

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

**«Проектування оптичної лінії зв'язку
на ділянці Суми-Глухів»**

Завідувач кафедрою

Опанасюк А. С.

Керівник

кваліфікаційної роботи

Зубань Ю. О.

Виконав студент

гр. ТК – 71

Новгородцев І. Я.

Суми 2021 р.

Сумський державний університет

Факультет ЕІТ

Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»

Спеціальність 6.172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Затверджую:

Зав.кафедрою Е і КТ

Опанасюк А. С.

„_____” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Новгородцеву Івану Ярославовичу

Тема роботи: «Проектування оптичної лінії зв'язку на ділянці Суми - Глухів»

1. Затверджена наказом по університету від 05.04. 2021 р. № 0154-VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 30.05. 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- максимальна довжина траси - до 200 км;
- передача інформації на базі оптичного кабелю;
- технологія передачі SDH;
- кількість типів каналів передачі – 7.
- основний спосіб прокладки кабелю – прокладка у ґрунт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз волоконно-оптичної системи передачі;
- проектування та монтаж волоконно-оптичної магістралі;
- розрахунок та вибір елементів каналу зв'язку;
- будівельно-монтажні процеси прокладки кабелю.

5. Перелік графічного матеріалу:

слайди за тематикою кваліфікаційної роботи.

Дата видачі завдання: 15.03.2021 р.

Прийняв до виконання студент:

Новгородцев І. Я.

Календарний план

№ п/п	Перелік етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітки
1	Аналіз волоконно-оптичної системи передачі	20.03.2021 р.	
2	Проектування та монтаж волоконно-оптичної магістралі	10.04.2021 р.	
3	Розрахунок та вибір елементів каналу зв'язку	15.04.2021 р.	
4	Характеристика кінцевих пунктів зв'язку	20.04.2021 р.	
5	Вибір системи передачі та кабелю	28.04.2021 р.	
6	Розробка слайдів на презентацію	15.05.2021 р.	
7	Представлення роботи на рецензування	28.05.2021 р.	
8	Представлення роботи для захисту	30.05.2021 р.	

Керівник кваліфікаційної роботи:

Зубань Ю. О.

Студент дипломник:

Новгородцев І. Я.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 53 сторінки, 15 рисунків, 6 таблиць та 12 літературних джерел.

Зміст пояснювальної записки, складається із п'яти розділів.

У першому розділі, проведений аналіз волоконно-оптичної системи передачі та цифрових систем передачі.

У другому розділі розглянуті проміжні станції оптичної лінії зв'язку.

У третьому розділі, обрано маршрут прокладання оптичного кабелю між кінцевими пунктами Суми-Глухів,

У четвертому розділі, була розрахована проєктована траса.

У п'ятому розділі описані будівельно-монтажні процеси під час прокладання волоконно-оптичної лінії зв'язку.

За результатами проєктування, зроблені висновки.

Приведений перелік літературних джерел.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 АНАЛІЗ ВОЛОКОННО - ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ	5
1.1 Основні та конструктивні особливості оптичного кабелю	5
1.2 Цифрові системи передачі інформації	11
2 ПРОМІЖНІ СТАНЦІЇ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ	14
2.1 Повторювачі і оптичні підсилювачі	14
3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОНТАЖ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ МАГІСТРАЛІ	17
3.1 Особливості проектування та монтажу волоконно-оптичного зв'язку	17
3.2 Характеристика кінцевих пунктів	18
3.3 Вибір та характеристика траси лінії передачі	21
4 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ	24
4.1 Розрахунок числа каналів зв'язку на магістралі	24
4.2 Вибір системи передачі та кабелю	26
4.3 Розрахунок числової апертури і нормованої частоти	31
5 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЮ	37
5.1 Прокладання волоконно-оптичного кабелю зв'язку	37
5.2 Монтаж оптичних кабелів	48
Висновки	52
Література	53
Додатки	

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Проектування оптичної лінії зв'язку на ділянці Суми - Глухів. Пояснювальна записка.	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Новгородцев						
Проверил		Зубань					3	53
Реценз.						СумДУ, ТК –71		
Н. Контр.		Зубань						
Утверд.		Опанасюк						

Вступ

У сучасному інформаційному світі обсяг переданої інформації постійно збільшується, відповідно, постає завдання передачі великої кількості інформації з максимальною швидкістю і високим ступенем достовірності на великі відстані і її обробка. Провідна роль у вирішенні цього завдання належить волоконно-оптичним лініям передачі (ВОЛП), які за своїми технічними характеристиками перевершують всі існуючі системи передачі інформації.

Направляючою системою ВОЛП є волоконно-оптичні кабелі, які мають ряд істотних переваг в порівнянні зі звичайними мідними кабелями:

- велика смуга частот дозволяє забезпечити велику кількість каналів і, відповідно, більшу пропускну здатність;
- мала металоємність, відсутність дефіцитних і дорогих матеріалів в кабелі, основною сировиною для виробництва якого є двоокис кремнію SiO₂;
- висока перешкодозахищеність до зовнішніх впливів;
- малі габарити і маса, що спрощує прокладку кабелю;
- мале значення коефіцієнта загасання в широкій смузі частот, що дозволяє забезпечити більшу довжину регенераційних ділянок;
- відсутність у кабелі коротких замикань;
- велика будівельна довжина зумовлює велику дальність зв'язку.

За перевагами, волоконно-оптичні лінії передачі майже повністю витіснили кабелі інших типів з ринку зв'язку, і в даний час переважна більшість всіх кабелів, які прокладаються доводиться на оптичні кабелі. [1]

Техніко-економічний аналіз показав, що в перспективі при масовому виробництві ОК, вони будуть конкурувати з електричними при передачі інформації великої ємності (великі пучки) і на великі відстані.

У першу чергу, вони використовуються для прокладки з'єднувальних ліній між АТС і в пригородах, де вони замінюють кабелі з мідними жилами. Застосовуються ОК також, для передачі широкосмугової інформації (телебачення, передачі даних, відеотелефон) по місцевих мережах зв'язку.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 АНАЛІЗ ВОЛОКОННО - ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ

1.1 Основні та конструктивні особливості оптичного кабелю

Найвищою пропускною спроможністю серед усіх існуючих засобів зв'язку має оптичне волокно (діелектричні хвилеводи). Волоконно-оптичні кабелі застосовуються для створення ВОЛЗ - волоконно-оптичних ліній зв'язку, здатних забезпечити найвищу швидкість передачі інформації (в залежності від типу використовуваного активного обладнання швидкість передачі може складати десятки гігабайт і навіть терабайт в секунду).

Кварцове скло, яке є несучим середовищем ВОЛЗ, крім унікальних пропускних характеристик, має ще одну цінну властивість - малі втрати і нечутливість до електромагнітних полів. Це вигідно відрізняє його від звичайних мідних кабельних систем.

Застосування ВОЛЗ дозволяє локально об'єднати робочі місця, забезпечити високу швидкість завантаження Інтернету одночасно на всіх машинах, якісний телефонний зв'язок і телевізійний прийом.

На відміну від звичайних кабелів, які мають електричну провідність і струм провідності, ОК мають зовсім інший механізм - вони мають струми зміщення, на основі яких діє також радіопередача. Відмінність від радіопередачі полягає в тому, що хвиля не поширюється у вільному просторі, а концентрується у самому світловоді і передається по ньому у заданому напрямку.

Передача хвилі по світловоду здійснюється за рахунок відображень її від кордону серцевини і оболонки, що мають різні показники заломлення (n_1 і n_2). У звичайних кабелях носієм інформації, що передається є електричний струм, а в ОК - лазерний промінь.

Передача по хвилеводним системам (світловодах, хвилеводах та інших НС) можлива лише у діапазоні дуже високих частот, коли довжина хвилі менша, ніж поперечні розміри - діаметр НС. Оптиковолоконний кабель має виняткові характеристики по перешкодозахищеності й таємності переданої інформації. Ніякі зовнішні електромагнітні перешкоди в принципі не здатні спотворити

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

світловий сигнал, а сам сигнал не породжує зовнішніх електромагнітних випромінювань.[1]

Підключитися до цього типу кабелю для несанкціонованого прослуховування мережі практично неможливо, тому що при цьому порушується цілісність кабелю. Теоретично можлива смуга пропускання такого кабелю досягає величини 10^{12} Гц, тобто **1000 ГГц**, що незрівнянно вище, ніж в електричних кабелів. Вартість оптоволоконного кабелю постійно знижується й зараз приблизно дорівнює вартості тонкого коаксіального кабелю. Типова величина **загасання сигналу** в оптоволоконних кабелях на частотах, що використовуються у локальних мережах, становить **від 5 до 20 дБ/км**, що приблизно відповідає показникам електричних кабелів на низьких частотах.

Але у випадку оптоволоконного кабелю при рості частоти переданого сигналу загасання збільшується дуже незначно, і на більших частотах (особливо понад 200 МГц) його перевагу перед електричним кабелем незаперечні, у нього просто немає конкурентів.

1.1.1 Основні компоненти оптичного кабелю. Зовнішній вигляд оптичного кабелю наведений на рис. 1. Оптичні волокна перед їх використанням мають бути покриті захисною оболонкою. Кабельна оболонка — зовнішня захисна структура, що оточує одне або більше волокон. За призначенням оболонка схожа з ізоляцією, що застосовується в мідних кабелях.

Кабельна оболонка захищає мідні провідники і волокна від зовнішніх агресивних і механічних впливів, здатних призвести до ушкоджень або погіршення їхніх характеристик. У порівнянні з мідними кабелями, діелектричні волокна не вимагають додаткових видів захисту від електричних розрядів, замикань і полум'я.

Для будь-якого кабелю важливими характеристиками є межа його міцності на розрив, твердість, термін служби, гнучкість, захищеність від зовнішніх впливів, діапазон робочих температур і, навіть, зовнішній вигляд.

Оцінка цих характеристик залежить від конкретного застосування. Зовнішній телефонний кабель знаходиться в екстремальних умовах. Він

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

протистоїть мінливим температурним умовам, налипанню льоду, сильному вітрові і гризунам, що ушкоджують його при підземному прокладанні.

Очевидно, що він має бути міцніше від кабелю, що з'єднує устаткування всередині телефонного вузла і, що працює в контрольованих умовах. Кабель, що прокладається під килимом в офісі, по якому ходять люди, рухають крісла, має витримувати додаткове навантаження в порівнянні з кабелем всередині стін того ж офісу. Конструкція кабелів може бути досить різноманітною, але **загальними** є такі компоненти: оптичне волокно, буферна оболонка, силовий елемент, зовнішня оболонка. [8]

Буферна оболонка. Найпростіший вид буфера являє собою пластикову оболонку, розташовану поверх оптичної оболонки. Такий буфер є частиною волокна і наноситься виробниками. Додатковий буфер теж наноситься виробниками кабелів.

Існує два види кабельних буферів: пустотілий і щільний.

Пустотілий буфер використовує тверду пластикову трубку з внутрішнім діаметром, що у декілька разів перевищує діаметр волокна. Одне або кілька волокон укладаються в цій трубці. Буферна трубка ізолює волокно від іншої частини кабелю і від механічних впливів. Таким чином, буферна трубка стає елементом, що приймає на себе навантаження. Якщо кабель розширюється або стискається при зміні температури, це не робить помітного впливу на волокно.

Волокно має нижче значення коефіцієнта теплового розширення в порівнянні з іншими кабельними компонентами, що призводить до меншого його розширення або стискання при зміні температури. Звичайно передбачається деякий надлишок довжини волокна в порівнянні з довжиною трубки, так що кабель може вільно розширюватися, не впливаючи при цьому на волокно.

Силова оболонка. Силові елементи підвищують механічну міцність кабелю. В ході і після прокладання, силові елементи приймають на себе розтягуючи напруги, захищаючи від них волокно. Найбільш розповсюдженими силовими елементами є кевларова нитка, сталеві і епоксидні стрижні. Кевлар

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

використовується тоді, коли кожне волокно міститься всередині індивідуальної оболонки (рис. 1). Сталеві нитки і скловолокна застосовуються в багатожилевих кабелях. Сталь характеризується кращою механічною стійкістю у порівнянні зі скловолокном, але в ряді випадків необхідним є виготовлення цілком діелектричних кабелів. Сталь, наприклад, притягує розряди блискавки, а скло врятоване від цього недоліку.

Зовнішня оболонка. Зовнішня оболонка, подібно ізоляції проводу, забезпечує захист від механічного тертя, мастил, озону, кислот, розчинників тощо. Вибір матеріалу зовнішньої оболонки залежить від ступеня необхідного захисту і вартості. Коли кабель має декілька оболонок і захисних елементів, зовнішній шар часто називається екраном. Тоді зовнішня оболонка захищає волокно безпосередньо, а екран стає додатковим шаром. Ця термінологія є сталою в телефонній індустрії.

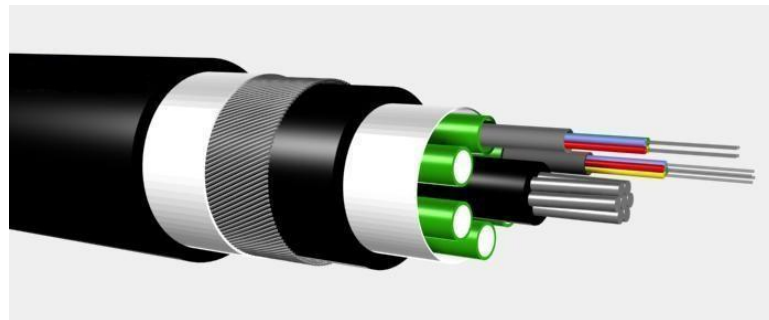


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд оптичного кабелю

Розрізняють одномодове і багатомодове волокно. Одномодове волокно (*SM*) найпоширеніших розмірів, буває: 8/125 і 9/125 мкм (це означає, що діаметр серцевини — 8 мкм, діаметр волокна — 125 мкм). Багатомодове (БМ) найпоширеніших розмірів, буває: 50/125 і 62/125 мкм.

Одномодове волокно дешевше за багатомодове, дозволяє передавати оптичний імпульс на великі відстані, з меншим розходженням сигналу на виході, але в той же час прямопередавальне устаткування для нього значно дорожче. Існує також багатомодове волокно з градієнтним профілем у якого зменшені ці недоліки. Найкращими параметрами по пропускній здатності і дальності мають

одномодові волокна. У **ступеневих** світловодів показник заломлення в сердцевині постійний, є різкий перехід від n_1 сердцевини до n_2 оболонки і промені зигзагоподібно відбиваються від кордону «сердечник-оболонка». **Градiєнтні** світловоди мають безперервний потік, плавну зміну показника заломлення в сердцевині по радіусу світловоду від центру до периферії, і промені поширюються по хвилеподібних траєкторіях.

Багатомодовий або **мультимодовий** кабель, більш дешевий, але менш якісний. **Одномодовий** кабель, більше дорогий, але має кращі характеристики в порівнянні з першим. Суть розходження між цими двома типами зводиться до різних режимів проходження світлових променів у кабелі. [1]

1.1.2 Методики з'єднання оптичних кабелів. Для монтажу ВОЛЗ використовуються різні види сполучних механізмів. Вони діляться на два типи:

роз'ємні; нероз'ємні.

