

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ**

**Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова**

**КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

**З Б І Р Н И К**

**МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ № 11, 12, 13**

**З ДИСЦІПЛІНИ**

**«СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ»  
(СПМД)**

**Модулі 4.1, 4.2**

Українською та російською мовами

**Одеса 2010**

**Назви лабораторних робіт:**

№ 11. Дослідження залежності швидкості передавання даних цифровою абонентською лінією від параметрів кабелю та рівня завад

№ 12. Дослідження параметрів цифрових абонентських ліній xDSL при паралельній роботі систем передавання xDSL в залежності від їх розташування в багатопарному кабелі, довжини кабелю та рівня завад

№ 13. Дослідження залежності швидкості передавання в цифровій абонентській лінії при паралельній роботі систем передавання xDSL від сценарію завантаження і характеристик кабелю

Укладачі методичних вказівок до лабораторних робіт №11, 12, 13 з дисципліни СПМД:

Балашов В.О., Корнійчук В.І., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.

Відповідальний редактор – проф. Павличенко Ю.А.

**СХВАЛЕНО**

на засіданні кафедри  
Телекомунікаційних систем  
і рекомендовано до друку

Протокол № 16 від 17.05.2010 р.

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Методичною радою ОНАЗ ім. О.С. Попова

Протокол № 16 від 17.05.2010 р.

Редактор

Л.А. Кодрул

Комп'ютерна верстка

Є.С. Корнійчук

## ЗМІСТ УКРАЇНСЬКОМОВНОГО ВАРІАНТУ

### ЛР №11

1 Мета роботи.....	7
2 Ключові положення.....	7
2.1 Технології xDSL. Мережа xDSL-доступу. Основні визначення	7
2.2 Лінійні сигнали асиметричних ЦАЛ.....	9
2.3 Залежність швидкості передавання по ЦАЛ від довжини лінії .....	15
3 Ключові питання.....	15
4 Домашнє завдання.....	16
5 Лабораторне завдання.....	17
6 Зміст протоколу.....	19
Додаток до ЛР-11. Графіки очікуваних результатів досліджень.....	20

### ЛР № 12

1 Мета роботи.....	23
2 Ключові положення.....	23
2.1 Параметри взаємного впливу.....	23
2.2 Залежність перехідних загасань від довжини лінії .....	24
2.3 Залежність перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності на дальньому кінці від частоти .....	25
3 Ключові питання.....	27
4 Домашнє завдання.....	27
5 Лабораторне завдання.....	28
6 Зміст протоколу.....	30
Додаток до ЛР-12. Графіки очікуваних результатів досліджень.....	31

### ЛР № 13

1 Мета роботи.....	32
2 Ключові положення.....	32
2.1 Ключові поняття (терміни).....	32
2.2 Оцінка потенційних характеристик ЦАЛ при паралельній роботі по багатопарних телефонних кабелях .....	32
3 Ключові питання.....	36
4 Домашнє завдання.....	36
5 Лабораторне завдання.....	36
6 Зміст протоколу.....	39
Додаток до ЛР-13. Графіки очікуваних результатів досліджень.....	39
Список літератури.....	40

ДОДАТКИ ДО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ.....	41
Д1 Параметри та характеристики кабелів абонентських ліній.....	41
Д1.1 Загальні відомості щодо абонентських кабелів.....	41

Д1.2	Параметри передавання абонентських кабелів .....	43
Д2	Інтерфейс користувача програмного комплексу “xDSL Liner”.....	46
Д2.1	Опис основного вікна програмного комплексу “xDSL Liner”.	46
Д2.2	Вибір системи передавання.....	47
Д2.3	Вибір структури лінії.....	47
Д2.4	Робота із сценаріями завантаження.....	49
Д2.5	Відображення результатів моделювання.....	52
Д2.6	Приклади застосування програмного комплексу.....	55

## Лабораторна робота № 11

### Дослідження залежності швидкості передавання даних цифровою абонентською лінією від параметрів кабелю та рівня завад

#### 1 Мета роботи

Дослідження швидкісних характеристик ЦАЛ на основі систем передавання (СП) xDSL різних типів в залежності від довжини лінії передавання, діаметру жил кабелю та спектральної густини потужності (СГП) завад.

#### 2 Ключові положення

##### 2.1 Технології xDSL. Мережа xDSL-доступу. Основні визначення

Технології xDSL були розроблені для високошвидкісного доступу до інтерактивних служб (відео за запитом, відеоігри і т.п.) та швидкої передавання даних (доступ до Інтернет, віддалений доступ до ЛОМ та інших мереж) з використанням існуючих телефонних абонентських ліній.

Типова структура мережі xDSL-доступу зображена на рис. 2.1.

**Мережа доступу** – це частина мережі електрозв'язку, що забезпечує з'єднання обладнання користувачів з найближчим вузлом транспортної мережі з метою забезпечення користувачів доступом до інфокомунікаційних послуг.

**Мережа xDSL-доступу** – це широкосмугова мережа доступу, що побудована на базі xDSL-систем передавання.

Технічні параметри xDSL-систем передавання визначені Рекомендаціями МСЕ-T G.991 – G.993.

На рис. 2.1 мережа xDSL-доступу – це частина мережі електрозв'язку, обмежена еталонною точкою U (або T) та BRAS (у тій його частині, що мультиплексує цифрові потоки DSLAM).

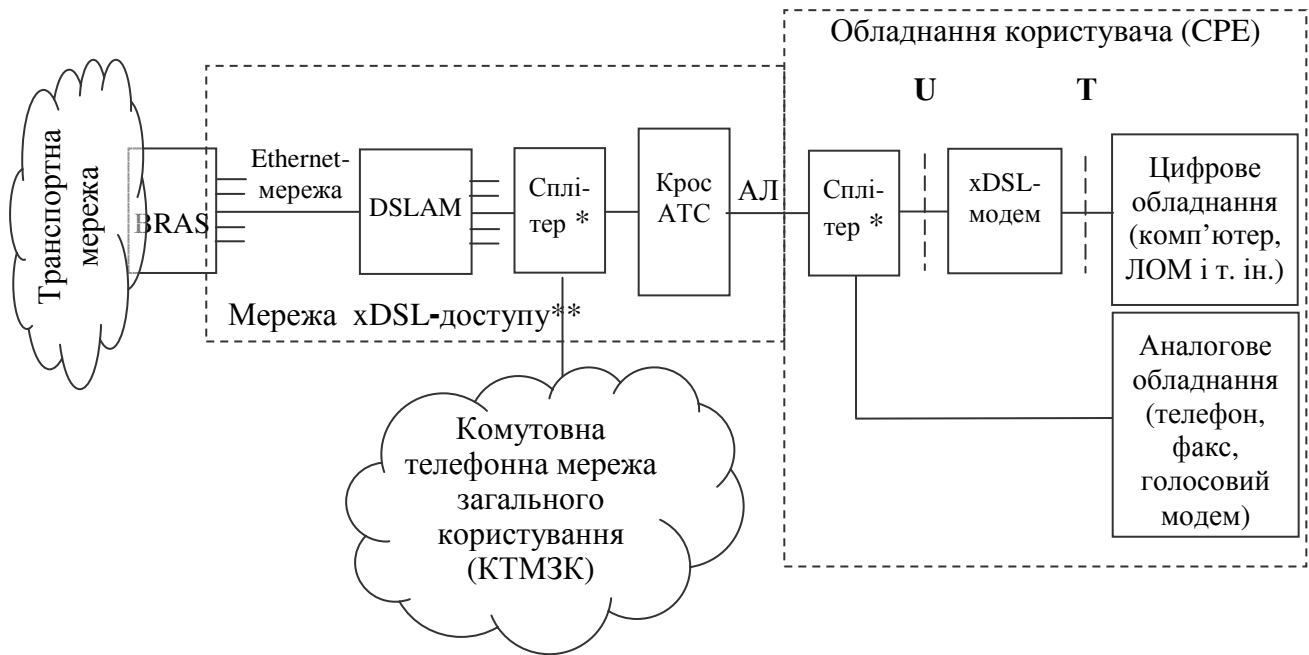
У якості обладнання користувача можуть виступати xDSL-модем, локальна обчислювальна мережа (ЛОМ), персональний комп'ютер та інші пристрої.

xDSL-модем встановлюється у приміщенні користувача і може включати функції маршрутизатора, моста та/або комутатора.

Сплітер (частотний розгалужувач) – фільтр, що розділяє високочастотні сигнали (xDSL) від низькочастотних телефонних сигналів (смуга частот від 0,3 кГц до 3,4 кГц) або сигналів ISDN (від 0 кГц до 80 кГц).

DSLAM термінує сигнали xDSL. Це перший елемент мережі доступу, де відбувається агрегація трафіку множини цифрових абонентських ліній.

Ethernet-мережа (рис. 2.1) – це частина мережі xDSL-доступу, яка обмежена множиною DSLAM та BRAS і використовує технологію передавання Ethernet.



BRAS – Broadband Remote Access Server (сервер віддаленого широкопasmового доступу)

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (мультиплексор доступу цифрових абонентських ліній)

АТС – автоматична телефонна станція

АЛ – абонентська лінія

\*<sup>1</sup>) Сплітер не використовується у симетричних видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплітер може бути вбудованим у DSLAM та xDSL-модем.

\*\*<sup>2</sup>) У деяких випадках мережа xDSL-доступу може закінчуватись у точці „Т”

**Рисунок 2.1** – Структура мережі xDSL-доступу

На рис. 2.2 наведено приклад частотного розподілу лінійних сигналів (частотний план) xDSL системи передавання за технологією ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асиметрична цифрова абонентська лінія). Тут по одній парі провідників передаються три інформаційні потоки: 1) високошвидкісний «низхідний» потік даних; 2) низькошвидкісний «висхідний» потік даних; 3) сигнали КТМЗК (комутовної телефонної мережі загального користування). Стандартний сигнал аналогової телефонії виділяється за допомогою ФНЧ, що є складовою частиною сплітера. Наявність сплітера забезпечує можливість одночасної роботи СП ADSL по одній АЛ з аналоговим телефоном традиційної телефонної мережі, причому навіть аварія з'єднання ADSL не призводить до порушення телефонного зв'язку.



**Рисунок 2.2** – Спектр лінійного сигналу ADSL (частотний поділ сигналів зустрічних напрямків)

Розглянемо докладніше призначення сплітера. Телефони у момент набору, зняття/опускання трубки, виклику (дзвінка) створюють імпульсні завади в спектральній області ADSL (25...40 кГц). До того ж, телефонна проводка фактично є приймальною антеною для сигналів радіостанцій. Крім того, телефонна апаратура змінює передавальні параметри лінії (робоче загасання, хвильовий опір) як в процесі роботи, так і при підключенні/відключенні додаткового телефону. Щоб уникнути потрапляння високочастотних завад від телефонного обладнання і абонентської проводки на вхід ADSL-модему, а також для запобігання впливу телефонного обладнання на високочастотні параметри лінії і потрібен НЧ фільтр, що є складовою частиною сплітера. Сигнал передавача ADSL-модему має також низькочастотні спектральні складові (до 4 кГц), які можуть заважати роботі телефонного обладнання. Необхідно запобігти впливу цих низькочастотних завад на вхід телефонного обладнання шляхом використання іншої складової сплітера – ВЧ фільтра.

Для передавання цифрової інформації в технології ADSL використовуються спеціальні алгоритми цифрової обробки сигналу, регламентовані Рекомендаціями МСЕ-Т G.991 – G.993.

При цьому швидкість передавання телефонною парою залежить від характеристик кабелю, довжини лінії, перехідних електромагнітних впливів від паралельно працюючих у кабелі систем передавання, зовнішніх завад.

## 2.2 Лінійні сигнали асиметричних ЦАЛ

Найбільшого поширення серед варіантів технологій xDSL знайшли системи передачі з різними швидкостями передавання інформації у низхідному і висхідному напрямках, тобто технології асиметричних ЦАЛ. Такі технології (ADSL, ADSL2, ADSL2+, VDSL, VDSL2) мають асиметричний характер Інтернет трафіка – від мережі до абонента передається як правило значно більше інформації, ніж у зворотному напрямку. Другою причиною широкої

розповсюдженості асиметричних ЦАЛ є застосування сучасного й ефективного методу передавання з використанням ортогональних гармонічних сигналів – DMT (Discrete MultiTone – дискретна багаточастотна передача (модуляція)). У радіосистемах за цим видом передавання (модуляції) закріпилася назва OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

DMT метод передбачає, що у смузі частот каналу зв'язку передається не одна модульована несуча, а певна множина ортогональних, незалежно модульованих передаваними сигналами, гармонічних несучих. Кількість незалежних несучих може досягати декількох тисяч. Ортогональність несучих сигналів дозволяє здійснювати розділення передаваних сигналів на приймальному боці.

У системах передавання з ортогональними гармонічними сигналами (СП ОГС) у якості несучих використовуються ортогональні сигнали, що описуються дійсними тригонометричними функціями:

$$\{\cos l\omega_0 t, \sin l\omega_0 t\}, l = 0, 1, 2, N - 1, \omega_0 = 2\pi F_0, F_0 = \frac{1}{\tau_0} \quad (1)$$

що є ортогональними на інтервалі  $\tau_0$ :

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cdot \cos m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \\ \tau_0/2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \end{cases}$$

$$\int_0^{\tau_0} \sin l\omega_0 t \cdot \sin m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \\ \tau_0/2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \end{cases} \quad (2)$$

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cdot \sin m\omega_0 t dt = 0, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

де  $N$  – загальне число ортогональних сигналів;  $l, m$  – змінні номерів сигналів.

Сигнал, що відповідає  $l = 0$ , для передавання не використовується.

Спектри гармонічних сигналів (1) тривалістю  $\tau_0$  описуються формулою

$$S(l, \omega) = \frac{\sin(\omega - l\omega_0) \cdot \tau_0/2}{\omega - l\omega_0}, \quad -\infty < \omega < \infty, \quad l = 0, 1, 2, \dots, N - 1. \quad (3)$$

Спектри (3) визначені на всій осі частот, тобто нескінченні, та убивають за частотою зі швидкістю, пропорційною  $\frac{1}{\omega}$ .

На рис. 2.3 наведені приклади сигналів (1) для варіанта  $l = 4, 5, 6, 22$ ,  $\tau_0 = 10^{-3}$  с,  $N = 512$ , а на рис. 2.4 – їхні дійсні спектри.

При проходженні сигналів (1) через смугово-обмежений канал зв'язку їхні спектри (3) обмежуються смугою частот пропускання каналу, внаслідок чого тривалість сигналів зростає й ортогональність прийнятих сигналів порушується, що є причиною виникнення міжсимвольних і міжканальних інтерференційних завад.



Тривалість тактового інтервалу  $T$  (тривалість передаваної елементарної послідовності) вибирається трохи більшою за тривалість інтервалу ортогональності  $\tau_0$ . Їхня різниця становить захисний часовий інтервал  $\tau_3$  між послідовно передаваними одиничними елементами групового сигналу, що вводиться з метою підвищення завадозахищеності сигналів СП ОГС від інтерференційних завад. Важливою перевагою системи ортогональних сигналів (1) перед іншими ортогональними сигналами є, по-перше, висока концентрація енергії  $l$ -го сигналу в області частот  $(l-1)\omega_0 \leq \omega < (l+1)\omega_0$  і швидке убування енергії поза цим діапазоном, по-друге, існування швидких методів реалізації алгоритмів їхньої модуляції-демодуляції.

Кодові символи  $a_{1p}, b_{1p}, a_{2p}, b_{2p}, \dots, a_{np}, b_{np}, -\infty < p < \infty$ , що підлягають передаванню на  $p$ -му тактовому інтервалі, з тактовою частотою, що дорівнює  $1/T$ , надходять на входи амплітудних модуляторів і модулюють амплітуди квадратурних несучих

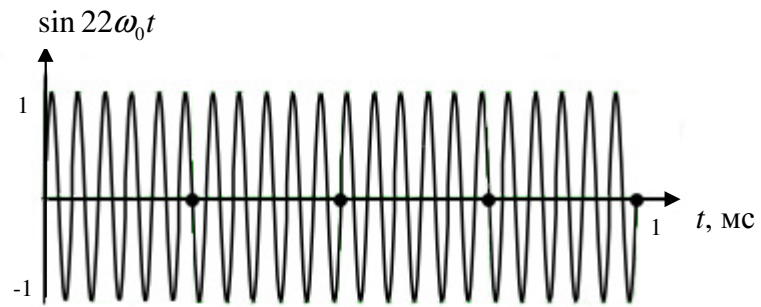
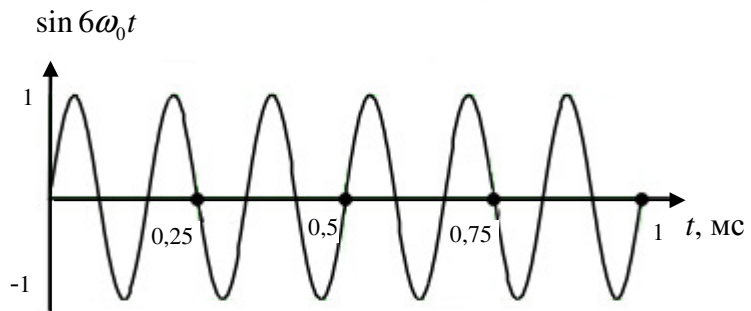
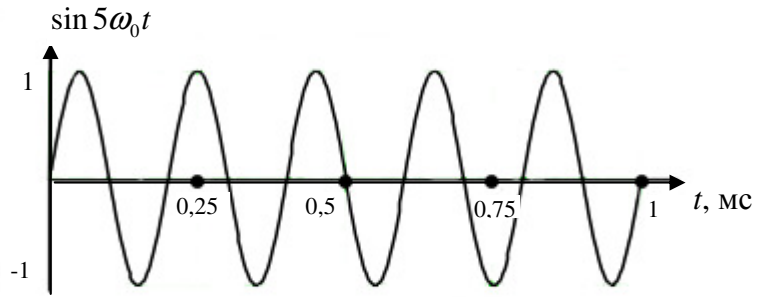
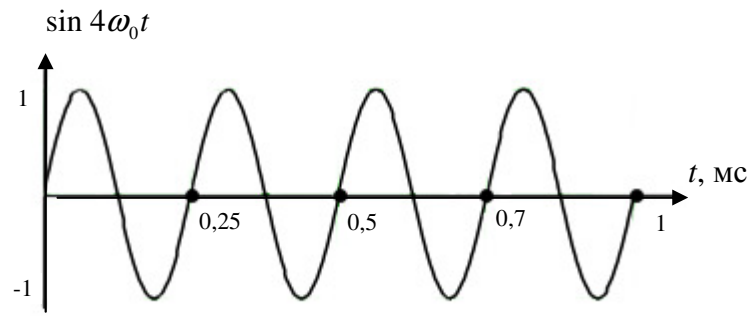
$$\left\{ \begin{array}{l} \cos l\omega_0(t-pT) \\ \sin l\omega_0(t-pT) \end{array} \right\}_{l=l_1}^{l_2}, \quad l_2 - l_1 + 1 = n, \quad (4)$$

де  $n$  – число використовуваних несучих з  $N - 1$  можливих;

$l_1$  і  $l_2$  – номери відповідно першої й останньої з використовуваних несучих.

Груповий сигнал на виході передавача СП ОГС являє собою суму модульованих несучих

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} a_{lp} \cos l\omega_0(t-pT) + b_{lp} \sin l\omega_0(t-pT). \quad (5)$$



**Рисунок 2.3** – Графіки ортогональних гармонічних сигналів

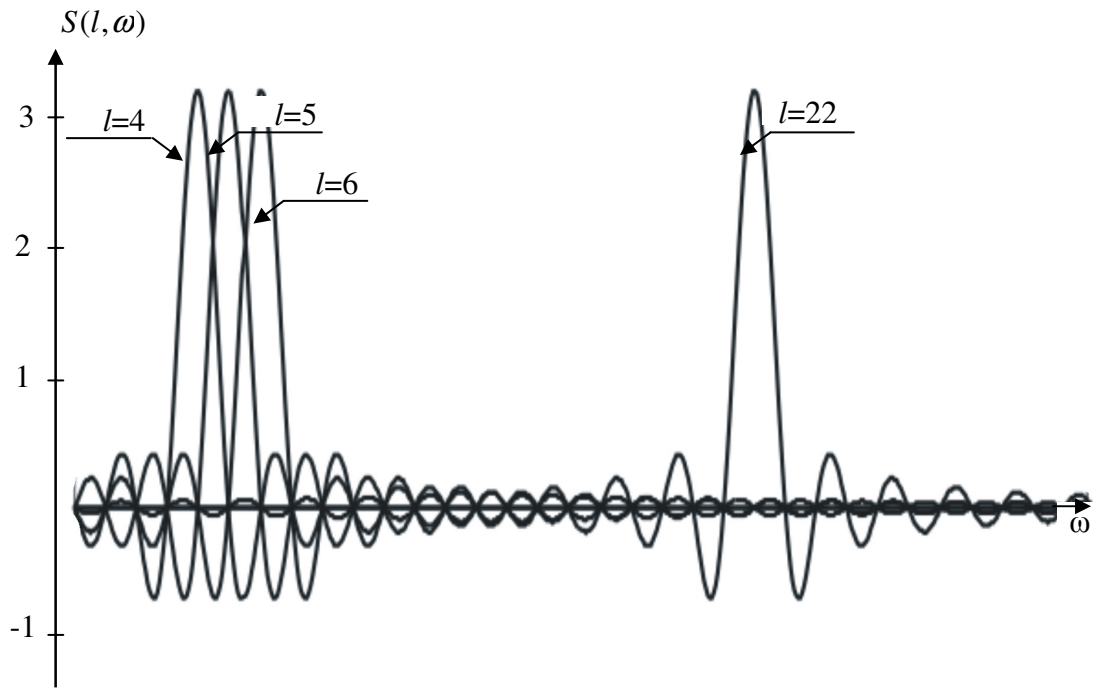
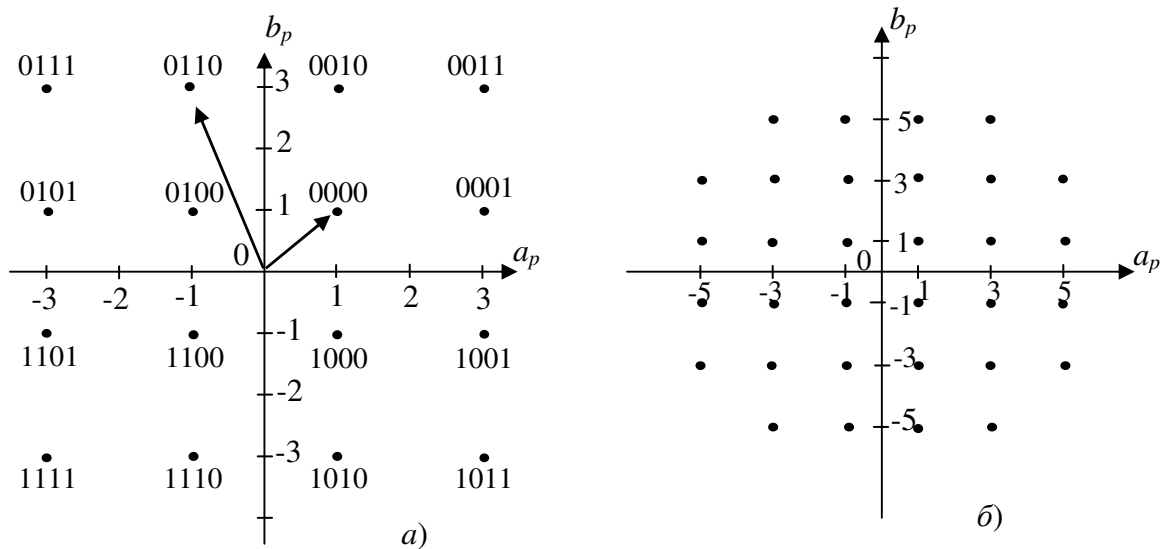


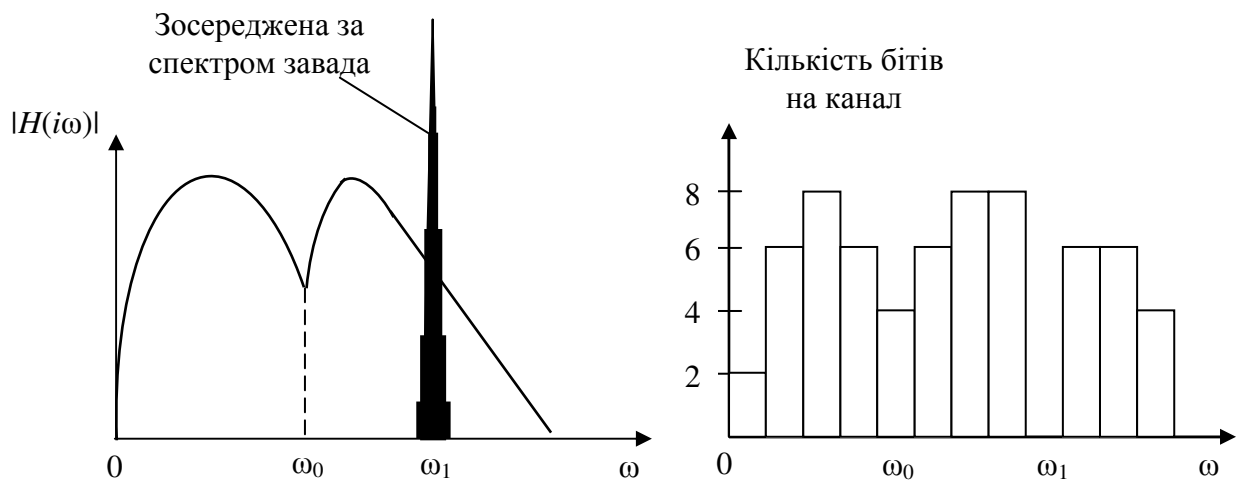
Рисунок 2.4 – Приклад спектрів гармонічних сигналів тривалістю  $\tau_0$

Значення  $a_{lp}$  і  $b_{lp}$  визначаються бітами, що підлягають передаванню на  $l$ -й несучій у  $p$ -му тактовому інтервалі, тобто комбінація передаваних бітів перекодовується у  $a_{lp}$  і  $b_{lp}$ . Для розуміння того, яким чином відбувається це перетворення передаваних бітів у  $a_{lp}$  і  $b_{lp}$ , звернемося до геометричного подання сигналів, яке полягає в наступному: несучі сигнали  $\cos l\omega_0 t$  і  $\sin l\omega_0 t$  розглядаються як ортогональні осі координат, а передавані на  $l$ -й несучій у  $p$ -му тактовому інтервалі сигнали  $a_{lp}$  і  $b_{lp}$  визначають координати сигнальних точок на двомірній площині в цій системі координат. Кількість бітів інформації, передаваних за один такт на одній несучій, є цілочисельною і дорівнює  $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max}$  (як правило,  $n_{\max}$  не перевищує 15), відповідна кількість сигнальних точок у двомірній системі координат визначається числом  $M = 2^n$ . Сукупність сигнальних точок на площині являє собою сигнальне сузір'я КАМ - квадратурної амплітудної модуляції (квадратурною вона називається тому, що несучі сигнали  $\cos l\omega_0 t$  і  $\sin l\omega_0 t$  мають зсув за фазою на  $90^\circ$ , тобто вони знаходяться у квадратурі). Сигнальне сузір'я для  $n = 4$  ( $M = 2^4 = 16$ ), що містить 16 сигнальних точок (КАМ-16), наведено на рис. 2.5, а. На рис. 2.5, б наведено сигнальне сузір'я, що містить 32 точки (КАМ-32). Для завдання координат точок цього сузір'я п'ять бітів передаваної інформації перекодовуються в координати сигнальних точок  $a_p$  і  $b_p$ . Нескладно побудувати на базі описаних прикладів сузір'я КАМ-64, КАМ-128 тощо.



**Рисунок 2.5** – Сигнальні сузір'я КАМ-16 (а) та КАМ-32 (б)

Важливим достоїнством СП ОГС є гнучкість у формуванні спектра передаваного сигналу. СП ОГС здійснює вимірювання характеристик каналу зв'язку і частотного розподілу потужності передаваного сигналу й кількості передаваної інформації по каналах СП ОГС із урахуванням результатів цих вимірювань. Це дозволяє, наприклад, не використовувати для передавання ті області частотної характеристики каналу зв'язку, в яких загасання сигналу або потужність завад є занадто великі. На рис. 2.6 подано приклад залежності від частоти модуля передатної функції каналу зв'язку  $|H(i\omega)|$  (ліворуч) і відповідної залежності від частоти швидкості передавання каналами СП (праворуч). Видно, що на тих несучих, де значення коефіцієнта передавання є більшим, передається більше інформації, і навпаки, а на несучій, де діє зосереджена за спектром потужна завада, інформація взагалі не передається.



**Рисунок 2.6** – Залежність швидкості передавання каналами СП ОГС від АЧХ каналу зв'язку й потужності завад

Вузькосмуговість каналів СП ОГС дозволяє ефективно боротися також із імпульсними завадами. Під імпульсною завадою розуміють, як правило, заважаючий сигнал, тривалість якого є сумірна з котельниковським інтервалом каналу зв'язку й, отже, який має широкосмуговий спектр, який перекриває спектр передаваного сигналу.

Істотно, що метод передавання DMT є адаптивним і дозволяє гнучко змінювати швидкість передавання, підстроюючись під характеристики конкретної абонентської лінії, що змінюються у часі.

### **2.3 Залежність швидкості передавання по ЦАЛ від довжини лінії**

Важливою характеристикою ЦАЛ є залежність досяжної швидкості передавання  $R$  від довжини лінії  $L$  для кабелю певної марки з відомим діаметром жил при певному рівні завад в лінії. Знаючи цю залежність, можна визначити швидкість передавання при заданій довжині лінії і, зворотно, дальність передавання при заданій швидкості передавання. Приклад залежності швидкості від довжини (низхідний напрямок передавання) для СП ADSL і ADSL2+, що працюють по кабелю типу ТП із діаметром жил 0,4 мм, наведено на рис. Д.1, б. На цьому рисунку для кожного типу СП наведено 4 кривих залежності швидкості від дальності при різних рівнях спектральної густини потужності (СГП) завад на вході приймача абонентського модему. Природно, що крива з меншим рівнем СГП завад розташовується вище за криву з більшим рівнем СГП завад.

## **3 Ключові питання**

1. Що розуміють під спектральною густиною потужності завад та у яких одиницях вона вимірюється?
2. Наведіть приклади джерел електромагнітних завад, які можуть впливати на працездатність ЦАЛ.
3. Як саме впливає діаметр жил кабелю на швидкість і дальність передавання по ЦАЛ?
4. Які ділянки абонентської лінії (магістральна, розподільна, абонентська проводка) найбільше піддаються впливу електромагнітних завад і чому?
5. З якою метою і де саме в ЦАЛ встановлюють сплітер (частотний розгалужувач)?
6. Чому при: а) збільшенні довжини лінії, б) зменшенні діаметра жил кабелю, в) збільшенні СГП завад у лінії швидкість передавання СП ADSL починає знижуватися спочатку за рахунок зниження швидкості передавання на верхніх несучих?
7. Як саме та на яких несучих зміниться значення швидкості передавання при дії зосередженої за спектром завади, що діє в межах лінійного спектру частот СП ОГС?

8. Як саме та на яких несучих зміниться значення швидкості передавання при дії рівномірно розподіленої за спектром завади, що діє в межах лінійного спектру частот СП ОГС?

