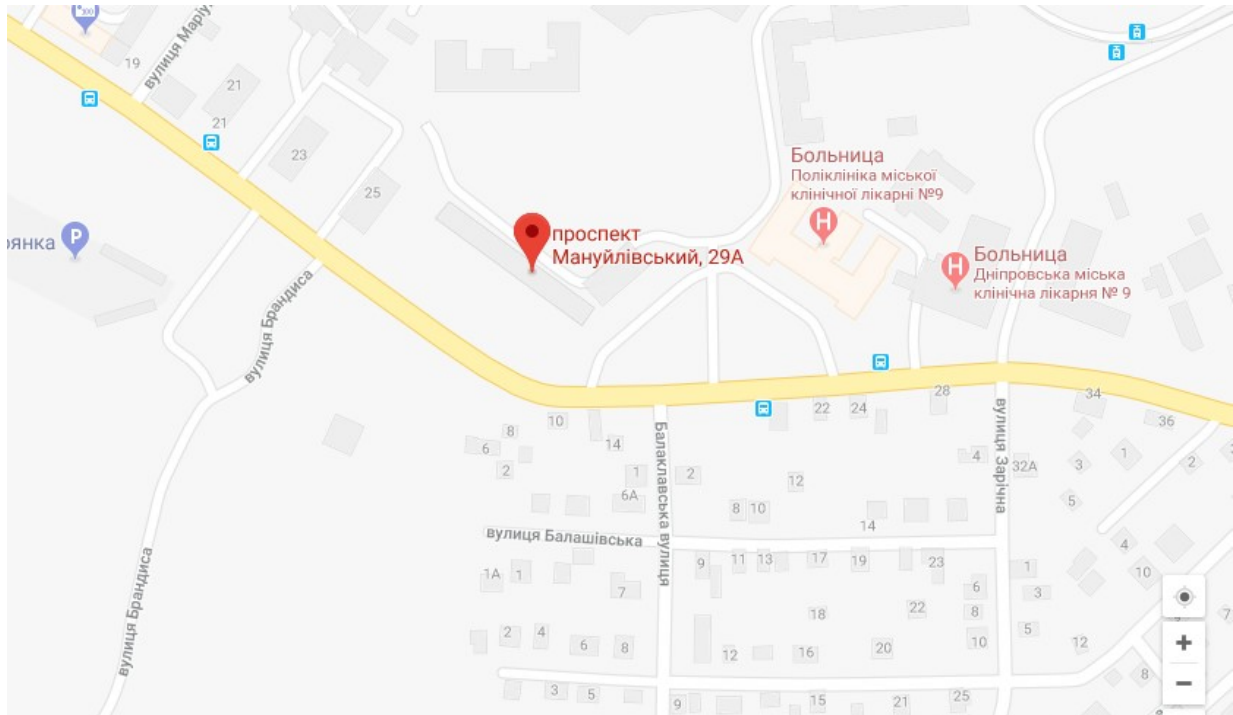


Рис. 4. Кластер «Комунальний заклад «Дніпровська міська клінічна лікарня №1» Дніпровської міської ради»

Особливість програми – можливість обліку й адміністрування телекомунікаційних об'єктів інноваційних технологій, зокрема застосування для оптичної кабельної мережі, при цьому підтримуються різні типи обладнання, кабелів, муфт тощо. Усі використовувані дані зберігаються на сервері, сама ж програма (у вигляді надбудови XLA для Microsoft Excel) запускається на комп'ютерах користувачів. Реалізовано гнучке розмежування прав доступу за 9-ма рівнями, завантаження з сайту оновлень програми.

Програма має модульну архітектуру й містить, зокрема, такі модулі для розширення свого функціоналу: завантаження та вивантаження до/з білінгової системи кросувальних даних, реєстрація ONT-терміналів та отримання статистики їхньої роботи, швидка перевірка доступності окремих вузлів мережі.

Оператори широко запроваджують електронні бази даних(БД) з обліку та адміністрування мереж телекомунікацій. Та-

кі БД надають можливість створення мап, топографічних планів з відображенням топології мережі та кабельної каналізації, їхніх параметрів, а також редагування та відображення необхідних шарів та фрагментів мапи з їхнім наступним документуванням. У таких БД можуть бути реалізовані автоматичні розрахунки маршрутів прокладання проєктованих кабелів з урахуванням усіх технічних можливостей та обмежень, завантаженості тощо для досягнення мінімальних довжин маршрутів.

Висновки і перспективи досліджень

Запропонований метод оптимізації геометричних параметрів топології та покриття оптичних мереж доступу GPON може бути ефективно використаний при плануванні мережі доступу медичної інформаційної системи eHealth регіонального рівня/великого міста. Подальші дослідження спрямовані на реалізацію функціонала наступних стадій eHealth.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бунь Р.А., Качмар В.О., Хвищун А.І. Принципи формування єдиної медичної інформаційної системи великого міста. *Луган. інформ. вісн.* 2008. №1. С. 192-194.
2. Пасивні оптичні мережі доступу (xPON). Навчальний посібник / під редакцією Катка В.Б. 2016. URL: http://shron.chtyvo.org.ua/Odnoroh_PM/Pasyvni_opychni_merezhi_xPON.pdf (дата звернення 11.12.2018).
3. Кулик Ю.А., Смидович Л.С., Калмыков А.В. Структура базы данных прокладки кабельных каналов в пассивной оптической сети. Сьома міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». Полтава-Баку-Кіровоград-Харків, 20-21 квітня 2017р. С. 31.

Valery BONDARENKO, Nazar ANTIPOV
Dnipro

GEOMETRIC MODEL OF TOPOLOGY AND NETWORK COVERAGE GPON OF THE EHEALTH SYSTEM IN DNEPR

A geometric model of the topology and coverage of the telecommunication access network of the regional eHealth system (Dnepr) using the GPON technology was developed, on the basis of which a method of parametric optimization of the access network was proposed according to the criteria for minimizing the loss of the energy budget of the optical signal attenuation / loss on a full connect the fiber to the active equipment OLT to the most remote ONU.

Keywords: eHealth, medical information system (MIS), topology, coating, GPON, OLT, ONU, fiber optic cable, energy loss, energy budget extinction, parametric optimization.

Валерій БОНДАРЕНКО, Назар АНТИПОВ
Днепр

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОПОЛОГИИ И ПОКРЫТИЯ СЕТИ GPON СИСТЕМЫ EHEALTH Г. ДНЕПР

Разработана геометрическая модель топологии и покрытия телекоммуникационной сети доступа региональной системы eHealth(г.Днепр) по технологии GPON, на основе которой предложен метод параметрической оптимизации сети доступа по критериям минимизации потерь энергетического бюджета затухания/потерь оптического сигнала на полной оптической линии – от точки подключения волокна к активному оборудованию OLT до наиболее удалённого ONU.

Ключевые слова: eHealth, медицинская информационная система (МИС), топология, покрытие, GPON, OLT, ONU, оптоволоконный кабель, энергетические потери, энергетический бюджет угасания, параметрическая оптимизация.

Стаття надійшла до редколегії 01.04.2019