Монтаж оптики рознімного типу здійснюється за допомогою спеціальних конекторів. Це вимагає додаткових витрат на їх придбання. А в процесі експлуатації спостерігається збільшення оптичних втрат, якщо з'єднувачів занадто багато.

Найбільш прийнятним варіантом нарощування кабелів фахівці вважають нероз'ємне з'єднання. Для нього використовуються механічні з'єднувачі, а також методи склеювання і зварювання. Ці процеси досить трудомісткі і вимагають спеціального обладнання і практичних навичок, але підсумком є повна відсутність втрат швидкості передачі і монолітне з'єднання кабелів.

Вибір певної технології залежить від призначення лінії і умов, в яких вона буде функціонувати. Технологія склеювання оптичного кабелю проходить в кілька етапів. Для цього використовується спеціальне обладнання та інструменти. Першою операцією є зачистка кінців кабелю від захисного і гідрофобного покриття. Потім ділянки кабелів поміщаються в конектор, в спеціальний отвір якого дозатором або шприцом вводиться клей на основі епоксиду. Сушка проводиться в виробничій печі, де температура нагріву досягає 100 градусів за Цельсієм.

					ЕЛТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Витримавши певний час до застигання клейового шару, кабель піддається очищенню від надлишку клею. Потім під мікроскопом фахівці проводять шліфувальні та полірувальні роботи. Дана операція може виконуватися руками фахівців або з використанням полірувальної машинки. [4]

Щоб отримати максимально якісне з'єднання, особливо при необхідності отримання ВОЛЗ з високою швидкістю проходження, застосовується зварювання волокон. Технологія передбачає зварювання кінців різними методами:

- газовим пальником;
- електричним зарядом;
- з використанням лазерного випромінювання.

Зварювання оптики лазерним методом гарантує відсутність домішок і високий швидкісний показник при проходженні пучка без втрати якості сигналу. Для зварювання оптичних волокон багатомодового типу, найчастіше застосовують газовий пальник.

До найпоширеніших методів відноситься електрозварювання. Апарати для зварювання можуть працювати в напівавтоматичному або автоматичному режимі. Швидкість операції залежить від типу волокна. Апарати самі пристосовуються під роботу з певним волокном. З метою контролю якості з'єднання, сучасне зварювальне обладнання оснащується програмами для тестування. В обмежених за площею приміщеннях, часто застосовують ручне з'єднання кабелю. Його можна зробити на монтажному столі. З'єднувальним інструментом є слайс. Це - невелике пристосування, в якому є канали введення і фіксації волокна.

1.1.3 Особливості використання муфт. Після проведення операції з'єднання кабелю, місце з'єднання захищається спеціальної муфтою. Монтаж муфти ВОЛЗ - найбільш частий прийом при ремонтно-відновлювальних роботах на лінії. Перевагою установки муфт є можливість їх багаторазового використання, а також забезпечення високого рівня захисту та герметизації з'єданого кабелю. Монтаж муфти ВОЛЗ здійснюється в умовах спеціалізованих лабораторій, де дотримується температурний режим і гарантується точність

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

проведення робіт. З огляду на цю особливість проведення сполучних робіт, по обидва боки від муфти залишається технологічний запас кабелю не менше 1,5 метрів.

Муфта являє собою короб з отворами для введення кабелю. Також передбачається можливість при необхідності підключити обладнання по контролю роботи і вимірювання рівня сигналу на лінії.

Найбільш часто використовуваними є муфти тупикової конструкції. У них можна завести три і більше оптичних волокна. Важливою характеристикою муфти в процесі експлуатації є можливість розтину короба при проведенні ремонту на лінії, а після закінчення робіт надійне і герметичне закриття кришки приладу.

При прокладенні волоконно-оптичні лінії зв'язку у ґрунті, над муфтами встановлюються електронні маркери, що дозволяють швидко знайти місце з'єднання кабелю і зробити необхідні ремонтні роботи.

1.2 Цифрові системи передачі інформації

Як і в аналогових системах, на передавачі цифрових систем надходить низькочастотний аналоговий аудіо- та відео сигнал, або цифрові дані, які перетворюються в оптичний сигнал. Приймач отримує оптичний сигнал і видає електричний сигнал вихідного формату. Різниця полягає в тому, як сигнали обробляються і передаються від передавача до приймача.

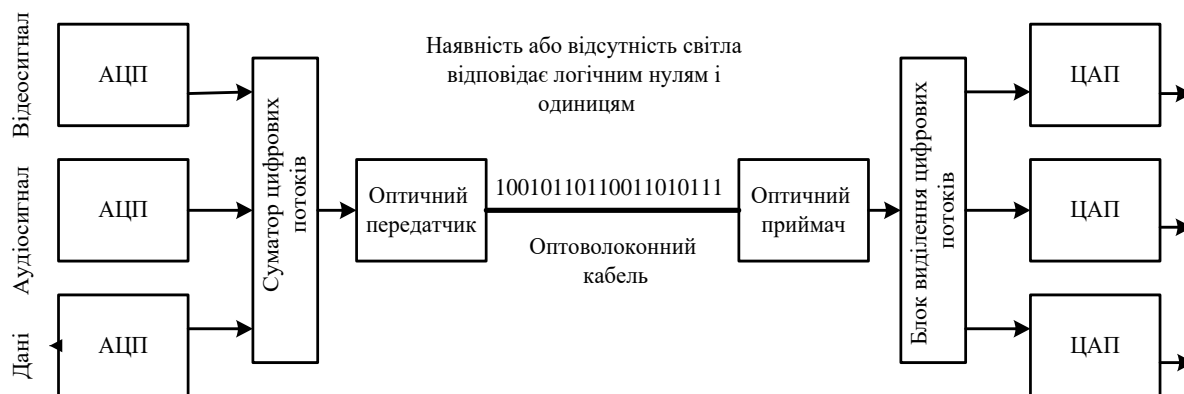


Рисунок 2 - Цифрова система передачі аналогового сигналу

						Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	

У чисто цифрових системах (рис. 2) вхідний низькочастотний сигнал, відразу надходить на аналого-цифровий перетворювач, який входить до складу передавача. Там сигнал перетвориться в послідовність логічних рівнів - нулів і одиниць, яка називається цифровим потоком. [3]

Якщо передавач багатоканальний, тобто розрахований на роботу з декількома сигналами, то кілька цифрових потоків об'єднуються в один, і він управляє включенням і вимиканням одного випромінювача, яке відбувається з дуже високою частотою.

На приймальному кінці відбувається зворотне перетворення сигналу. З комбінованого цифрового потоку виділяються індивідуальні потоки, відповідні окремим переданим сигналам. Вони надходять на цифро-аналогові перетворювачі, після чого видаються на виходи в вихідному форматі (рис. 2).

Чисто цифрова передача сигналу має масу переваг над традиційними АМ- і ЧС - системами - від універсальності і більш якісного сигналу до меншої вартості монтажу. Розглянемо деякі з переваг більш детально і попутно обговоримо вигідні як для установника систем, так і для їх користувача, економічні показники.

Точність передачі сигналу. В аналогових системах з амплітудною модуляцією сигнал втрачає якість пропорційно шляху, пройденого по оптоволокну. Цей факт у поєднанні з тим, що АМ-системи, працюють тільки з багатомодовими світловодами, а це обмежує застосування таких систем порівняно невеликими відстанями передачі. ЧС-системи, працюють трохи краще. В них якість сигналу хоча і знижується, але в не дуже довгих лініях залишається приблизно постійним, різко знижуючись лише при досягненні певної граничної довжини. Тільки в повністю цифрових системах гарантується збереження якості сигналу при передачі по оптоволоконній лінії зв'язку незалежно від відстані між передавачем і приймачем і кількості переданих каналів.

В аналогових системах з амплітудною модуляцією, сигнал втрачає якість пропорційно шляху, пройденого по оптоволокну. Цей факт у поєднанні з тим, що

					ЕлІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

АМ-системи працюють тільки з багатомодовими світловодами, обмежує застосування таких систем порівняно невеликими відстанями передачі

Точність відтворення сигналу, що передається, представляє значну проблему при розробці систем для організації декількох каналів передачі по одному оптоволокну (мультиплексорів). Наприклад, в аналоговій системі, розрахованої на передачу чотирьох каналів відео-або аудіо сигналу, для того, щоб укластися в смугу пропускання системи, доводиться обмежувати смугу, відведену окремим каналам. У цифрових системах не доводиться йти на такий компроміс: по одному світловоду можна передавати один, чотири і навіть десять сигналів без зниження якості.

Перевага, що надається цифровими системами, очевидна. У них сигнал може бути переданий на відстані, які значно перевершують можливості АМ- і ЧС- систем, при цьому розробник може бути впевнений, що прийнятий сигнал точно збігається з переданим і відповідає вимогам технічного завдання.

Перевага особливо добре помітна там, де треба одночасно передавати сигнали різних типів, наприклад, відео та звук, або звук і дані. Без особливих проблем інженери зможуть сконструювати цифрову систему з прийнятною вартістю, в якій по одному оптоволокну будуть передаватися сигнали різних типів, наприклад, два канали відео і чотири канали звуку. При використанні аналогових технологій, швидше за все, довелося б робити дві окремі системи, або, як мінімум, використовувати два роздільних кабелі для передачі аудіо- та відеосигналів. [3]

Передавачі і приймачі для цифрових систем коштують дешевше, витрата кабелю менше, експлуатаційні витрати нижче. Цифрові оптоволоконні системи забезпечують очевидні економічні переваги на всіх рівнях.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

2 ПРОМІЖНІ СТАНЦІЇ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

Для збільшення дальності зв'язку через певні відстані вздовж лінії встановлюються проміжні станції (**регенератори**), що відновлюють форму сигналу і компенсують загасання (послаблення) в лінії. В сучасних ВОСП у регенераторі проводиться обробка (підсилення, корекція, регенерація) електричного сигналу.

Тому на проміжній станції оптичний сигнал на вході перетворюється в електричний, зворотне перетворення відбувається на виході. Ці перетворення здійснюються в ПрОМ та ПОМ відповідно. Проводяться розробки оптичних регенераторів на основі лазерних підсилювачів та оптотранзисторів, в яких будуть відсутні проміжні перетворення оптичних сигналів в електричні та навпаки. На приймальній прикінцевій станції Б здійснюються перетворення оптичного сигналу в електричний, його регенерація, підсилення, відновлення до вигляду первинного сигналу на вході кінцевої станції А.

2.1 Повторювачі і оптичні підсилювачі

У міру поширення оптичного сигналу відбувається його ослаблення, а також розширення імпульсів через дисперсії. Будь-який з цих факторів може виявитися причиною обмеження максимальної довжини без ретрансляційної ділянки волоконно-оптичного сегмента. Якщо ж максимальна допустима довжина між приймачем і передавачем перевищена, то необхідно у проміжних точках лінії зв'язку додавати один або кілька ретрансляторів.

У загальному випадку ретранслятор виконує функцію посилення оптичного сигналу і додатково (при цифровій передачі) може відновлювати форму імпульсів, зменшувати рівень шумів і усувати помилки - такий ретранслятор **називається регенератором**. За методом посилення оптичного сигналу ретранслятори поділяються на дві категорії: повторювачі і оптичні підсилювачі.

2.1.1 Повторювачі. Повторювач (електронно-оптичний повторювач) спочатку перетворює оптичний сигнал в електричну форму, посилює, коригує, а потім перетворює назад в оптичний сигнал (рис.3).

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Повторювач, поряд з функцією посилення, виконує функцію регенерації сигналу, властиву цифровому оптичному приймачу. Блок регенерації відновлює прямокутну форму імпульсів, усуває шум, регенерує передачу так, щоб вихідні імпульси потрапляли до відповідних тайм-слотів.

У мережах телекомунікацій, навіть з використанням оптичних підсилювачів, які відновлюють амплітуду сигналу, накопичуються спотворення і відхилення відносної затримки сигналів синхронізації втрати. Тому, як правило, вимагає періодичної регенерації від англ. regeneration (регенерація) - restore для відновлення первісної форми і сигналів синхронізації. Повна регенерація (3R регенерація) передбачає виконання трьох операцій відновлення по відношенню до сигналу відновлення посилення амплітуди, форми реабілітації і відновлення синхронізації. [3]

У сучасних мережах, ці три операції виконуються з використанням оптико-електро-оптичного перетворення (ОЕО). Такі оптичні регенератори називаються **оптичними репітерами** (рис .3).

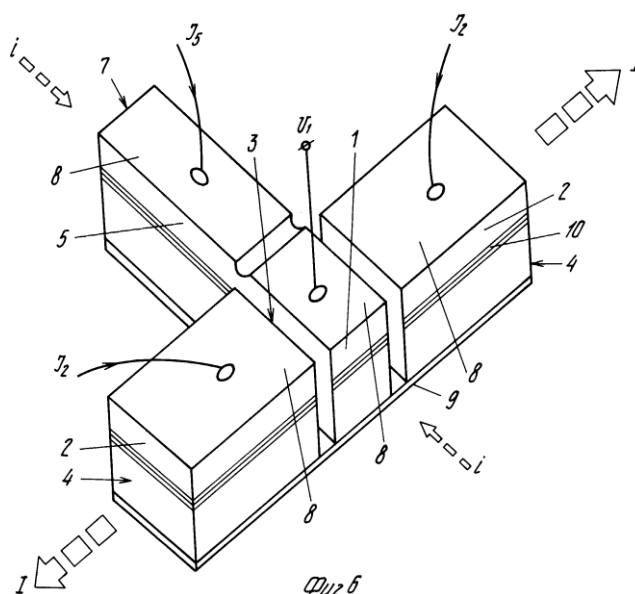


Рисунок 3 - Оптичний регенератор

Репітери перетворюють оптичні сигнали в електричні сигнали, виконують повне відновлення сигналу в електронній формі і додатково передаються у вигляді оптичних сигналів. Оптичні репітери, це досить складні і дорогі

пристрої, оскільки оптичний повторювач складається з оптичного приймача, електричного регенератора і передавача. Щоб знизити вартість ОЕО регенераторів велика кількість оптичних повторювачів об'єднані у фотонну інтегральну схему, що містить оптичний мультиплексор, демультимплексор і електронні перемикачі каналів.

В майбутньому телекомунікаційних мереж передбачається використовувати повністю оптичні регенератори, які виконують операції відновлення сигналу параметрів нелінійно-оптичних методів без перетворення в електричний сигнал.

2.1.2 Оптичні підсилювачі. Оптичний підсилювач не проводить оптоелектронного перетворення, як це робить повторювач або регенератор. Вони підсилюють як вхідний сигнал, так і шум.

Він, використовуючи спеціальні активні середовища і лазери накачування, підсилює оптичний сигнал, завдяки індуційованому випромінюванню. Таким чином, підсилювач наділений функціями відновлення скважності сигналу. Однак, є дві основні причини, які роблять застосування підсилювача кращим.

1. Слід мати на увазі, що якість сигналів, які передаються через оптичне волокно, навіть якщо сегмент протяжний, залишається дуже високим внаслідок малої дисперсії і загасання. Також невеликий рівень внесених шумів через несхильність волокна впливу електромагнітного випромінювання. Тому ретрансляція переданих даних простим посиленням без повної регенерації стає досить ефективною.

2. Оптичний підсилювач є більш універсальним пристроєм, оскільки на відміну від регенератора він не прив'язаний до стандарту сигналу, який передається, або певній частоті модуляції.