#### 4 Домашнє завдання

При дії рівномірно розподіленої за спектром завади обладнання ADSL, адаптуючись до нових умов передавання, автоматично перейшло з формату модуляції КАМ-64 на формат КАМ-4 на всіх використовуваних несучих. Розрахувати значення швидкості передавання по ЦАЛ заданого типу у висхідному і низхідному напрямках до і після цієї адаптації.

Варіант для розрахунку обирається з табл. 4.1.

**Примітка.** Частота інформаційних кадрів (символів) складає 4000 Гц.

**Таблиця 4.1** – Вихідні дані для розрахунків при виконанні домашнього завдання

№ бригади	Варіант СП xDSL та відповідна Рекомендація MCE-T	Кількість використовуваних несучих у напрямку (шт.)
		від абонента/до абонента
1	ADSL (G.992.1)	26/224
2	ADSL (G.992.1)	18/176
3	ADSL G.Lite (G.992.2)	26/52
4	ADSL G.Lite (G.992.2)	15/35
5	ADSL2+ (G.992.5)	26/289
6	ADSL2+ (G.992.5)	13/395
7	ADSL2+ (G.992.5)	26/480
8	ADSL2+ (G.992.5)	22/317

Наприклад, якщо задано СП ADSL (G.992.1), а кількість використовуваних несучих у висхідному і низхідному напрямку складає 20 і 200 відповідно, то швидкості передавання дорівнюють:

– у висхідному напрямку -  $20 \times 4000 \text{ Гц} \times 6 \text{ біт} = 480 \text{ кбіт/с}$  до адаптації і  $20 \times 4000 \text{ Гц} \times 2 \text{ біт} = 160 \text{ кбіт/с}$  після адаптації,

– у низхідному напрямку -  $200 \times 4000 \text{ Гц} \times 6 \text{ біт} = 4800 \text{ кбіт/с}$  до адаптації і  $200 \times 4000 \text{ Гц} \times 2 \text{ біт} = 1600 \text{ кбіт/с}$  після адаптації.

## 5 Лабораторне завдання

5.1 Варіант досліджуваної ЦАЛ (діаметр жил кабелю типу ТПП та тип СП) обирається з табл. 5.1.

**Таблиця 5.1** – Варіанти досліджуваної ЦАЛ

№ бригади	Лінійне та станційне обладнання ЦАЛ		Примітка
	Кабель	Тип СП xDSL	
	Діаметри жил $d_1$ і $d_2$ , мм		
1	0,32; 0,5	ADSL	-
2		ADSL2+	-
3	0,4; 0,64	VDSL A	Частотний план А
4		VDSL B	Частотний план В
5	0,32; 0,4	ADSL	-
6		ADSL2+	-
7	0,5; 0,64	VDSL A	Частотний план А
8		VDSL B	Частотний план В

5.2 Розрахувати за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) xDSL-Liner та дослідити графіки амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної (ФЧХ) характеристик кола кабелю довжиною 1 км для діаметрів жил згідно з даними табл. 5.1.

Побудувати у робочому зошиті графіки АЧХ та ФЧХ при різних діаметрах жил кабелю в одній системі координат. Зробити висновки щодо побудованих графіків.

**Увага!** Для того, щоб встановити на горизонтальній осі одиниці виміру кГц або МГц, треба в основному вікні програми натиснути кнопку “Вид”, а у віконці “Градуировка по оси X”, що з’явилося, натиснути кнопку “Частота, кГц” або “Частота, МГц”.

5.3 Для заданого варіанту ЦАЛ (табл. 5.1) дослідити залежність швидкості передавання даних від довжини лінії та діаметру жил кабелю при СПП білого (рівномірного за спектром) шуму мінус 120 дБм/Гц. Результати досліджень занести до табл. 5.2.

**Таблиця 5.2** – Залежність швидкості передавання від довжини ЦАЛ та діаметру жил кабелю

Діаметр жил	Довжина ЦАЛ, км	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
		$d_1$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)				
$R_D$ (до абонента)								
$d_2$	$R_U$ (від абонента)							
	$R_D$ (до абонента)							

За результатами досліджень побудувати наступні графіки залежності швидкості передавання від довжини лінії (див. додаток до ЛР):

1) сімейство залежностей швидкості передавання в висхідному напрямку  $R_U$  (Мбіт/с) від довжини ЦАЛ  $L$  (км) при різних діаметрах жил кабелю;

2) сімейство залежностей швидкості передавання в низхідному напрямку  $R_D$  (Мбіт/с) від довжини ЦАЛ  $L$  (км) при різних діаметрах жил кабелю.

Зробити висновки щодо результатів виконаних в п. 5.3 досліджень.

5.4 Дослідити залежність швидкості передавання заданої варіантом СП xDSL від СГП завод, довжини кабелю і діаметру його жил, таблиці 5.3 - 5.5.

**Увага!** При кожному розрахунку, здійснюваному за допомогою ПЗ xDSL-Liner, значення СГП завод у лінії необхідно встановлювати як на станційному, так і на абонентському боці.

**Таблиця 5.3** – Залежність швидкості передавання від СГП завод для ЦАЛ довжиною 1 км при різних діаметрах жил кабелю

Діаметр жил, мм	СГП завод, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Швидкість передавання, Мбіт/с							
$d_1$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						
$d_2$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						

**Таблиця 5.4** – Залежність швидкості передавання від СГП завод для ЦАЛ довжиною 2 км при різних діаметрах жил кабелю

Діаметр жил, мм	СГП завод, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Швидкість передавання, Мбіт/с							
$d_1$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						
$d_2$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						

**Таблиця 5.5** – Залежність швидкості передавання від СГП завод для ЦАЛ довжиною 3 км при різних діаметрах жил кабелю

Діаметр жил, мм	СГП завод, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Швидкість передавання, Мбіт/с							
$d_1$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						
$d_2$	Швидкість передавання, Мбіт/с	$R_U$ (від абонента)						
		$R_D$ (до абонента)						



За результатами розрахунків, зведеними до табл. 5.3 - 5.5, побудувати три наступних графіка (див. додаток до ЛР):

1) залежності  $R_U$  та  $R_D$  (Мбіт/с) від СГП завад для ЦАЛ довжиною 1 км при різних діаметрах жил кабелю;

2) залежності  $R_U$  та  $R_D$  (Мбіт/с) від СГП завад для ЦАЛ довжиною 2 км при різних діаметрах жил кабелю;

3) залежності  $R_U$  та  $R_D$  (Мбіт/с) від СГП завад для ЦАЛ довжиною 3 км при різних діаметрах жил кабелю.

Зробити висновки за результатами виконаних у п. 5.4 досліджень.

5.5 Для дослідженої в лабораторній роботі технології xDSL за заданих викладачем довжини ЦАЛ, діаметру жил кабелю та СГП завад визначити швидкості передавання в прямому та зворотному напрямках. Для цього використати графіки, побудовані при виконанні пп. 5.3 та 5.4.

## **6 Зміст протоколу**

6.1 Тема та мета лабораторної роботи.

6.2 Результати виконання домашнього завдання.

6.3 Графіки залежностей за результатами виконання пп. 5.2 – 5.4 лабораторного завдання.

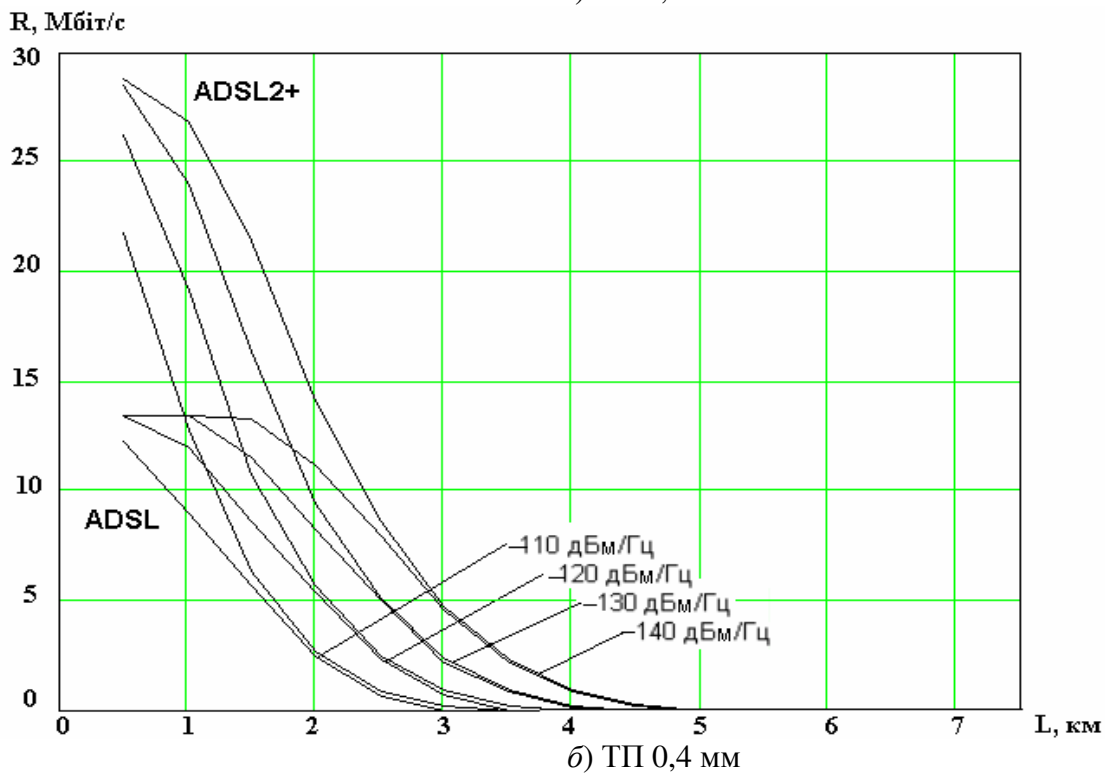
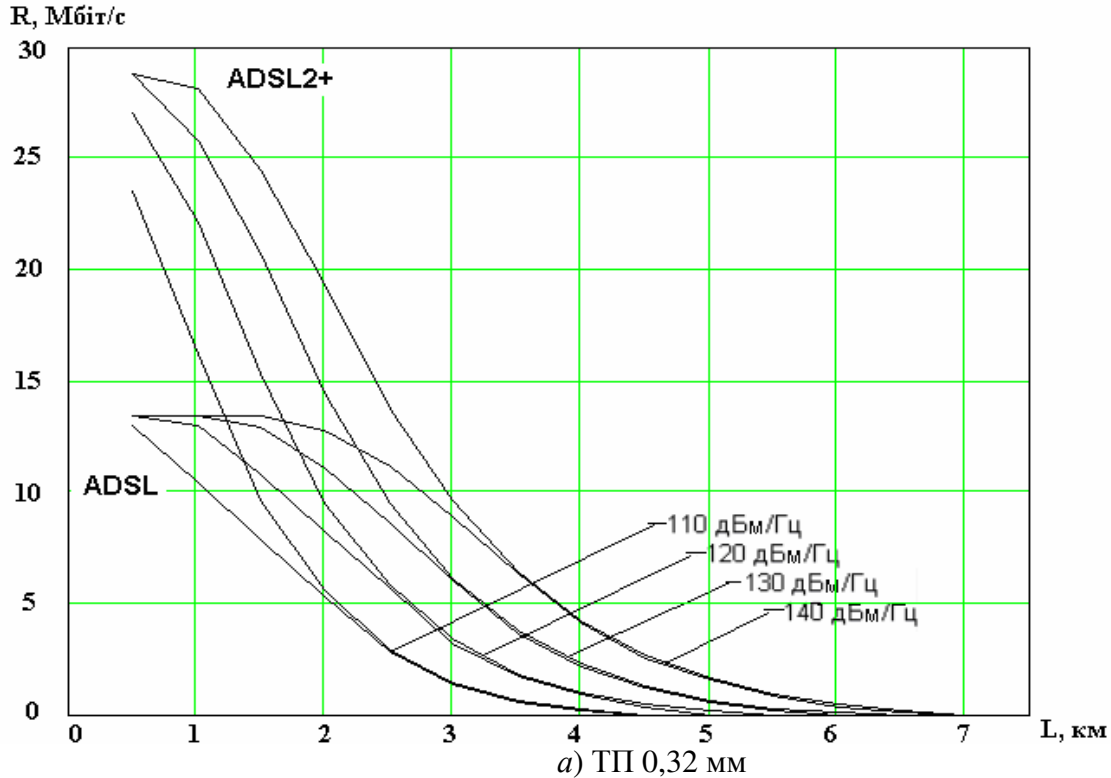
6.4. Результати виконання індивідуального завдання згідно п. 5.5.

6.5. Висновки за результатами виконання роботи.

## Додаток до лабораторної роботи № 11

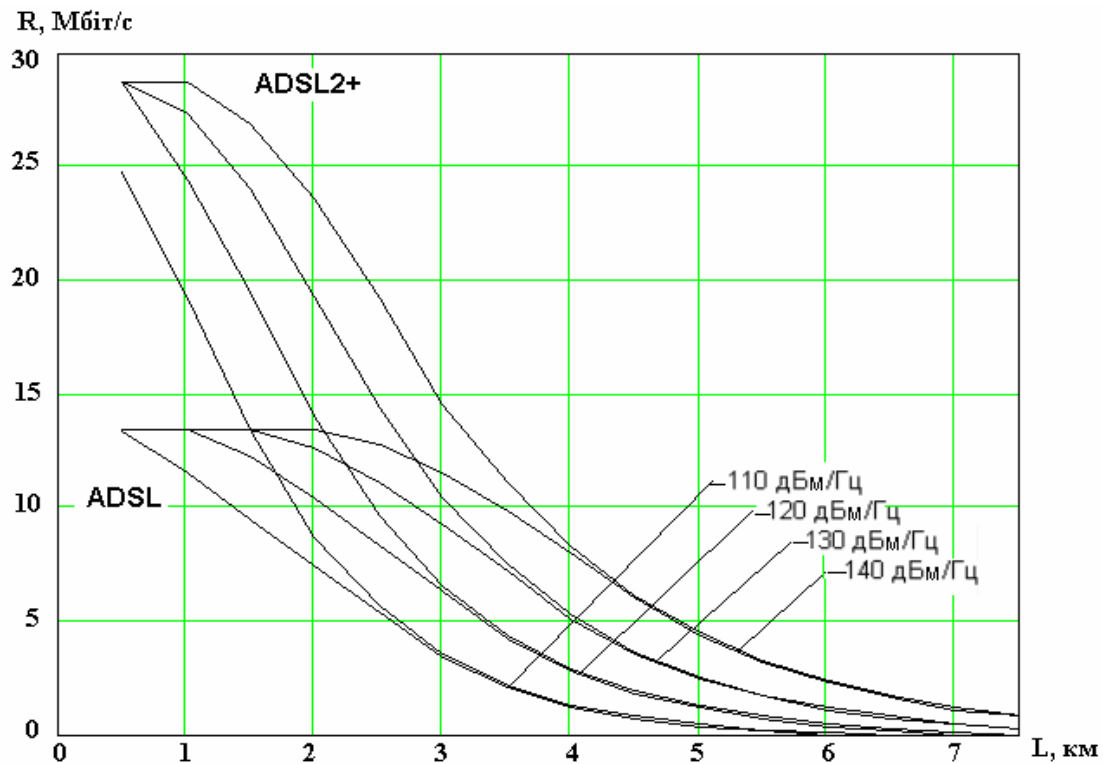
### Графіки очікуваних результатів досліджень

Очікувані залежності швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,32 мм і 0,4 мм для різної СГП завод на вході приймача ADSL і ADSL2+ наведено на рис. Д.1.

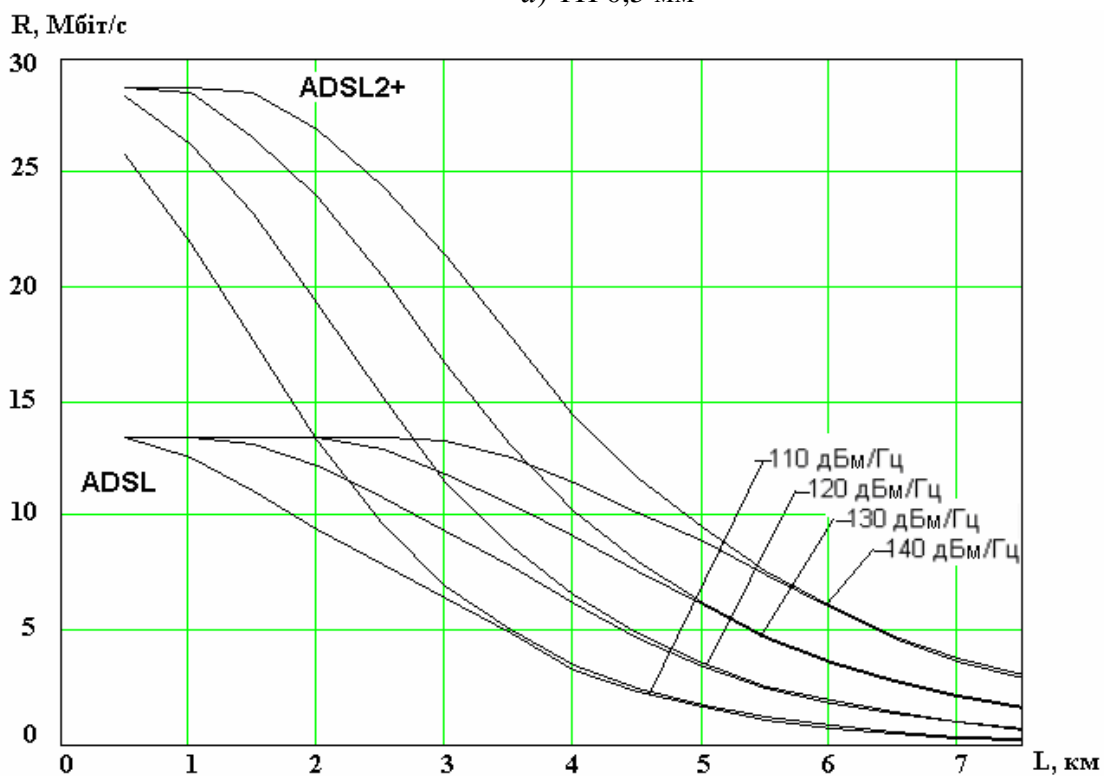


**Рисунок Д.1** – Очікувані залежності швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,32 мм і 0,4 мм для різної СГП завод на вході приймача ADSL і ADSL2+

Очікувані залежності швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,5 мм і 0,64 мм для різної СГП завод на вході приймача ADSL і ADSL2+ наведено на рис. Д.2.



а) ТП 0,5 мм



б) ТП 0,64 мм

**Рисунок Д.2** – Очікувані залежності швидкості передавання інформації в низхідному напрямку від довжини лінії кабелю ТП із діаметром жил 0,5 мм і 0,64 мм для різної СГП завод на вході приймача ADSL і ADSL2+

Очікувана залежність швидкості передавання в низхідному напрямку від довжини кабелю типу ТП із діаметром жил 0,32 мм при СГП завод мінус 120 дБм/Гц та залежність швидкості передавання в низхідному напрямку від СГП завод при довжині кабелю типу ТП 2,5 км із діаметром жил 0,32 мм наведені на рис. Д.3.

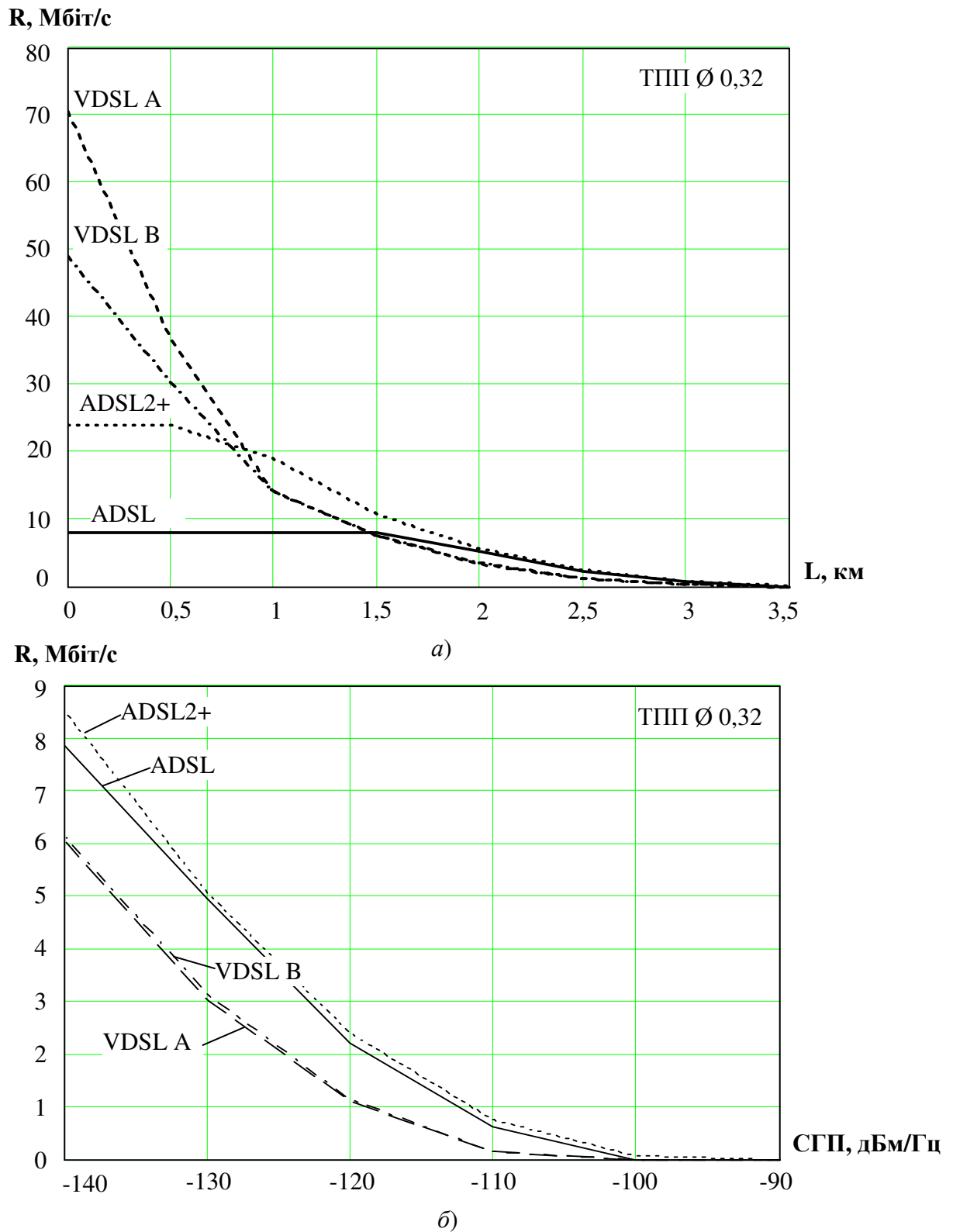


Рисунок Д.3 – Очікувані залежності швидкості передавання від довжини кабелю а) та СГП завод б)

## Лабораторна робота № 12

### Дослідження параметрів цифрових абонентських ліній xDSL при паралельній роботі систем передавання xDSL в залежності від їх розташування в багатопарному кабелі, довжини кабелю та рівня завад

#### 1 Мета роботи

Дослідження залежності швидкості передавання та перехідних завад у цифрових абонентських лініях xDSL при паралельній роботі xDSL-систем від взаємного розташування їх в багатопарному кабелі, довжини кабелю та рівня завад.

#### 2 Ключові положення

##### 2.1 Параметри взаємного впливу

**Перехідне загасання** – загасання синусоїдального сигналу при переході з кола, що впливає, до кола, що підпадає впливу.

**Перехідне загасання на ближньому кінці** - загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на ближній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях.

**Узгоджене навантаження** – навантаження, параметри якого відповідають одержанню на ньому найбільшої потужності; навантаження лінії, при якому у лінії відсутня відбита хвиля.

**Перехідне загасання на дальньому кінці** – загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на дальній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл по кінцях.

**Захищеність між колами на дальньому кінці** (захищеність) – загасання (перехідне) синусоїдального сигналу при переході з дальнього кінця кола, що впливає, на дальній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл по кінцях.

**Примітка.** Захищеність між колами визначається як різниця між рівнем сигналу в кінці кола, що впливає, і рівнем завади в кінці кола, підданого впливу.

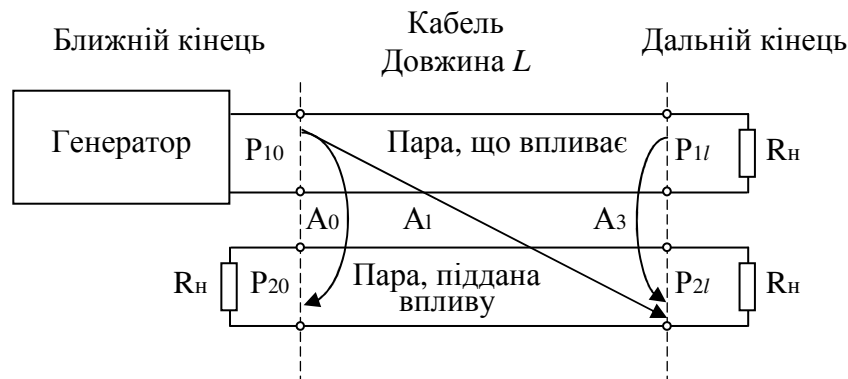
**Загасання асиметрії** – загасання синусоїдального сигналу при переході з штучного кола, утвореного жилами кабелю та «землею», в робочу пару кабелю.

Взаємний вплив в кабелі виникає внаслідок електромагнітного зв'язку між парами. Рівень взаємних завад, що виникають усередині кабелю, визначається перехідними загасаннями між парами. Розрізняють перехідні затухання на ближньому кінці  $A_0$ , на дальньому кінці  $A_l$  та захищеність на дальньому кінці  $A_s$ .

На рис. 2.1 наведено модель перехідних впливів між парами кабелю. Вертикальні пунктирні лінії позначають два кінці кабелю.

Пара, до якої підключено генератор, є парою, що впливає. Пара, по кінцях до якої підключені опори навантаження, є парою, підданою впливу. Кінець

кабелю, до пари якого підключено генератор, є ближнім кінцем. Кінець кабелю, до пар якого підключені тільки опори навантаження  $R_H$ , є дальнім кінцем. Опори навантаження  $R_H$  повинні бути узгоджені з хвильовим опором пар  $Z_{ХВ}$ .



**Рисунок 2.1**– Визначення перехідних загасань на ближньому кінці  $A_0$ , на дальньому кінці  $A_1$  і захищеності на дальньому кінці  $A_3$

Величина перехідного загасання на ближньому кінці  $A_0$ , в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{10}$  на ближньому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{20}$  на ближньому кінці пари, що підпадає впливу

$$A_0 = 10 \lg \left| P_{10}/P_{20} \right| .$$

Величина перехідного загасання на дальньому кінці  $A_1$ , в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{10}$  на ближньому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{21}$  на дальньому кінці пари, що підпадає впливу

$$A_1 = 10 \lg \left| P_{10}/P_{21} \right| .$$

Величина захищеності на дальньому кінці  $A_3$ , в дБ, дорівнює 10 десятковим логарифмам модуля відношення потужності сигналу  $P_{11}$  на дальньому кінці пари, що впливає, до потужності завади  $P_{21}$  на дальньому кінці пари, що підпадає впливу

$$A_3 = 10 \lg \left| P_{11}/P_{21} \right| .$$

Перехідне загасання на дальньому кінці і захищеність на дальньому кінці зв'язані між собою власним затуханням пари, яке дорівнює добутку коефіцієнта затухання  $\alpha$  на довжину кабелю  $l$

$$A_1 = A_3 + \alpha l .$$

## 2.2 Залежність перехідних загасань від довжини лінії

Як показали вимірювання на АЛ, середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці в багатопарних кабелях не залежить від довжини й визначається перехідним загасанням на ближньому кінці першої будівельної довжини.

Середнє значення перехідного загасання на дальньому кінці й захищеності на дальньому кінці багатопарного кабелю місцевої телефонної мережі залежать від частоти й довжини абонентської лінії та визначається за допомогою наступних формул

$$A_{з\text{АЛ}} = A_{з\text{бд}} - 10 \cdot \lg(l/l_{\text{бд}}),$$

$$A_{l\text{АЛ}} = A_{з\text{АЛ}} + \alpha \cdot l,$$

де  $A_{з\text{АЛ}}$  – захищеність на дальньому кінці АЛ, дБ, довжиною  $l$  км;

$A_{з\text{бд}}$  – захищеність на дальньому кінці однієї будівельної довжини кабелю, дБ;

$A_{l\text{АЛ}}$  – перехідне загасання на дальньому кінці АЛ, дБ;

$\alpha$  – коефіцієнт загасання кабелю, дБ/км, на частоті 1 МГц.

$l_{\text{бд}}$  – протяжність будівельної довжини кабелю, км.

Аналіз вище наведених формул для  $A_{з\text{АЛ}}$  і  $A_{l\text{АЛ}}$  показує, що при збільшенні довжини АЛ захищеність на дальньому кінці зменшується, а перехідне загасання на дальньому кінці спочатку зменшується, а потім починає збільшуватися за рахунок збільшення власного загасання  $\alpha \cdot l$ .

### 2.3 Залежність перехідного загасання на ближньому кінці та захищеності на дальньому кінці від частоти

Залежність середнього значення перехідного загасання між парами на ближньому кінці в кабелях типу ТП від частоти в діапазоні частот від 10 кГц до 2 МГц можна визначити з наступної, основаної на аналізі результатів вимірювань [1], наближеної формули:

$$A_0(f) = A_{01} - 15 \lg(f),$$

де  $A_{01}$  – значення перехідного загасання на ближньому кінці на частоті 1 МГц (табл. 2.1);  $f$  – частота, МГц.

Основною причиною зменшення перехідного загасання на ближньому кінці при збільшенні частоти є збільшення електромагнітних зв'язків між парами.

Середні значення перехідного загасання на ближньому кінці та їх середньоквадратичні відхилення на частоті 1 МГц для кабелів типу ТП з повивною побудовою осердя наведені в табл. 2.1.

Середнє значення захищеності на дальньому кінці кабелів типу ТП довжиною 280 м між парами, розміщеними поруч усередині одного повиву, на частотах вище за 10 кГц приблизно визначається за допомогою виразу, основаного на результатах вимірювань:

$$A_{з\text{бд}}(f) = 105 - 15 \lg(f),$$

де  $f$  – частота, кГц.

У тому випадку, якщо протяжність будівельної довжини кабелю  $l_{\text{бд}}$  відмінна від 280 м, значення захищеності на дальньому кінці змінюється на величину, яка дорівнює мінус  $10 \cdot \lg(l_{\text{бд}} / 280)$ .

Значення захищеності  $A_{з\text{бд}1}$  на дальньому кінці між не поруч розміщеними парами (між не сусідніми парами одного повиву або між парами різних повивів), однієї будівельної довжини кабелю визначається за формулою

$$A_{з\text{бд}1} = A_{з\text{бд}} + \delta A_3,$$

де  $\delta A_3$  – збільшення захищеності за рахунок взаємного видалення пари, що впливає, і пари, підданої впливу, – було встановлене на основі проведених вимірювань і наведене в табл. 2.2.