На практиці на один регенератор може припадати кілька послідовно розташованих оптичних підсилювачів (до 4-8). Таким чином, ефективність використання оптичних підсилювачів при побудові волоконно-оптичних магістралей великої протяжності дуже висока.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОНТАЖ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ МАГІСТРАЛІ

3.1 Особливості проектування та монтажу волоконно-оптичного зв'язку

Проектування волоконно-оптичних ліній зв'язку є складним і трудомістким процесом, який повинен враховувати цілий ряд особливостей, починаючи від технічної можливості проведення траси і закінчуючи кількістю основного і допоміжного обладнання, яке буде поєднано в рамках мережі.

Процес проектування і розробки лінії зв'язку можна розділити на кілька стадій:

- визначення технічної можливості установки;
- вибір типу кабелю і його довжини;
- проведення технічних розрахунків на предмет виявлення величини коефіцієнта загасання сигналу, і інших важливих показників;
- вибір необхідної апаратури і допоміжних засобів для забезпечення безперебійної роботи мережі та відповідності стандартам передачі інформації;
- проектування і прокладка траси. Монтаж волоконно-оптичних ліній зв'язку може здійснюватися двома способами - навісним (кабель прокладається по повітрю на вже існуючих або нових технічних опорах), або підземним (для цього необхідно виконати спеціальні земельні роботи). Вибір способу прокладки траси залежить від кліматичного поясу, атмосферних умов (ступінь промерзання ґрунту, сонячна або вітрова активність), рельєфу місцевості та інших факторів;
- підготовка необхідної технічної документації із зазначенням кількості точок підключення, різні розгалуження і загальне трасування (так звана структурна схема);
- перелік конкретних технічних і апаратних засобів, задіяних у створенні працездатної лінії зв'язку (стаціонарні термінали, підсилювачі, трансивери, муфти відгалуження та інше обладнання);
- узгодження проекту з замовником та проведення монтажних робіт. [4]

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Одна з головних особливостей установки полягає в тому, що волоконно-оптичний канал зв'язку в рамках проекту може досягати декількох десятків кілометрів, тоді як стандартна довжина проводу істотно менше. Це передбачає наявність з'єднань в рамках однієї лінії зв'язку між сегментами кабелю.

3.2 Характеристика кінцевих пунктів

3.2.1 Характеристика кінцевого пункту Суми. Суми є містом обласного підпорядкування, адміністративним, економічним і культурним центром Сумської області. Територія міста становить 95,386 км² (із заходу на схід - 14,1 км. З півночі на південь - 13,4 км.).

Город Суми знаходиться на березі річки Псел в місці впадання в неї річки Сумки (колишньої Суми). На території міста знаходиться велике озеро Чеха і кілька великих гідрокар'єрів.

Станом на 1.03.2020 р. за оцінкою Головного управління статистики у Сумській області чисельність населення у місті Суми складає 268409 чоловік.

Ділиться на два адміністративних райони - Ковпаківський і Зарічний (поділ здійснено в 1973 році).

Відстань від м Суми до м. Києва - 350 км

Відстань до м Харкова - 200 км

Відстань до кордону з Російською Федерацією - 48 км.

Населення, осіб – 268409.

Молодь до 30 років - 30%.

Населення молодше працездатного віку - 17%.

Пенсіонери - 18%.

Середній вік працездатного населення - 37 років.

Через місто проходять автомобільні дороги Н-07, Н-12, Т-1901, Р-45, Р-61, Р-44 і залізниця, станції Суми, Суми-Товарна, Олдиш і Баси.

На території міста знаходиться велике озеро Чеха і кілька великих гідрокар'єрів.

Через місто проходять автомобільні дороги Н-07, Н-12, Т-1901, Р-45, Р-61, Р-44 і залізниця, станції Суми, Суми-Товарна, Олдиш і Баси.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

У Сумах, в межах міста діє один залізничний вокзал, який приймає курсуючі поїзди далекого прямування і приміські електропоїзди. Залізничний вокзал Суми - є станцією Південної залізниці.

Економіка і промисловість.

Суми - центр обласної, міжрайонної і районної системи розселення; вузол залізничних і автомобільних шляхів, активно функціонує як багатогалузевий промисловий вузол. Основні галузі: машинобудування і металообробка, хімічна і нафтохімічна промисловість; харчова промисловість; легка промисловість; виробництво будівельних матеріалів; конструкцій і деталей; чорна металургія; лісова і деревообробна промисловість. У виробничій сфері ведуть діяльність 2915 підприємств. На цих підприємствах зайнято 96,6 тис. осіб. На 2559 підприємствах малого бізнесу працює 21 тис. чоловік.

У промисловому секторі ведуть діяльність 936 підприємств, серед яких 58 мають статус великих і середніх. Вони забезпечують робочими місцями понад 41,9 тисяч осіб.

Основна продукція, яка випускається: обладнання для нафтогазового комплексу, хімічної промисловості, насоси, прилади, засоби автоматизації, мас-спектрометри, електронні мікроскопи, мінеральні добрива, лакофарбова продукція, гумовотехнічні вироби, будівельні матеріали, меблі, швейні вироби, господарські товари, продовольчі товари народного споживання.

Легка промисловість обласного центру представлена швейним, взуттєвим, суконним, камвольно-прядильним, порцеляновим виробництвами. Розвинена промисловість будівельних матеріалів. [9]

Схемотехнічна карта міста Суми наведена на рис.1 (додаток А).

3.2.2 Характеристика кінцевого пункту Глухів. Глухів - місто в Сумській області України. З 17 липня 2020 року входить до складу Шосткінського району. До цього був центром скасованого Глухівського району. Глухів розташований в історичних областях Сіверщини, Лівобережна Україна, Східне Полісся.

Станом на 1.03.2020 р. за оцінкою Головного управління статистики у Сумській області, чисельність населення у місті Глухів складає 34574 чоловік.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Місто розташоване в північно-східній частині України, в межах найбільш низинної частини Українського Полісся, на відстані 146 км від обласного центру Суми, по обох берегах річки Есмань. Територія міста знаходиться в межах Воронежського кристалічного масиву, на його південно-західному схилі. У зв'язку з цим тут присутні хвилясто-горбисті форми поверхні, складені переважно піщаними і супіщаними льодовиковими відкладеннями.

Висота над рівнем моря становить 160 метрів, центральна частина міста є високий пагорб з крутими схилами. В межах населеного пункту на річці Есмань є кілька великих гребель.

Природну рослинність місцевості становлять лісові, лучні та болотні види. Глухів - одне з найстаріших міст Київської Русі.

В місті розвинені машинобудування, легка, харчова, лісова і деревообробна галузі промисловості. Найбільшими підприємствами міста є завод агрегатних вузлів, завод засобів обчислювальної техніки, «Електропанель», «Глухівський хлібокомбінат», «Глухівський маслосирзавод», «Глухівський м'ясокомбінат», завод «Сател» при науково-дослідному інституті «Сатурн».

У Глухові 5-значні телефонні номери. Основний і єдиний оператор фіксованого зв'язку - ВАТ «Укртелеком». Послуги стільникового зв'язку GSM стандарту тут надають три оператори: Київстар, МТС Україна та life :), CDMA - Інтертелеком.

Через місто проходить одноколійна неелектрифікована лінія Макове - Баничі, на якій розташована залізнична станція «Глухів», підпорядкована Конотопської дирекції південно-західної залізниці. Також від станції Глухів є гілка, що веде до кар'єру в селище Заруцьке.

Автомобільний транспорт. Через Глухів проходить ряд автомобільних доріг, основними з яких є магістралі: Глухів - Курськ Е 38; Глухів - Суми Р-44, яка далі продовжується до Харкова; в 2,5 км від міста проходить автомагістраль Київ - Москва М-02Е 101. Також в місті працює автовокзал «Глухів», з якого відправляються місцеві і через який проходять транзитні автобусні маршрути у напрямках: Суми, Харків, Полтава, Київ, Короп, Курськ, Орел, Шостка, Конотоп,

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Москва та ін. Авіаційний транспорт. На околиці Глухова розташований аеродром, на якому в 2010 році частково відновилися роботи. Зараз на літаку Ан-2 можна здійснювати політ над містом.

У місті діють один з найстаріших на Україні педагогічних вузів - Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка та педагогічний коледж при університеті, а також Глухівський агротехнічний інститут Сумського національного аграрного університету, медичне училище та професійно-технічне училище. [9]

Необхідність будівництва волоконно-оптичної лінії передачі між городами Суми-Глухів пов'язана з тим, що значно розшириться спектр послуг, що надаються зв'язку, таких як: IP-телефонія, інтернет, цифрове телебачення. Послуги будуть доступні для міст, що зв'язують дані пункти. Обидва міста є промисловими, тому зв'язок між ними необхідний, це може покращити економічний стан міст.

3.3 Вибір та характеристика траси лінії передачі

Траса прокладки кабелю визначається розташуванням кінцевих пунктів. Всі вимоги, що враховуються при виборі траси, можна звести до трьох основних:

- мінімальні капітальні витрати на будівництво;
- мінімальні експлуатаційні витрати;
- зручність обслуговування.

Для забезпечення першої вимоги враховують протяжність траси, наявність і складність перетину річок, залізних і шосейних доріг, трубопроводів, характер місцевості, ґрунтів, ґрунтових вод, можливість застосування механізованої прокладки, необхідність захисту споруд зв'язку від електромагнітних впливів та корозії, можливість і умови доставки вантажів на трасу.

Для забезпечення другого і третього вимог враховують житлово-побутові умови та можливість розміщення обслуговуючого персоналу, а також створення відповідних умов для виконання службових обов'язків.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Для дотримання зазначених вимог, траса повинна мати найменшу відстань між заданими пунктами і найменшу кількість перешкод (річок, боліт, кар'єрів, населених пунктів, авто і залізниць), що ускладнюють будівництво. За межами населених пунктів трасу зазвичай вибирають у смузі відведення автомобільних доріг, або вздовж профільованих доріг. Траси проходять по можливості по рівнинним ділянкам місцевості і ґрунтам з найменшою категорією труднощів для розробки траншей і механізованої прокладки кабелю;

У містах і селищах міського типу, ВОЛЗ прокладається в телефонній Каналізації. Майданчики для будівництва мережевих вузлів і обслуговуваних регенераційних пунктів (ОРП) вибираються на околиці населених пунктів районних центрів або селищ міського типу. Траса вибирається так, щоб число проміжних регенераційних пунктів (НРП) було мінімально, а установка проміжного обладнання НРП у вузлах зв'язку, знаходилися уздовж траси. [11]

Проектована лінія передачі на ділянці Суми - Глухів, складає 146 км по трасах Р44 та Р65. Її маршрут показаний на рис. 2. Траса проекрованої ВОЛЗ проходить уздовж автомобільної дороги: Суми – Білопілля – Путивль – Глухів.

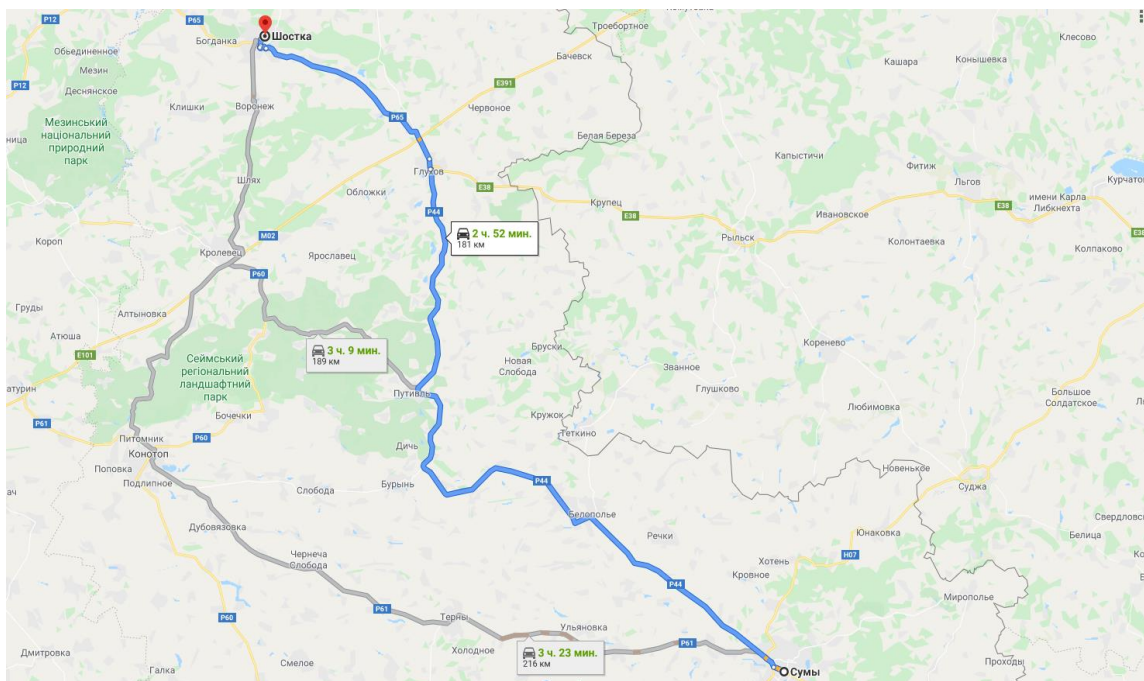


Рисунок 4 – Маршрут траси проекрованої ВОЛЗ

Характеристики проектованої траси ВОЛЗ, наведені у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Населені пункти уздовж траси оптичної лінії зв'язку

№п/п	Назва населених пунктів	Відстань між кожним наступним пунктом, км	Відстань від кожного пункту до м. Суми
1	Суми	0	0
2	Мар'євка	9	9
3	Скляровка	4	13
4	Постольне	4	17
5	Синяк	4	21
6	Барило	4	25
7	Перемога	8	33
8	Білопілля	9	42
9	Ворожба	7	49
10	Піски	11	60
11	Дяковка	6	66
12	Клепали	5	71
13	Ігорівка	4	75
14	Чумаково	2	77
15	Пересипки	3	80
16	Зіново	2	82
17	Харевка	3	85
18	Князівка	6	91
19	Мінаково	2	93
20	Путивль	5	98
21	Бобино	4	102
22	Новослободське	2	104
23	Вязенка	8	112
24	Баничі	11	123
25	Перемога	7	130
26	Калюжне	6	136
27	Глухів	10	146

Таблиця 2

Переходи траси кабельного зв'язку через:				
Автомобільні дороги	Залізничні дороги	Водні перешкоди	Під мостами автомагістралі	Протяжність траси, км
49	4	8	4	146

Будівництво ВОЛЗ відбудеться з лівого боку автомобільної дороги Р44, так як вона має меншу кількість перешкод.

4 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

4.1 Розрахунок числа каналів зв'язку на магістралі

Число каналів, що зв'язують задані кінцеві пункти, залежить від чисельності населення в цих пунктах і від кількості груп населення бажаючих отримати додаткові розширені канали зв'язку.

Як відомо, телефонні канали в міжміському зв'язку мають більше використання, необхідно визначити спочатку кількість телефонних каналів між заданими кінцевими пунктами. Розрахунок кількості телефонних каналів виконаємо за формулою:

$$n_{\text{тф}} = \alpha_1 * f_1 * y * \frac{m_a m_b}{m_a + m_b} + \beta_1,$$

де α_1, β_1 – постійні коефіцієнти, що відповідають фіксованій доступності і заданим втратам, $\alpha_1 = 1,3, \beta_1 = 5,6$;

f_1 – коефіцієнт тяжіння, $f_1 = 0,05$;

y – питома навантаження, тобто середнє навантаження, що створюється одним абонентом, $y = 0,05$ Ерл;

m_a, m_b – число абонентів, що обслуговуються тією чи іншою кінцевою автоматичною міжміською телефонною станцією (АМТС), визначається залежно від чисельності населення, яке проживає в зоні обслуговування.

За середнім коефіцієнтом оснащеності населення телефонними апаратами в межах від 0,4 до 0,8, кількість абонентів у зоні АМТС можна визначити за формулою:

$$m = \gamma * H,$$

де γ – коефіцієнт оснащеності населення телефонними апаратами;

H – кількість населення, чол.

Для міста Суми - $H_{\text{Суми}} = 268409$ чол.

Для міста Глухів - $H_{\text{Глухів}} = 34574$ чол.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Знайдемо кількість абонентів, що обслуговуються тією чи іншою кінцевою АМТС. Середній коефіцієнт оснащеності населення телефонними апаратами γ приймемо за 0,7. [5]

Для м. Суми:

$$m_a = x * H_{\text{Суми}} = 0,7 * 268409 = 187886 \text{ чол.}$$

Для м. Глухів:

$$m_b = x * H_{\text{Глухів}} = 0,7 * 34574 = 24202 \text{ чол.}$$

Звідси знайдемо кількість телефонних каналів тональної частоти (КТЧ):

$$n_{\text{тф}} = 1,3 * 0,05 * 0,05 * \frac{187886 * 24202}{187886 + 24202} + 5,6 \approx 220 \text{ ктч.}$$

Загальне число каналів між двома міжміськими станціями заданих пунктів визначається сумою:

$$n_{\text{заг}} = n_{\text{тф}} + n_{\text{пд}} + n_{\text{тв}} + n_{\text{інт}} + n_{\text{ор}} + n,$$

де $n_{\text{тф}}$ – число двосторонніх каналів для телефонного зв'язку;

$n_{\text{пд}}$ – число каналів передачі даних;

$n_{\text{тв}}$ – число телевізійних каналів;

$n_{\text{інт}}$ – число каналів мережі Internet;

$n_{\text{ор}}$ – число каналів для оренди;

$n \approx n_{\text{тф}}$ – число каналів для дротового мовлення, транзитних каналів.

За перевагою передачі даних у порівнянні з телефонними каналами, число каналів передачі даних приймаємо як $n_{\text{пд}} = 1,3 * n_{\text{тф}}$. Для мережі Internet виділимо 4500 ктч, для оренди - 1000 ктч та також передбачимо двосторонній телевізійний канал, що займає 1600 ктч.

Тоді загальне число каналів складе:

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

$$n_{\text{заг}} = 2 * n_{\text{тф}} + n_{\text{пд}} + n_{\text{тв}} + n_{\text{инт}} + n_{\text{ор}} + n.$$

Підставимо чисельні значення в формулу та отримаємо:

$$n_{\text{заг}} = (2 + 1,3) * 220 + 4500 + 1000 + 1600 = 7826 \text{ ктч.}$$

Далі потрібно визначити необхідну швидкість передачі даних B . Пропускна здатність одного КТЧ складає 64 кбіт/с. Тоді:

$$B = 64 * 7826 = 500 \frac{\text{Мбіт}}{\text{с}}.$$

Таким чином, для передачі повідомлень між містами Суми-Глухів потрібно 7826 канали зі швидкістю передачі 500 Мбіт/с. На підставі цих розрахунків, необхідно передбачити передавання сигналів рівня STM-4 (622,08 Мбіт/с).

4.2 Вибір системи передачі та кабелю

4.2.1 Вибір системи передачі. Найбільш поширеною технологією для побудови сучасних мереж, є технологія SDH. Її перевагою є велика пропускна здатність трактів, гнучкість, можливість динамічно нарощувати ємність мережі, висока ступінь надійності, обумовлена різними механізмами резервування, можливість виділення (додавання) каналів у будь-якій точці мережі, зручність управління і адміністрування. Мережі SDH широко застосовують для побудови телекомунікаційних мереж.

Сьогодні вони становлять фундамент практично всіх великих мереж. У нашому випадку, виберемо систему передачі компанії Ericsson. Серія OMS 800 складається з надкомпактних оптичних транспортних рішень, що дозволяють оператору одночасно розгортати послуги Ethernet і традиційні TDM-послуги в одній точці. [6]

Продукти серії OMS 800 - це мультисервісні (засновані на технологіях TDM і Ethernet) пристрої для передачі і термінування як пакетних даних, так і

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

голосового трафіку в міських мережах доступу. Вона не тільки спрощує створення нових сервісів, але і розширює функціональність традиційних SDH-рішень шляхом застосування в існуючих мережах технологій Ethernet, GFP, LCAS (для гнучкого налаштування смуги пропускання), і VCAT (для ефективного використання та розподілу пропускну здатності мережі).

Три окремі продукти лінійки OMS 800:

- OMS 860 - модульний мультиплексор введення/виведення (ADM) рівня STM-1/4 з широким діапазоном мультисервісних інтерфейсів і функціональністю Ethernet.

- OMS 870 - модульний мультиплексор введення/виведення (ADM) рівня STM-1/4/16 з широким діапазоном мультисервісних інтерфейсів і розширеною функціональністю Ethernet.

- OMS 846 - оптимізований для конфігурацій STM-1, с великою кількістю інтерфейсів E1 (до 16), і невеликою кількістю інтерфейсів FE (4) або GE (1).

Для передачі інформації у нашому випадку, вибираємо мультиплексор Ericsson OMS 860 (рис. 5).

Зовнішній вигляд мультиплексора Ericsson OMS 860 наведений на рис. 4.



Рисунок 5 - Зовнішній вигляд мультиплексора Ericsson OMS 860

Мультиплексор має вихідну пропускну здатність 2xSTM-1/4 (в залежності від модулів SFP), вбудований трибутарний модуль 16xE1 і 2 слота для додаткових трибутарних модулів.

Внутрішня шина базується на STM-4 для TDM трафіку і 1x5Gbps для взаємодії модулів Ethernet. OMS 860 може функціонувати як термінальний мультиплексор (TM), мультиплексор введення/виведення (ADM), неблокіруемый

крос-комутатор (DXC), та комутатор Ethernet 2-го рівня. Підтримується також функціональність EoSDH.

Параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-4 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Параметри оптичних інтерфейсів рівня STM-4 компанії ERICSSON

Назва параметра	Одиниці вимірюв.	Значення параметру				
Номінальна швидкість передавання	Мбіт/с	622,08				
Тип інтерфейсу	-	S-4-1	L-4-2	L-4-1		L-4-2
Діапазон робочих довжин хвиль	нм	1293..1334	430...1580	1230...1325	1280...1335	480..1580
Тип джерела випромінювання	-	MLM	LM	MLM	SLM	LM
Максимальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	- 8	- 8	+2		2
Мінімальний рівень вихідної оптичної потужності	дБм	- 15	-15	- 3		3
Мінімальний рівень чутливості	дБм	- 28	- 28	- 28		28
Діапазон загасання	дБ	0...12	0...12	10...24		0...2 4

У даному випадку, використовуємо інтерфейс L-4-2, так як він забезпечує максимальні довжини регенераційних ділянок та працює в третьому вікні прозорості (1550 нм), що задовольняє змісту роботи. Визначимо кількість

волокон згідно вибраної системи передачі за правилом: на одну систему передачі відводиться два оптичних волокна. [5]

На одну систему передачі потрібно два оптичних волокна. Ще два відіграють роль резервних у разі порушення режиму роботи основних. Усього чотири волокна.

4.2.2 Вибір кабелю зв'язку. Для системи передачі Ericsson OMS 860, вибираємо кабель ОКЛ-Н-01-24-10/125-2,7 який у подальшому підлягає задуванню у захисну поліетиленову трубу (ЗПТ).

Оптичний кабель зв'язку не броньований, він містить діелектричний сердечник, що складається з центрального силового елемента у вигляді склопластикового стрижня (01). Оболонка кабелю виконана з полімерного матеріалу, що запобігає горінню при одиночній прокладці (клас ПРГО1)(Н). Кабель містить вісім (24) стандартних одномодових волокон (10/125). Допустиме розтягувальне навантаження кабелю (2,7)кН.

Переваги:

- не поширює горіння при одиночній прокладці;
- мінімальна вага і діаметр;
- оптимальна стійкість до впливу розтягувальних і розчавлюючих навантажень; високий електричний опір захисної;
- оптимальна жорсткість і низький коефіцієнт тертя оболонки (при задуванні в труби);
- зручність прокладки і монтажу; великий термін служби.

Конструкція кабелю ОКЛ-Н-01-24-10/125-2,7, показана на рис. 6.

Полімерні трубки, у які укладені оптичні волокна, заповнені тиксотропним гелем по всій довжині. Центральний силовий елемент, являє собою діелектричний склопластиковий пруток, навколо якого скручені оптичні модулі. Для стійкості конструкції у корделях, використовуються суцільні поліетиленові (ПЕ) стрижні. Поясною ізоляцією є лавсанова стрічка, накладена поверх скручування. Порожнечі скрутки по всій довжині, заповнюються матеріалами,

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

які блокують вологу. Зовнішня оболонка виконана з поліетилену, що не поширює горіння при одиночній прокладці.

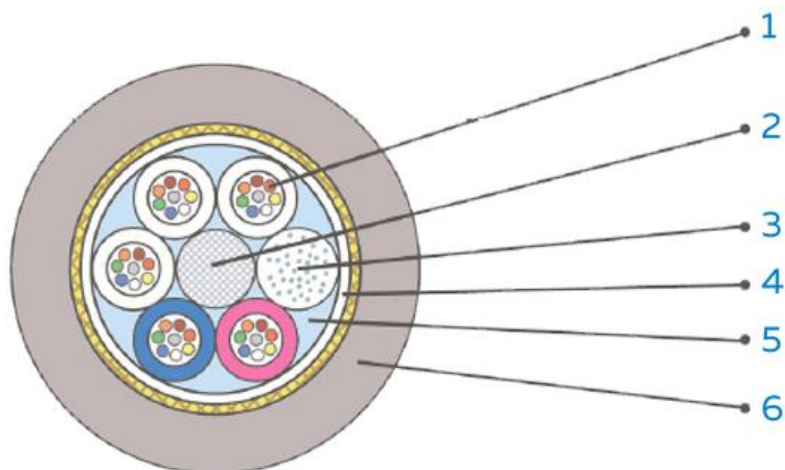


Рисунок 6 – Конструкція кабелю ОКЛ-Н-01-24-10/125-2,7:

1 – оптичні волокна; 2 – силовий елемент; 3 – корделі; 4 – поясна ізоляція;
5 – водоблокуючі матеріали; 6 – зовнішня оболонка.

Умови експлуатації кабелю наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Умови експлуатації кабелю

Температура експлуатації	от -60° С до +70° С
Мінімальний радіус вигину	не менше 20 діаметрів кабелю
Мінімальна температура прокладки	-30° С
Температура транспортування і зберігання	от -60° С до +50° С
Термін служби	30 років
Термін гарантійної експлуатації (гарантія)	3 роки
Мінімальний радіус вигину оптичних волокон	не менше 3 мм
Будівельна довжина	до 6 км

Технічні характеристики кабелю наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Технічні характеристики кабелю

Кільк. ОВ у кабел.	Діаметр, мм	Вага, кг/м	Розтягуюче зусил. кН/см	Розчавлююче зусил. кН/см	Радіус вигину, мм	
					Монтаж	Експлуатац.
До 20	7,9	70	1,0	0,2	158	118
До 30	8,2	76	1,0	0,2	164	123
До 48	8,9	89	1,5	0,2	200	150
До 32	9,7	95	1,5	0,2	194	145
До 48	10	104	2,7	0,3	200	150

Параметри оптичного кабелю наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Параметри оптичного кабелю

Параметри оптичного кабелю	Позначення	Значення
Діаметр оболонки, мкм	d_o	125
Діаметр серцевини, мкм	d_c	10
Коефіцієнт заломлення серцевини	n_1	1,479
Коефіцієнт заломлення оболонки	n_2	1,474
Довжина хвилі джерела, мкм	λ	1,55
Коефіцієнт загасання, дБ/км	α	0,22
Питома матеріальна дисперсія, пс/(км×нм)	$M(\lambda)$	-18
Питома хвильова дисперсія, пс/(км×нм)	$B(\lambda)$	12

4.3 Розрахунок числової апертури і нормованої частоти

Апертура - це кут між оптичною віссю і однієї з утворюючих світлового конуса, потрапляє в торець волоконного світловода, при якому виконується умова повного внутрішнього відбиття. [6]

Розрахунок апертури проводиться за формулою:

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$NA = \sin\theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

де n_1 і n_2 - показники (коефіцієнти) заломлення серцевини і оболонки відповідно ($n_1 = 1,479$, $n_2 = 1,474$), тоді

$$NA = \sqrt{1,479^2 - 1,474^2} = 0,12.$$

Режим роботи оптичного волокна, визначається узагальненим параметром - нормованою частотою ОВ. Якщо даний параметр знаходиться в межах від 0 до 2,405, то має місце одномодовий режим передачі, якщо ж даний параметр більше, режим роботи - багатомодовий.

Розрахунок нормованої частоти ν проводиться за формулою:

$$\nu = \frac{\pi d_c}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

де $\lambda = 1,55$ мкм - довжина хвилі випромінювача;

$d_c = 10$ мкм - діаметр серцевини ОВ, тоді

$$\nu = \frac{\pi d_c}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{3,14 * 10}{1,55} * 0,12 = 2,19.$$

Даний параметр знаходиться у межі до 2,405, а це свідчить про те, що кабель, який був вибраний, є одномодовим.

4.3.1 Розрахунок ослаблення сигналу в оптичному волокні. Коефіцієнт загасання сигналу в оптичних кабелях α (дБ/км), обумовлений впливом власних втрат світловода α_c і кабельних втрат α_k . Розраховується він за формулою:

$$\alpha = \alpha_B + \alpha_K,$$

де α_B - коефіцієнт власних загасань, дБ/км;

α_K - кабельні втрати, дБ/км.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Величина кабельних втрат в реальних умовах становить від 0,1 до 0,3 дБ/км, (приймаємо $\alpha_k=0,1$ дБ/км). Власні втрати світловоду, мають три складові:

- $\alpha_{\text{п}}$ - ослаблення за рахунок поглинання;
- $\alpha_{\text{дом}}$ - ослаблення за рахунок наявності в матеріалі ОВ сторонніх домішок;
- $\alpha_{\text{р}}$ - ослаблення за рахунок втрат на розсіювання.

Власні втрати розраховується за формулою:

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{р}} + \alpha_{\text{дом}}$$

Ослаблення за рахунок поглинання, лінійно зростає з частотою і пов'язане з втратами на діелектричну поляризацію. При сучасному рівні технології виготовлення ОВ, коефіцієнт заломлення практично має дійсне значення, і втрати на поглинання можна не враховувати порівняно з іншими складовими.