**Таблиця 2.1** – Середні значення перехідного загасання на ближньому кінці та їх середньоквадратичні відхилення для кабелю типу ТП з повивною побудовою осердя на частоті 1 МГц

Розміщення пар в осерді кабелю	Середнє значення перехідного загасання на ближньому кінці, дБ	Середньоквадратичне відхилення, дБ
Суміжні в повиві	53	4,7
Через 1 пару в повиві	65	5,5
Через 2 пари в повиві	73	7,4
Через 3 пари в повиві	74	7,2
Через 4 пари в повиві	75	5,2
У суміжних повивах	68	5,6
Через 1 повив	75	6,3
Через 2 повиви	79	6,8
Через 3 повиви	81	6,2
Через 4 повиви	81,5	6,9

**Таблиця 2.2** – Значення збільшення захищеності на дальньому кінці ( $\delta A_3$ ) будівельної довжини кабелю типу ТП з повивною побудовою осердя при різному взаємному розміщенні пар

Розміщення пар в осерді кабелю	Збільшення захищеності на дальньому кінці, дБ
Через 1 пару в повиві	6
Через 2 пари в повиві	10
Через 3 пари в повиві	11
Через 4 пари в повиві	12
У суміжних повивах	8
Через один повив	13
Через два повиви	15
Через три повиви	16
Через чотири повиви	16,5

Аналіз даних, наведених в табл. 2.1 та 2.2, показує, що при розміщенні пар, що взаємно впливають, далі між собою взаємний вплив між ними зменшується.



### 3 Ключові питання

3.1 Дайте визначення наступних параметрів:

- перехідне загасання на ближньому кінці;
- перехідне загасання на дальньому кінці;
- захищеність між колами на дальньому кінці;
- загасання асиметрії.

3.2 Внаслідок якого явища виникають перехідні завади між паралельно працюючими системами передавання?

3.3 Поясніть, як вимірюється перехідне загасання на ближньому кінці.

3.4 Поясніть, як вимірюється перехідне загасання на дальньому кінці.

3.5 Поясніть, як вимірюється захищеність на дальньому кінці.

3.6 Поясніть, як залежить від довжини абонентської лінії перехідне загасання на ближньому кінці.

3.7 Поясніть, як залежить від довжини абонентської лінії перехідне загасання на дальньому кінці.

3.8 Як залежить перехідне загасання на ближньому кінці від частоти?

3.9 Як залежать перехідне загасання на ближньому та дальньому кінці від розташування пар в кабелі?

### 4 Домашнє завдання

4.1 Дати відповіді на ключові питання.

4.2 Розв'язати наступні задачі:

1. Визначити перехідне загасання на ближньому кінці  $A_0(f_p)$  між парами на розрахунковій частоті  $f_p$  при заданому їх взаємному розташуванні в кабелі ТП з повивною побудовою осердя.

Варіант для розрахунку обирається з таблиці 4.1.

**Таблиця 4.1** – Вихідні дані для розв'язання 1-ї задачі

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Взаємне розташування пар	Через 1 пару в повиві		Через 2 пари в повиві		Через 3 пари в повиві		Через 4 пари в повиві		Через один повив		Через два повиви		Через три повиви		Через чотири повиви	
$f_p$ , МГц	0,25	0,5	0,75	1,25	1,5	1,75	2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	0,1

2. Визначити перехідне загасання на дальньому кінці  $A_{l, \text{АЛ}}(f_p)$  між парами на розрахунковій частоті  $f_p$  при заданому їх взаємному розташуванні в кабелі ТП з повивною побудовою осердя довжиною  $l$ .

Варіант для розрахунку обирається з таблиці 4.2.

**Таблиця 4.2** – Вихідні дані для розв'язання 2-ого завдання

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Взаємне розташування пар	Через один повив		Через два повиви		Через три повиви		Через чотири повиви		Через 1 пару в повиві		Через 2 пари в повиві		Через 3 пари в повиві		Через 4 пари в повиві	
$f_p$ , МГц	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$l$ , м	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400

4.3 Підготувати бланк протоколу згідно з лабораторним завданням.

## 5 Лабораторне завдання

5.1 Ознайомитися з інтерфейсом програми «xDSL-Liner».

5.2 Згідно з номером бригади обрати тип системи передавання xDSL.

**Таблиця 5.1** – Варіанти системи передавання

№ бригади	1, 5	2, 6	3, 7	4, 8
Тип системи передавання (технології) xDSL	ADSL	ADSL2+	VDSL A	VDSL B

5.3 Дослідити залежність рівня перехідних завад на ближньому ( $P_6$ ) та дальньому ( $P_d$ ) кінці, відношення сигнал/завада на вході приймача  $SNR$  і швидкості передавання у низхідному напрямку  $R_D$  та у висхідному напрямку  $R_U$  в парі №29 від розташування пари, що впливає, у 50-парному кабелі ТПП-0,64 повивної скрутки при СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц та довжині кабелю 1 км. Розрахунки проводяться на абонентській стороні лінії.

Результати занести в табл. 5.2. Дати пояснення.

Для відповідних розрахунків потрібно вибрати на закладинці «графіки»:

«переходная помеха на ближний конец»:  $P_6$  дорівнює інтегральній потужності на ближньому кінці;

«переходная помеха на дальний конец»:  $P_d$  дорівнює інтегральній потужності на дальньому кінці;

«ОСШ на входе приёмника»:  $SNR$  визначається як максимальне значення ОСШ з графіку;

«скорость передачи и загрузка несущих»:  $R_D$  та  $R_U$ .

**Таблиця 5.2** – Залежність рівня перехідних завад, максимального значення відношення сигнал/завада та швидкості передавання від розташування в кабелі пари, що впливає на задану пару

№ пари, підданої впливу	№ пари, що впливає	30	31	32	33	34	14	4	0
29	$P_6$ , дБм								
	$P_d$ , дБм								
	$SNR$ , дБ								
	$R_D$ , Мбіт/с								
	$R_U$ , Мбіт/с								

5.4 За результатами розрахунків п. 5.3 визначити найкращий і найгірший варіант розташування в кабелі пари, що впливає, та для цих варіантів розрахувати залежність рівня перехідних завад на ближньому та дальньому кінці, максимального значення відношення сигнал/завада та швидкості передавання у низхідному напрямку  $R_D$  та у висхідному напрямку  $R_U$  від довжини кабелю  $l$  при СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц.

Результати занести в табл. 5.3. Побудувати графіки залежності від довжини кабелю  $l$  рівня перехідних завад, максимального значення відношення сигнал/завада  $SNR$  (див. додаток до ЛР), швидкості передавання у низхідному напрямку  $R_D$  та у висхідному напрямку  $R_U$  для найкращого і найгіршого варіантів розташування в кабелі пари, що впливає (кожна пара графіків (для найкращого і найгіршого варіантів) зображується в одній системі координат для наочного порівняння).

**Таблиця 5.3** – Залежність рівня перехідних завад, максимального значення відношення сигнал/завада та швидкості передавання від розташування в кабелі пари, що впливає, та від довжини кабелю

№ пари, підданої впливу	№ пари, що впливає	$l$ , км* (1,2,5,6) (3,4,7,8)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
			0,3	0,5	0,7	1	1,2	1,5	2
29		$P_b$ , дБм							
		$P_d$ , дБм							
		$SNR$ , дБ							
		$R_D$ , Мбіт/с							
		$R_U$ , Мбіт/с							
		$P_b$ , дБм							
		$P_d$ , дБм							
		$SNR$ , дБ							
		$R_D$ , Мбіт/с							
		$R_U$ , Мбіт/с							

\*Примітка. Для варіантів 1, 2, 5, 6 (технологія ADSL та ADSL2+) довжина кабелю складає від 0,5 км до 3,5 км, а для варіантів 3, 4, 7, 8 (технологія VDSL A та VDSL B) – від 0,3 км до 2 км

5.5 Для найкращого і найгіршого варіантів п. 5.3 зняти залежність максимального значення відношення сигнал/завада на вході приймача  $SNR$  і швидкості передавання у низхідному напрямку  $R_D$  та у висхідному напрямку  $R_U$  при довжині кабелю  $l_1$  від СГП білого шуму. Результати занести в табл. 5.4. Дати пояснення.

**Таблиця 5.4** – Залежність максимального значення відношення сигнал/завада на вході приймача та швидкості передавання від СГП білого шуму для довжини кабелю  $l_1$ \*\*

№ пари, підданої впливу	№ пари, що впливає	СГП завад, дБм/Гц	-140	-130	-120	-110	-100	-90
			$SNR$ , дБ	$R_D$ , Мбіт/с	$R_U$ , Мбіт/с	$SNR$ , дБ	$R_D$ , Мбіт/с	$R_U$ , Мбіт/с
29		$SNR$ , дБ						
		$R_D$ , Мбіт/с						
		$R_U$ , Мбіт/с						
		$SNR$ , дБ						
		$R_D$ , Мбіт/с						
		$R_U$ , Мбіт/с						

\*\*Примітка. Для варіантів 1, 2, 5, 6 (технологія ADSL та ADSL2+) довжина кабелю складає  $l_1 = 1$  км, а для варіантів 3, 4, 7, 8 (технологія VDSL A та VDSL B) –  $l_1 = 0,5$  км.

За результатами розрахунків побудувати графіки залежності від СГП білого шуму максимального відношення сигнал/завада на вході приймача  $SNR$ ,

швидкості передавання у низхідному напрямку  $R_D$  та у висхідному напрямку  $R_U$  для найкращого і найгіршого варіантів розташування в кабелі пари, що впливає (кожна пара графіків (для найкращого і найгіршого варіантів) зображується в одній системі координат для наочного порівняння).

5.6 По закінченні роботи зробити висновки щодо залежності рівня перехідних завад, максимального відношення сигнал/завада на вході приймача і швидкості передавання при паралельній роботі систем передавання xDSL від взаємного розташування цифрових абонентських ліній xDSL в багатопарному кабелі, довжини абонентської лінії та СГП білого шуму.

## **6 Зміст протоколу**

6.1 Тема та мета лабораторної роботи.

6.2 Результати виконання домашнього завдання.

6.3 Результати виконання лабораторного завдання з таблицями та графіками.

6.4 Висновки щодо здійснених розрахунків.

## Додаток до лабораторної роботи № 12

### Графіки очікуваних результатів досліджень

Очікувані залежності рівня перехідних завад на ближньому ( $P_6$ ) і дальньому ( $P_d$ ) кінці і максимального значення відношення сигнал/завада  $SNR$  від довжини ЦАЛ наведено на рис. Д.1 і Д.2 (50-парний кабель типу ТПП повивної скрутки з діаметром жил 0,64 мм; номер пари, підданої впливу, – 29; номер пари, що впливає, – 25; СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц; СП ADSL2+).

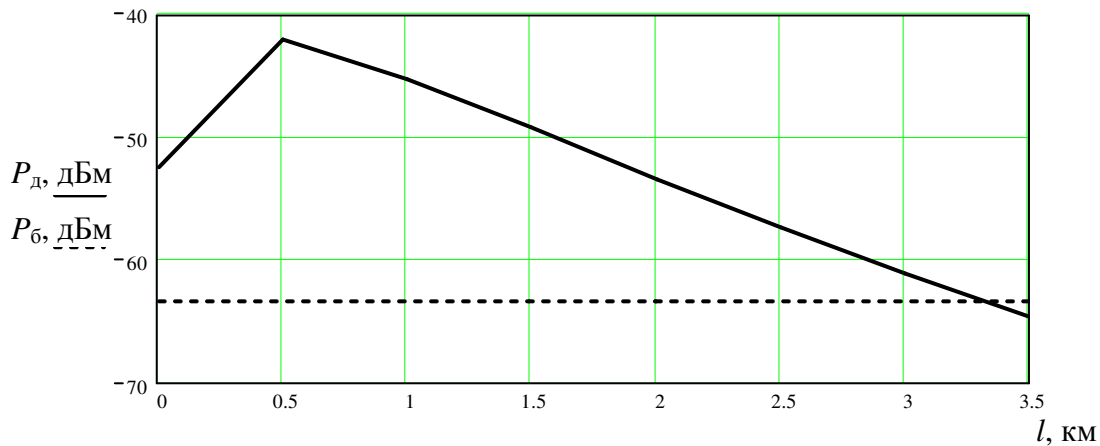


Рисунок Д.1 – Очікувані залежності рівня перехідних завад на ближньому ( $P_6$ ) і дальньому ( $P_d$ ) кінці від довжини ЦАЛ

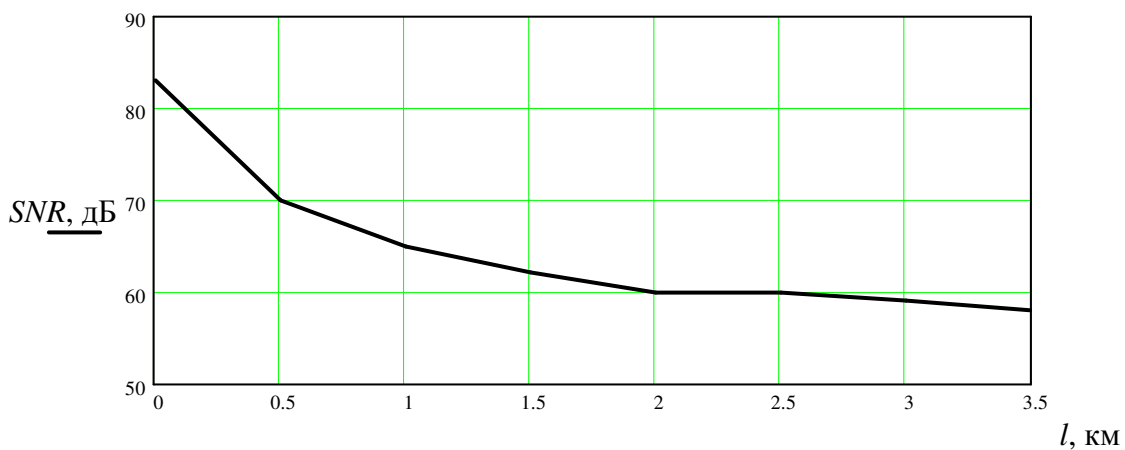


Рисунок Д.2 – Очікувана залежність максимального значення відношення сигнал/завада від довжини ЦАЛ

## Лабораторна робота № 13

### Дослідження залежності швидкості передавання в цифровій абонентській лінії xDSL при паралельній роботі систем передавання xDSL від сценарію завантаження і характеристик кабелю

#### 1 Мета роботи

Дослідження залежності швидкості передавання в цифровій абонентській лінії xDSL при паралельній їх роботі від сценарію завантаження, діаметру жил кабелю, довжини абонентської лінії та рівня завад.

#### 2 Ключові положення

##### 2.1 Ключові поняття (терміни)

**Загасання сигналу** – зменшення потужності синусоїдального сигналу при передаванні його через середовище розповсюдження.

**Перехідне загасання** – затухання синусоїдального сигналу при переході от впливаючої цепи к цепи, подверженной влиянию.

**Перехідне загасання на ближньому кінці** - загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на ближній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл на кінцях.

**Перехідне загасання на дальньому кінці** – загасання синусоїдального сигналу при переході з ближнього кінця кола, що впливає, на дальній кінець кола, підданого впливу, за умови узгодження кіл по кінцях.

**Сценарій завантаження** – конкретний варіант розміщення множини ЦАЛ в багатопарному кабелі.

##### 2.2 Оцінка потенційних характеристик ЦАЛ при паралельній роботі по багатопарних телефонних кабелях

Одним з основних факторів, які обмежують швидкість і дальність передавання абонентськими лініями, є перехідні завади, що виникають під час паралельної роботи цифрових абонентських ліній (ЦАЛ) по багатопарних телефонних кабелях. Для ілюстрації алгоритму розрахунку перехідних впливів між ЦАЛ наведено рис. 2.1, на якому із множини всіх діючих ЦАЛ схематично зображені дві, що впливають, ( $DSL_i$  і  $DSL_j$ ) і одна ЦАЛ, піддана впливу ( $DSL_k$ ). Потужність сигналу, що надходить на вхід  $i$ -й АЛ, позначена  $P_{i\text{ пер}}$ . На вхід приймача  $DSL_k$  надходить послаблений у лінії зв'язку власний корисний сигнал потужністю  $P_{k\text{ пр}}$  і перехідні завади (від ближнього  $P_{\text{бл},i,k}$ ,  $P_{\text{бл},j,k}$  і дальнього  $P_{\text{д},i,k}$  і  $P_{\text{д},j,k}$  кінців), спричинені передаваними сигналами  $DSL_i$  і  $DSL_j$ .

Відношення сигнал/шум на вході приймального пристрою  $k$ -ї DSL визначається виразом:

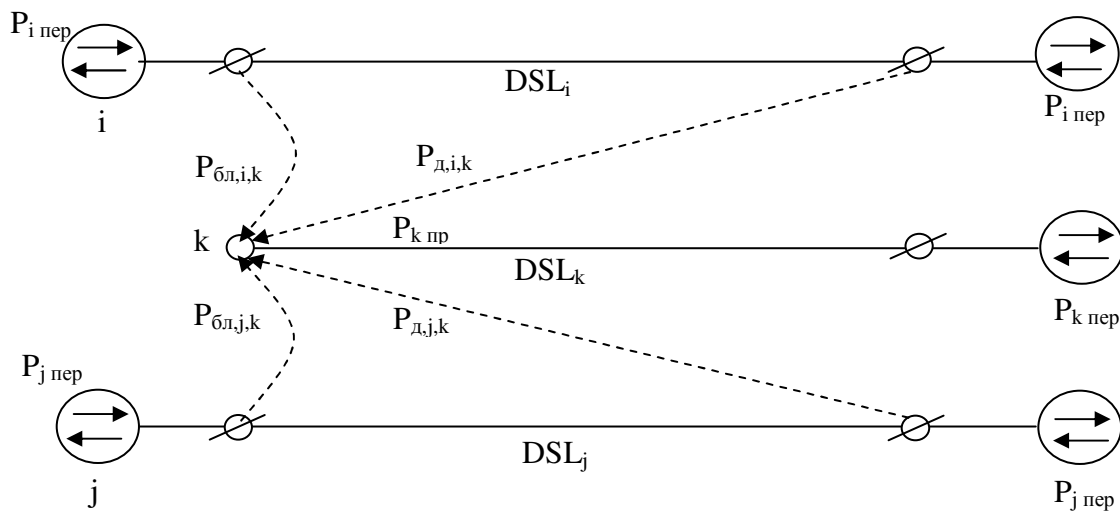
$$SNR_k = 10 \lg \frac{P_{k \text{ пр}}}{\sum_{i, i \neq k} P_{\text{бл}, i, k} + \sum_{i, i \neq k} P_{\text{д}, i, k} + \sum_m n_m},$$

де  $P_{k \text{ пр}} = \int PSD_k(f) \cdot H^2(f) df$ ,

$PSD_k(f)$  – залежність спектральної густини потужності сигналу на виході передавача  $k$ -ої DSL від частоти,

$H(f)$  – амплітудно-частотна характеристика АЛ (каналу зв'язку),

$\sum_m n_m$  – сума всіх інших завад  $n_m$ , що діють на вході приймального пристрою  $DSL_k$ .

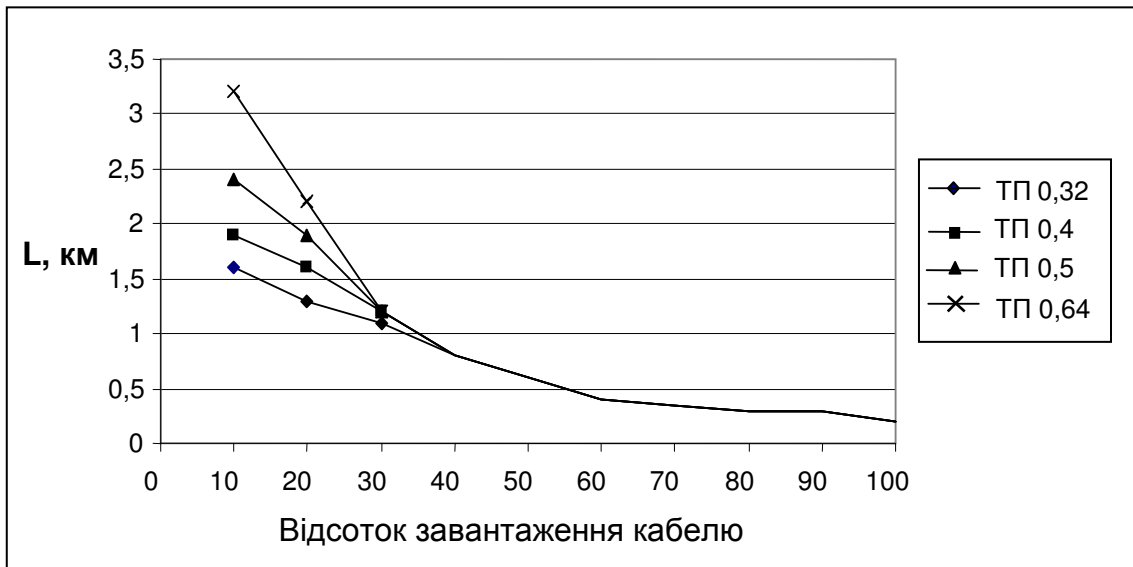


**Рисунок 2.1**– Модель електромагнітних взаємодій DSL у багатопарному кабелі

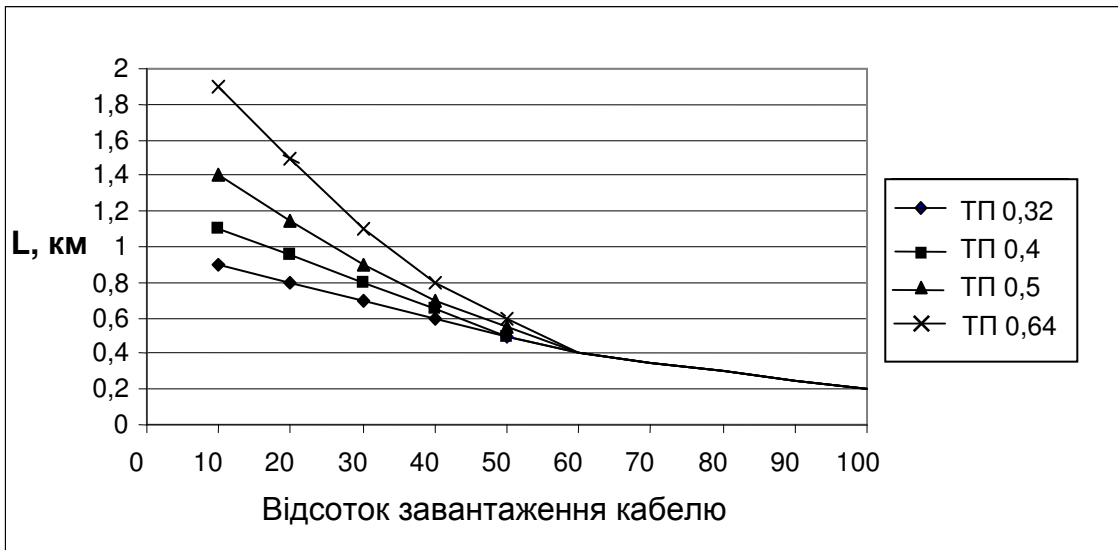
Величини  $P_{\text{бл}, i, k}$  і  $P_{\text{д}, i, k}$  визначаються аналогічно  $P_{k \text{ пр}}$  за формулами, у яких  $H^2(f)$  замінено на частотні функції перехідних характеристик між  $i$ -ою і  $k$ -ою АЛ (телефонними парами) на ближньому й віддаленому кінцях  $H_{\text{бл}, i, k}(f)$  і  $H_{\text{відд}, i, k}(f)$  відповідно:

$$P_{\text{бл}, i, k} = \int PSD_i(f) \cdot H_{\text{бл}, i, k}^2(f) df.$$

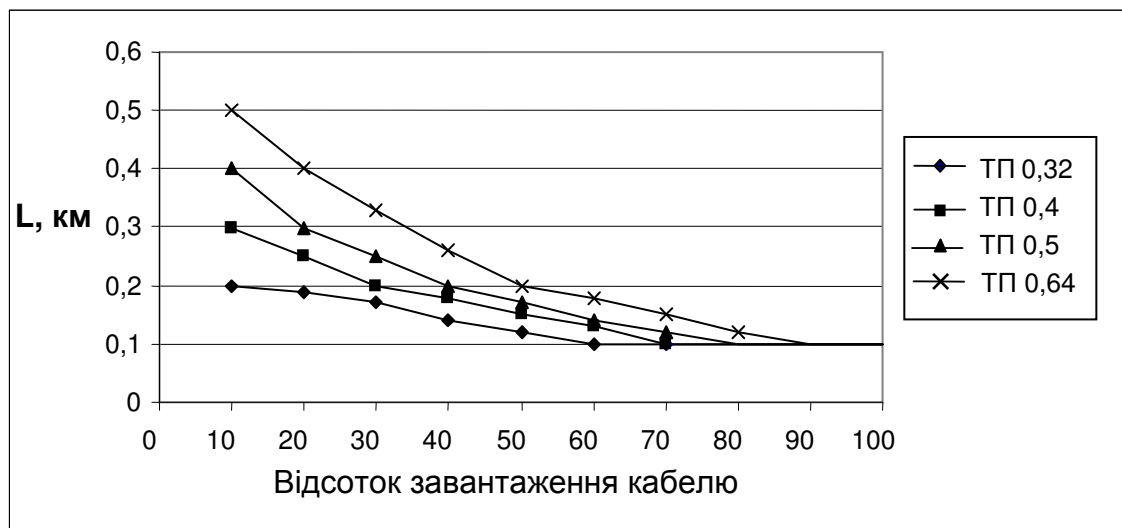
За наведеною моделлю електромагнітної сумісності можна розрахувати допустимі довжини АЛ й швидкості передавання у висхідному й низхідному напрямках по ЦАЛ при різних варіантах xDSL-обладнання, завантаження, рівня шуму, числа пар, діаметра жил, застосування однорідного й неоднорідного (складеного) кабелю. На рис. 2.2, 2.3 для прикладу наведено результати розрахунків за допомогою програми «xDSL-Liner» граничної довжини лінії ADSL2+ при використанні 10-парних кабелів типу ТП пучкової скрутки осердя з діаметрами жил 0,32 мм; 0,4 мм; 0,5 мм і 0,64 мм для різних рівнів спектральної густини потужності (СГП) білого шуму на вході приймача залежно від відсотка пар кабелю, використовуваних для передавання сигналів ADSL2+.



а) СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц



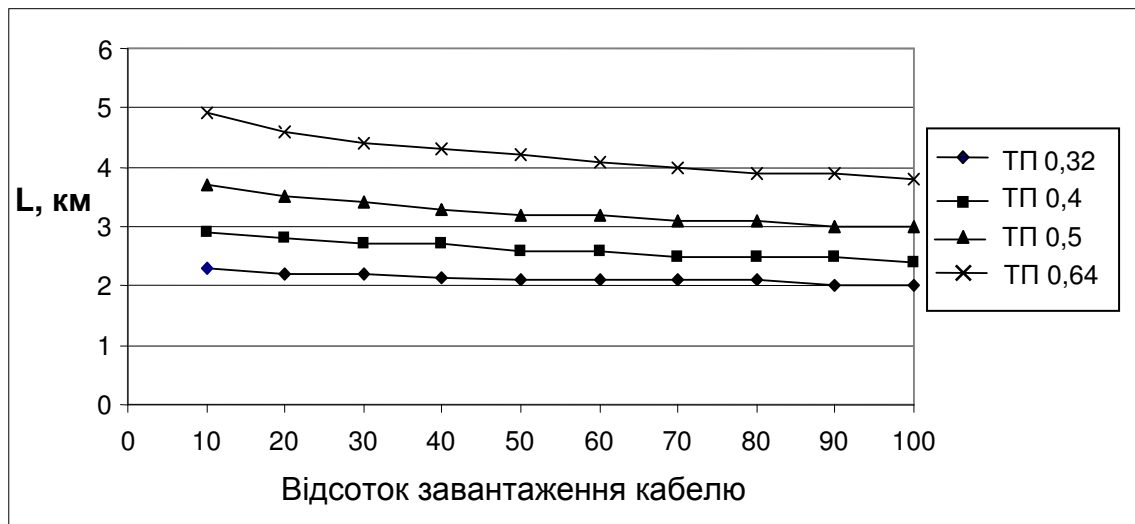
б) СГП білого шуму мінус 120 дБм/Гц



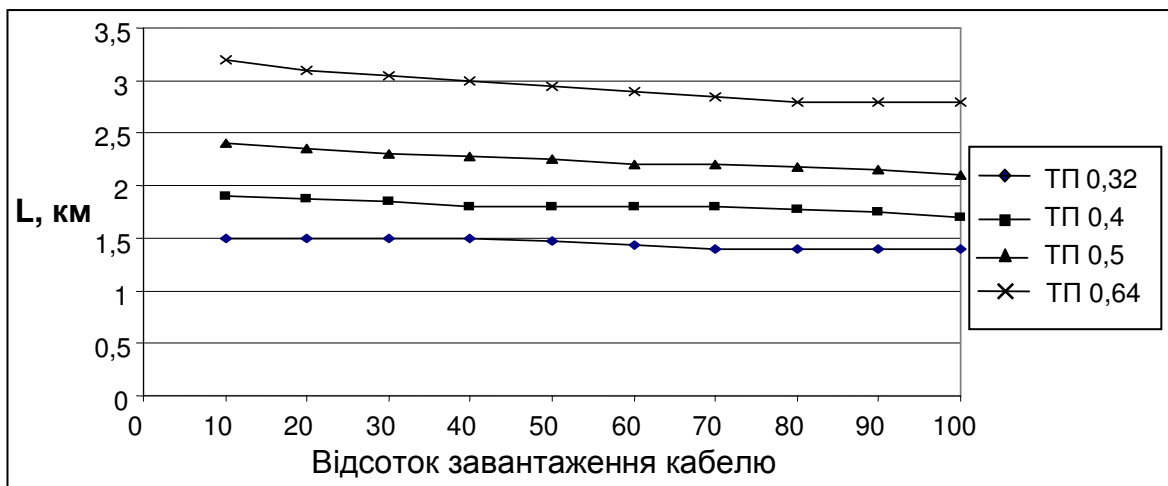
в) СГП білого шуму мінус 100 дБм/Гц

**Рисунок 2.2** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 19648 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с у висхідному напрямку при використанні 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 140, 120, 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

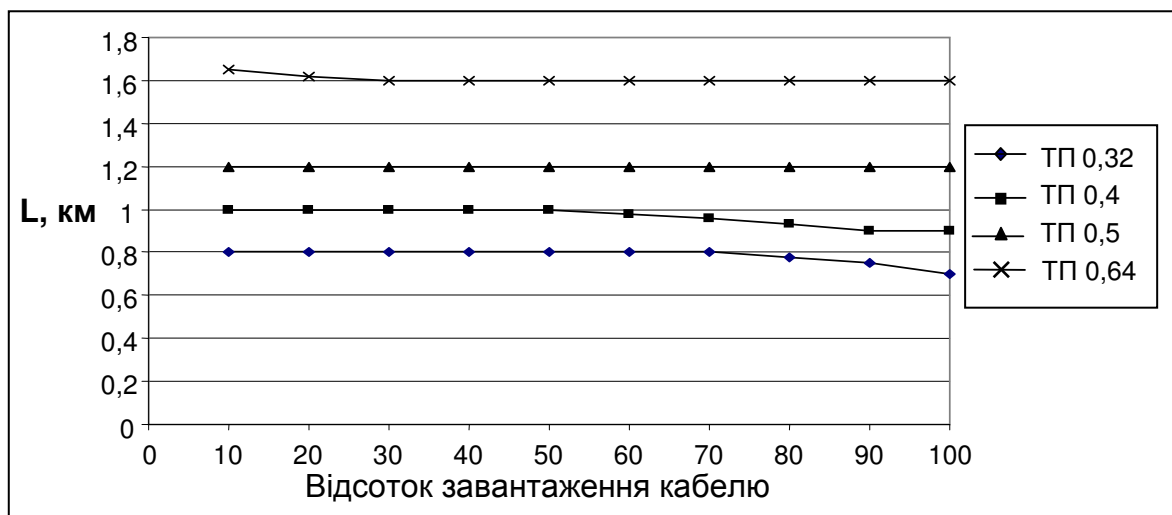




а) СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц



б) СГП білого шуму мінус 120 дБм/Гц



в) СГП білого шуму мінус 100 дБм/Гц

**Рисунок 2.3** – Досяжна довжина лінії ADSL2+ для швидкості 9824 кбіт/с у низхідному напрямку й 928 кбіт/с у висхідному напрямку при використанні 10-парного кабелю типу ТП і СГП білого шуму мінус 140, 120, 100 дБм/Гц залежно від відсотка завантаження пар кабелю лініями ADSL2+

### 3 Ключові питання

3.1 Як залежать перехідні загасання на ближньому і дальньому кінці від розташування пар у кабелі?

Які рішення необхідно прийняти у випадку:

– досяжна швидкість при заданій конфігурації мережі доступу нижче необхідної;

– досяжна довжина ЦАЛ при заданій конфігурації мережі доступу нижче необхідної?

3.2 Як залежить довжина ЦАЛ від швидкості передавання при однакових сценарії завантаження, діаметрі жил кабелю і СГП шуму?

3.3 Як залежить довжина ЦАЛ від завантаження кабелю лініями xDSL?

3.4 Як залежить довжина ЦАЛ від діаметру жил кабелю при однакових швидкості передавання, сценарії завантаження і СГП шуму?

3.5 Як залежить довжина ЦАЛ від СГП шуму при однакових швидкості передавання, сценарії завантаження і діаметрі жил кабелю?

### 4 Домашнє завдання

4.1 Дати відповіді на ключові питання.

4.2 Підготувати бланк протоколу згідно з лабораторним завданням.

### 5 Лабораторне завдання

5.1 Ознайомитися з інтерфейсом програми «xDSL-Liner».

5.2 Згідно з номером бригади встановити задані параметри (СП, тип кабелю, довжину лінії, СГП завод, сценарій завантаження).

**Таблиця 5.1** – Варіанти системи передавання

№ бригади	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип системи передавання (технології) xDSL	ADSL	ADSL2+	VDSL A	VDSL B	ADSL	ADSL2+	VDSL A	VDSL B
Тип кабелю (повивна скрутка)	ТПП 20x2x0,5		ТПП 30x2x0,5		ТПП 30x2x0,4		ТПП 20x2x0,4	
СГП завод, дБм/Гц	-140	-130	-135	-140	-135	-140	-130	-135
Довжина кабелю, км	2	2,5	0,5	0,7	1,5	2	0,4	0,6
Сценарій завантаження (номери зайнятих пар)	0, 2, 4, 7, 11, 13, 15	1, 3, 6, 9, 15, 17, 19	0, 5, 7, 8, 14, 18, 20, 29	1, 3, 6, 7, 10, 12, 16, 22, 26	2, 7, 12, 15, 19, 23, 25, 28	3, 4, 8, 9, 12, 14, 18, 21, 23, 27, 29	1, 5, 7, 10, 12, 13, 16	0, 3, 5, 6, 8, 11, 16

5.3 Визначити досяжну швидкість передавання для кожної із заданих ЦАЛ (кожної із заданих пар). Розрахувати середньоарифметичне значення досяжної швидкості передавання. Визначити для вибраних параметрів пару кабелю (вільну, яку можна зайняти новою системою) з найгіршою та найкращою заводовою характеристикою. Знайти оптимальне розміщення ЦАЛ в кабелі і визначити досяжну швидкість передавання кожною з ЦАЛ при цьому розміщенні. Розрахувати середньоарифметичне значення досяжної швидкості передавання для оптимально розміщених ЦАЛ. Порівняти середньоарифметичне значення досяжної швидкості передавання при початковому і при оптимальному розміщенні пар. Дати пояснення.

5.4. Для СП заданого типу та заданого типу кабелю визначити досяжну швидкість передавання в залежності від діаметру жил кабелю, довжини кабелю, СГП завод та сценаріїв завантаження.

Результати занести в табл. 5.2 – 5.7. Побудувати графіки. Дати пояснення.

**Таблиця 5.2** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 140 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_1^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

\*Примітка. Для варіантів 1, 2, 5, 6 (технологія ADSL та ADSL2+) довжина кабелю складає  $l_1 = 1$  км,  $l_2 = 2$  км,  $l_3 = 3$  км, а для варіантів 3, 4, 7, 8 (технологія VDSL A та VDSL B)  $l_1 = 0,5$  км,  $l_2 = 1$  км,  $l_3 = 1,5$  км

**Таблиця 5.3** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 100 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_1^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

**Таблиця 5.4** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 140 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_2^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

**Таблиця 5.5** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 100 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_2^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

**Таблиця 5.6** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 140 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_3^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

**Таблиця 5.7** – Залежність швидкості передавання від сценарію завантаження і діаметру жил кабелю при СГП шуму мінус 100 дБм/Гц та довжині кабелю  $l_3^*$

Діаметр жил, мм	Швидкість передавання	Завантаження, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,4	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										
0,5	$R_D$ , Мбіт/с										
	$R_U$ , Мбіт/с										

За результатами розрахунків побудувати графіки залежності швидкості передавання до абонента  $R_D$  та від абонента  $R_U$  від сценарію завантаження кабелю (в одній системі координат для наочного порівняння зображується трійка графіків для різних діаметрів жил кабелю).

5.5 По закінченні роботи зробити висновки щодо залежності досяжної швидкості передавання від сценарію завантаження кабелю, діаметру жил та довжини кабелю і СГП шумів.

## 6 Зміст протоколу

6.1 Тема та мета лабораторної роботи.

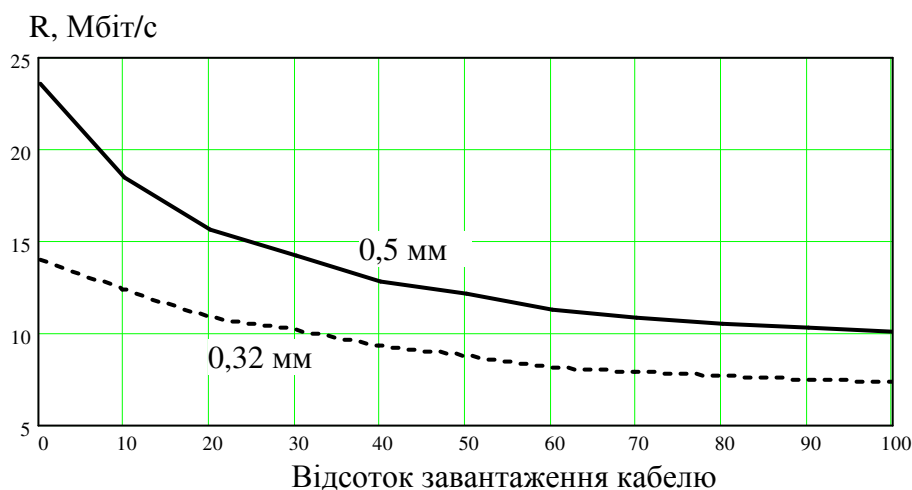
6.2 Результати виконання лабораторного завдання з таблицями та графіками.

6.5 Висновки щодо здійснених розрахунків.

### Додаток до лабораторної роботи № 13

#### Графіки очікуваних результатів досліджень

Графіки очікуваних залежностей швидкості передавання у низхідному напрямку від відсотка завантаження 100-парного кабелю типу ТПП повивної скрутки (діаметри жил 0,32 і 0,5 мм, довжина 2 км) цифровими абонентськими лініями ADSL2+ при СГП білого шуму мінус 140 дБм/Гц наведено на рис. Д.1.



**Рисунок Д.1** - Графіки очікуваних залежностей швидкості передавання у низхідному напрямку від відсотка завантаження 100-парного кабелю типу ТПП

## Список літератури

1. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. Под редакцией Балашова В.А.;
2. Павличенко Ю.А., Пашолок П.О., Антиков В.В. Системи доступу до інформаційних ресурсів. Навч. посібник, Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2002, – 174 с.;
3. Павличенко Ю.А., Пашолок П.А., Антиков В.В. Цифровий абонентський доступ. Навч. посібник, Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2001, – 92 с.;
4. Пашолок П.О. Термінологія цифрових телекомунікаційних технологій. Навч. посібник, Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2003;
5. ОСТ 45.36-97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные;
6. ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные;
7. Рекомендація МСЕ-Т G.961. Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифрова система передавання по металевих місцевих лініях для доступу на базовій швидкості ЦМІС);
8. Рекомендація МСЕ-Т G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базова Рекомендація з функціональних мереж доступу. Архітектура і функції, типи доступу, доступ до вузла керування і послуг);
9. Рекомендація МСЕ-Т G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії (ADSL));
10. Рекомендація МСЕ-Т G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії 2 (ADSL2));
11. Рекомендація МСЕ-Т G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приймачі-передавачі асиметричної цифрової абонентської лінії – розширена смуга частот ADSL2 (ADSL2+));
12. Рекомендація МСЕ-Т G.993.1 Very high speed digital subscriber line transceivers (Приймачі-передавачі надвисокошвидкісної цифрової абонентської лінії);
13. Рекомендація МСЕ-Т G.993.2 Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2) (Приймачі-передавачі надвисокошвидкісної цифрової абонентської лінії (VDSL2)).

## ДОДАТКИ ДО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

### Д1 Параметри та характеристики кабелів абонентських ліній

#### Д1.1 Загальні відомості щодо абонентських кабелів

**Телефонний металевий кабель** – це з'єднувальний елемент, що являє собою деяку кількість металевих провідників, ізольованих один від одного і призначених для передавання електричних сигналів.

Кабелі розрізняються за:

конструкцією робочого кола – симетричні та коаксіальні;

видом електрозв'язку – телефонні, радіомовні, телевізійні, комбіновані та ін.;  
діапазоном ущільнення – низькочастотні та високочастотні;

видом ізоляції жил – повітряно-паперові, повітряно-пластмасові, суцільні поліетиленові та ін.;

групами – із двох, чотирьох і т.д. ізольованих і скручених між собою жил, що утворюють фізичні кола;

складом конструктивних елементів – однорідні та комбіновані;

ступенем завадозахищеності – екрановані та неекрановані;

матеріалом оболонки – свинцеві, алюмінієві, сталеві, пластмасові та комбіновані;

захисними покриттями – голі, броньовані сталевими стрічками або круглими дротами;

умовами прокладки – підземні, підводні та підвісні.

**Кабель повивної скрутки** – це телефонний металевий кабель, в осерді якого ізольовані жили, об'єднані в пари, розташовані коаксіальними повивами з напрямками, що чергуються.

**Кабель пучкової скрутки** – це телефонний металевий кабель, у якому ізольовані жили чи пари жил утворюють пучки, а пучки у свою чергу – осердя.

**Пара** – група чи частина групи з двох ізольованих між собою жил (провідників), призначених для роботи в одному електричному колі.

**Симетрична пара** – пара, у якій ізольовані жили однакової конструкції – паралельні або скручені – розташовані симетрично відносно її повздовжньої осі.

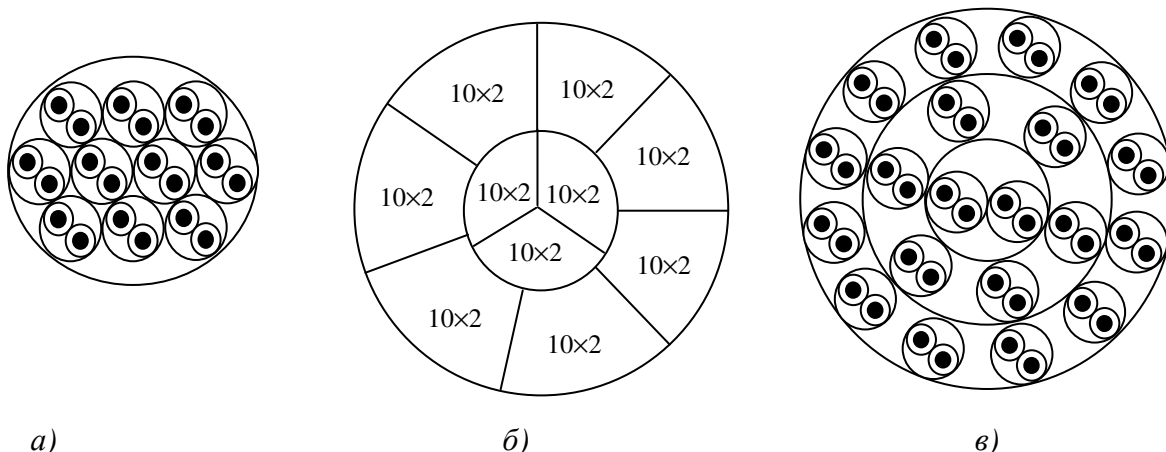
**Вита пара** – скручена симетрична пара з високим ступенем симетрії електричних параметрів відносно повздовжньої осі.

**Повив** – шар елементів скрутки, розташованих коаксіально чи по відношенню до інших аналогічних елементів, що утворюють у сукупності скручену частину конструкції кабельного виробу (струмопровідну жилу, осердя), чи коаксіально поверх внутрішньої (по відношенню до цього шару) частини кабельного виробу.

**Пучок** – елемент конструкції осердя кабелю, що складається із сукупності груп (пар, четвірок і т.п.), скручених в одну сторону з однаковим кроком.

### ***Кабелі з пучковою скруткою осердя***

Пари скручують в елементарні пучки (п'яти- або десятипарні) або осердя (п'яти- або десятипарного кабелю) односпрямованою або різноспрямованою скруткою. На рис. Д1.1 *а* наведена схема утворення осердя кабелю ємністю 10 пар. Пари в елементарному десятипарному пучку й десятипарному осерді мають певне забарвлення.



**Рисунок Д1.1** – Схема утворення осердь кабелів ємністю  $10 \times 2$  (елементарний пучок) – *а*);  $100 \times 2$  (пучкова скрутка) – *б*);  $20 \times 2$  (повивна скрутка) – *в*)

Пари в елементарному п'ятипарному пучку або п'ятипарному осерді мають забарвлення перших або других п'яти пар десятипарного елементарного пучка.

На елементарний пучок накладається по спіралі скріпна обмотка із синтетичних ниток або ідентифікаційних стрічок. Елементарні пучки скручують у головні (50- або 100-парні) пучки односпрямованою або різноспрямованою скруткою. На рис. 1.3, *б* наведена схема утворення 100-парного пучка. Головні пучки скручують в осердя кабелю односпрямованою або різноспрямованою скруткою.

Допускається маркування за допомогою лічильних і напрямних елементарних пучків у кожному повиві осердя або головного пучка, які відрізняються від інших пучків кольором скріплювальної нитки або стрічки. Лічильний елементарний пучок обмотують скріплювальною синтетичною ниткою або ідентифікаційною стрічкою червоного кольору, напрямний – ниткою або стрічкою зеленого або синього кольору.

### ***Кабелі з повивною побудовою осердя***

Пари в осерді кабелю розташовують у повивах. Повиви із взаємно протилежним напрямком скрутки обмотують синтетичною ниткою або стрічкою. У кожному повиві повинна бути одна лічильна й одна напрямна пари, забарвлення яких відмінні від забарвлення інших пар у повиві. Забарвлення лічильної й напрямної пар також відрізняються між собою. Пари, розташовані в центрі осердя, можуть не скручуватися між собою й не відокремлюватися синтетичною ниткою або стрічкою від суміжного повиву. На рис. 1.3 *в* наведена схема утворення осердя кабелю ємністю 20 пар.



Системи скрутки елементарних пучків і пар в осердях кабелю ємністю до 100 пар наведені в таблицях Д1.1 та Д1.2.

**Таблиця Д1.1** – Системи скрутки елементарних пучків в осердя кабелю ємністю до 100 пар з пучковою скруткою

Номінальне число пар	Система скрутки
5	$1 \times (5 \times 2)$
10	$1 \times (10 \times 2)$
20	$2 \times (10 \times 2)$
20	$4 \times (5 \times 2)$
30	$6 \times (5 \times 2)$
30	$3 \times (10 \times 2)$
50	$5 \times (10 \times 2)$
100	$(3 + 7) \times (10 \times 2)$
100	$(2 + 8) \times (10 \times 2)$

**Примітка.** У правій частині позначення системи скрутки осердя міститься позначення кількості пар (5 або 10) в елементарному пучку ( $5 \times 2$  або  $10 \times 2$ ). Одна (дві) цифри перед ( $5 \times 2$ ) або ( $10 \times 2$ ) означає кількість елементарних пучків у центральному (центральному й першому) повивах.

**Таблиця Д1.2** – Системи скрутки осердя кабелю ємністю до 100 пар з повивною скруткою

Номінальне число пар	Система скрутки
10	$2 + 8$
20	$2 + 6 + 12$
30	$4 + 10 + 16$
50	$4 + 10 + 16 + 20$
100	$2 + 8 + 14 + 20 + 26 + 30$

**Примітка.** Позначення системи скрутки осердя містить декілька чисел, кількість яких дорівнює кількості повивів. Перша цифра вказує на кількість пар у центральному повиві, друга цифра – на кількість пар у першому повиві тощо.

## Д1.2 Параметри передавання абонентських кабелів

**Шлейф пари** – пара струмопровідних жил, закорочена на дальньому кінці (жили з'єднано між собою).

**Опір шлейфу пари (кола)** – електричний опір двох з'єднаних між собою на дальньому кінці струмопровідних жил постійному струму.

**Омічна асиметрія кола постійному струму** – різниця електричних опорів провідників кола (пари) постійному струму.

**Опір ізоляції пари** – електричний опір постійному струму між двома провідниками пари, що ізолювані між собою.

**Робоча ємність кола** – електрична ємність між двома ізольованими провідниками кола.

**Коефіцієнт затухання (лінії)** – затухання синусоїдального сигналу при поширенні по узгодженому на вході і виході колу довжиною 1 км.

**Коефіцієнт фази** – зміна фази синусоїдального сигналу у колі довжиною 1 км, яка виникає внаслідок кінцевої швидкості розповсюдження сигналу.

**Хвильовий опір** – опір, який зазнає синусоїдальна електромагнітна хвиля при поширенні уздовж однорідного кола без відбиття.

**Примітка.** Хвильовий опір визначається як відношення комплексної амплітуди напруги до комплексної амплітуди струму, має модуль і фазу.

**Загасання** (сигналу, електричного кола, лінії, пристрою) – величина, що характеризує зміну потужності (напруги) сигналу при передаванні його середовищем розповсюдження (електричним колом, пристроєм) і визначається логарифмом відношення значень потужності  $P_{вх}$  (напруги  $U_{вх}$ ) на вході середовища розповсюдження до потужності  $P_{вих}$  (напруги  $U_{вих}$ ) на виході цього середовища розповсюдження:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{вх}}{P_{вих}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{вх}}{U_{вих}} \right|.$$

**Примітка.** Затухання вимірюється у децибелах (дБ).

**Робоче загасання** – загасання синусоїдального сигналу при поширенні вздовж кола, яке є узгодженим на вході і неузгодженим на виході.

**Примітка 1.** Величина робочого загасання визначається як різниця рівнів сигналу на вході та виході кола.

**Примітка 2.** При узгодженому навантаженні на вході та виході кола величина робочого загасання дорівнює її власному загасанню.

У таблицях Д1.3 і Д1.4 наведено значення основних параметрів кабелів типу ТП.

**Таблиця Д1.3** – Середні значення електричного опору, омичної асиметрії та робочої ємності кабелів типу ТП

Параметр	Частота, Гц	Середнє значення
1 Електричний опір струмопровідної жили довжиною 1 км при температурі 20 °С, Ом/км, для діаметра жил, мм: 0,32 0,40 0,50 0,64 0,70 0,90	0	223 144 92,1 56,5 47,0 28,3
2 Омична асиметрія жил пари, %, не більше за	0	1
3 Електричний опір ізоляції 1 км жил кабелю постійному струму, МОм	0	5 000
4 Робоча ємність, перерахована на довжину 1 км, при температурі 20 °С, нФ/км, не більше за: - для кабелів без гідрофобного заповнення - для кабелів з гідрофобним заповненням - для кабелів з гідрофобним заповненням «Зв»	800 або 1000	48 54 57

**Таблиця Д1.4** – Допустимі значення коефіцієнту затухання кабелів типу ТП на частотах 1кГц, 512 кГц і 1024 кГц

Діаметр жил, мм	Частота, кГц	Коефіцієнт загасання, дБ/км, не більше	
		кабель без гідрофобного заповнення	кабель з гідрофобним заповненням
0,32 0,4 0,5 0,64 0,7 0,9	1	2,4 1,9 1,5 1,2 1,1 0,7	2,5 2,0 1,6 1,3 1,2 0,8
0,4 0,5	512	19,5 16,7	20,8 18,0
0,4 0,5	1024	27,2 23,4	29,1 25,2

## ДОДАТОК 2

### Інтерфейс користувача програмного комплексу “xDSL Liner”

#### Д2.1 Опис основного вікна програмного комплексу “xDSL Liner”

Після запуску програмного комплексу основне вікно виглядає так, як показано на рис. Д2.1.

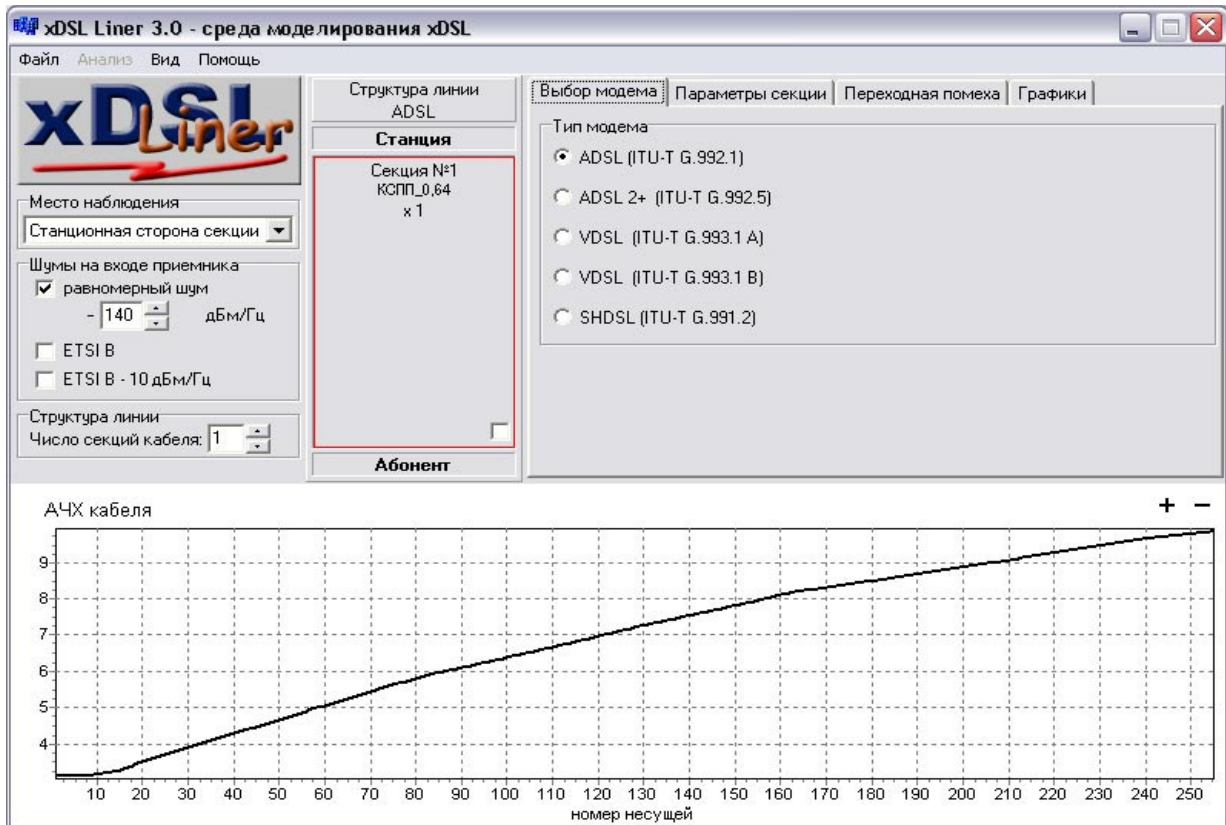


Рисунок Д2.1 – Основне вікно програмного комплексу

Основне вікно можна умовно розділити на чотири області:

- 1 область загальних налаштувань (ліва верхня сторона). Ця область дозволяє вибрати контекст, в якому розраховуватимуться параметри при спостереженні з боку станції або абонента. Крім того, тут можна вибрати модель шумів на вході приймача і кількість секцій складеної лінії;
- 2 структура лінії (середня частина вікна). Тут відображається вибрана структура лінії і важливі параметри окремих секцій;
- 3 область детальних налаштувань (права верхня сторона). Ця область містить декілька закладок, які дозволяють встановити всі параметри, необхідні для моделювання;
- 4 область графіків (нижня частина вікна). Ця область призначена для відображення всіх графіків, які можуть бути побудовані за результатами моделювання.

## Д2.2 Вибір системи передавання

Розглянемо процес моделювання за допомогою програмного комплексу.

Перше, з чим потрібно визначитися, – тип системи передавання xDSL, для якої проводитиметься моделювання. Для вибору типу СП призначена закладка «Выбор системы передачи», рис. Д2.2.

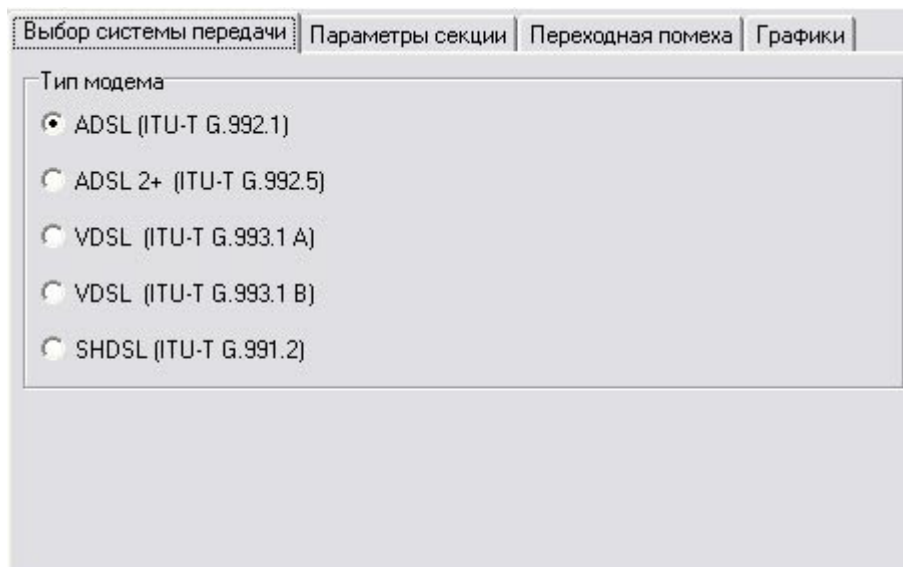


Рисунок Д2.2 – Закладка «Выбор системы передачи»

Як можна бачити з рисунка, закладка дозволяє вибрати одну з п'яти систем передавання: ADSL, ADSL2+, VDSL (частотні плани А і В) і SHDSL.

## Д2.3 Вибір структури лінії

Наступний крок – вибір структури лінії, по якій повинна працювати система передавання. Для цієї мети призначена область «Структура линии» і закладка «Параметры секции», рис. Д2.3.

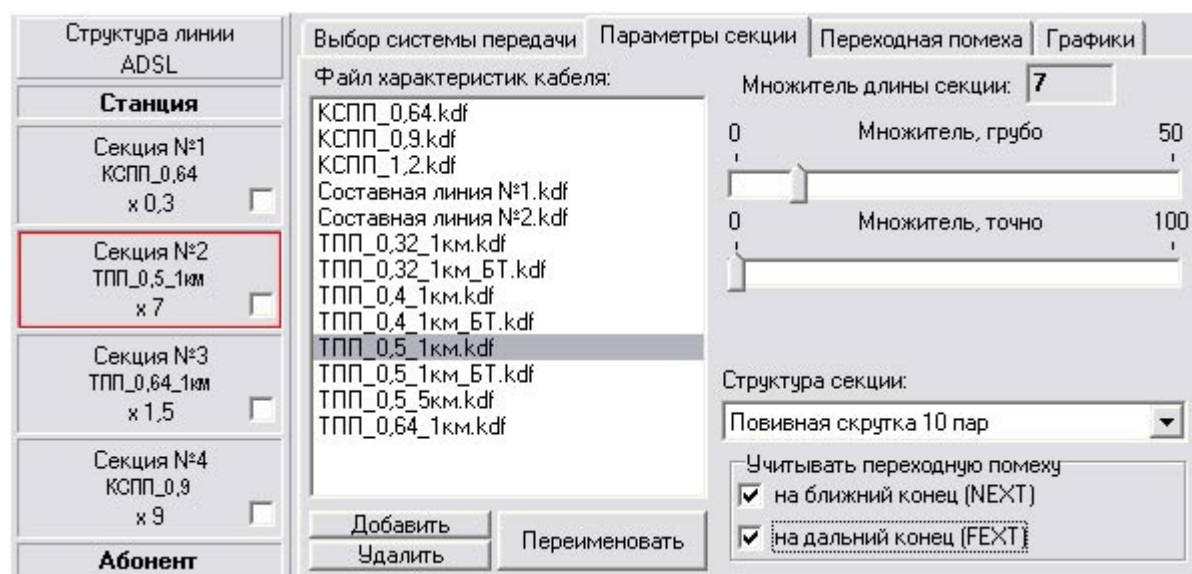


Рисунок Д2.3 – Область «Структура линии» і закладка «Параметры секции».

Програмний комплекс передбачає складання лінії з декількох секцій (до 4-х). Для того, щоб налаштувати параметри секції, потрібно вибрати її, натиснувши на поле секції лівою кнопкою миші. Вибрана секція підсвічується червоним прямокутником, а її поточні параметри відображаються в полі закладки «Параметри секції». В цьому полі можна вибрати файл характеристик кабелю секції, тип кабелю, довжину секції, а також вказати, які перехідні завади слід враховувати для даної секції.

Кожна секція в області «Структура лінії» має прапор активності (білий прямокутник у правому нижньому кутку поля кожної секції). Якщо жодна секція не має встановленого прапора активності, то всі розрахунки проводяться для вибраної секції. Якщо одна або декілька секцій мають встановлений прапор активності, то всі розрахунки проводяться для лінії, складеної з активних секцій (незалежно від того, яка секція вибрана). Наприклад, в ситуації, зображеній на рис. Д2.4 розрахунки проводитимуться для лінії, складеної з секції №1 і №3.