В області резонансів власних коливань іонів домішок зазвичай є сплески загасання (ослаблення). Зазвичай із-за домішок виникають сплески ослаблення на хвилях 0,95 і 1,4 мкм. Так як довжина хвилі джерела випромінювання дорівнює 1,55 мкм, то втратами за рахунок наявності домішок можна знехтувати.

Ослаблення сигналу за рахунок розсіювання, обумовлено неоднорідностями електричних параметрів матеріалу ОВ, домішками, розміри яких менше довжини хвилі, та теплової флуктуації показника заломлення.

Коефіцієнт загасання за рахунок розсіювання (дБ/км), визначається за формулою:

$$\alpha_{\text{р}} = 1,2 * \frac{(n_1^2 - 1)}{\lambda^4},$$

де λ - довжина хвилі, мкм,

n_1 - показник заломлення серцевини ОВ.

Отримаємо:

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$\alpha_p = 1,2 * \frac{(1,479^2 - 1)}{1,55^4} = 0,247 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$

Нехтуючи ослабленням сигналу за рахунок поглинання, розрахуємо коефіцієнт загасання за формулою:

$$\alpha \approx \alpha_p + \alpha_k,$$

де α_p - втрати на розсіювання, дБ/км;

α_k - кабельні втрати, дБ/км, тоді

$$\alpha \approx 0,247 + 0,1 = 0,347 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$

Коефіцієнт широкосмуговості задовольняє необхідним вимогам для роботи з системою передачі SDH. [8]

4.4.2 Визначення довжини регенераційної ділянки. Довжина регенераційної ділянки волоконно-оптичної лінії зв'язку визначається двома параметрами оптичного волокна. З одного боку, це загасання оптичного волокна, з іншого - дисперсія.

Довжина регенераційної ділянки за загасанням (км) визначається за формулою:

$$l_p \leq \frac{(P_0 - P_{kmin} - \alpha_n - 2\alpha_p) * l_{б\text{уд}}}{\alpha_n + \alpha * l_{б\text{уд}}},$$

де P_0 - потужність передавача, дБм;

P_{kmin} - мінімальна чутливість приймача, дБм;

α_n - втрати у нероз'ємних з'єднаннях, повинно бути не більше 0,1 дБ;

α_p - втрати в роз'ємних з'єднаннях, дБ, повинно бути не більше 0,5 дБ;

$l_{б\text{уд}}$ - будівельна довжина кабелю, км.

Довжина регенераційної ділянки (км) за дисперсією визначається за формулою:

$$l_p = \frac{\Delta F}{\Delta F_{\text{доп}}},$$

де ΔF - пропускна здатність ОВ, Гц·км;

$$\Delta F_{\text{доп}} = B/\sqrt{2} = \frac{622,08 \cdot 10^6}{\sqrt{2}} = 439,88 \cdot 10^6 \text{ (Гц)} - \text{допустима ширина смуги}$$

пропускання, визначається швидкістю передачі цифрової інформації B (біт/с);

B – швидкість передачі інтерфейсу STM-4, біт/с.

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки за затуханням:

$$l_p \leq \frac{(2 - (-28) - 0,1 - 2 * 0,5) * 6}{0,1 + 0,347 * 6} = 79,47 \text{ км.}$$

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки за дисперсією:

$$l_p = \frac{3,745 * 10^{10}}{439,88 * 10^6} = 85,14 \text{ км.}$$

З отриманих значень вибираємо найменше. Таким чином, довжина регенераційної ділянки повинна бути не більше 79,47 км.

Кількість регенераційних ділянок між кінцевими пунктами, визначимо за формулою:

$$n_{\text{рд}} = \frac{l_{\text{кп1-кп2}}}{l_p},$$

де $l_{\text{кп1-кп2}}$ – довжина проектованої кабельної траси, км;

l_p - довжина регенераційної ділянки, км

Тоді отримаємо:

$$n_{\text{рд}} = \frac{146}{79,47} = 1,84.$$

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

За розрахунками на ділянці зв'язку Суми-Глухів, необхідно установити один регенератор. Довжина ділянок між кінцевими пунктами та регенератором, складає по 73 км, що відповідає розрахункам. [8]

На рис. 7 наведена схема розміщення регенераторів для проектованої ВОЛЗ:



Рисунок 7 - Схема розміщення регенераторів

5 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНІ ПРОЦЕСИ ПІД ЧАС ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЮ

5.1 Прокладання волоконно-оптичного кабелю зв'язку

5.1.1 Правила прокладки оптичного кабелю. Складність монтажу волоконно-оптичного кабелю обумовлена крихкістю світловодів. Потрібна особлива обережність при укладанні кабелю, який погано працює на вигин, розтягнення і здавлювання. Всі ці параметри вказуються в паспорті і враховуються при прокладці кабельної лінії.

Процес прокладки кабелю складається з **2-х етапів** - попереднього і основного. **Перший** полягає в перевірці цілісності кабельної бухти і видимих пошкоджень оболонки, перевірці маркування будівельної довжини Після цього оформляється будівельний паспорт.

У паспорт заносять первинні оптичні характеристики, які вимірюються рефлектометром і порівнюються зі значеннями заводського паспорта. Надалі сюди будуть вноситися вимірювання загасання потужності сигналу після зрощування оптичного кабелю. Таке тестування дозволяє визначити не тільки якість з'єднання, але і цілісність оптоволокна.

Виконання всіх регламентованих процедур виключає можливість монтажу неякісного кабелю.

На **другому етапі** здійснюється прокладка оптоволокна, з'єднання всіх ділянок і тестування лінії зв'язку.

Вибір типу кабелю залежить від призначення, умов і способу монтажу. У процесі роботи необхідно керуватися правилами будівництва ВОЛЗ та рекомендаціями виробника. [7]

5.1.2 Прокладка оптичного кабелю у кабельні каналізації. У великих населених пунктах найчастіше виконується прокладка ВОЛЗ в каналах **кабельної каналізації**. Це більш трудомісткий спосіб організації ВОЛЗ, а й надійність такої лінії зв'язку значно вище. Прокладка ВОЛЗ в цьому випадку відбувається в

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

асбесто-цементної, бетонної або пластикової кабельної каналізації. Найбільш поширені у нас труби для прокладки ВОЛЗ з бетону або азбестоцементу.

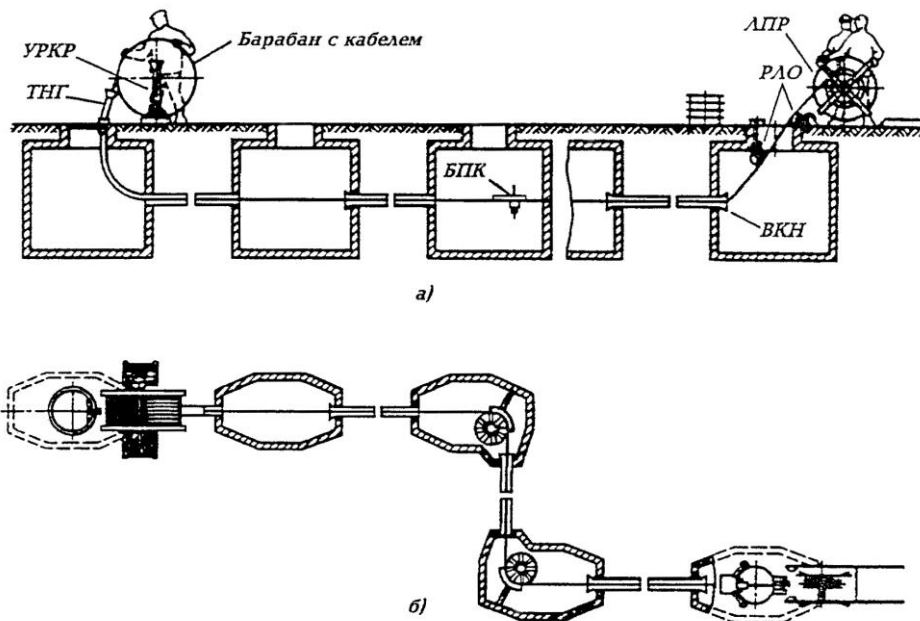


Рисунок 8 – Прокладка кабелю в кабельних каналізаціях

Вони набули такого поширення завдяки своїй неохильності до корозії і гниття, а також низьку теплопровідність і великий міцності. Однак останнім часом все частіше для прокладки ВОЛЗ використовуються більш легкі і практичні пластикові аналоги.

При будівництві міжміських ВОЛЗ набула поширення прокладка оптичного кабелю в спеціальних захисних поліетиленових трубах (ЗПТ) з подальшим вдуванням в них оптичного кабелю. Усередині такі труби мають шар твердого змащення з низьким коефіцієнтом тертя. За рахунок цього в змонтованих ділянках труб можлива прокладка оптоволоконних кабелів великої довжини - від двох до шести кілометрів.

Прокладка ВОЛЗ через **водні перешкоди** - найбільш витратний спосіб організації оптоволоконної лінії зв'язку. Прокладка кабелю може вестися по мосту через річку з використанням повітряних опор або по дну водойми. У таких випадках на березі оптоволоконний кабель з'єднується з лінією, прокладеною в ґрунт. Подолання водних перешкод можливо і способом горизонтально-направленого буріння або підвісу, якщо є така можливість. Розвиток технологій

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ					

укладання оптоволоконних кабелів дозволяє організувати ВОЛЗ і на дні моря / океану. За допомогою спеціально обладнаних судів оптоволоконний кабель укладається від одного берега до іншого за один прохід. [4]

5.1.3 Прокладка волоконно-оптичного кабелю у ґрунт. Це найбільш поширений спосіб прокладки ВОЛЗ в місцях з відсутністю кабельної каналізації. Основною перевагою такої лінії зв'язку перед іншими є перевага у кілька разів по надійності.

Прокладка волоконно-оптичного кабелю здійснюється в ґрунтах всіх категорій, за винятком ґрунтів, схильних до мерзлотних деформацій. Прокладка кабелю в ґрунт, здійснюється за температурою повітря не нижче -10°C . При прокладці ВОЛЗ у відкритий ґрунт, використовують броньований кабель. Товщина броні залежить від структури ґрунту.

Перед тим як приступати до **прокладання кабелю в ґрунт**, необхідно провести ряд досліджень на трасі, які допоможуть вибрати оптимальну конструкцію оптичного кабелю і технологію для прокладки: в траншею, кабелеукладачем, за допомогою вибухових робіт або похилого буріння.

При виборі враховують, чи є на шляху траси підземні споруди: силові кабелі, кабелі зв'язку, трубопроводи та ін. Також перевіряють, чи є наземні перешкоди: залізні і шосейні дороги, ліси, річки, яри, болота, ЛЕП та ін. Крім того, при вишукуванні визначають, де будуть розташовані регенераційні пункти, пункти доступу до ОК, оптичні муфти.

Найекономічнішим методом прокладання ОК в ґрунт, вважається **прокладка кабелеукладачем** - він забезпечує високу швидкість прокладки і ступінь механізації (рис. 9).

У разі перетину траси з залізною чи шосейною дорогою, ярами, болотами, скельними ділянками і річками, можуть використовуватися і інші методи прокладки. Якщо при виборі оптоволоконного кабелю зупиняються на кабелі з бронепокровами з металу, то слід дотримуватися вимог техніки безпеки, щодо захисту його від грозових впливів, від впливів ЛЕП і залізничних електрифікованих доріг. [7]

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

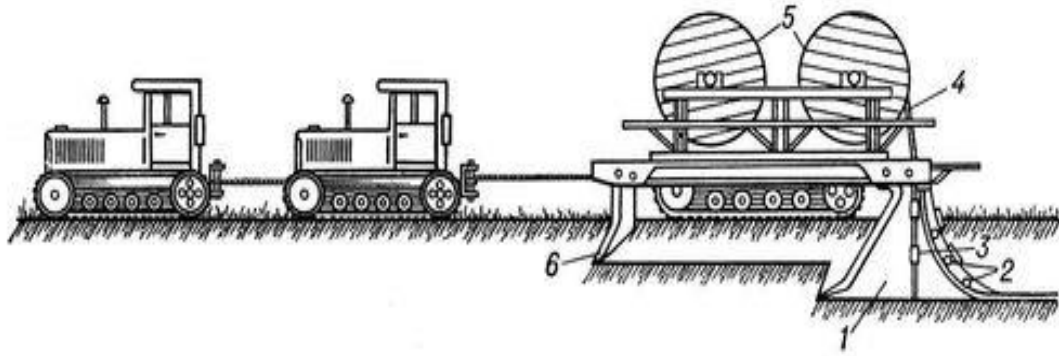


Рисунок 9 – Прокладка оптичного кабелю ножовим кабелеукладачем: 1- робочий ніж; 2- ролики для зменшення тертя кабелю всередині касети; 3- касета; 4- кабель; 5- барабани на яких намотані кабелі; 6- передній ніж.

На ділянках траси, які найбільш небезпечні, з точки зору виникають електромагнітних явищ, слід передбачити використання повністю діелектричного оптоволоконного кабелю.

Укладання кабелю безпосередньо в ґрунт за допомогою кабелеукладача повинна забезпечуватися плавним проходом оптичного кабелю крізь касету кабельного ножа при дотриманні дозволеного радіусу вигину кабелю, і з дотриманням глибини укладання (1,2м). Кабелеукладальники застосовують на протяжних і спрямлених ділянках траси, якщо немає частих перетинів з будь-якими підземними комунікаціями.

Перед початком укладання ґрунт необхідно завчасно прорізати (пропороти) кабельним ножом, без заведення кабелю. Також можна виконати цю процедуру за допомогою розпушувача ґрунту (пропорщика). Багато кабелеукладчики, комплектуються пропорщиками (розпушувачами) ґрунту, в тому числі і вібраторні, що дозволяє знизити необхідне тягове зусилля вдвічі. Якщо ґрунт на трасі кам'янистий і важкий, то пропорку здійснюють в декілька заходів, поки не буде досягнута повна глибина траси (рис. 10).

Прокладка оптичного кабелю проводиться рівномірно - без зниження або збільшення швидкості, дно прорізи має рівно загладжується кабельним ножом, для виключення можливого механічного пошкодження оптичного камінням або іншими виступаючими предметами.



Рисунок 10 – Прокладка оптичного кабелю у підготовлену траншею

Також слід виключити різкі перегини оптичного кабелю. Кут нахилу ножа кабелеукладача не повинен змінюватися. Необхідний постійний контроль над глибиною прокладки волоконно-оптичного кабелю.

При прокладанні неприпустиме перевищення допустимого зусилля на розтягування оптичного кабелю. Дозволений радіус вигину оптоволоконного кабелю, повинен бути постійним. Якщо поворот траси крутіший, ніж може виконати кабелеукладач, то слід відрити траншею, для виконання маневру.

Заглиблення ножа кабелеукладача, необхідно проводити виключно в задалегідь відритому котловані, при цьому розмір котловану повинен перевищувати максимальну ширину ножа. Рекомендується одночасно з прокладанням оптичного кабелю, вище рівня його укладання на 100 - 150 мм, прокласти сигнальну стрічку, а також встановити електронні маркера на перетинах траси з підземними спорудами і на її поворотах. [7]

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

При прокладанні оптичного кабелю в місцях перетину з кабелями, трубопроводами, тощо. Слід вжити заходів, які виключать пошкодження наявних споруд. У місцях, де будуть стикуватися будівельні довжини, необхідно передбачити технологічний запас по довжині, який дозволить провести монтаж оптичного кабелю в монтажній спеціалізованій автомашині (запас повинен бути не менше 10 м).