Структура лінії ADSL	
Станція	
Секция №1 КСПП_0,64 x 0,3	<input checked="" type="checkbox"/>
Секция №2 ТПП_0,5_1км x 7	<input type="checkbox"/>
Секция №3 ТПП_0,64_1км x 1,5	<input checked="" type="checkbox"/>
Секция №4 КСПП_0,9 x 9	<input type="checkbox"/>
Абонент	

**Рисунок Д2.4** – Приклад завдання структури лінії (лінія складається з секції кабелю типу КСПП 0,64 мм та секції кабелю типу ТПП 0,64 мм)

Однією з особливостей програми є спосіб завдання довжини секції. Довжина секції задається множителем довжини (вибирається в полі закладки «Параметри секції»). Фактично, АЧХ і ФЧХ секції, задані у файлі параметрів кабелю, зростають пропорційно множителю довжини секції. У зв'язку з цим доцільним є завдання у файлі характеристик кабелю АЧХ і ФЧХ для лінії завдовжки 1 км. Для заданого таким чином кабелю множник довжини секції відповідає довжині секції в кілометрах.

Так, на рисунку А7 довжина секції №2 складає 7 км, оскільки множник довжини секції дорівнює семи («x 7»), а характеристики кабелю приведені для 1км (файл «ТПП\_0,5\_1км»).

## Д2.4 Работа із сценаріями завантаження

Програмний комплекс також дозволяє при моделюванні складених ліній обирати сценарій завантаження для кожної секції, що забезпечує можливість аналізу реальних ліній мережі доступу. Для настройки сценарію завантаження вибраної секції призначена закладка «Переходная помеха», рис. Д2.4.

Закладка відображає зріз кабелю вибраної секції. Як видно з рисунка, за умовчанням для секції встановлюється порожній сценарій (M1). Зображення зрізу показує, що в кабелі працює тільки одна система передавання – ADSL (залежить від типу системи передавання, вибраного в полі закладки «Выбор системы передачи»).

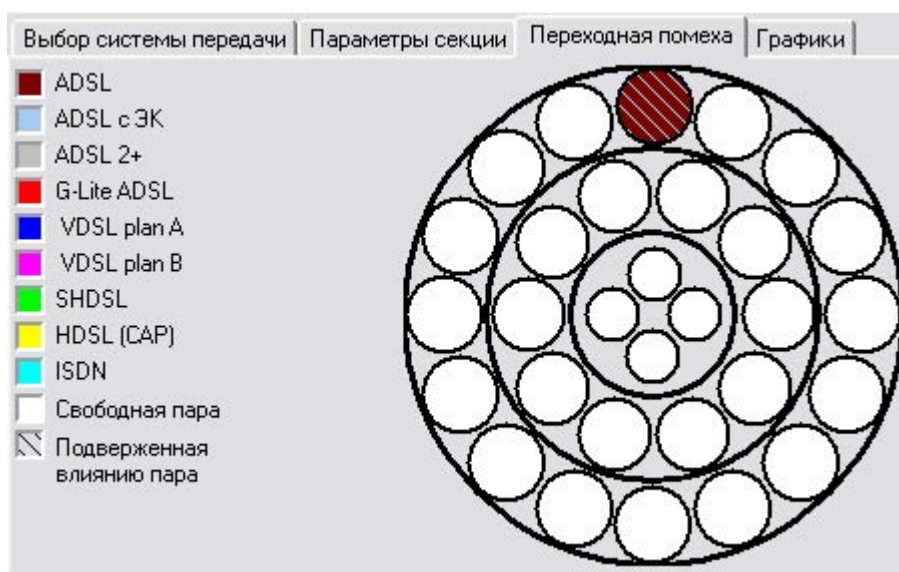


Рисунок Д2.4 – Закладка «Переходная помеха»

Для того, щоб встановити необхідний сценарій завантаження, необхідно натиснути на зображенні потрібної пари правою кнопкою миші, що викличе появу контекстного меню рис. Д2.5.

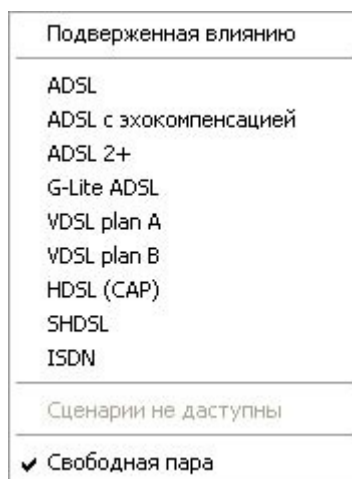


Рисунок Д2.5 – Контекстне меню закладки «Переходная помеха»

Контекстне меню дозволяє вибрати систему передавання, яку необхідно помістити в потрібну пару. На рис. Д2.6 зображений зріз кабелю, в якому додана система передавання VDSL plan A.

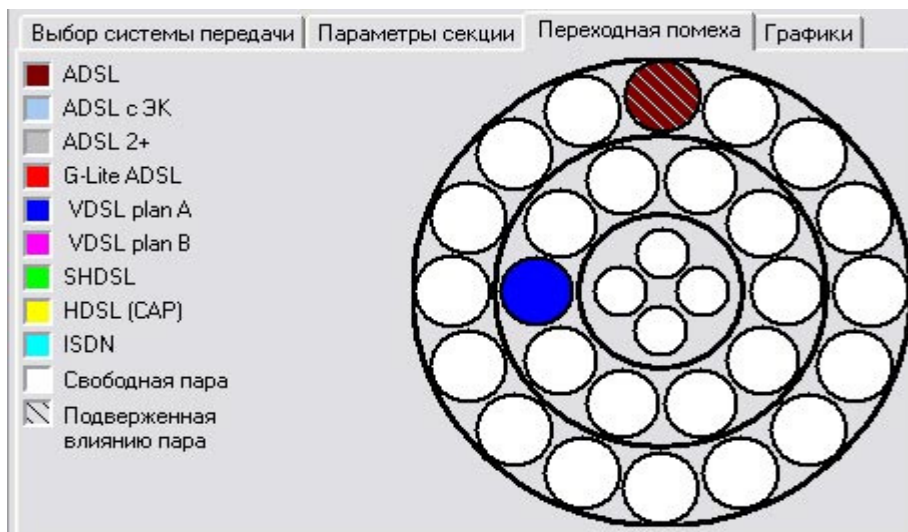


Рисунок Д2.6 – Пример простого сценария завантаження

Наведений на рис. Д2.6 сценарій означає, що окрім пари ADSL, для якої проводяться вимірювання, в кабелі присутня пара VDSL plan A, яка може бути джерелом перехідних завад.

Для швидкого задавання складнішого стандартного сценарію можна скористатися функцією побудови сценарію. Якщо натиснути на зображенні пари, по якій працює яка-небудь система передавання, правою кнопкою миші, то в контекстному меню, що з'явилося, з'явиться пункт «Выбрать сценарий». Якщо контекстне меню було викликано для пари, по якій працює СП VDSL plan A, то пункт вибору сценарію матиме назву «Выбрать сценарий VDSL plan A». Якщо вибрати цей пункт меню, на зрізі кабелю буде відображена панель вибору сценарію, рис. Д2.7.

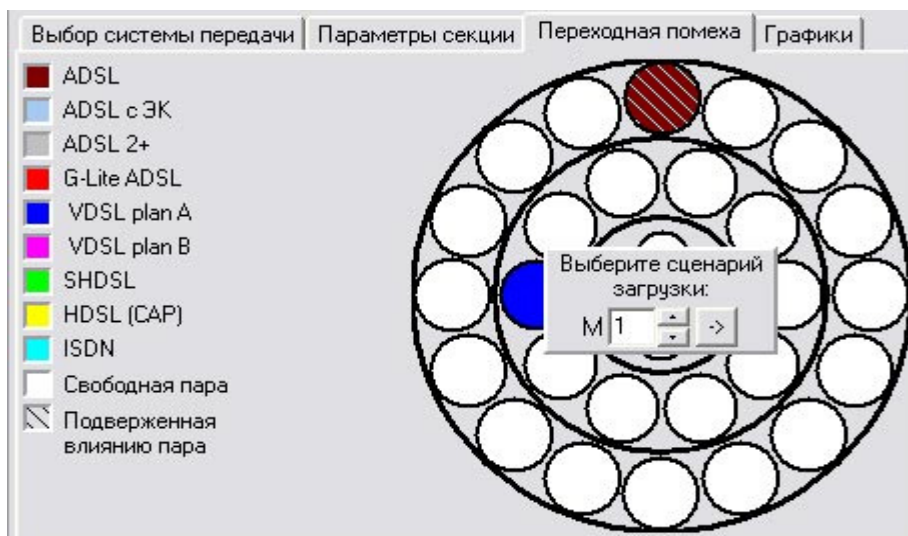


Рисунок Д2.7 – Видял панели вибору сценарію завантаження



Далі потрібно тільки встановити номер сценарію і програма побудує його на зрізі, при цьому пара сценарію, завадова ситуація в якій якнайгірша, вибирається як піддана впливу, і всі розрахунки проводитимуться для неї. На рис. Д2.8 зображений вигляд закладки «Переходная помеха» після вибору сценарію M15.



Рисунок Д2.8 – Відображення сценарію M15

Окрім побудови стандартних сценаріїв завантаження кабелів, програмний комплекс дозволяє вибрати довільний сценарій, встановлюючи систему передавання окремо для кожної пари. На рис. Д2.9 зображений такий довільний сценарій.



Рисунок Д2.9 – Відображення довільного сценарію

Програмний комплекс також надає декілька корисних інструментів, призначених для роботи із сценаріями завантаження, які можна знайти в пункті «Анализ» головного меню програми. Слід помітити, що цей пункт активний тільки у тому випадку, коли для вибраної секції встановлений кабель типу ТПП

(в назві файлу характеристик кабелю міститься аббревіатура ТПП). Це пов'язано з деякими особливостями моделі перехідних впливів кабелів КСПП.

Меню «Аналіз» містить наступні пункти:

1 «Расположить подверженную влиянию пару оптимально» – переміщує піддану впливу пару на місце порожньої пари, в якій наводиться мінімальна перехідна завада при встановленому сценарії завантаження;

2 «Определить пару с наихудшей помеховой ситуацией» – позначає на зрізі кабелю пару, в якій при встановленому сценарії завантаження наводиться максимальна перехідна завада;

3 «Найти оптимальное распределение пар» – змінює встановлений сценарій завантаження так, що взаємні впливи між діючими в кабелі системами передавання зводяться до мінімуму.

## Д2.5 Відображення результатів моделювання

Закладка «Графики» основного вікна програмного комплексу дозволяє вибрати, яка інформація відобразатиметься в полі графіка в нижній частині вікна, рис. Д2.10.

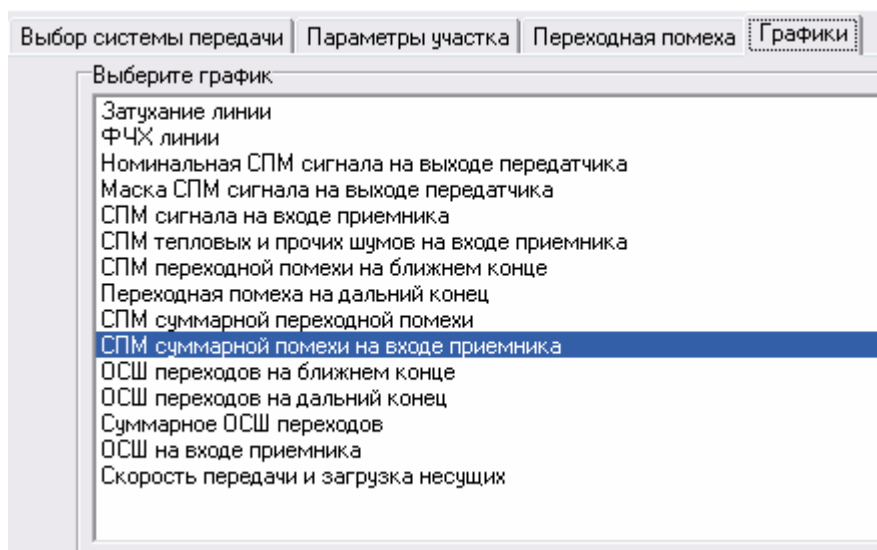


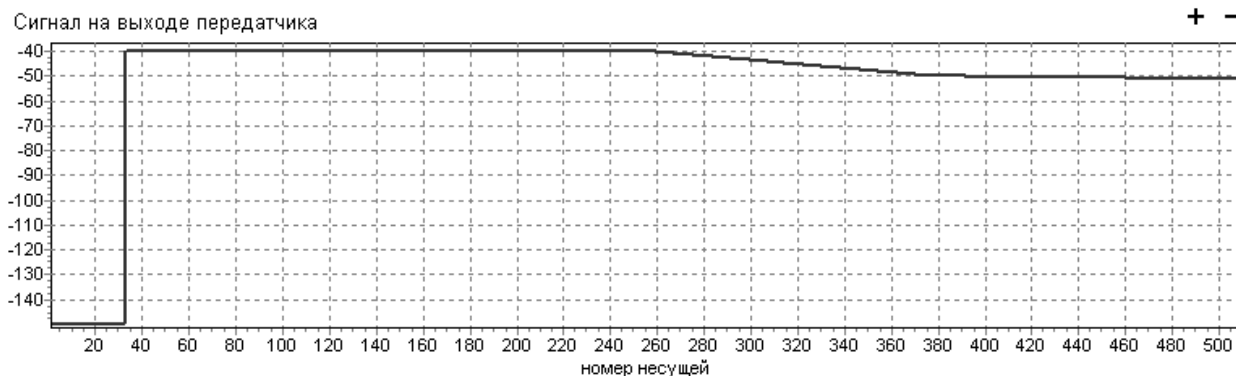
Рисунок Д2.10 – Закладка «Графики»

В полі закладки «Графики» можна вибрати наступні графіки:

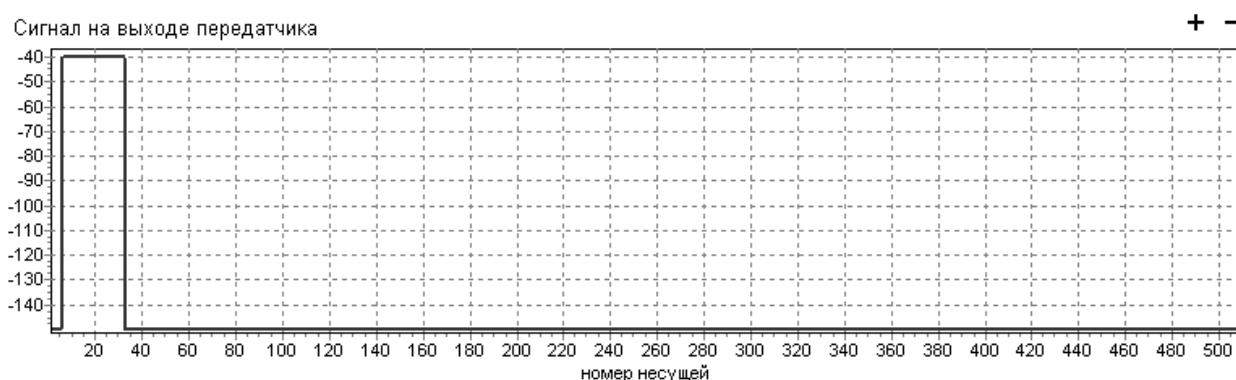
- «Затухание линии» – виводить графік залежності загасання лінії, дБ, від частоти;
- «ФЧХ линии» – виводить графік залежності ФЧХ лінії, в радіанах, від частоти;
- «Номинальная СПМ сигнала на выходе передатчика» – виводить номінальну спектральну густину потужності сигналу на виході передавача;
- «Маска СПМ сигнала на выходе передатчика» – виводить маску спектральної густини потужності сигналу на виході передавача;

- «СПМ сигнала на входе приемника» – виводить спектральну густину потужності сигналу на вході приймача;
- «СПМ тепловых и прочих шумов на входе приемника» – виводить спектральну густину потужності теплових і інших шумів, а також визначає сумарну потужність цих шумів у всій аналізованій смузі частот;
- «СПМ переходной помехи на ближнем конце» – виводить спектральну густину потужності перехідних завад на ближньому кінці, а також визначає сумарну потужність цих завад у всій аналізованій смузі частот;
- «СПМ переходной помехи на дальнем конце» – виводить спектральну густину потужності перехідних завад на дальньому кінці, а також визначає сумарну потужність цих завад у всій аналізованій смузі частот;
- «СПМ суммарной переходной помехи» – виводить спектральну густину потужності суми перехідних завад на ближній і дальній кінець, а також визначає сумарну потужність суми цих завад у всій аналізованій смузі частот;
- «СПМ суммарной помехи на входе приемника» – виводить спектральну густину потужності суми всіх завад, діючих на вході приймача, а також визначає сумарну потужність суми цих завад у всій аналізованій смузі частот;
- «ОСШ переходов на ближнем конце» – виводить відношення сигнал-шум перехідних завад на ближньому кінці;
- «ОСШ переходов на дальнем конце» – виводить відношення сигнал-шум перехідних завад на дальньому кінці;
- «Суммарное ОСШ переходов» – виводить відношення сигнал-шум суми перехідних завад на ближньому і дальньому кінці;
- «ОСШ на входе приемника» – виводить повне відношення сигнал-шум на вході приймача;
- «Скорость передачи и загрузка несущих» – виводить графік розподілу інформаційного навантаження по несучих (для СП з DMT) або спектральну густину потужності сигналу (для СП SHDSL). Крім того, виводиться сумарна швидкість передавання у напрямках вверх і вниз (для SHDSL виводиться одна швидкість).

Слід зазначити, що інформація, що відображається, залежить від того, на якій стороні лінії проводиться спостереження (це не стосується останнього графіку). Так, наприклад, на рис. Д2.11 зображений графік «Сигнал на виході передавача» при спостереженні з боку станції, а на рис. Д2.12 – на боці абонента.

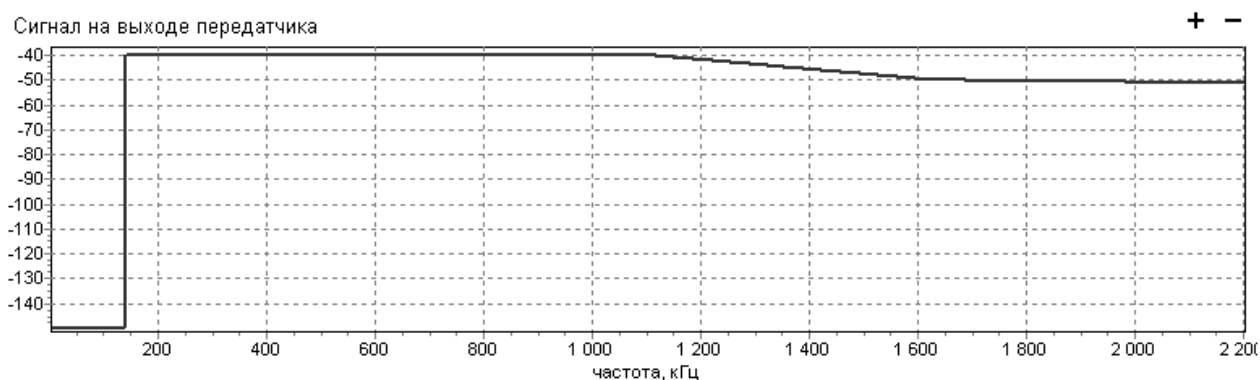


**Рисунок Д2.11** – «Сигнал на виході передатчика» системи передавання ADSL2+ при спостереженні з боку станції



**Рисунок Д2.12** – «Сигнал на виході передатчика» системи передавання ADSL2+ при спостереженні на боці абонента

Як можна помітити з рис. Д2.11 і Д2.12, за умовчанням графіки частотної залежності виводяться відносно номера несучої. Для зміни одиниць вимірювання осі частот можна скористатися підменю «Вид» головного меню програмного комплексу. Це підменю дозволяє градувати вісь частот в номерах несучих, кілогерцах або мегагерцах. На рисунку Д2.13 наведено графік, аналогічний наведеному на рис. Д2.12, але вісь частот проградуєвано в кілогерцах.



**Рисунок Д2.13** – «Сигнал на виході передатчика» системи передавання ADSL2+ при спостереженні на боці абонента

## Д2.6 Приклади використання програмного комплексу

### Приклад 1

Припустимо, що необхідно визначити можливість надання абоненту послуги високошвидкісного доступу до мережі Інтернет на швидкості 2048 кбіт/с у напрямку до абонента та 256 кбіт/с у напрямку від абонента. Лінія, по якій передбачається побудова лінії ADSL, складається з ділянки кабелю ТПП 0,5 мм довжиною 3,7 км та ділянки кабелю ТПП 0,64 мм довжиною 1,4 км.

Для визначення можливості надання послуги необхідно ввести всі вихідні дані у програмний комплекс. На рис. Д2.14 зображено вікно програмного комплексу, в якому введено параметри складеної лінії. Слід також вказати тип СП у полі закладки «Выбор системы передачи».

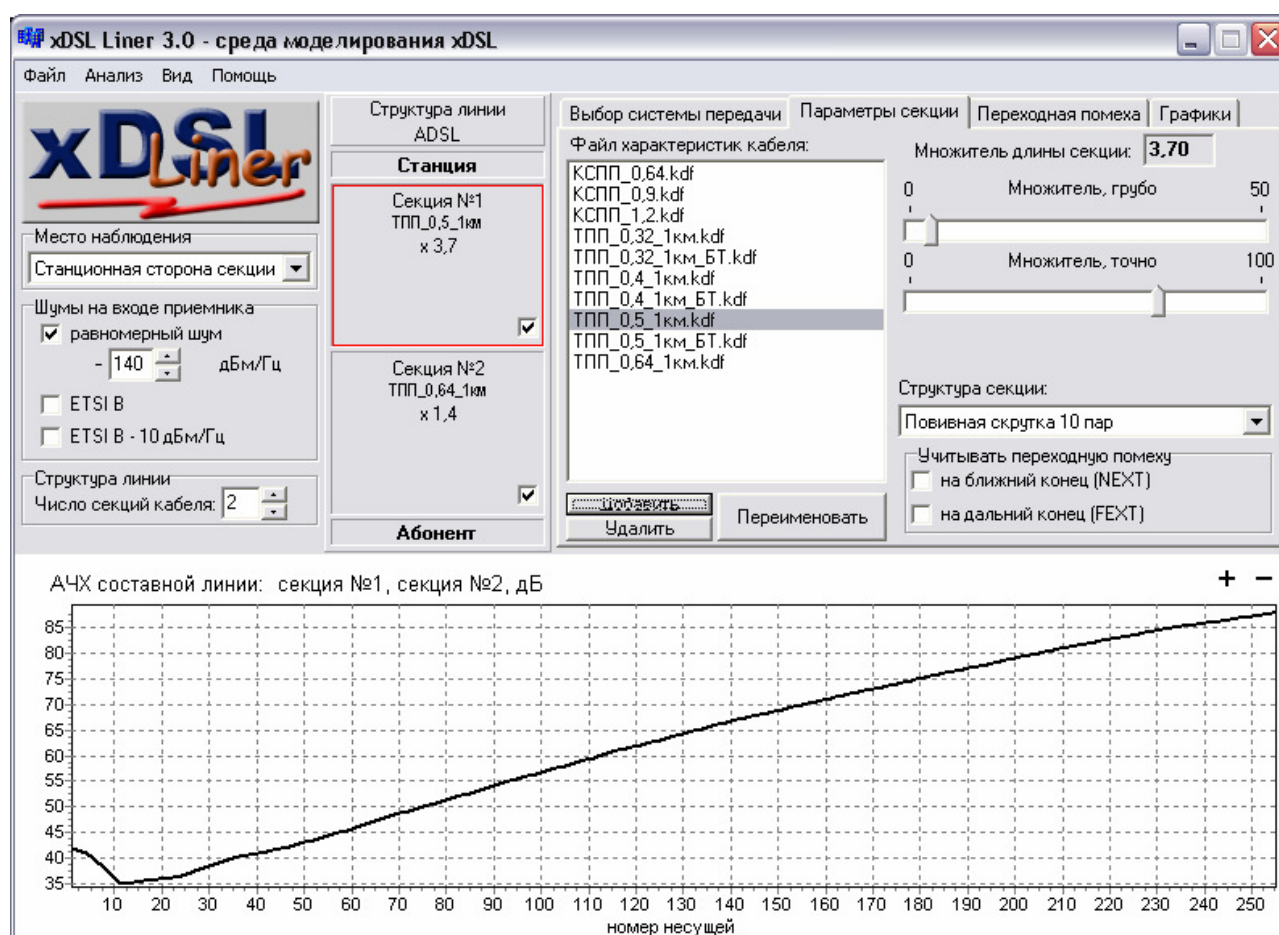
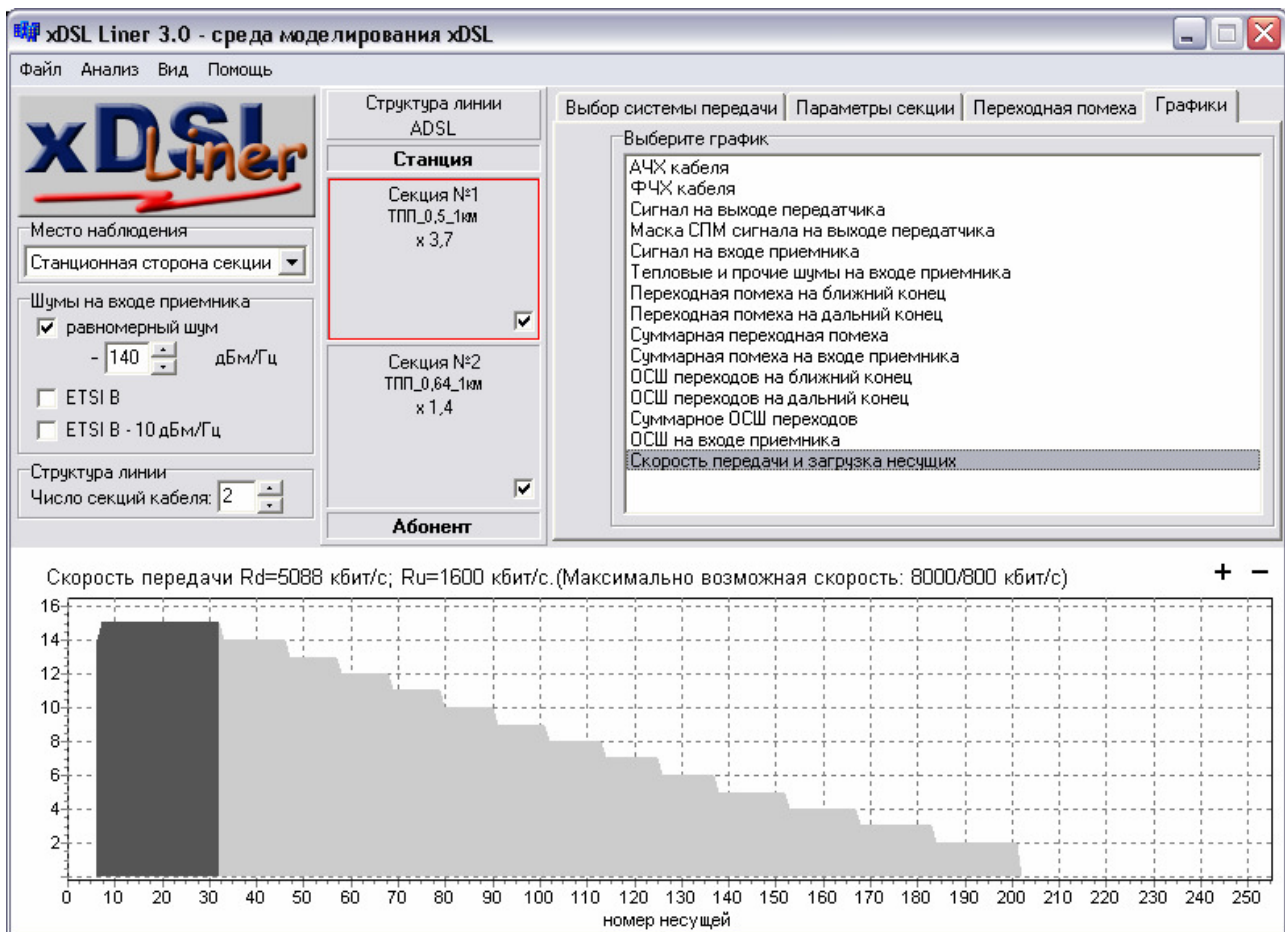


Рисунок Д2.14 – Вікно програмного комплексу з встановленими параметрами лінії

На рис. Д2.14 також можна побачити графік АЧХ складеної лінії. На рис. Д2.15 наведено вікно програмного комплексу після вибору графіка «Скорость передачи и загрузка несущих».



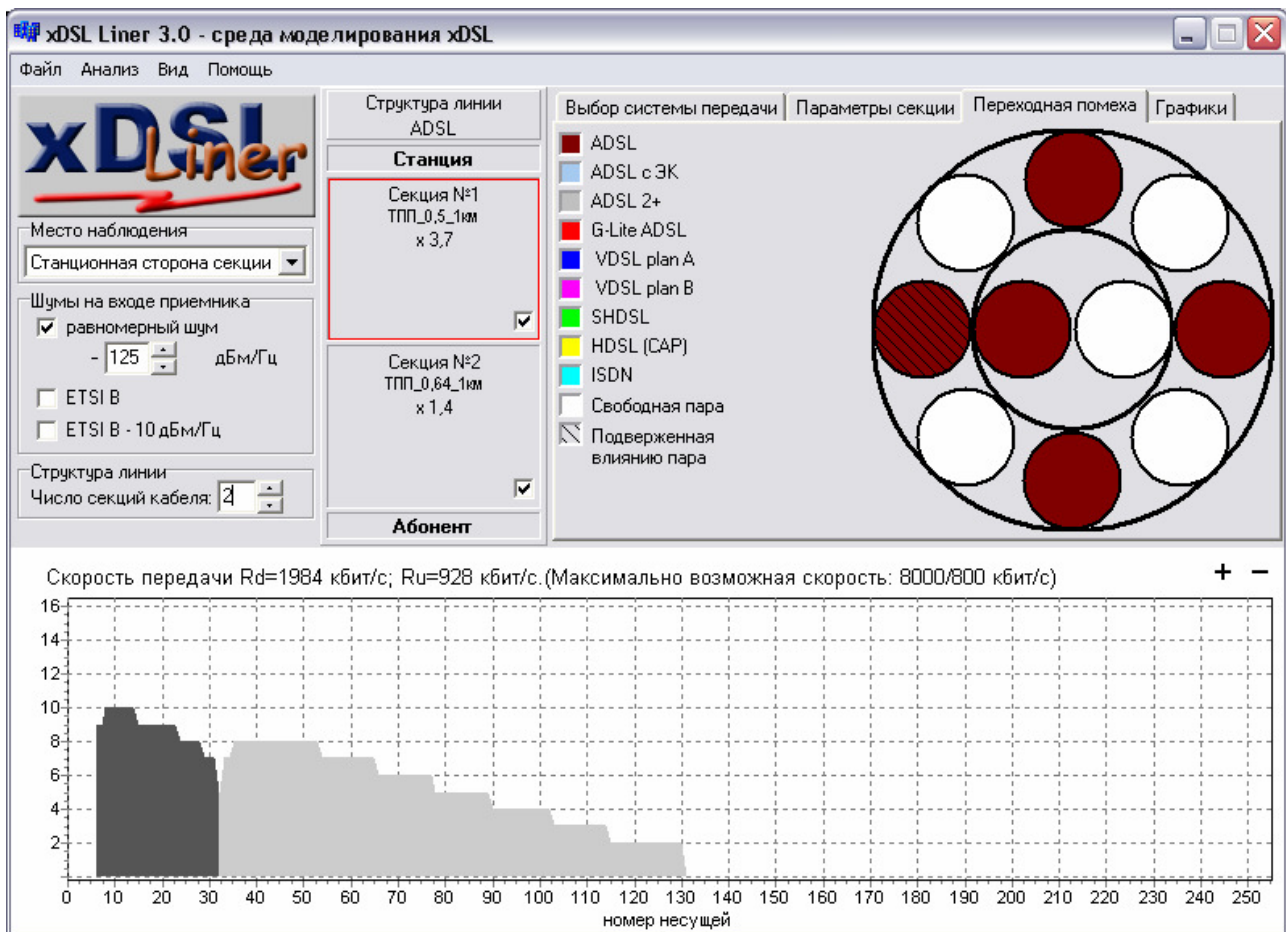
**Рисунок Д2.15** – Вікно програмного комплексу відображає завантаження несучих та швидкість передавання СП ADSL для прикладу 1

Як можна бачити з рис. Д2.15, при роботі системи передавання ADSL по заданій лінії можлива передавання інформації зі швидкістю 5088 кбіт/с до абонента та 1600 кбіт/с від абонента. Виходячи з отриманої інформації, можна стверджувати, що надання послуги у даних умовах можливе.