Після того, як кабель буде змонтований, запас по довжині (згортається, не порушуючи дозволений радіус вигину) і змонтовану кабельну муфту укладають на глибину прокладки в ґрунт, захистивши від механічних впливів. Для забезпечення захисту кабелю і муфту, перед тим як засипати ґрунтом, накривають міцними матеріалами (можливе розміщення муфти і запасу оптичного кабелю в компактному пункті доступу).

У траншею оптичний кабель прокладають, якщо траса має множинні перетини з різноманітними перешкодами або підземними комунікаціями або при наявності небезпеки пошкодити ножем кабелеукладача дренажні пристрої. Траншеї можуть розроблятися одноковшевіми і ланцюговими екскаваторами, траншеєкопач, а при обмежених умовах шанцевий інструментом (вручну).

При розробці траншеї слід врахувати, що отримана глибина зменшиться на 50 - 100 мм за рахунок підсипки пухкого ґрунту або піску, що забезпечує вирівнювання дна і дозволяє організувати плавний перехід через включення, які неможливо отримати. Після прокладки в траншею оптичного кабелю, його засипають шаром (100 - 150 мм) піску або пухкого ґрунту, поверх якого укладається сигнальна стрічка. Після цього траншею засипають витягнутим ґрунтом і утрамбовують.

5.1.4 Спосіб проколу ґрунту пневмоударною установкою. У разі, якщо траса перетинає залізницю або автомобільну дороги, то оптичний кабель прокладають методом керованого буріння, або горизонтального проколу, з використанням захисних труб.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Одним з ефективних способів безтраншейної прокладки трубопроводів з попереднім обладнанням горизонтальної свердловини є застосування пневматичних пробійників.

Пневмопробійник складається з корпусу, ударника і шланга. Працює прилад наступним чином: стиснене повітря під тиском подається по шлангу в корпус, що призводить до зворотно-поступального переміщення ударника. Він впливає на торець приладу, тим самим вганяючи його в землю. Діаметр необхідного отвору дорівнює діаметру корпусу.

При прокладанні пластмасових труб робота пневмопробійника полягає не тільки в створенні свердловини, але і в затягуванні труби. Агрегат йде першим, а за ним, затиснута в спеціальному пристрої, подається труба. Якщо необхідна заміна старого трубопроводу на новий, то в цьому випадку на пневмопробійник встановлюється насадка, за допомогою якої вибивається труба.

За допомогою пневмопробійників типу "Кріт" можна влаштовувати в ґрунті свердловини з ущільненими стінками діаметром 63-400 мм і довжиною до 40 - 50 м, в яких прокладають трубопроводи. Прокол ґрунту під дорогою за допомогою пневмопробійника зображений на рис. 11.

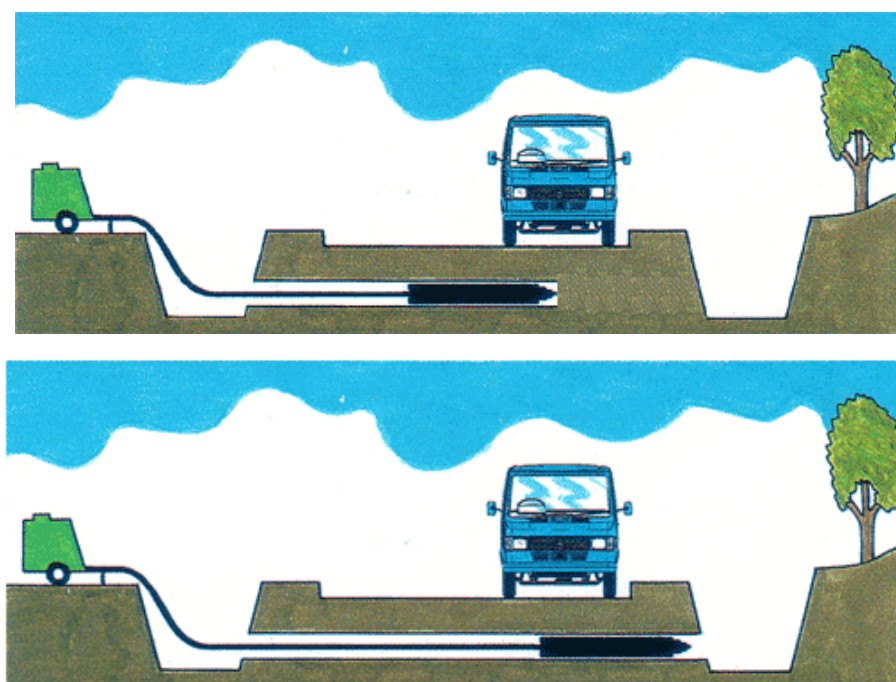


Рисунок 11 - Прокол ґрунту під дорогою за допомогою пневмопробійника

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

5.1.5 Прокол ґрунту установкою горизонтально-спрямованого буріння. Для проколу під дорогою, необхідна сама бурова установка, відповідна бурова головка з комплектом штанг, а також точно підібране і правильно підготовлене бурове середовище.

Горизонтальне спрямоване буріння (ГСБ), виконується при наявності технічних умов і з попередньою підготовкою. Перший етап бурових робіт це прокладка чорнового (пілотного) каналу, виробленого за раніше наміченої траєкторією.

Під час горизонтального буріння у вироблення подається бентоніт, який просочує стінки утвореного каналу, запобігаючи їх осипанню. Після завершення пілотного проколу під дорогою, відбувається вторинне видалення ґрунту, за допомогою спеціального інструменту - розширювача. Він встановлюється на місце бурової головки і видаляє пов'язаний бентонітом шар ґрунту, збільшуючи при цьому просвіт отриманого каналу.

Установка ГСБ на цьому етапі працює на зворотне зусилля розширювача. Стадія проколу вважається завершеною, якщо діаметр каналу стане на 20-30% ширше зовнішнього діаметра труби.

Після цього настає третя стадія бурових робіт, а саме протяжка труби. Для цього бурова штанга подається в точку виходу, де до неї за допомогою спеціального вертлюга приєднують трубу, готову для затягування в канал. Рух труби контролюється системою локації. [7]

Всі стадії безтраншейної прокладки комунікацій, від проколу під дорогою і до протягання труби, виконуються з використанням однієї і тієї ж установки ГСБ з різним використанням бурового інструменту. Від його технічного стану залежить якість бурових робіт і витрати часу, необхідні на їх виконання.

Прокол ґрунту під дорогою з використанням установки ГСБ зображений на рис. 12.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

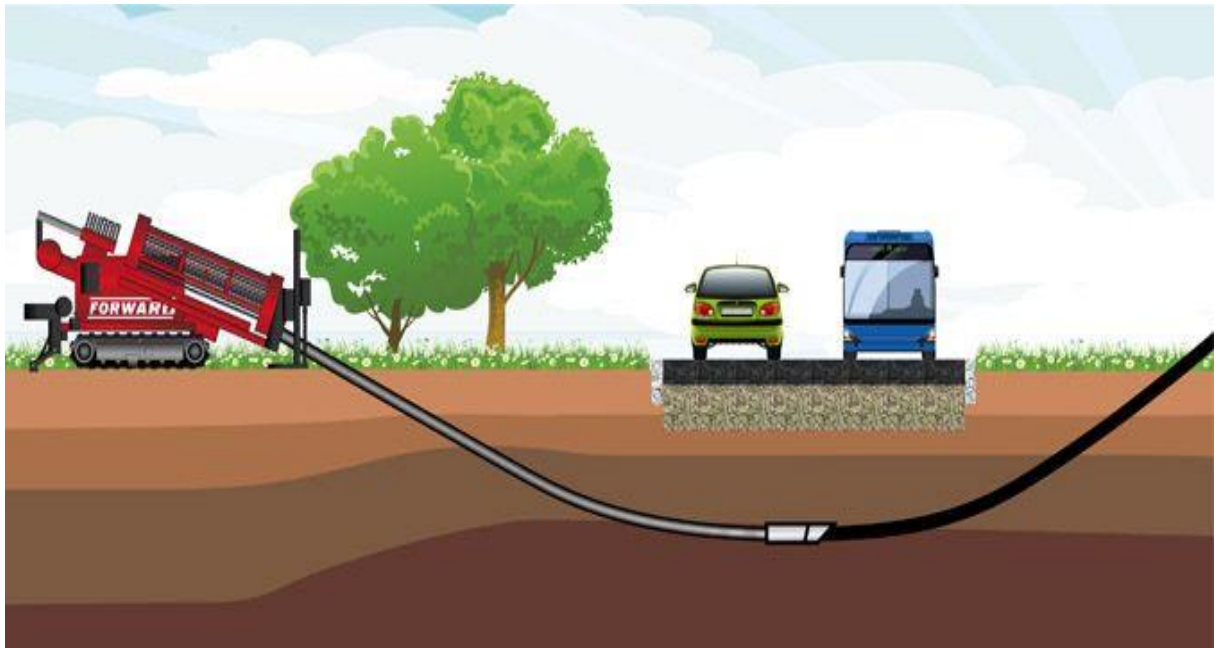


Рисунок 12 – Прокол ґрунту під дорогою з використанням установки ГСБ

5.1.6 Прокладка оптичного кабелю через водні перешкоди.

Прокладка ВОЛЗ через водні перешкоди - найбільш витратний спосіб організації оптоволоконної лінії зв'язку. Прокладка кабелю може вестися по мосту через річку з використанням повітряних опор, або по дну водойми (рис. 13). У таких випадках на березі оптоволоконний кабель з'єднується з лінією, прокладеною в ґрунт. Подолання водних перешкод можливо і способом горизонтально-направленого буріння або підвісу, якщо є така можливість. Розвиток технологій укладання оптоволоконних кабелів дозволяє організувати ВОЛЗ і на дні моря / океану. За допомогою спеціально обладнаних судів оптоволоконний кабель укладається від одного берега до іншого за один прохід.

Якщо траса оптичного кабелю проходить через водну перешкоду, то слід передбачити спорудження двох створів (ділянок переходу), які рознесені на 300 метрів один від одного. Якщо в місці запланованого річкового переходу є міст, то нижній створ оптико-волоконного кабелю прокладається по мосту.

Ділянка річкового переходу з'єднуються муфтовими сполуками з кабелем, прокладеним в ґрунт на берегових ділянках. Для того щоб забезпечити максимально зручний доступ до муфт, технологічний запас ОК і самі муфти рекомендується розміщувати в пункті доступу (тип ПД).

						ЕЛІТ 6.172.433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			45



Рисунок 13 – Прокладка оптичного кабелю через водні перешкоди

Якщо водна перешкода являє собою судноплавну річку, або траса проходить через значну кількість підземних комунікацій, або через великий яр, то застосовується методика горизонтально-похилого буріння. Цей метод дозволяє виконати приховані переходи на відстань до одного кілометра і глибині до 30 м, забезпечивши, при цьому, високу точність. Точність досягається попередніми бурінням (пілотна свердловина) невеликим діаметрів з точним виходом на протилежному боці перешкоди, після чого в кілька етапів свердловина розширюється до необхідного діаметра.

Використовуючи буровий розчин, який формує канал і виконує роль мастила, крізь отвір протягують поодинокі труби, або їх пучки, організовуючи кабельну каналізацію на ділянці переходу.

Траси оптоволоконного кабелю маркуються пікетажними стовпчиками, попереджувальними знаками, прив'язкою кабельних трас на робочій документації до місцевих об'єктів, розташованих стаціонарно, використовуючи електронні маркери і системи геостаціонарного позиціонування. [7]

5.1.7 Прокладання оптичного кабелю у поліетиленові труби.

При виборі технічних параметрів захисної поліетиленової труби слід керуватися наступним: діаметр кабелю повинен бути в два рази менше внутрішнього діаметра труби; при плануванні на перспективу збільшення ємності інформації і відповідно діаметра оптичного кабелю це повинно бути враховано.

Труби для ВОЛЗ від компанії «Укрполімерконструкція» захищають дроти від наступних загроз:

- вібрації та підземних поштовхів;
- пошкодження від діяльності людини і техніки;
- вплив підземних вод;
- руйнування інфраструктури гризунами;
- різкі зміни температури.

Захисні труби запобігають загоряння кабелів і продовжують термін служби дротів. Вони спрощують проведення будівельних і ремонтних робіт, дозволяють облаштувати інфраструктуру без погіршення зовнішнього вигляду об'єкта.

Діаметр проектного кабелю ОКЛ-Н-01-24-10/125-2,7 становить 8 мм. З урахуванням на перспективу прокладки додаткового кабелю зв'язку, проектом передбачається використовувати трубу типорозміру 40/33.

В залежності від класу волоконно-оптичної лінії зв'язку, прокладка оптичного кабелю в поліетиленову трубу може виконуватися будь-яким з представлених нижче технічних способів:

- ручне затягування кабелю;
- затягування кабелю механізованим способом;
- метод пневматичного задування кабелю в трубу.
- Пневматичне задування кабелю в трубу, застосовується при прокладці великих будівельних довжин. Метод задувки заснований на дії сили повітря, яке подається в трубу під тиском. Для задування кабелю, застосовується спеціальний комплекс обладнання для задування.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Метод пневматичної задувки оптики більш зручний і економічний у порівнянні з іншими методами. Він скорочує терміни проведення робіт, зменшує чисельність персоналу, обладнання для задування досить просте в освоєнні.

Ручне зтягування кабелю в захисні ПНТ-труби, проводиться на невеликих ділянках або при проходженні перетинів. Для полегшення протяжки кабелю через трубу, можна скористатися спеціальним мастилом.

Механізоване зтягування проводиться за допомогою лебідок. Цей спосіб можна застосовувати і на довгих ділянках траси. Після прокладки кожної будівельної довжини оптичного кабелю, необхідно провести контрольні вимірювання загасання в оптичних волокнах. [7]

5.2 Монтаж оптичних кабелів

5.2.1 Зварювання оптоволокна за допомогою зварювального апарату.

При будівництві та експлуатації кабельних ліній, завжди існує необхідність з'єднання волокон і монтаж кабелів. Оптичні кабелі мають певну будівельну довжину. В даному випадку вона становить 5 км. Довжина проєктованої лінії перевищує будівельну, тому оптичні кабелі, необхідно зрощувати. Для зрощування і монтажу кабелю використовують спеціальний набір інструментів, відповідно до інструкції по монтажу обраного типу оптичної муфти. Спочатку знімається шлангове покриття і звільняються оптичні модулі, потім знімається ізоляція з модулів на відстані 0,5-2,0 м.