## Приклад 2

Розглянемо ситуацію, наведену у першому прикладі, але врахуємо той факт, що на ділянці кабелю ТПП 0,5 мм паралельно з СП, що аналізується, працює ще 5 систем передавання ADSL, а сам кабель є 10-и парним та має повивну скрутку. Крім того, за результатами вимірювання шумів у лінії була визначена наявність у лінії рівномірного адитивного шуму із спектральною густиною потужності мінус 125 дБм/Гц.

Окрім встановлення всіх вихідних даних першого прикладу, слід обрати сценарій завантаження ділянки кабелю ТПП 0,5 мм та змінити потужність рівномірного шуму. На рис. Д2.16 наведено встановлений сценарій завантаження цієї ділянки та потужність шуму у лінії.



**Рисунок Д2.16** – Вікно програмного комплексу відображає завантаження несучих та швидкість передавання СП ADSL для прикладу 2

Як можна побачити з рис. Д.16, за нових умов потенційна швидкість передавання зменшилась до 1984 кбіт/с від абонента та 928 кбіт/с до абонента. Такий результат говорить про неможливість надання послуги за даних умов.

## СОДЕРЖАНИЕ РУССКОЯЗЫЧНОГО ВАРИАНТА

### ЛР № 11

1 Цель работы .....	58
2 Ключевые положения .....	58
2.1 Технологии xDSL. Сеть xDSL-доступа. Основные определения	58
2.2 Линейные сигналы асимметричных ЦАЛ.....	60
2.3 Зависимость скорости передачи по ЦАЛ от длины линии.....	66
3 Ключевые вопросы .....	66
4 Домашнее задание .....	67
5 Лабораторное задание .....	68
6 Содержание протокола .....	70
Приложение к ЛР-11. Графики ожидаемых результатов исследований.....	71

### ЛР № 12

1 Цель работы.....	74
2 Ключевые положения.....	74
2.1 Параметры взаимного влияния.....	74
2.2 Зависимость переходных затуханий от длины.....	76
2.3 Зависимость переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце от частоты.....	76
3 Ключевые вопросы.....	78
4 Домашнее задание.....	78
5 Лабораторное задание.....	79
6 Содержание протокола.....	81
Приложение к ЛР-12. Графики ожидаемых результатов исследований.....	82

### ЛР № 13

1 Цель работы.....	83
2 Ключевые положения.....	83
2.1 Ключевые понятия (термины).....	83
2.2 Оценка потенциальных характеристик ЦАЛ при параллельной работе по многопарным телефонным кабелям.....	83
3 Ключевые вопросы.....	87
4 Домашнее задание.....	87
5 Лабораторное задание.....	87
6 Содержание протокола.....	90
Приложение к ЛР-13. Графики ожидаемых результатов исследований.....	90
Список литературы.....	91



ПРИЛОЖЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ .....	92
П1 Параметры и характеристики кабелей абонентских линий.....	92
П1.1 Общие сведения об абонентских кабелях.....	92
П1.2 Параметры передачи абонентских кабелей.....	94
П2 Интерфейс пользователя программного комплекса “xDSL Liner”...	97
П2.1 Описание основного окна программного комплекса “xDSL Liner” .....	97
П2.2 Выбор системы передачи.....	98
П2.3 Выбор структуры линии.....	98
П2.4 Работа со сценариями загрузки.....	100
П2.5 Отображение результатов моделирования.....	103
П2.6 Примеры использования программного комплекса .....	106

## Лабораторная работа № 11

### Исследование зависимости скорости передачи данных по цифровой абонентской линии от параметров кабеля и уровня помех

#### 1 Цель работы

Исследование скоростных характеристик цифровых абонентских линий (ЦАЛ) на основе систем передачи (СП) xDSL различных типов в зависимости от длины линии передачи, диаметра жил кабеля и спектральной плотности мощности (СПМ) помех.

#### 2 Ключевые положения

##### 2.1 Технологии xDSL. Сеть xDSL-доступа. Основные определения

Технологии xDSL были разработаны для высокоскоростного доступа к интерактивным службам (видео по запросу, видеоигры и т.п.) и быстрой передачи данных (доступ в Интернет, удаленный доступ к ЛВС и другим сетям) с использованием существующих телефонных абонентских линий.

Типовая структура сети xDSL-доступа изображена на рис. 2.1.

**Сеть доступа** – это часть сети электросвязи, которая обеспечивает соединение оборудования пользователей с ближайшим узлом транспортной сети с целью обеспечения пользователей доступом к инфокоммуникационным услугам.

**Сеть xDSL- доступа** – это широкополосная сеть доступа, построенная на базе xDSL-систем передачи.

Технические характеристики xDSL-систем передачи определены рекомендациями МСЭ-Т G.991 – G.993.

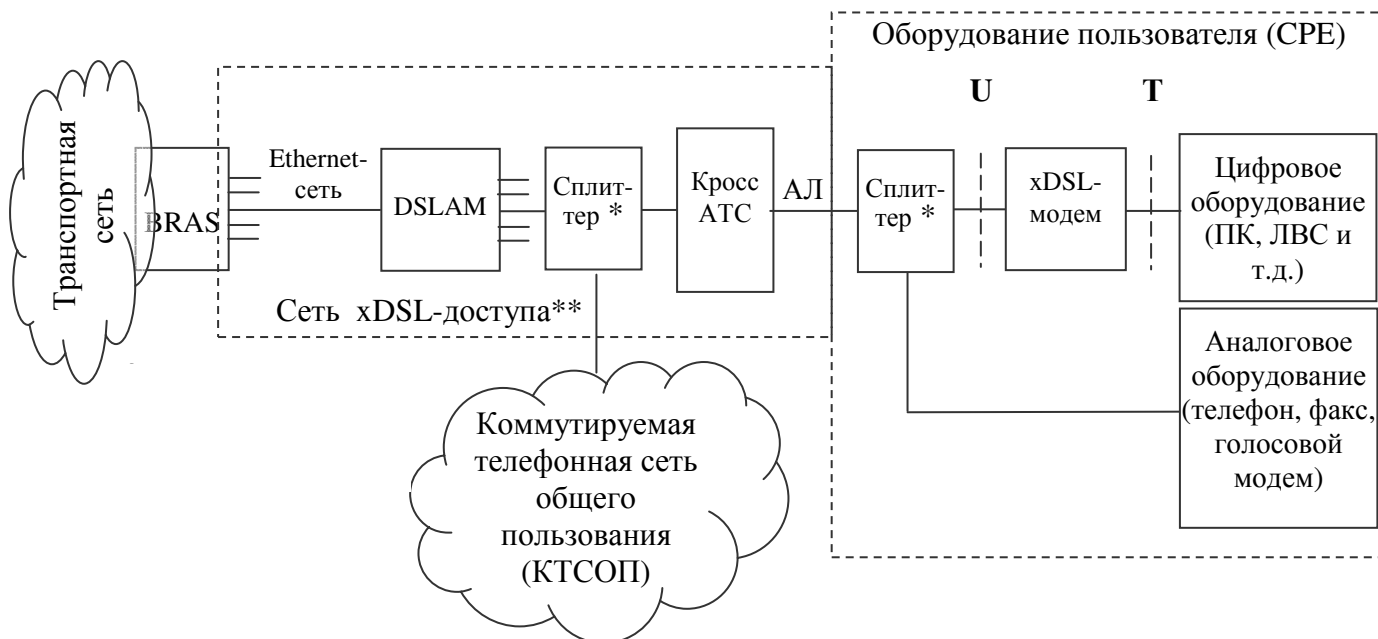
На рис. 2.1 сеть xDSL-доступа – это часть сети электросвязи, ограниченная эталонной точкой U (или T) и BRAS (в той её части, которая мультиплексирует цифровые потоки DSLAM). В качестве оборудования пользователя может выступать xDSL-модем, локальная вычислительная сеть, персональный компьютер и другие устройства.

xDSL-модем устанавливается в помещении пользователя и может выполнять функции маршрутизатора, моста и/или коммутатора.

Сплиттер представляет собой фильтр, который отделяет высокочастотные сигналы (xDSL) от низкочастотных телефонных сигналов (полоса частот от 0,3 кГц до 3,4 кГц) или сигналов ISDN (от 0 кГц до 80 кГц).

DSLAM терминирует сигналы xDSL. Это первый элемент сети доступа, где происходит агрегация трафика множества цифровых абонентских линий.

Ethernet-сеть (на рис. 2.1) – это часть сети xDSL-доступа, которая ограничена множеством DSLAM и BRAS и использует технологию передачи Ethernet.



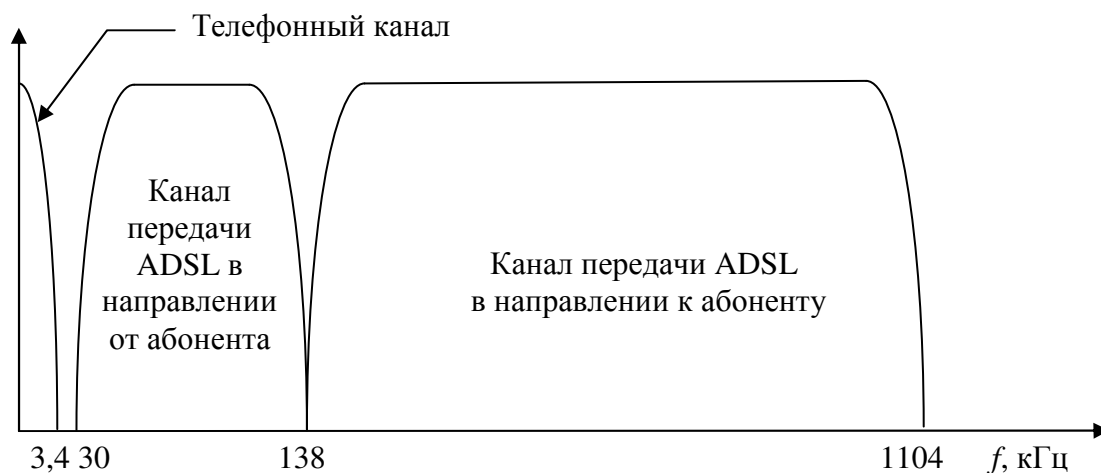
- BRAS – Broadband Remote Access Server (сервер удаленного широкополосного доступа)
- DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer (мультиплексор доступа цифровых абонентских линий)
- CPE – Customer Premises Equipment (оборудование помещения пользователя)
- АТС – автоматическая телефонная станция
- АЛ – абонентская линия
- ПК – персональный компьютер
- ЛВС – локальная вычислительная сеть

\*) Сплиттер не используется в симметричных видах xDSL (HDSL, SHDSL). Сплиттер может быть встроенным в DSLAM и xDSL-модем.

\*\*) В некоторых случаях сеть xDSL-доступа может заканчиваться в точке „Т”

**Рисунок 2.1** – Структура сети xDSL-доступа

В качестве примера частотного распределения линейных сигналов xDSL на рис. 2.2 представлен частотный план системы передачи по технологии ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия). Здесь по одной паре проводников передаются три информационных потока: 1) высокоскоростной «нисходящий» поток данных, 2) низкоскоростной «восходящий» поток данных, 3) сигналы КТСОП (коммутируемой телефонной сети общего пользования). Стандартный сигнал аналоговой телефонии выделяется с помощью ФНЧ, который является составной частью сплиттера. Наличие сплиттера обеспечивает возможность одновременной работы СП ADSL по одной АЛ с аналоговым телефоном традиционной телефонной сети, причем даже авария соединения ADSL не приводит к нарушению телефонной связи.



**Рисунок 2.2** – Спектр линейного сигнала ADSL  
(частотное разделение сигналов встречных направлений передачи)

Рассмотрим подробнее назначение сплиттера. Телефоны в момент набора, снятия/опускания трубки, вызова (звонка) создают импульсные помехи в спектральной области ADSL (25 ... 40 кГц). К тому же, телефонная проводка фактически является приемной антенной для сигналов радиостанций. Кроме того, телефонная аппаратура изменяет параметры передачи линии (рабочее затухание, волновое сопротивление) как в процессе работы, так и при подключении/отключении дополнительного телефона. Чтобы избежать попадания высокочастотных помех от телефонного оборудования и абонентской проводки на вход ADSL-модема, а также для предотвращения влияния телефонного оборудования на высокочастотные параметры линии и нужен НЧ фильтр, который является составной частью сплиттера. И наоборот, сигнал на выходе передатчика ADSL-модема содержит также низкочастотные спектральные составляющие (до 4 кГц), которые могут мешать работе телефонного оборудования. Необходимо предотвратить попадание этих низкочастотных помех на вход телефонного оборудования путем использования другой составляющей сплиттера – ВЧ фильтра.

Для передачи цифровой информации по телефонной паре в технологии ADSL используются специальные алгоритмы цифровой обработки сигнала, регламентированные Рекомендациями МСЭ-Т G.991 – G.993. При этом скорость передачи по телефонной паре зависит от характеристик кабеля, длины линии и переходных электромагнитных воздействий от параллельно работающих в кабеле систем передачи.

## 2.2 Линейные сигналы асимметричных ЦАЛ

Наибольшее распространение среди всех разновидностей технологий xDSL получили технологии с разными скоростями передачи информации в нисходящем и восходящем направлениях, то есть технологии асимметричных ЦАЛ. Такими технологиями являются ADSL, ADSL2, ADSL2, VDSL и VDSL2.

Такой успех асимметричных технологий xDSL обусловлен прежде всего асимметричным характером трафика Интернет – от сети к абоненту передается как правило значительно больше информации, чем в обратном направлении. Второй причиной широкого распространения асимметричных ЦАЛ является то, что их разработчики остановили свой выбор на наиболее современном и эффективном методе передачи с использованием ортогональных гармонических сигналов – DMT (Discrete MultiTone – дискретная многочастотная передача (модуляция)). В радиосистемах за этим видом передачи (модуляции) закрепилось название OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Данный метод модуляции предусматривает, что в полосе частот канала связи передается не одна модулированная несущая, а некоторое множество ортогональных, независимо модулированных передаваемыми сигналами гармонических несущих. Число независимых несущих может достигать нескольких тысяч. Ортогональность несущих сигналов дает возможность осуществлять разделение передаваемых сигналов на приеме.

В системах передачи с ортогональными гармоническими сигналами (СП ОГС) в качестве несущих используются ортогональные сигналы, описываемые вещественными тригонометрическими функциями:

$$\{\cos l\omega_0 t, \sin l\omega_0 t\}, l = 0, 1, 2, N - 1, \omega_0 = 2\pi F_0, F_0 = \frac{1}{\tau_0}, \quad (1)$$

ортогональными на интервале  $\tau_0$ :

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cdot \cos m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \\ \tau_0/2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \end{cases}$$

$$\int_0^{\tau_0} \sin l\omega_0 t \cdot \sin m\omega_0 t dt = \begin{cases} 0, & l \neq m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \\ \tau_0/2, & l = m, \quad l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1, \end{cases} \quad (2)$$

$$\int_0^{\tau_0} \cos l\omega_0 t \cdot \sin m\omega_0 t dt = 0, l, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

где  $N$  – общее число ортогональных сигналов;

$l, m$  – переменные номеров сигналов.

Сигнал, соответствующий  $l = 0$ , для передачи не используется.

Спектры гармонических сигналов (1) длительностью  $\tau_0$  описываются формулой:

$$S(l, \omega) = \frac{\sin(\omega - l\omega_0) \cdot \tau_0/2}{\omega - l\omega_0}, -\infty < \omega < \infty, l = 0, 1, 2, \dots, N - 1. \quad (3)$$

Спектры (3) определены на всей оси частот, т.е. бесконечны и убывают по частоте со скоростью, пропорциональной  $1/\omega$ .

На рис. 2.3 приведены примеры сигналов (1) для варианта:  $l = 4, 5, 6, 22$ ,  $\tau_0 = 10^{-3}$  с,  $N = 512$ , а на рис. 2.4 – их вещественные спектры.

При прохождении сигналов (1) через полосноограниченный канал связи их спектры (3) ограничиваются полосой частот пропускания канала, в результате чего длительность сигналов возрастает, и ортогональность принимаемых сигналов нарушается, что является причиной возникновения межсимвольных и межканальных интерференционных помех.

Длительность тактового интервала  $T$  (длительность передаваемой элементарной посылки) выбирается несколько большей длительности интервала ортогональности  $\tau_0$ . Их разность составляет защитный временной интервал  $\tau_3$  между последовательно передаваемыми единичными элементами группового сигнала, который вводится с целью повышения помехозащищенности сигналов СП ОГС от интерференционных помех. Важным преимуществом системы ортогональных сигналов (1) перед другими ортогональными сигналами является, во-первых, высокая концентрация энергии  $l$ -го сигнала в области частот  $(l-1)\omega_0 \leq \omega < (l+1)\omega_0$  и быстрое убывание энергии вне этого диапазона, во-вторых, существование быстрых методов реализации алгоритмов их модуляции и демодуляции.

Кодовые символы, подлежащие передаче на  $p$ -ом тактовом интервале,  $a_{1p}, b_{1p}, a_{2p}, b_{2p}, \dots, a_{np}, b_{np}$ ,  $-\infty < p < \infty$ , с тактовой частотой, равной  $1/T$ , поступают на входы амплитудных модуляторов и модулируют амплитуды квадратурных несущих:

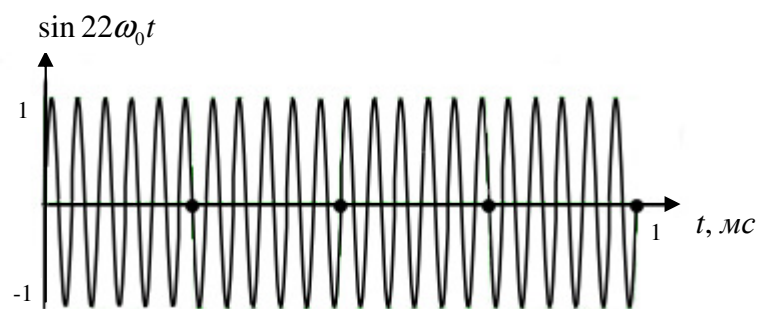
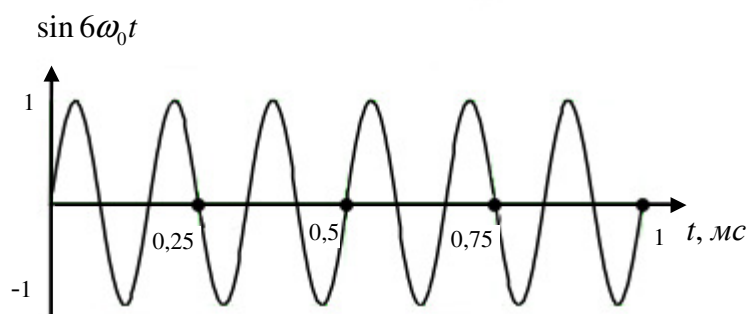
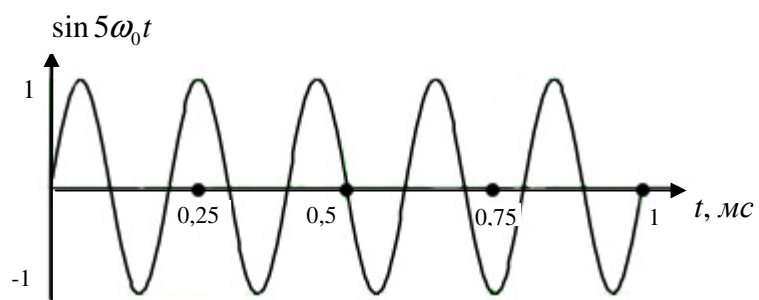
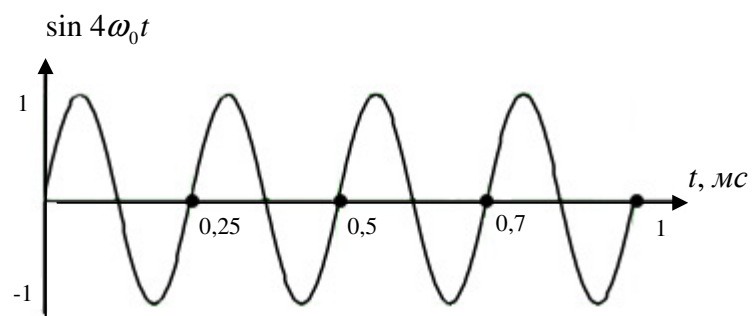
$$\left\{ \begin{array}{l} \cos l\omega_0(t - pT) \\ \sin l\omega_0(t - pT) \end{array} \right\}_{l=l_1}^{l_2}, \quad l_2 - l_1 + 1 = n, \quad (4)$$

где  $n$  – число используемых несущих из  $N-1$  возможных;

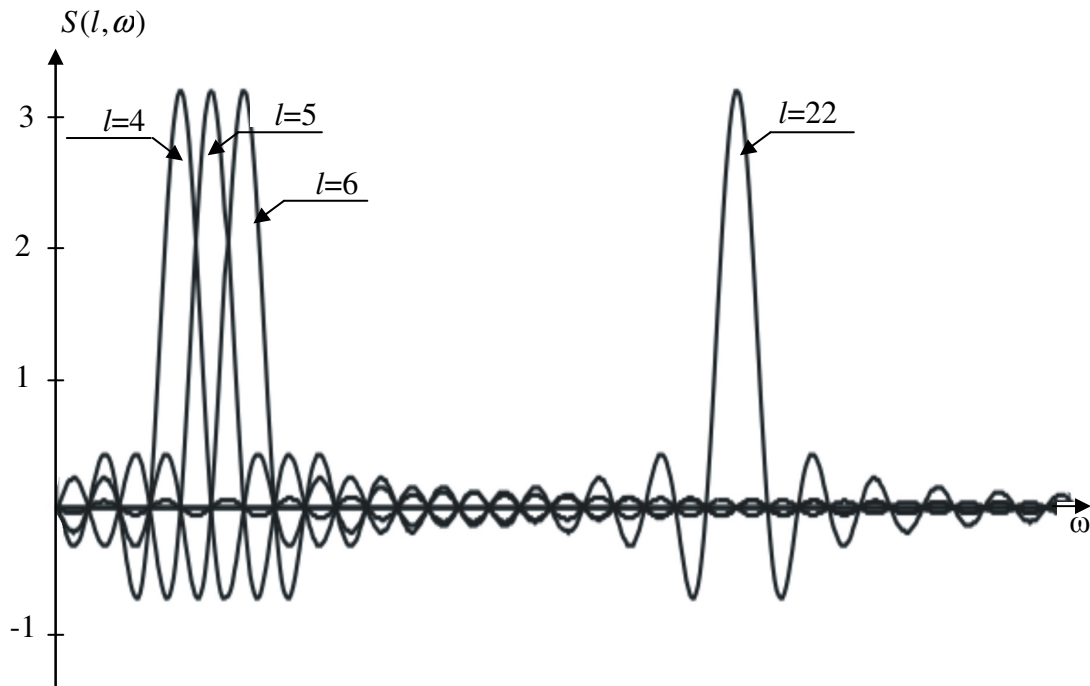
$l_1$  и  $l_2$  – номера соответственно первой и последней используемых несущих.

Групповой сигнал на выходе передатчика представляет собой сумму модулированных несущих:

$$s(t) = \sum_{p=-\infty}^{\infty} \sum_{l=l_1}^{l_2} a_{lp} \cos l\omega_0(t - pT) + b_{lp} \sin l\omega_0(t - pT). \quad (5)$$



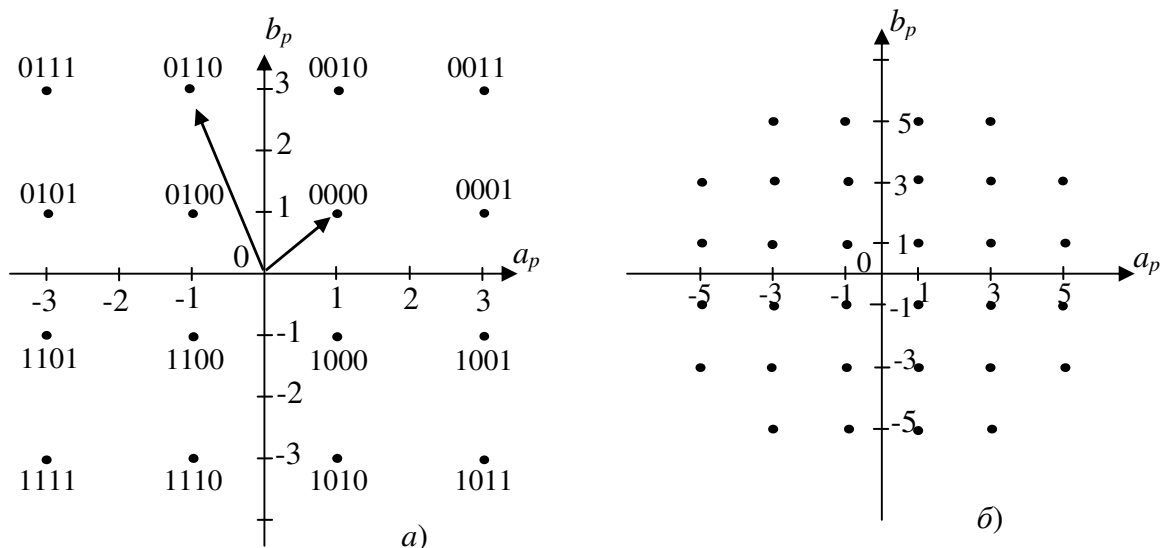
**Рисунок 2.3** – Графики ортогональных гармонических сигналов



**Рисунок 2.4** – Пример спектров гармонических сигналов длительностью  $\tau_0$

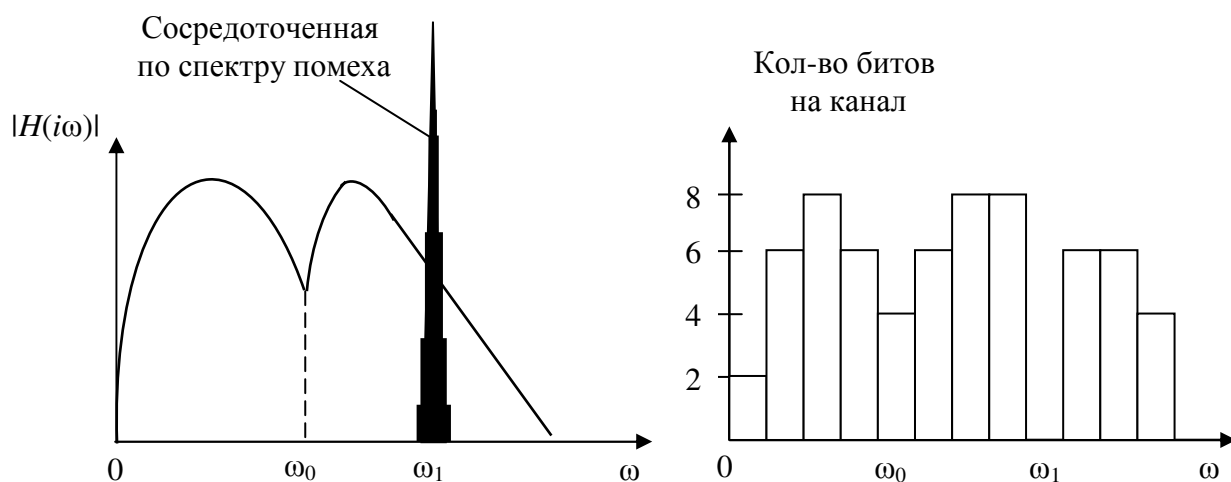
Значения  $a_{lp}$  и  $b_{lp}$  определяются битами, подлежащими передаче на  $l$ -й несущей в  $p$ -м тактовом интервале, т.е. комбинация передаваемых битов перекодируется в  $a_{lp}$  и  $b_{lp}$ . Для понимания того, каким образом происходит превращение передаваемых битов в  $a_{lp}$  и  $b_{lp}$ , обратимся к геометрическому представлению сигналов, которое заключается в следующем: несущие сигналы  $\cos l\omega_0 t$  и  $\sin l\omega_0 t$  рассматриваются как ортогональные оси координат, а передаваемые на  $l$ -й несущей в  $p$ -м тактовом интервале сигналы  $a_{lp}$  и  $b_{lp}$  определяют координаты сигнальных точек на двумерной плоскости в этой системе координат. Количество битов информации, передаваемых за один такт на одной несущей, является целочисленным и равно  $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max}$  (как правило,  $n_{\max}$  не превышает 15), соответствующее число сигнальных точек в двумерной системе координат определяется числом  $M = 2^n$ . Совокупность сигнальных точек на плоскости представляет собой сигнальное созвездие КАМ – квадратурной амплитудной модуляции (квадратурной она называется потому, что несущие сигналы  $\cos l\omega_0 t$  и  $\sin l\omega_0 t$  сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ , то есть находятся в квадратуре). Сигнальное созвездие для  $n = 4$  ( $M = 2^4 = 16$ ), содержащее 16 сигнальных точек (КАМ-16), приведено на рис. 2.5, а. На рис. 2.5, б приведено сигнальное созвездие, содержащее 32 точки (КАМ-32). Для задания координат точек этого созвездия пять битов передаваемой информации перекодируются в координаты сигнальных точек  $a_p$  и  $b_p$ . Несложно построить на базе описанных примеров созвездия КАМ-64, КАМ-128 и т.д.





**Рисунок 2.5** – Сигнальные созвездия КАМ-16 (а) и КАМ-32 (б)

Важным достоинством СП ОГС является гибкость в формировании спектра передаваемого сигнала. СП ОГС осуществляет измерения характеристик канала связи и распределение мощности передаваемого сигнала и количества передаваемой информации по каналам СП ОГС с учетом результатов этих измерений. Это позволяет, например, не использовать для передачи те области частотной характеристики канала связи, в которых затухание сигнала или мощность помех слишком велики. На рис. 2.6 представлен пример зависимости от частоты модуля передаточной функции канала связи  $|H(i\omega)|$  (слева) и соответствующей зависимости от частоты скорости передачи по каналам СП (справа). Видно, что на тех несущих, где значение коэффициента передачи больше, передается больше информации, и наоборот, а на несущей, где действует сосредоточенная по спектру помеха большой мощности, информация вообще не передается.