Оптичні волокна з'єднують між собою методом зварювання спеціальними зварювальними апаратами (рис.14). Перед зварюванням на волокна одягають комплект для захисту зварних стиків. Для з'єднання оптичних волокон в даний час використовуються різні методи. Найбільшого поширення набув метод зварювання оптичного волокна, як найбільш надійний. На місце після зварювання одягають комплект для захисту зварних стиків. Сполучені оптичні волокна укладають і закріплюються стяжками в спеціальних касетах, які потім поміщають всередині муфти. [4]

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



Рисунок 14 – Зварювальний апарат та інструмент для зварювання кабелю

Якщо оптичний кабель не передбачає фіксацію в сирій гумі, він потребує термоусадці - спеціальній трубці з поліетилену, яку одягають на оптоволокно і патрубков муфти. Для забезпечення герметичності і додаткової фіксації на трубку впливають високою температурою. Варто відзначити, що термотрубки надіваються тоді, коли всі роботи з кабелем вже завершені. Муфти забезпечують розміщення технологічного запасу волоконних світловодів, укладання захисних гільз на спеціальних касетах і захист їх від механічних пошкоджень та впливу вологи. Змонтовані муфти вкладаються в колодязях кабельної каналізації, а інколи допускають укладання їх безпосередньо в ґрунт.

5.2.2 Тестування волоконно-оптичних мереж. Без діагностики монтаж ВОЛЗ не вважається завершеним, мережу не можна здати в експлуатацію. Найбільш часто для тестування оптоволоконних мереж використовуються оптичні тестери і рефлектометри (рис. 15).

Перші - відповідають за вимір середнього рівня потужності оптичного випромінювання, а також визначення загасання сигналу. Залежно від типу оптичного кабелю використовуються тестери з одно- і багатомодовими світловодами. Більшість моделей комплектується змінними адаптерами, що дозволяє використовувати їх з пристроями, оснащеними різними оптичними роз'ємами.



Рисунок 15 - Тестування волоконно-оптичних мереж

Що стосується другого інструменту діагностики - оптичного рефлектометра, то він є більш функціональним, ніж тестер. Під час вимірювання оптоволоконно просвічується потужними, але короткими, оптичними імпульсами. Це дозволяє не тільки виміряти рівень потужності і загасання, а ще виявити місце розташування неоднорідності і величину втрат. [4]

5.2.3 Позначення трас підземних кабелів зв'язку. Проектом визначаються певні технічні рішення стосовно позначення трас підземних кабельних ліній зв'язку на місцевості. Траса кабелю на місцевості може бути позначена одним з наведених далі способів (або їх комбінаціями):

- установленням замірних стовпчиків (попереджувальних знаків);
- спеціальними пасивними маркерами;
- прокладанням спеціального проводу над оптичним кабелем;
- прокладанням над кабелем сигнально-інформаційних пластикових стрічок.

Траси підземних кабелів на замських ділянках позначають залізобетонними замірними стовпчиками. Стовпчики встановлюють у місцях розміщення муфт, на поворотах траси, на її перетинах з водними перешкодами, дорогами та підземними спорудами.

Стовпчики розміщують на відстані 0,1 м від кабелю або муфти з боку поля. Вони встановлюються на прямолінійних ділянках траси, через кожні 250-300 м, а на кривих ділянках – через кожні 150 м, біля місць з'єднань, вершини кутів повороту траси, кінців захисних труб при перетині залізних і автомобільних доріг, місць перетину водопроводу та інших підземних комунікацій.

Закладання маркерів у ґрунт передбачається на глибину 0,6 м, за глибини прокладання кабелю 1,2 м і не менше ніж 0,4 м у разі прокладання кабелю у скельних ґрунтах. Прокладання сигнального проводу та стрічки може бути виконане кабелеукладачем, одночасно з прокладанням кабелю, або вручну, у готову траншею, засипану на половину глибини ґрунтом. [4]

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі спроектовано магістральну волоконно-оптичну лінію зв'язку між містами Суми і Глухів. У першому розділі проведений аналіз волоконно-оптичної системи передачі та цифрових систем передачі. У другому розділі розглянуті проміжні станції оптичної лінії зв'язку, призначення та конструкцію їх складових.

У третьому розділі обрано маршрут прокладання оптичного кабелю між кінцевими пунктами Суми-Глухів, уздовж узбіччя автошляху Р44, що з'єднує два міста. Довжина кабельної траси складає 146 км, яка пролягає через міста Білопілля, Ворожбу, Путивль та ще 24 населених пункти сільського типу. У містах Суми, Білопілля, Путивль та Глухів, прокладка кабелю буде відбуватися у кабельні каналізації, за межами цих міст переважно безтраншейним способом за допомогою кабелеукладача. Прокладання комунікацій через перешкоди буде здійснюватися за допомогою пневмопробійників та установок горизонтально-спрямованого буріння. У четвертому розділі була розрахована проєктована траса. Загальне число каналів між двома міжміськими станціями заданих пунктів, дорівнює 7826 ктч. Необхідна швидкість передачі даних складає 622,28 Мбіт/с. На підставі цих даних обрано систему передачі Ericsson OMS 860 та кабель ОКЛ-Н-01-24-10/125-2,7. Визначено довжину регенераційної ділянки проєктованої траси за загасанням і дисперсією, і з отриманих значень вибрано найменше, що дорівнює 79,47 км. Так як довжина кабельної траси складає 146 км, то відповідно розрахункам, на ділянці Суми – Глухів буде встановлений лише один регенераційний пункт. У п'ятому розділі описані будівельно-монтажні процеси під час прокладання волоконно-оптичної лінії зв'язку. На перетинах з автодорогами та залізницями, передбачено здійснити прокладку кабелю методом горизонтально-спрямованого буріння, а також методом проколу з використанням пневмоударних установок. Кабельний перехід через річки сплановано виконати методом горизонтально-спрямованого керованого буріння, або під містками автомагістралей.

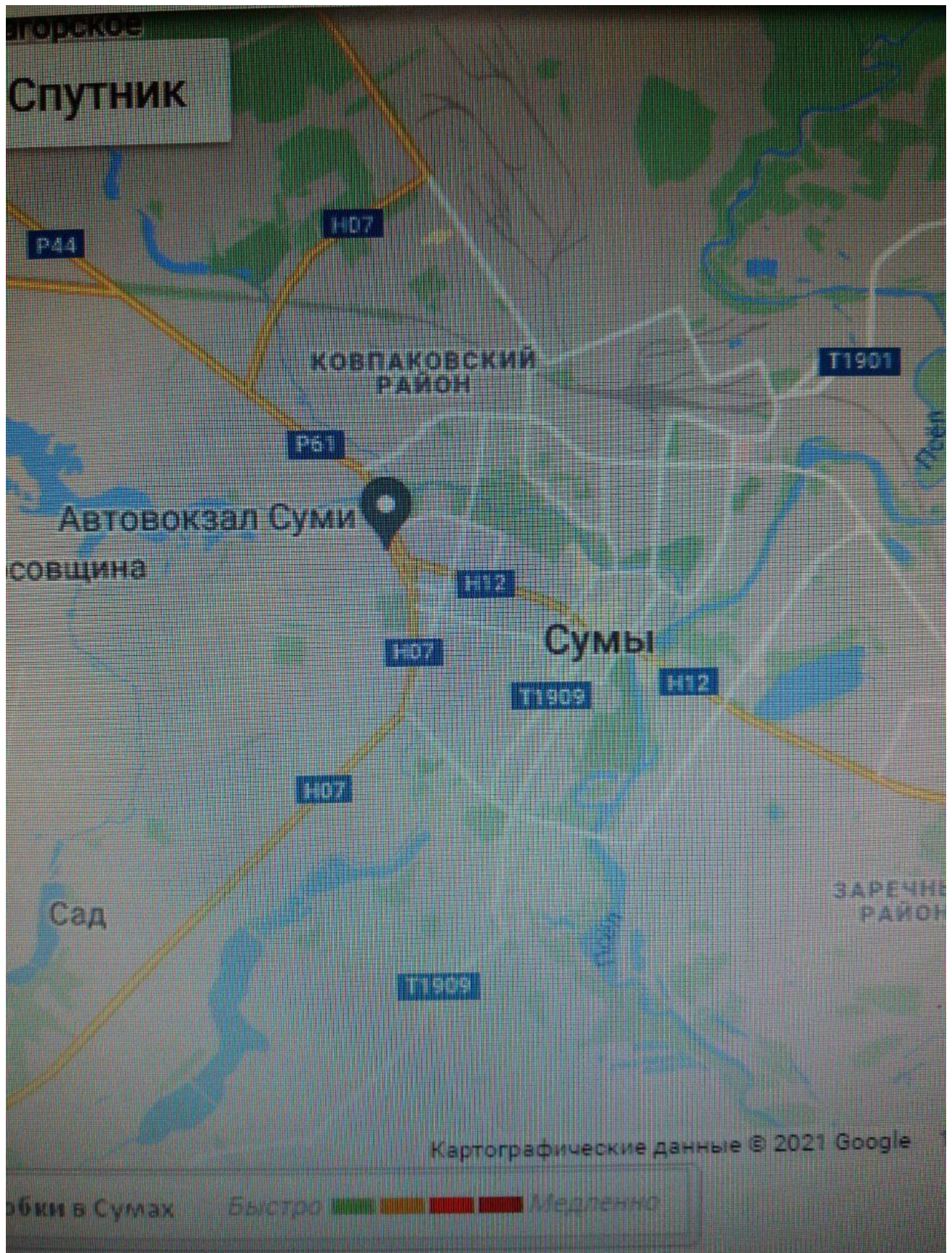
					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

ЛІТЕРАТУРА

1. Волоконно-оптичні системи передачі та кабелі: довідник. - М.: Радіо і зв'язок, 2016.
2. R. Hoss, Fiber Optic Communications Design Handbook (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, Inc., 2018).
3. Проектування і технічна експлуатація цифрових телекомунікаційних систем і мереж: Навчальний посібник для вузів / Є.Б. Алексєєв, В.Н. Гордієнко, В. В. Крухмальов та ін.; під ред. В.Н. Гордієнко, М.С. Тверецького. - 2-е вид., випр. - М.: Гаряча лінія - Телеком, 2015. – 392 с.: іл. - ISBN 978-5-9912-0254-3.
4. Портнов Е.Л., Оптичні кабелі зв'язку, їх монтаж і вимірювання. Навчальний посібник для вузів. - М.: Гаряча лінія-Телеком, 2017. - 448 с: іл.- ISBN 978-5-9912-0219-0.
5. Кись О.М., Корнійчук В.І. Проектування волоконно-оптичної транспортної мережі: Навчальний посібник з курсового та дипломного проектування. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2015. – 92 с.: іл.
6. Новгородцев А. І., Кулик І. А. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Напрявні системи електричного та оптичного зв'язку» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», СумДУ, 2021р.
7. Керівництво з будівництва лінійних споруд магістральних і внутрішньозонових кабельних ліній зв'язку. - М.: Радіо і зв'язок, 2016.
8. В. Гроднев, Н.Д. Курбатов «Лінії зв'язку: Підручник для вузів». - 4-е вид., перероб. і доп. - М.: Зв'язок, 2012. - 440 с.: іл.
9. Населення: http://sumy.ukrstat.gov.ua/?menu=99&article_id=11947
10. <https://sivcomsks.com/pravila-prokladki-optovolokonного-kabelya/>
11. Карта автодоріг України: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://routes.in.ua/maps-ukraine/>
12. Бэйли, Д. Волоконная оптика: теория и практика/ Д.Бэйли. Э.Райт. – М: Кудиц-Образ. 2016 – 320 с.

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

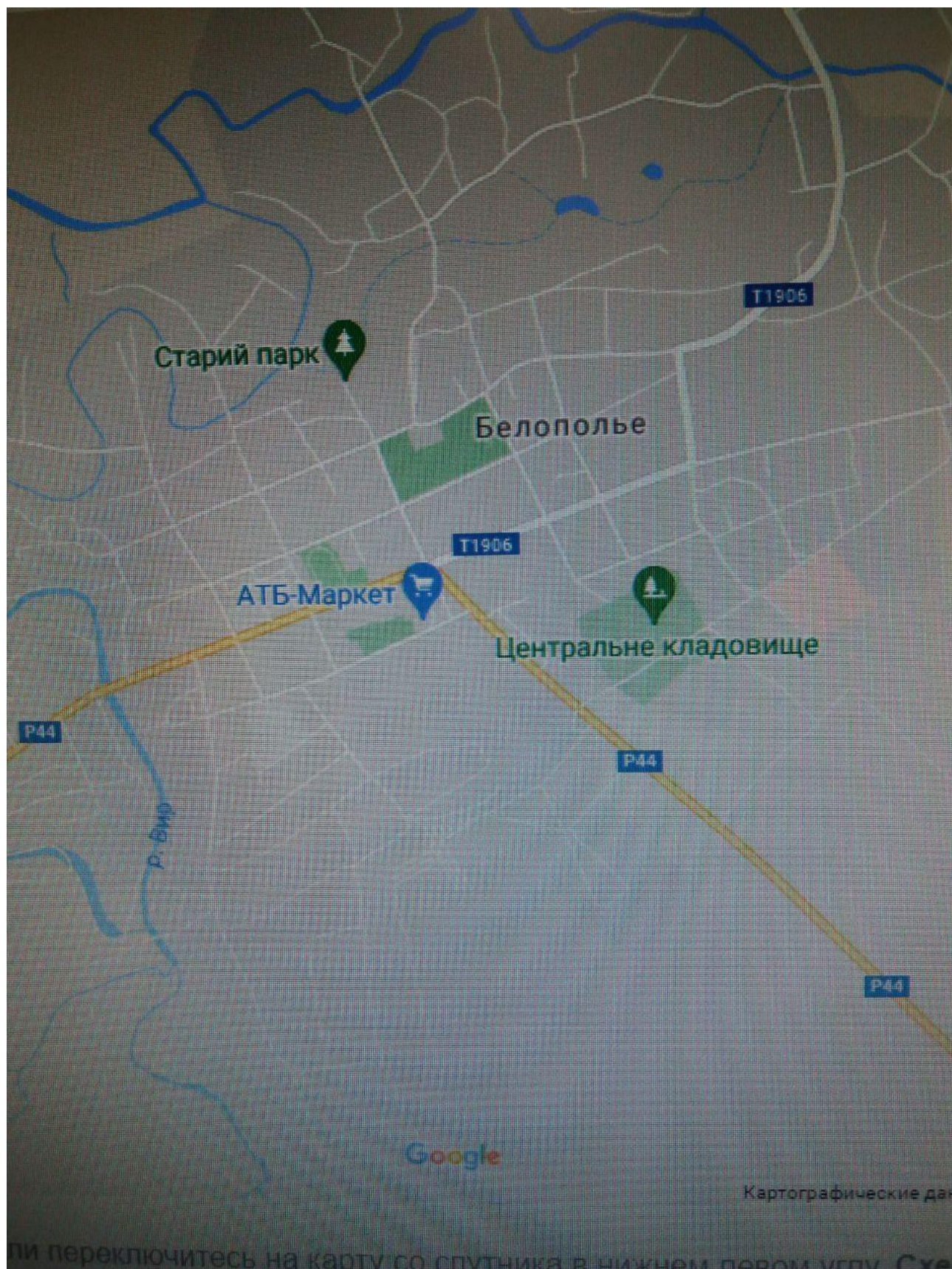
Додаток А



Схемотехнічна карта м. Суми

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

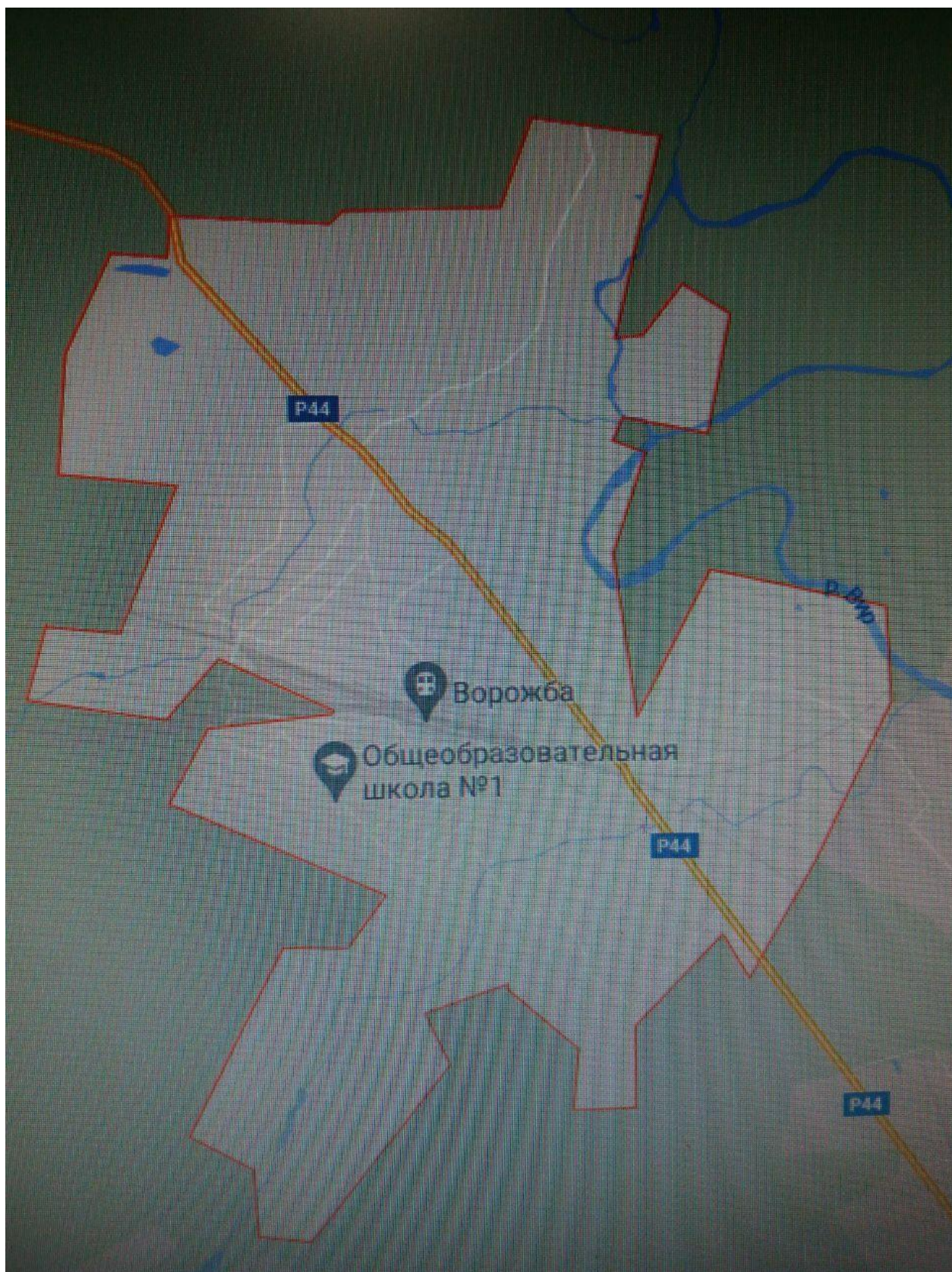
Додаток Б



Схемотехнічна карта м. Білопілля

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

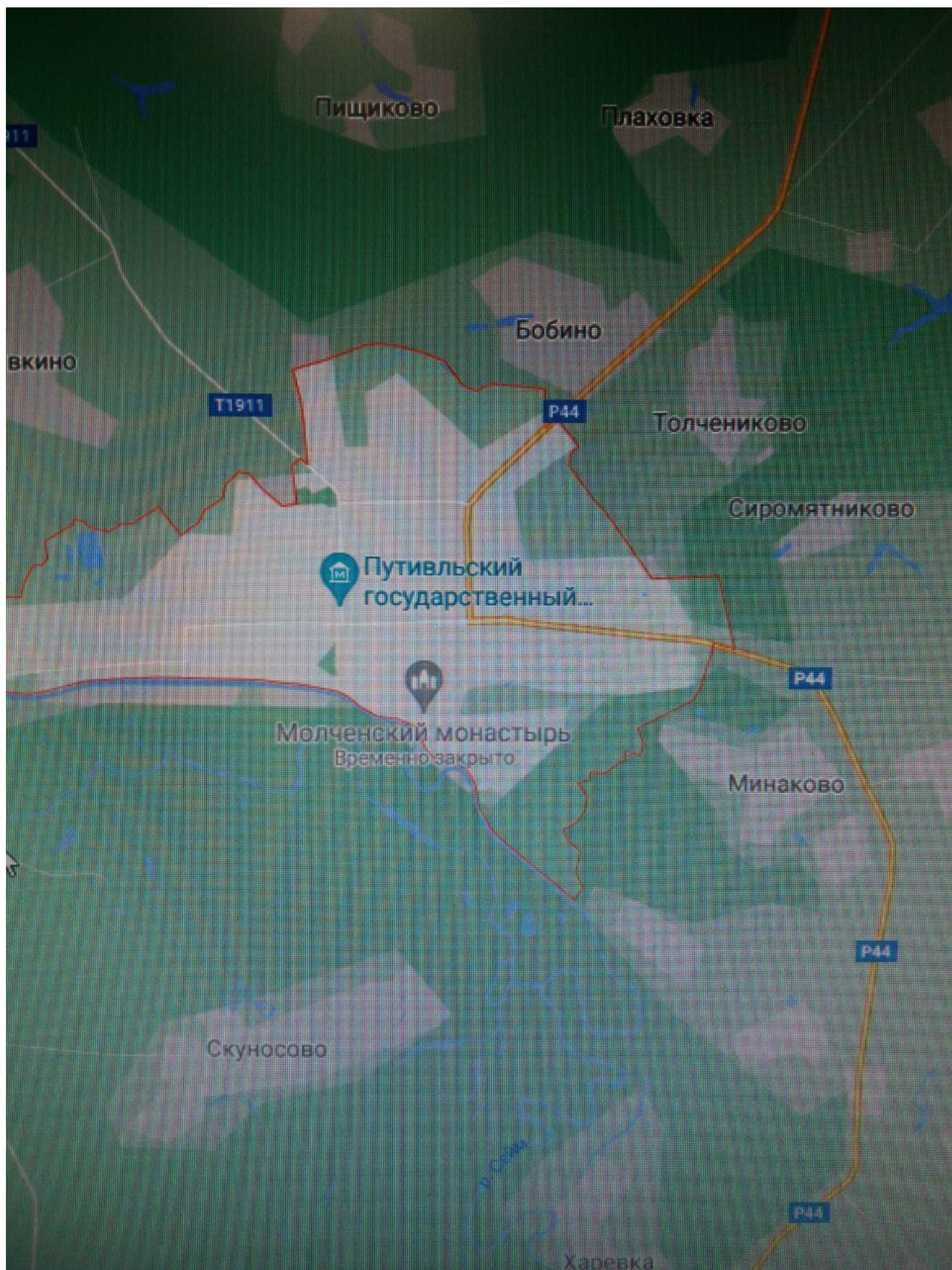
Додаток В



Схемотехнічна карта м. Ворожба

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

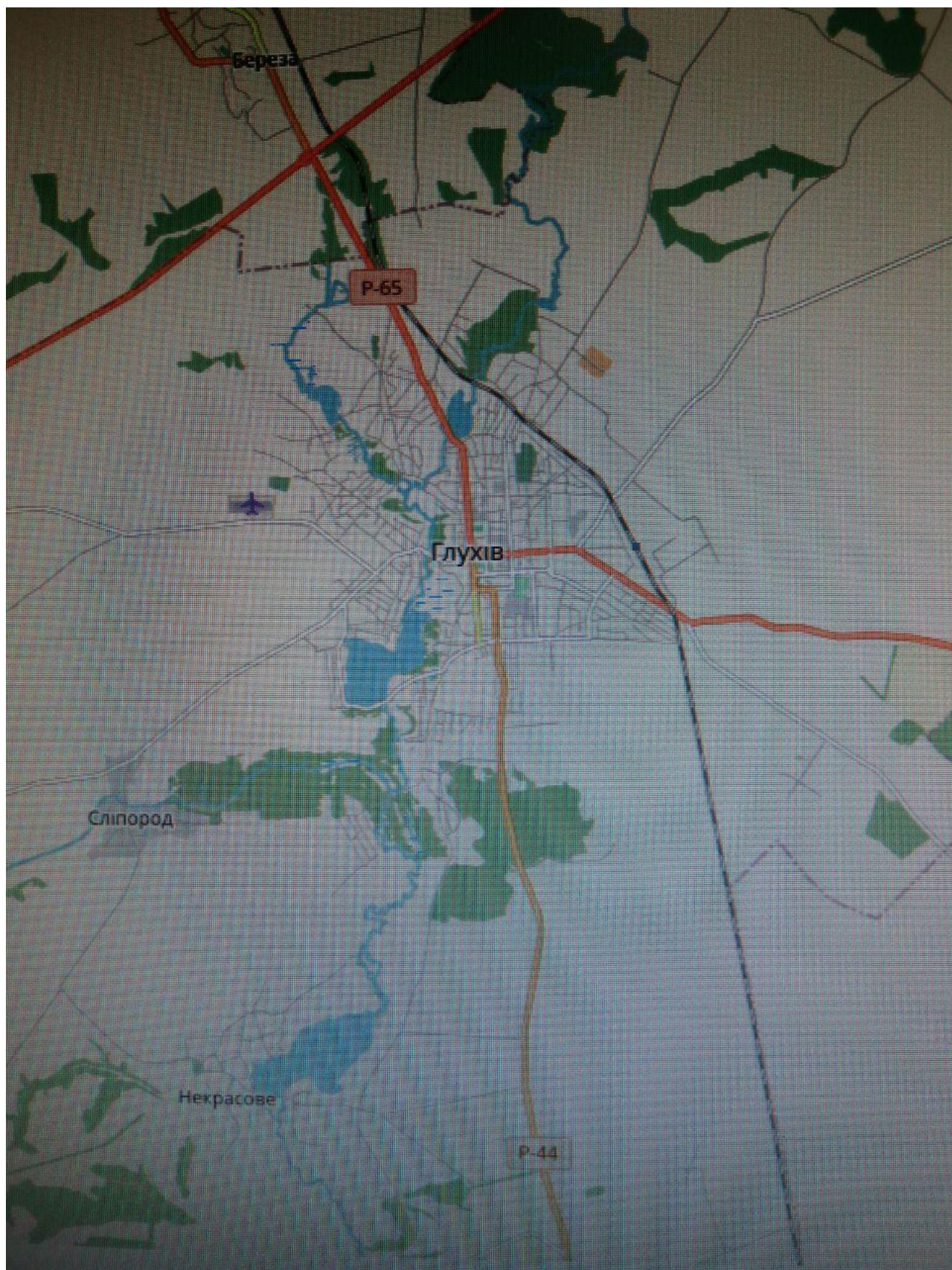
Додаток Г



Схемотехнічна карта м. Путивль

					ЕЛТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

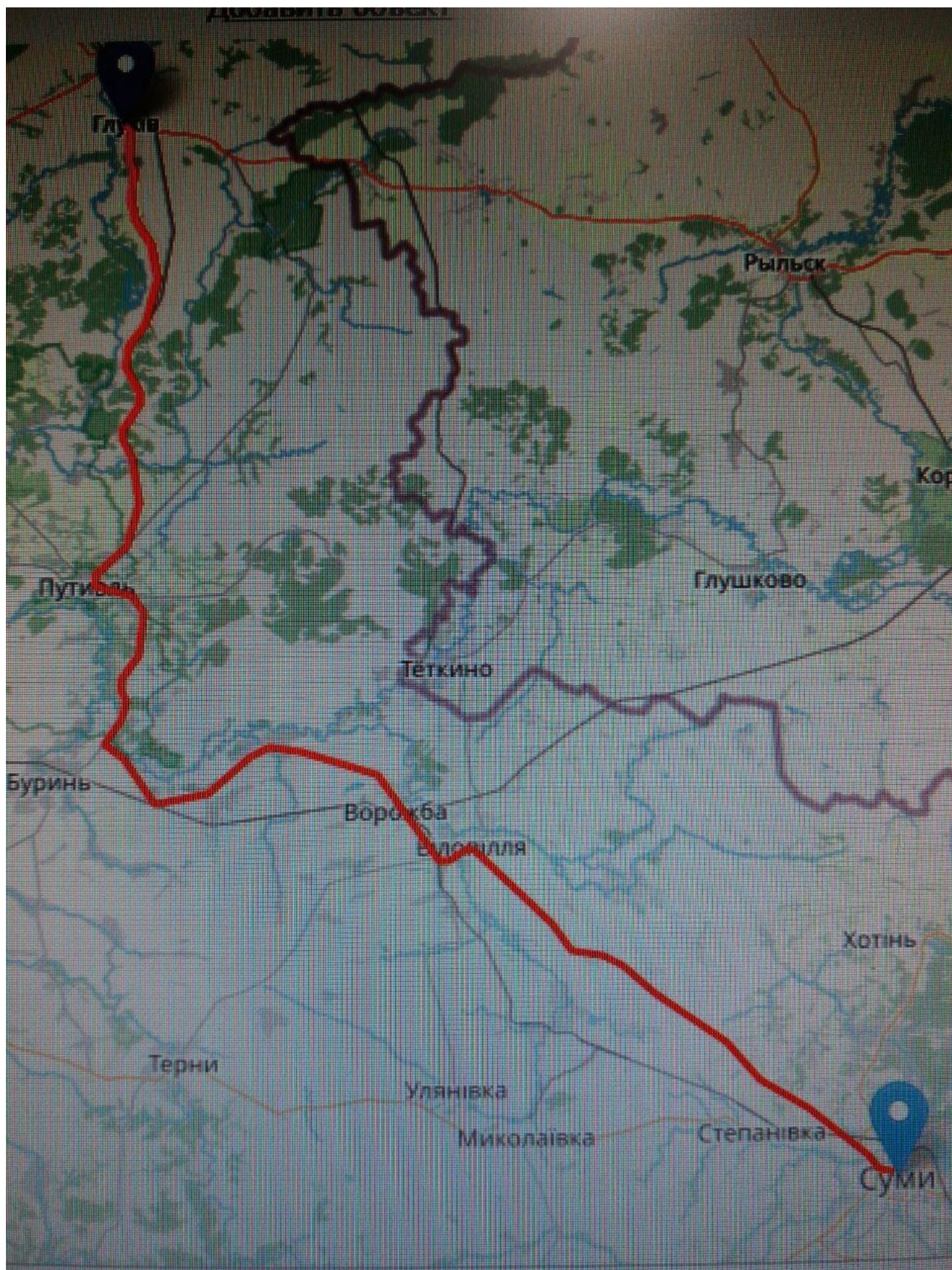
Додаток Д



Схемотехнічна карта м. Глухів

					ЕЛІТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Додаток Е



Траса оптичної лінії зв'язку на ділянці Суми - Глухів

					ЕЛТ 6.172. 433 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60