**Рисунок 2.6** – Зависимость скорости передачи по каналам СП ОГС от АЧХ канала связи и мощности помех

Узкополосность каналов СП ОГС позволяет эффективно бороться также с импульсными помехами. Под импульсной помехой понимают, как правило, мешающий сигнал, длительность которого соизмерима с котельниковским интервалом канала связи и, следовательно, имеющий широкополосный спектр, перекрывающий спектр передаваемого сигнала.

Существенно, что метод передачи DMT позволяет гибко изменять скорость передачи, подстраиваясь под изменяющиеся во времени характеристики конкретной линии.

### **2.3 Зависимость скорости передачи по ЦАЛ от длины линии**

Важной характеристикой ЦАЛ является зависимость достижимой скорости передачи  $R$  от длины линии  $L$  для кабеля определенной марки с известным диаметром жил при определенном уровне помех в линии. Зная эту зависимость, можно определить скорость передачи при заданной длине линии, и наоборот, дальность передачи при заданной скорости передачи. Пример зависимости скорости от длины (нисходящее направление передачи) для СП ADSL и ADSL2+, работающих по кабелю типа ТП с диаметром жил 0,4 мм, приведен на рис. Д.1, б. На этом рисунке для каждого типа СП приведены 4 кривые зависимости скорости от дальности при разных уровнях спектральной плотности мощности (СПМ) помех на входе приемника абонентского модема. Естественно, что кривая с меньшим уровнем СПМ помех располагается выше кривой с большим уровнем СПМ помех.

### **3 Ключевые вопросы**

1. Что понимают под спектральной плотностью мощности помех и в каких единицах она измеряется?
2. Приведите примеры источников электромагнитных помех, которые могут влиять на работоспособность ЦАЛ.
3. Как именно влияет диаметр жил кабеля на скорость и дальность передачи по ЦАЛ?
4. Какие участки абонентской линии (магистральный, распределительный, абонентская проводка) наиболее подвержены воздействию электромагнитных помех и почему?
5. С какой целью и где именно в ЦАЛ устанавливают сплиттер (частотный разделитель)?
6. Почему при: а) увеличении длины линии, б) уменьшении диаметра жил кабеля и в) увеличении СПМ помех в линии скорость передачи СП ADSL начинает снижаться сначала за счет снижения скорости передачи на верхних несущих?
7. Как именно и на каких несущих изменится значение скорости передачи при действии сосредоточенной по спектру помехи, действующей в рамках линейного спектра частот СП ОГС?

8. Как именно и на каких несущих изменится значение скорости передачи при действии равномерно распределенной по спектру помехи, действующей в рамках линейного спектра частот СП ОГС?

#### 4 Домашнее задание

При действии равномерно распределенной по спектру помехи оборудование ADSL, адаптируясь к новым условиям передачи, автоматически перешло с формата модуляции КАМ-64 в формат КАМ-4 на всех используемых несущих. Рассчитать значения скорости передачи по ЦАЛ заданного типа в восходящем и нисходящем направлениях до и после этой адаптации.

Вариант для расчета выбирается из табл. 4.1.

**Примечание.** Частота информационных кадров (символов) составляет 4000 Гц.

**Таблица 4.1** – Исходные данные для расчетов при выполнении домашнего задания

№ бригады	Вариант СП xDSL и соответствующая Рекомендация МСЭ-Т	Количество используемых несущих в направлении (шт.)
		от абонента/к абоненту
1	ADSL (G.992.1)	26/224
2	ADSL (G.992.1)	18/176
3	ADSL G.Lite (G.992.2)	26/52
4	ADSL G.Lite (G.992.2)	15/35
5	ADSL2+ (G.992.5)	26/289
6	ADSL2+ (G.992.5)	13/395
7	ADSL2+ (G.992.5)	26/480
8	ADSL2+ (G.992.5)	22/317

Например, если задана СП ADSL (G.992.1), а количество используемых несущих в восходящем и нисходящем направлении составляет 20 и 200 соответственно, то скорости передачи равны:

в восходящем направлении  $20 \times 4000 \text{ Гц} \times 6 \text{ бит} = 480 \text{ кбит/с}$  до адаптации и  $20 \times 4000 \text{ Гц} \times 2 \text{ бит} = 160 \text{ кбит/с}$  после адаптации,

в нисходящем направлении  $200 \times 4000 \text{ Гц} \times 6 \text{ бит} = 4800 \text{ кбит/с}$  до адаптации и  $200 \times 4000 \text{ Гц} \times 2 \text{ бит} = 1600 \text{ кбит/с}$  после адаптации.

## 5 Лабораторное задание

5.1 Вариант исследуемой ЦАЛ (диаметр жил кабеля типа ТПП и тип СП) выбирается из табл. 5.1.

**Таблица 5.1** – Варианты исследуемой ЦАЛ

№ бригады	Линейное и станционное оборудование ЦАЛ		Примечание
	Кабель	Тип СП xDSL	
	Диаметры жил $d_1$ и $d_2$ , мм		
1	0,32; 0,5	ADSL	-
2		ADSL2+	-
3	0,4; 0,64	VDSL A	Частотный план А
4		VDSL B	Частотный план В
5	0,32; 0,4	ADSL	-
6		ADSL2+	-
7	0,5; 0,64	VDSL A	Частотный план А
8		VDSL B	Частотный план В

5.2 Рассчитать с помощью программного обеспечения (ПО) xDSL-Liner и исследовать графики амплитудно-частотной (АЧХ) и фазо-частотной (ФЧХ) характеристик пары кабеля длиной 1 км для диаметров жил согласно данным табл. 5.1.

Построить в рабочей тетради графики АЧХ и ФЧХ при различных диаметрах жил кабеля в одной системе координат. Сделать выводы о построенных графиках.

**Внимание!** Для того, чтобы установить на горизонтальной оси единицы измерения кГц или МГц, надо в главном окне программы нажать кнопку «Вид» и в появившемся окне «Градуировка по оси X» нажать кнопку «Частота, кГц» или «Частота, МГц».

5.3 Для заданного варианта ЦАЛ (табл. 5.1) исследовать зависимость скорости передачи данных от длины линии и диаметра жил кабеля при СПМ белого (равномерного по спектру) шума минус 120 дБм/Гц. Результаты исследований занести в табл. 5.2.

**Таблица 5.2** – Зависимость скорости передачи от длины ЦАЛ и диаметра жил кабеля

Диаметр жил	Длина ЦАЛ, км		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
	$d_1$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абонента)						
$R_D$ (к абоненту)									
$d_2$	$R_U$ (от абонента)								
	$R_D$ (к абоненту)								

По результатам исследований построить следующие графики зависимости скорости передачи от длины линии (см. приложение к ЛР):

1) семейство зависимостей скорости передачи в восходящем направлении  $R_U$  (Мбит/с) от длины ЦАЛ  $L$  (км) при разных диаметрах жил кабеля;

2) семейство зависимостей скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  (Мбит/с) от длины ЦАЛ  $L$  (км) при разных диаметрах жил кабеля.

Сделать выводы по результатам выполненных в п. 5.3 исследований.

5.4 Исследовать зависимость скорости передачи заданной вариантом СП xDSL от СПМ помех, длины кабеля и диаметра его жил, таблицы 5.3 - 5.5.

**Внимание!** При каждом расчете, осуществляемом с помощью ПО xDSL-Liner, значение СПМ помех в линии необходимо устанавливать как на станционной, так и на абонентской стороне.

**Таблица 5.3** – Зависимость скорости передачи от СПМ помех для ЦАЛ длиной 1 км при разных диаметрах жил кабеля

Диаметр жил, мм	СПМ помех, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Скорость передачи, Мбит/с							
$d_1$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абонента)						
		$R_D$ (к абоненту)						
$d_2$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абоненту)						
		$R_D$ (к абоненту)						

**Таблица 5.4** – Зависимость скорости передачи от СПМ помех для ЦАЛ длиной 2 км при разных диаметрах жил кабеля

Диаметр жил, мм	СПМ помех, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Скорость передачи, Мбит/с							
$d_1$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абонента)						
		$R_D$ (к абоненту)						
$d_2$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абоненту)						
		$R_D$ (к абоненту)						

**Таблица 5.5** – Зависимость скорости передачи от СПМ помех для ЦАЛ длиной 3 км при разных диаметрах жил кабеля

Диаметр жил, мм	СПМ помех, дБм/Гц		-140	-130	-120	-110	-100	-90
	Скорость передачи, Мбит/с							
$d_1$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абонента)						
		$R_D$ (к абоненту)						
$d_2$	Скорость передачи, Мбит/с	$R_U$ (от абоненту)						
		$R_D$ (к абоненту)						

По результатам расчетов, занесённым в табл. 5.3 – 5.5, построить три следующих графика (см. приложение к ЛР):

1) зависимости  $R_U$  и  $R_D$  (Мбит/с) от СПМ помех для ЦАЛ длиной 1 км при разных диаметрах жил кабеля;

2) зависимости  $R_U$  и  $R_D$  (Мбит/с) от СПМ помех для ЦАЛ длиной 2 км при разных диаметрах жил кабеля;

3) зависимости  $R_U$  и  $R_D$  (Мбит/с) от СПМ помех для ЦАЛ длиной 3 км при разных диаметрах жил кабеля.

Сделать выводы по результатам выполненных в п. 5.4 исследований.

5.5 Для исследованной в лабораторной работе технологии xDSL при заданных преподавателем длине ЦАЛ, диаметре жил кабеля и СПМ помех определить скорости передачи в прямом и обратном направлениях. Для этого использовать графики, построенные при выполнении пп. 5.3 и 5.4.

## **6 Содержание протокола**

6.1 Тема и цель лабораторной работы.

6.2 Результаты выполнения домашнего задания.

6.3 Графики зависимостей по результатам выполнения пп. 5.2 – 5.4 лабораторного задания.

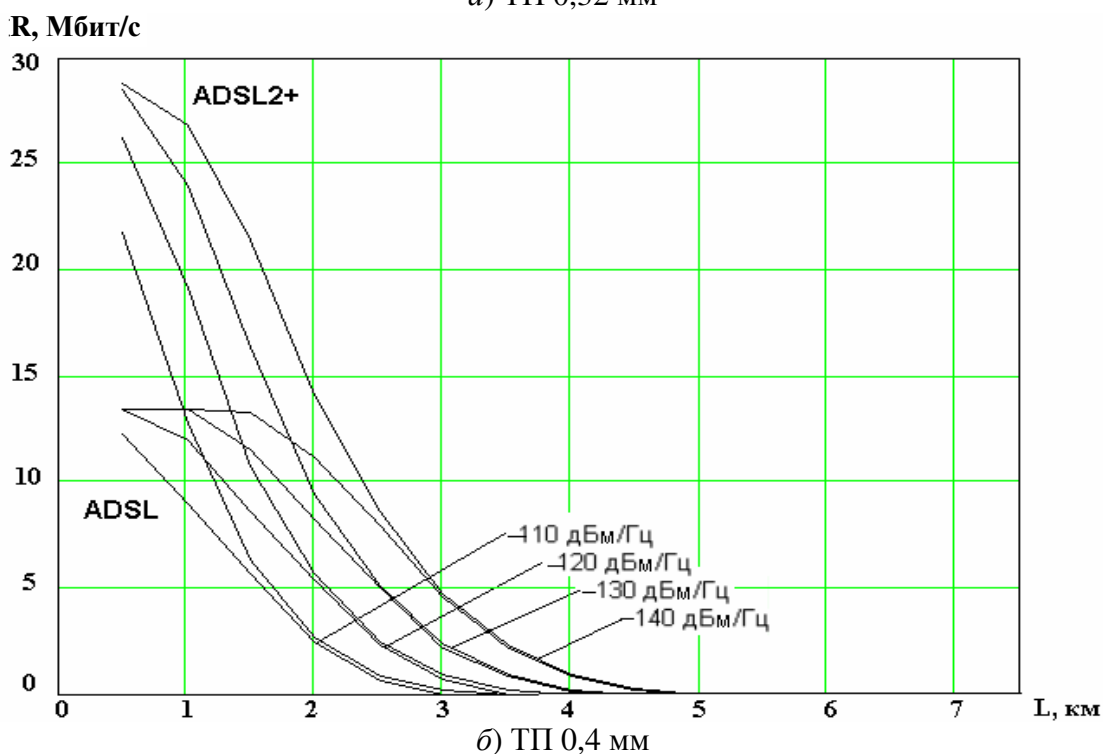
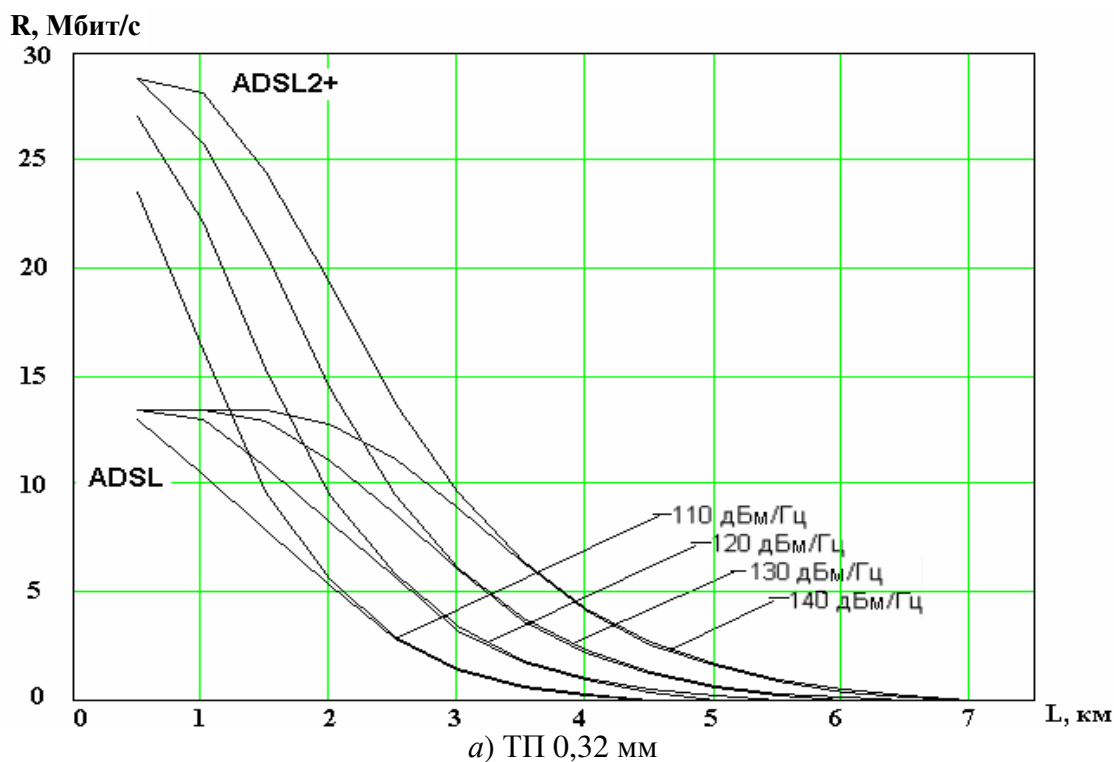
6.4. Результаты выполнения индивидуального задания согласно п. 5.5.

6.5. Выводы по результатам выполнения работы.

## Приложение к лабораторной работе № 11

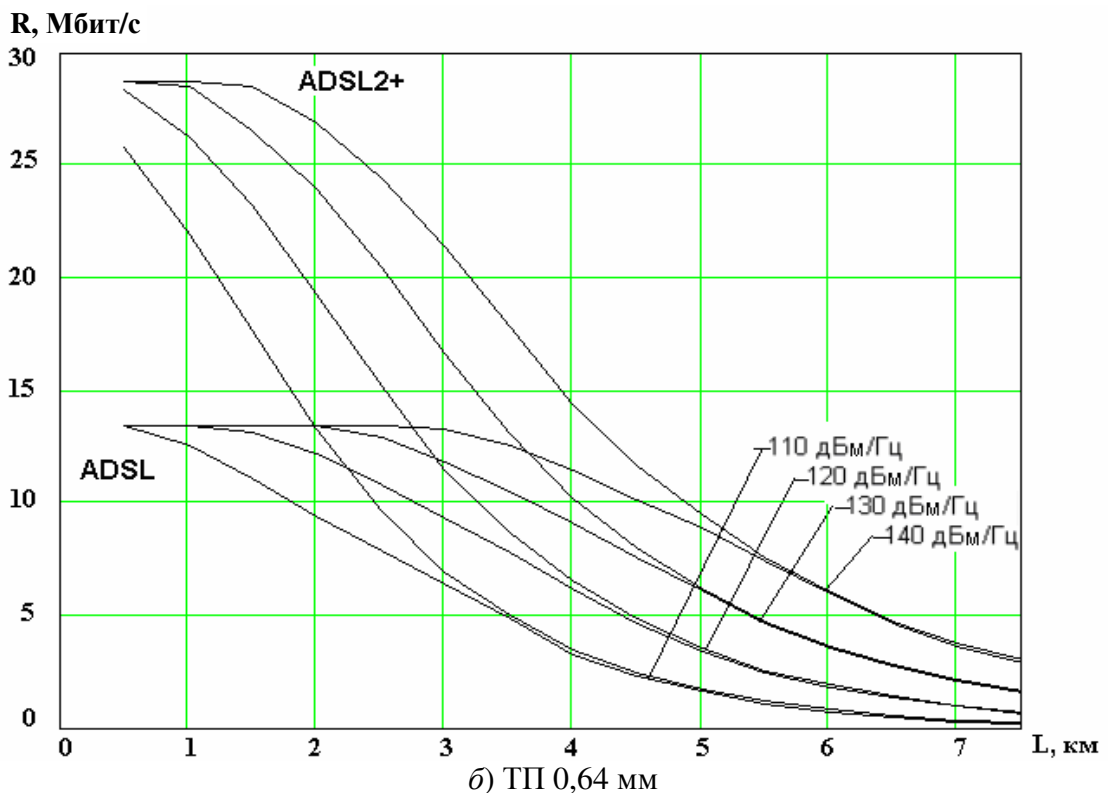
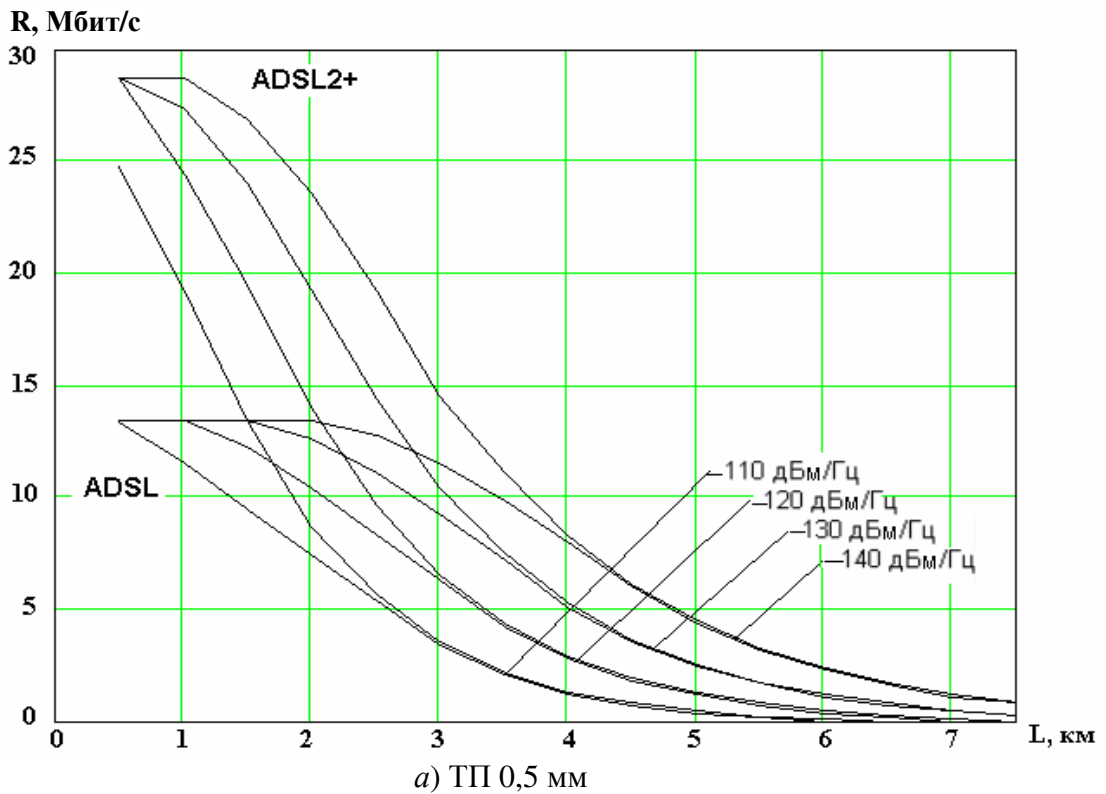
### Графики ожидаемых результатов исследований

Ожидаемые зависимости скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,32 мм и 0,4 мм для различной СПМ помех на входе приемника ADSL и ADSL2+ приведены на рис. Д.1.



**Рисунок Д.1** – Ожидаемые зависимости скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,32 мм и 0,4 мм для различной СПМ помех на входе приемника ADSL и ADSL2+

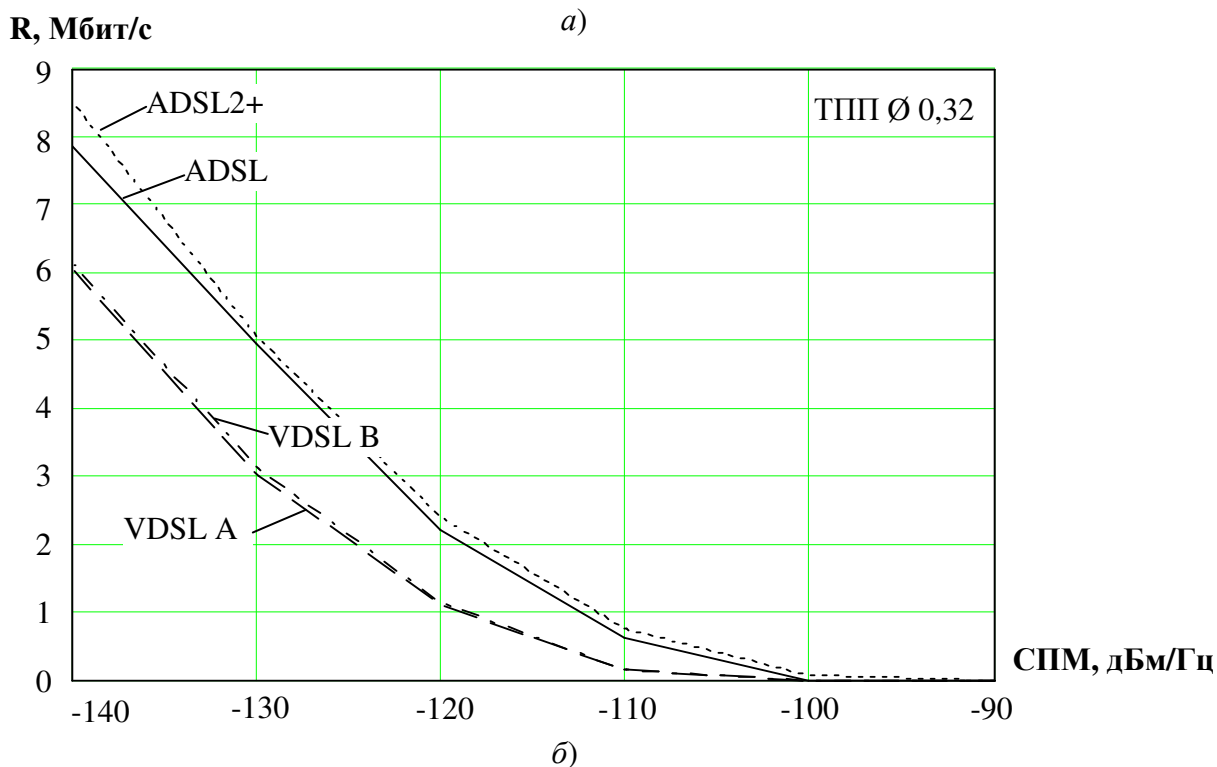
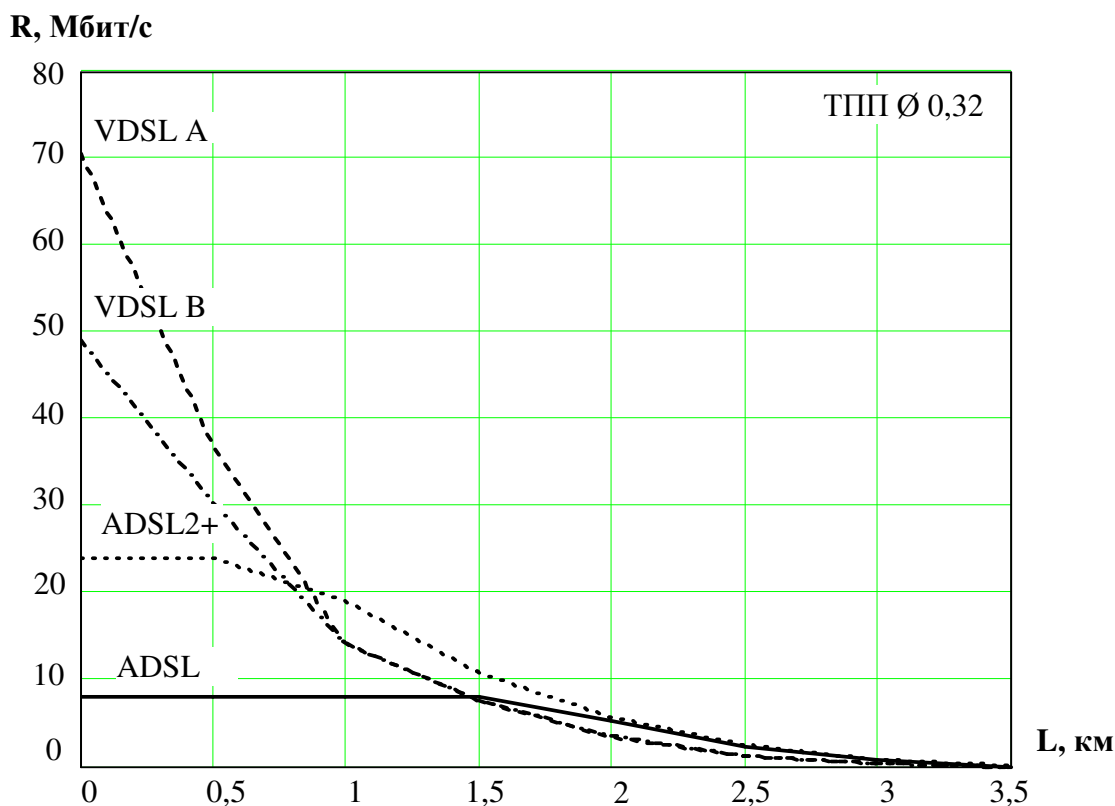
Ожидаемые зависимости скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,5 мм и 0,64 мм для различной СПМ помех на входе приемника ADSL и ADSL2+ приведены на рис. Д.2.



**Рисунок Д.2** – Ожидаемые зависимости скорости передачи информации в нисходящем направлении от длины линии кабеля ТП с диаметром жил 0,5 мм и 0,64 мм для различной СПМ помех на входе приемника ADSL и ADSL2 +



Ожидаемая зависимость скорости передачи в нисходящем направлении от длины кабеля типа ТП с диаметром жил 0,32 мм при СПМ помех минус 120 дБм/Гц и зависимость скорости передачи в нисходящем направлении от СПМ помех при длине кабеля типа ТП 2,5 км с диаметром жил 0,32 мм приведены на рис. Д.3.



**Рисунок Д.3** – Ожидаемые зависимости скорости передачи от длины кабеля *a)* и СПМ помех *б)*

## Лабораторная работа № 12

### Исследование параметров цифровых абонентских линий xDSL при параллельной работе систем передачи xDSL в зависимости от их расположения в многопарном кабеле, длины кабеля и уровня помех

#### 1 Цель работы

Исследование зависимости скорости передачи и переходных помех в цифровых абонентских линиях xDSL при параллельной работе xDSL-систем от взаимного расположения их в многопарном кабеле, длины кабеля и уровня помех.

#### 2 Ключевые положения

##### 2.1 Параметры взаимного влияния

**Переходное затухание** – затухание синусоидального сигнала при переходе от влияющей цепи к цепи, подверженной влиянию.

**Переходное затухание на ближнем конце** – затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на ближний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей на концах.

**Согласованная нагрузка** – нагрузка, параметры которой соответствуют получению на ней наибольшей мощности; нагрузка линии, при которой в линии отсутствует отраженная волна.

**Переходное затухание на дальнем конце** – затухание синусоидального сигнала при переходе с ближнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей на концах.

**Защищенность между цепями на дальнем конце** (защищенность) – затухание (переходное) синусоидального сигнала при переходе с дальнего конца влияющей цепи на дальний конец цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей на концах.

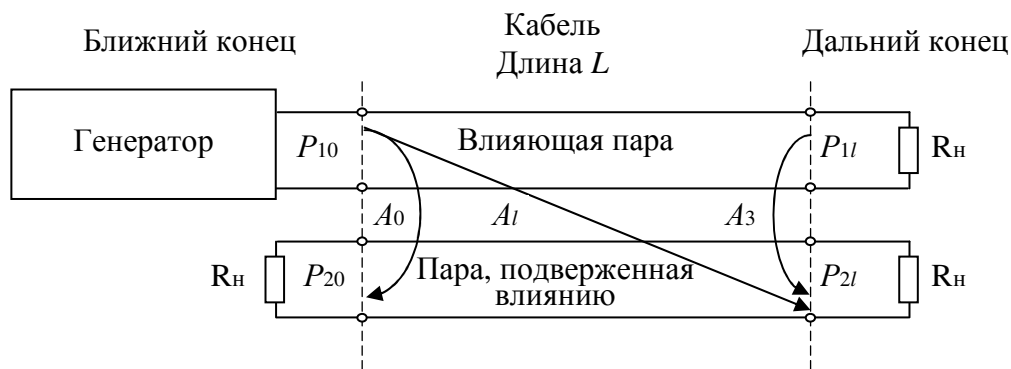
**Примечание.** Защищенность между цепями определяется как разность между уровнем сигнала в конце влияющей цепи и уровнем помехи в конце цепи, подверженной влиянию.

**Затухание асимметрии** – затухание синусоидального сигнала при переходе из искусственной цепи, образованной жилами кабеля и «землей», в рабочую пару кабеля.

Взаимное влияние в кабеле возникает вследствие электромагнитной связи между парами. Уровень взаимных помех, возникающих внутри кабеля, определяется переходными затуханиями между парами. Различают переходные затухания на ближнем конце  $A_0$ , на дальнем конце  $A_1$  и защищенность на дальнем конце  $A_3$ .

На рис. 2.1 приведена модель переходных влияний между парами кабеля. Вертикальные пунктирные линии обозначают два конца кабеля.

Пара, к которой подключен генератор, являются влияющей парой. Пара, к концам которой подключены сопротивления нагрузки, является парой, подверженной влиянию. Конец кабеля, к паре которого подключен генератор, является ближним концом. Конец кабеля, к парам которого подключены только сопротивления нагрузки  $R_n$ , является дальним концом. Сопротивления нагрузки  $R_n$  должны быть согласованы с волновым сопротивлением пар  $Z_B$ .



**Рисунок 2.1**– Определение переходных затуханий на ближнем конце  $A_0$ , на дальнем конце  $A_l$  и защищенности на дальнем конце  $A_3$

Величина переходного затухания на ближнем конце  $A_0$ , в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{10}$  на ближнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{20}$  на ближнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_0 = 10 \lg \left| P_{10} / P_{20} \right| .$$

Величина переходного затухания на дальнем конце  $A_l$ , в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{10}$  на ближнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{2l}$  на дальнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_l = 10 \lg \left| P_{10} / P_{2l} \right| .$$

Величина защищенности на дальнем конце  $A_3$ , в дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала  $P_{1l}$  на дальнем конце влияющей пары к мощности помехи  $P_{2l}$  на дальнем конце пары, подверженной влиянию:

$$A_3 = 10 \lg \left| P_{1l} / P_{2l} \right| .$$

Переходное затухание на дальнем конце и защищенность на дальнем конце связаны между собой собственным затуханием пары, равным произведению коэффициента затухания  $\alpha$  на длину кабеля  $l$ :

$$A_l = A_3 + \alpha l .$$

## 2.2 Зависимость переходных затуханий от длины

Как показали измерения на АЛ, среднее значение переходного затухания на ближнем конце в многопарных кабелях не зависит от длины и определяется переходным затуханием на ближнем конце первой строительной длины.

Средние значения переходного затухания на дальнем конце и защищенности на дальнем конце многопарного кабеля ГТС зависят от частоты и длины абонентской линии и определяются с помощью таких формул:

$$A_{з\text{АЛ}} = A_{з\text{сд}} - 10\lg(l/l_{\text{сд}});$$

$$A_{l\text{АЛ}} = A_{з\text{АЛ}} + \alpha \cdot l,$$

где  $A_{з\text{АЛ}}$  – защищенность на дальнем конце АЛ длиной  $l$  км, дБ;

$A_{з\text{сд}}$  – защищенность на дальнем конце одной строительной длины кабеля, дБ;

$A_{l\text{АЛ}}$  – переходное затухание на дальнем конце АЛ, дБ;

$\alpha$  – коэффициент затухания кабеля, дБ/км, на частоте  $f$ ;

$l_{\text{сд}}$  – протяженность строительной длины кабеля, км.

Анализ выше приведенных формул для  $A_{з\text{АЛ}}$  и  $A_{l\text{АЛ}}$  доказывает, что при увеличении длины АЛ защищенность на дальнем конце уменьшается, а переходное затухание на дальнем конце сначала уменьшается, а затем начинает увеличиваться за счет увеличения собственного затухания  $\alpha l$ .

## 2.3 Зависимость переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце от частоты

Зависимость среднего значения переходного затухания между парами на ближнем конце в кабелях типа ТП от частоты в диапазоне частот от 10 кГц до 2 МГц можно определить по следующей, основанной на анализе результатов проведенных авторами измерений [1], приближенной формуле:

$$A_0(f) = A_{01} - 15\lg(f),$$

где  $A_{01}$  – значение переходного затухания на ближнем конце на частоте 1 МГц (табл. 2.1);  $f$  – частота, МГц.

Основной причиной уменьшения переходного затухания на ближнем конце при увеличении частоты является увеличение электромагнитных связей между парами.

Средние значения переходного затухания на ближнем конце и их среднеквадратичные отклонения на частоте 1 МГц для кабелей типа ТП с повивным построением сердечника приведены в табл. 2.1.

Среднее значение защищенности на дальнем конце кабелей типа ТП длиной 280 м между парами, расположенными рядом внутри одного повива, на частотах выше 10 кГц приблизительно определяется с помощью выражения, основанного на результатах измерений:

$$A_{з\text{сд}}(f) = 105 - 15\lg(f),$$

где  $f$  – частота, кГц.

В том случае, если протяженность строительной длины кабеля  $l_{сд}$  отлична от 280 м, значение защищенности на дальнем конце изменяется на величину, равную минус  $10 \cdot \lg(l_{сд} / 280)$ .

Величина защищенности  $A_{зсд1}$  на дальнем конце между не рядом расположенными парами (между не соседними парами одного повива или между парами разных повивов) одной строительной длины кабеля определяется по формуле:

$$A_{зсд1} = A_{зсд} + \delta A_3,$$

где  $\delta A_3$  – приращение защищенности за счет взаимного удаления влияющей и подверженной влиянию пар, установленное на основе результатов проведенных авторами измерений и приведенное в табл. 2.2.

**Таблица 2.1** – Средние значения переходного затухания на ближнем конце и их среднеквадратические отклонения для кабелей типа ТП с повивным построением сердечника на частоте 1 МГц

Расположение пар в сердечнике кабеля	Среднее значение переходного затухания на ближнем конце, дБ	Среднеквадратическое отклонение, дБ
Смежные в повиве	53	4,7
Через 1 пару в повиве	65	5,5
Через 2 пары в повиве	73	7,4
Через 3 пары в повиве	74	7,2
Через 4 пары в повиве	75	5,2
В смежных повивах	68	5,6
Через 1 повив	75	6,3
Через 2 повива	79	6,8
Через 3 повива	81	6,2
Через 4 повива	81,5	6,9

**Таблица 2.2** – Значение приращения защищенности на дальнем конце ( $\delta A_3$ ) строительной длины кабеля типа ТП с повивным построением сердечника при различном взаимном расположении пар

Расположение пар в сердечнике кабеля	Приращение защищенности на дальнем конце, дБ
Через 1 пару в повиве	6
Через 2 пары в повиве	10
Через 3 пары в повиве	11
Через 4 пары в повиве	12
В смежных повивах	8
Через 1 повив	13
Через 2 повива	15
Через 3 повива	16
Через 4 повива	16,5

Анализ данных, приведенных в табл. 2.1 и 2.2, доказывает, что при расположении взаимовлияющих пар дальше друг от друга взаимное влияние между ними уменьшается.

### 3 Ключевые вопросы

3.1 Дайте определение следующих параметров:

- переходное затухание на ближнем конце;
- переходное затухание на дальнем конце;
- защищенность между цепями на дальнем конце;
- затухание асимметрии.

3.2 Вследствие какого явления возникают переходные помехи между параллельно работающими системами передачи?

3.3 Поясните, как измеряется переходное затухание на ближнем конце.

3.4 Поясните, как измеряется переходное затухание на дальнем конце.

3.5 Поясните, как измеряется защищенность на дальнем конце.

3.6 Поясните, как зависит от длины абонентской линии переходное затухание на ближнем конце.

3.7 Поясните, как зависит от длины абонентской линии переходное затухание на дальнем конце.

3.8 Как зависит переходное затухание на ближнем конце от частоты?

3.9 Как зависят переходные затухания на ближнем и дальнем конце от расположения пар в кабеле?

### 4 Домашнее задание

4.1 Дать ответы на ключевые вопросы.

4.2 Решить следующие задачи:

1. Определить переходное затухание на ближнем конце  $A_0(f_p)$  между парами на расчетной частоте  $f_p$  при заданном их взаимном расположении в кабеле ТП с повивным построением сердечника.

Вариант для расчета выбирается из таблицы 4.1.

**Таблица 4.1** – Исходные данные для решения 1-й задачи

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Взаимное расположение пар	Через 1 пару в повиве		Через 2 пары в повиве		Через 3 пары в повиве		Через 4 пары в повиве		Через один повив		Через два повива		Через три повива		Через четыре повива	
$f_p$ , МГц	0,25	0,5	0,75	1,25	1,5	1,75	2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	0,1

2. Определить переходное затухание на дальнем конце  $A_l A_{л}(f_p)$  между парами на расчетной частоте  $f_p$  при заданном их взаимном расположении в кабеле ТП с повивным построением сердечника длиной  $l$ .

Вариант для расчета выбирается из таблицы 4.2.

**Таблица 4.2** – Исходные данные для решения второй задачи

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Взаимное расположение пар	Через 1 повив		Через 2 повива		Через 3 повива		Через 4 повива		Через 1 пару в повиве		Через 2 пары в повиве		Через 3 пары в повиве		Через 4 пары в повиве	
$f_p$ , МГц	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$l$ , м	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400	560	840	1120	1400

4.3 Подготовить бланк протокола согласно лабораторному заданию.

## 5 Лабораторное задание

5.1 Ознакомиться с интерфейсом программы «xDSL-Liner».

5.2 В соответствии с номером бригады выбрать тип системы передачи xDSL.

**Таблица 5.1** – Варианты системы передачи

№ бригады	1, 5	2, 6	3, 7	4, 8
Тип системы передачи (технологии) xDSL	ADSL	ADSL2+	VDSL A	VDSL B

5.3 Исследовать зависимость уровня переходных помех на ближнем ( $P_6$ ) и дальнем ( $P_d$ ) конце, отношения сигнал/помеха на входе приемника  $SNR$  и скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  в паре № 29 от расположения влияющей пары в 50-парном кабеле ТПП-0,64 повивной скрутки при СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц и длине кабеля 1 км. Расчеты производятся на абонентской стороне линии.

Результаты занести в табл. 5.2. Дать пояснения.

Для соответствующих расчетов нужно выбрать на вкладке «графики»:

«переходная помеха на ближний конец»:  $P_6$  равна интегральной мощности на ближнем конце;

«переходная помеха на дальний конец»:  $P_d$  равна интегральной мощности на дальнем конце;

«ОСШ на входе приемника»:  $SNR$  определяется как максимальное значение ОСШ по графику;

«скорость передачи и загрузка несущих»:  $R_D$  и  $R_U$ .

**Таблица 5.2** – Зависимость уровня переходных помех, максимального значения отношения сигнал/помеха и скорости передачи от расположения в кабеле пары, влияющей на заданную пару

№ пары, подверженной влиянию	№ влияющей пары	30	31	32	33	34	14	4	0
29	$P_6$ , дБм								
	$P_d$ , дБм								
	$SNR$ , дБ								
	$R_D$ , Мбит/с								
	$R_U$ , Мбит/с								

5.4 По результатам расчетов п. 5.3 определить лучший и худший вариант расположения в кабеле влияющей пары и для этих вариантов рассчитать зависимость уровня переходных помех на ближнем и дальнем конце, максимального значения отношения сигнал/помеха и скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  от длины кабеля  $l$  при СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц.

Результаты занести в табл. 5.3. Построить графики зависимости от длины кабеля  $l$  уровня переходных помех, максимального значения отношения сигнал/помеха  $SNR$  (см. приложение к ЛР), скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  для лучшего и худшего вариантов расположения в кабеле влияющей пары (каждая пара графиков (для лучшего и худшего вариантов) изображается в одной системе координат для наглядного сравнения).

**Таблица 5.3** – Зависимость уровня переходных помех, максимального значения отношения сигнал/помеха и скорости передачи от расположения в кабеле влияющей пары и от длины кабеля

№ пары, подверженной влиянию	№ влияющей пары	$l$ , км*	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	
		(1,2,5,6) (3,4,7,8)	0,3	0,5	0,7	1	1,2	1,5	2	
29		$P_6$ , дБм								
		$P_d$ , дБм								
		$SNR$ , дБ								
		$R_D$ , Мбит/с								
		$R_U$ , Мбит/с								
		$P_6$ , дБм								
		$P_d$ , дБм								
		$SNR$ , дБ								
		$R_D$ , Мбит/с								
		$R_U$ , Мбит/с								

\*Примечание. Для вариантов 1, 2, 5, 6 (технология ADSL и ADSL2) длина кабеля составляет от 0,5 км до 3,5 км, а для вариантов 3, 4, 7, 8 (технология VDSL A и VDSL B) - от 0,3 км до 2 км

5.5 Для лучшего и худшего вариантов п. 5.3 снять зависимость максимального значения отношения сигнал/помеха на входе приемника  $SNR$  и



скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  при длине кабеля  $l_1$  от СПМ белого шума. Результаты занести в табл. 5.4. Дать пояснения.

**Таблица 5.4** – Зависимость максимального значения отношения сигнал/помеха на входе приемника и скорости передачи от СПМ белого шума для длины кабеля  $l_1$  \*\*

№ пары, подверженной влиянию	№ влияющей пары,	СПМ помех, дБм/Гц	-140	-130	-120	-110	-100	-90
29		$SNR$ , дБ						
		$R_D$ , Мбит/с						
		$R_U$ , Мбит/с						
		$SNR$ , дБ						
		$R_D$ , Мбит/с						
		$R_U$ , Мбит/с						

\*\* **Примечание.** Для вариантов 1, 2, 5, 6 (технология ADSL и ADSL2) длина кабеля составляет  $l_1 = 1$  км, а для вариантов 3, 4, 7, 8 (технология VDSL A и VDSL B) –  $l_1 = 0,5$  км.

По результатам расчетов построить графики зависимости от СПМ белого шума максимального отношения сигнал/помеха на входе приемника  $SNR$ , скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  для лучшего и худшего вариантов расположения в кабеле влияющей пары (каждая пара графиков (для лучшего и худшего вариантов) изображается в одной системе координат для наглядного сравнения).

5.6 По окончании работы сделать выводы о зависимости уровня переходных помех, максимального отношения сигнал/помеха на входе приемника и скорости передачи при параллельной работе систем передачи xDSL от взаимного расположения цифровых абонентских линий xDSL в многопарном кабеле, длины абонентской линии и СПМ белого шума.

## 6 Содержание протокола

6.1 Тема и цель лабораторной работы.

6.2 Результаты выполнения домашнего задания.

6.3 Результаты выполнения лабораторного задания с таблицами и графиками.

6.4 Выводы по проведенным расчетам.

## Приложение к лабораторной работе № 12

### Графики ожидаемых результатов исследований

Ожидаемые зависимости уровня переходных помех на ближнем ( $P_б$ ) и дальнем ( $P_д$ ) конце и максимального значения отношения сигнал/помеха  $SNR$  от длины ЦАЛ приведены на рис. Д.1 и Д.2 (50-парный кабель типа ТПП повивной скрутки с диаметром жил 0,64 мм; номер пары, подверженной влиянию, – 29; номер влияющей пары – 25; СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц; СП ADSL2+).

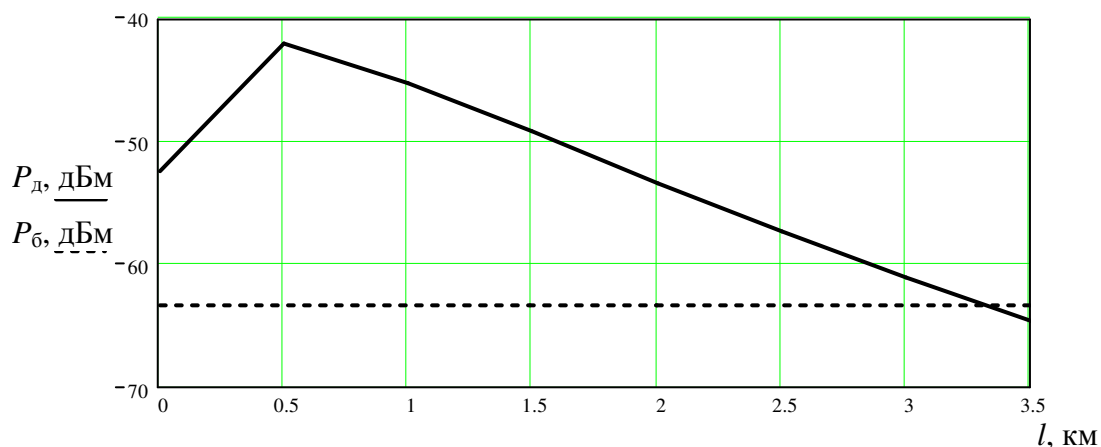


Рисунок Д.1 – Ожидаемые зависимости уровня переходных помех на ближнем ( $P_б$ ) и дальнем ( $P_д$ ) конце от длины ЦАЛ

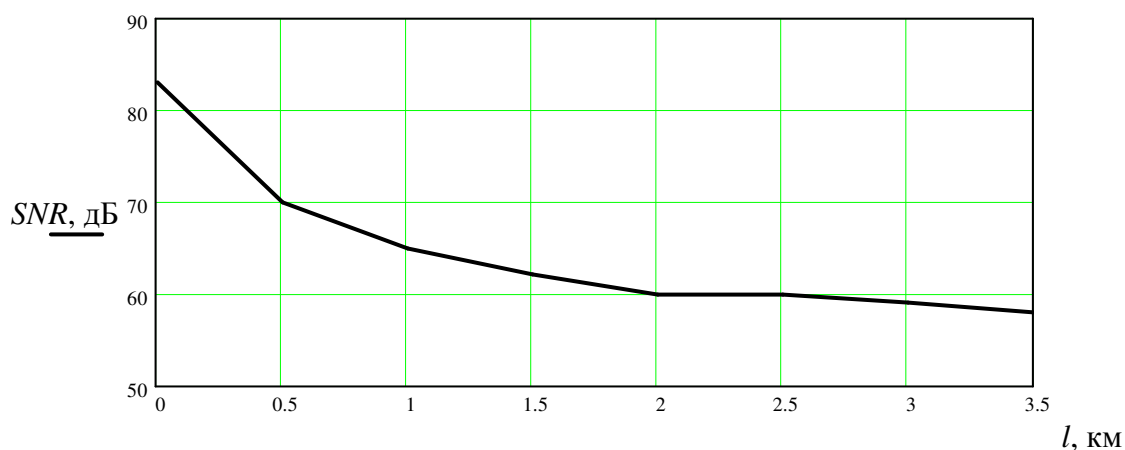


Рисунок Д.2 – Ожидаемая зависимость максимального значения отношения сигнал/помеха от длины ЦАЛ

## Лабораторная работа № 13

### Исследование зависимости скорости передачи в цифровой абонентской линии при параллельной работе систем передачи xDSL от сценария загрузки и характеристик кабеля

#### 1 Цель работы

Исследование зависимости скорости передачи в цифровой абонентской линии xDSL при параллельной их работе от сценария загрузки, диаметра жил кабеля, длины абонентской линии и уровня помех.

#### 2 Ключевые положения

##### 2.1 Ключевые понятия (термины)

**Затухание сигнала** – уменьшение мощности синусоидального сигнала при передаче его по среде распространения.

**Переходное затухание** – затухание синусоидального сигнала при переходе из влияющей цепи в цепь, подверженную влиянию.

**Переходное затухание на ближнем конце** – затухание синусоидального сигнала при переходе от ближнего конца влияющей цепи к ближнему концу цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей на концах.

**Переходное затухание на дальнем конце** – затухание синусоидального сигнала при переходе от ближнего конца влияющей цепи к дальнему концу цепи, подверженной влиянию, при условии согласования цепей на концах.

**Сценарий загрузки** – конкретный вариант размещения множества ЦАЛ в многопарном кабеле.

##### 2.2 Оценка потенциальных характеристик ЦАЛ при параллельной работе по многопарным телефонным кабелям

Одним из основных факторов, ограничивающих скорость и дальность передачи по абонентским линиям, являются переходные помехи, возникающие при параллельной работе цифровых абонентских линий (ЦАЛ) по многопарным телефонным кабелям. Для иллюстрации алгоритма расчета переходных влияний между ЦАЛ приведен рис. 2.1, на котором из множества всех действующих ЦАЛ схематически изображены две влияющих ( $DSL_i$  и  $DSL_j$ ) и одна ЦАЛ, подверженная влиянию ( $DSL_k$ ). Мощность сигнала, поступающего на вход  $i$ -й АЛ, обозначена  $P_{i\text{ пер}}$ . На вход приемника  $DSL_k$  поступает ослабленный в линии связи собственный полезный сигнал мощностью  $P_{k\text{ пр}}$  и переходные помехи (от ближнего  $P_{\text{бл } i,k}$ ,  $P_{\text{бл } j,k}$  и дальнего  $P_{\text{д},i,k}$  и  $P_{\text{д},j,k}$  концов), вызванные передаваемыми сигналами  $DSL_i$  и  $DSL_j$ .

Отношение сигнал/шум на входе приемного устройства  $k$ -й DSL определяется выражением:

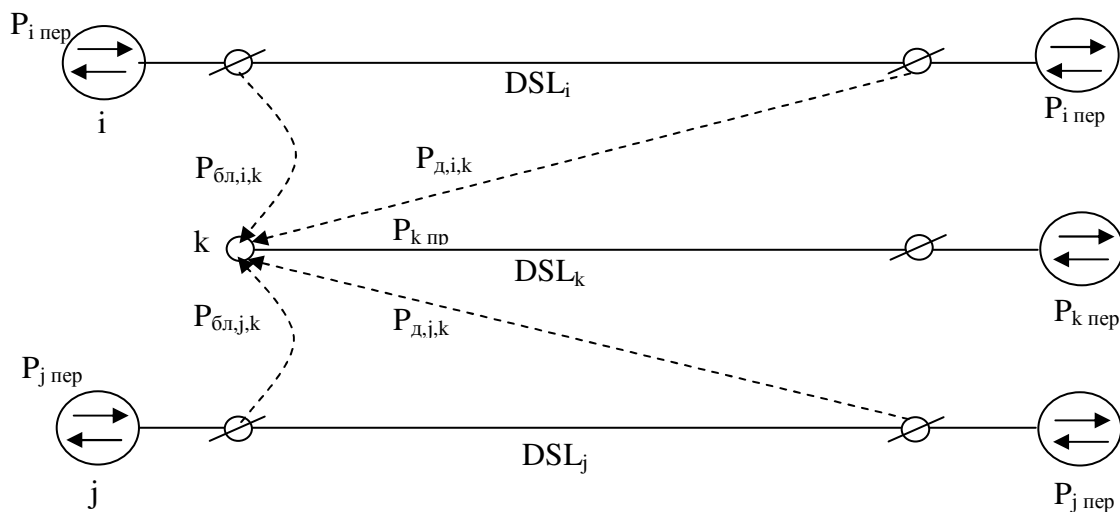
$$SNR_k = 10 \lg \frac{P_{k \text{ пр}}}{\sum_{i,i \neq k} P_{\text{бл},i,k} + \sum_{i,i \neq k} P_{\text{д},i,k} + \sum_m n_m},$$

где  $P_{k \text{ пр}} = \int PSD_k(f) \cdot H^2(f) df$ ,

$PSD_k(f)$  – зависимость СПМ сигнала на выходе передатчика  $k$ -ой DSL от частоты,

$H(f)$  – амплитудно-частотная характеристика АЛ (канала связи),

$\sum_m n_m$  – сумма всех других помех  $n_m$ , действующих на входе приемного устройства  $DSL_k$ .

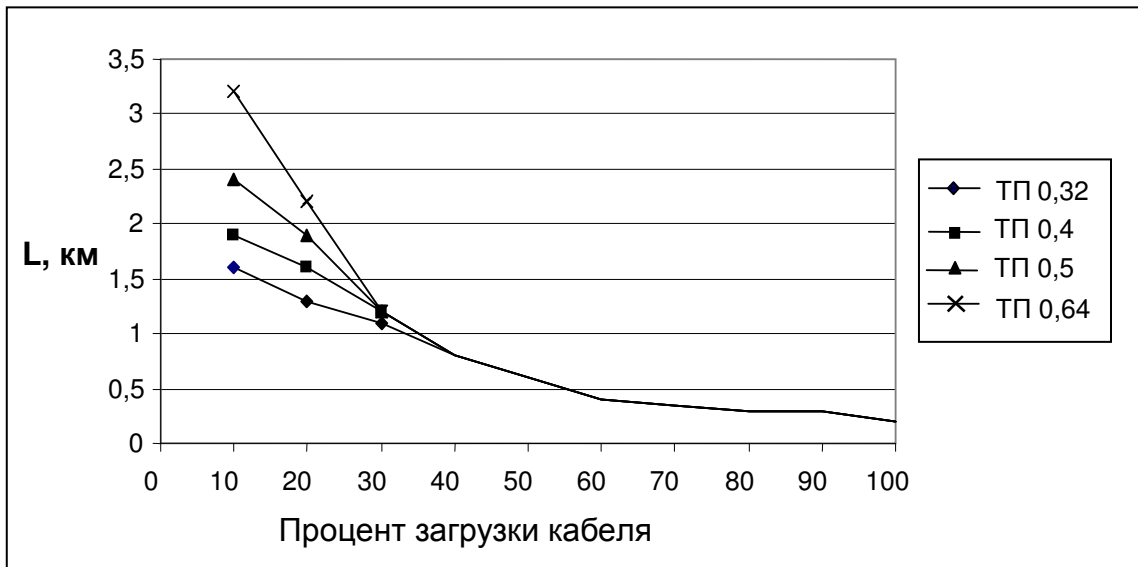


**Рисунок 2.1**– Модель электромагнитных взаимодействий DSL в многопарном кабеле

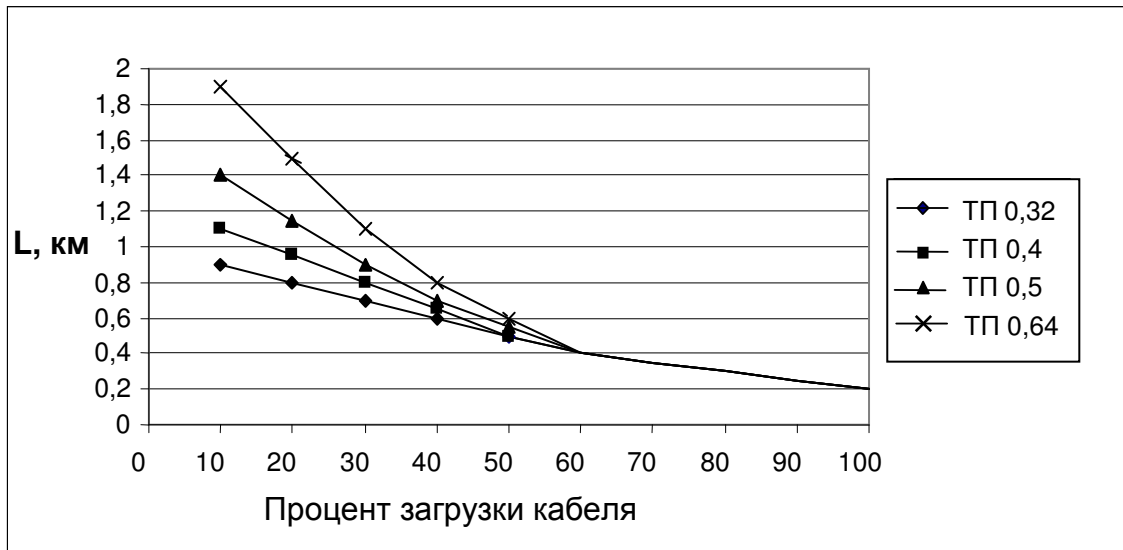
Величины  $P_{\text{бл},i,k}$  и  $P_{\text{д},i,k}$  определяются аналогично  $P_{k \text{ пр}}$  по формулам, в которых  $H^2(f)$  заменено на частотные функции переходных характеристик между  $i$ -ой и  $k$ -ой АЛ (телефонными парами) на ближнем и дальнем концах  $H_{\text{бл},i,k}(f)$  и  $H_{\text{д},i,k}(f)$  соответственно:

$$P_{\text{бл},i,k} = \int PSD_i(f) \cdot H_{\text{бл},i,k}^2(f) df.$$

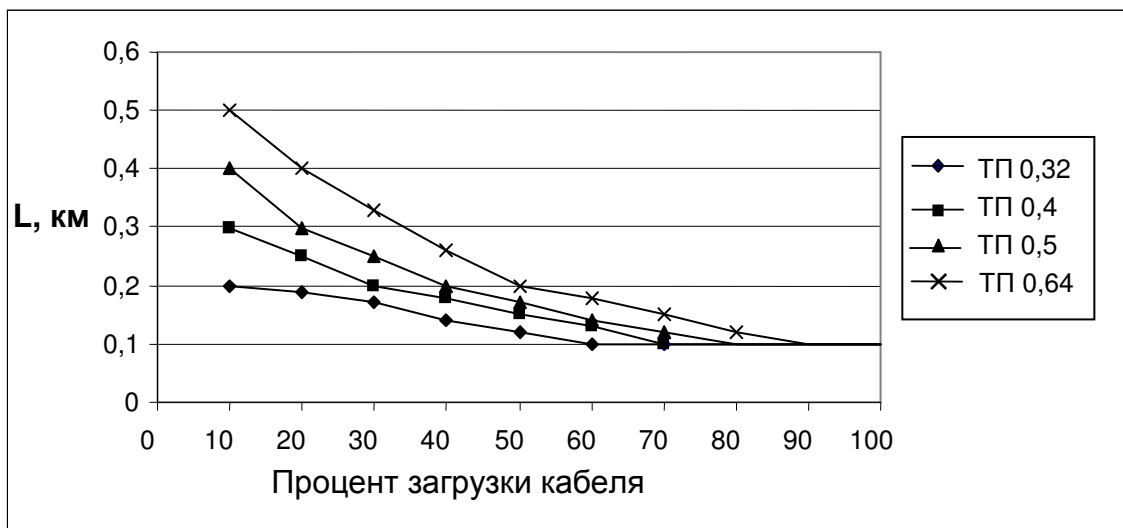
По приведенной модели электромагнитной совместимости можно рассчитать допустимые длины АЛ и скорости передачи в восходящем и нисходящем направлениях по ЦАЛ при различных вариантах xDSL-оборудования, загрузки, уровня шума, числа пар, диаметра жил, применения однородного и неоднородного (составного) кабеля. На рис. 2.2, 2.3 для примера приведены результаты расчетов с помощью программы «xDSL-Liner» предельной длины линии ADSL2+ при использовании 10-парных кабелей типа ТП пучковой скрутки сердечника с диаметрами жил 0,32 мм; 0,4 мм, 0,5 мм и 0,64 мм для различных уровней СПМ белого шума на входе приемника в зависимости от процента пар кабеля, используемых для передачи сигналов ADSL2+.



а) СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц

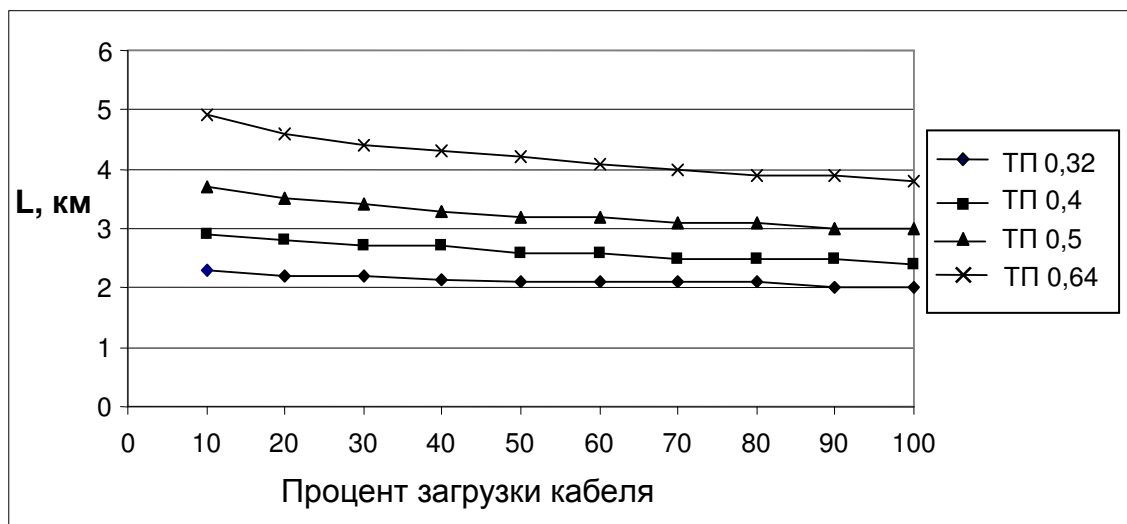


б) СПМ белого шума минус 120 дБм/Гц

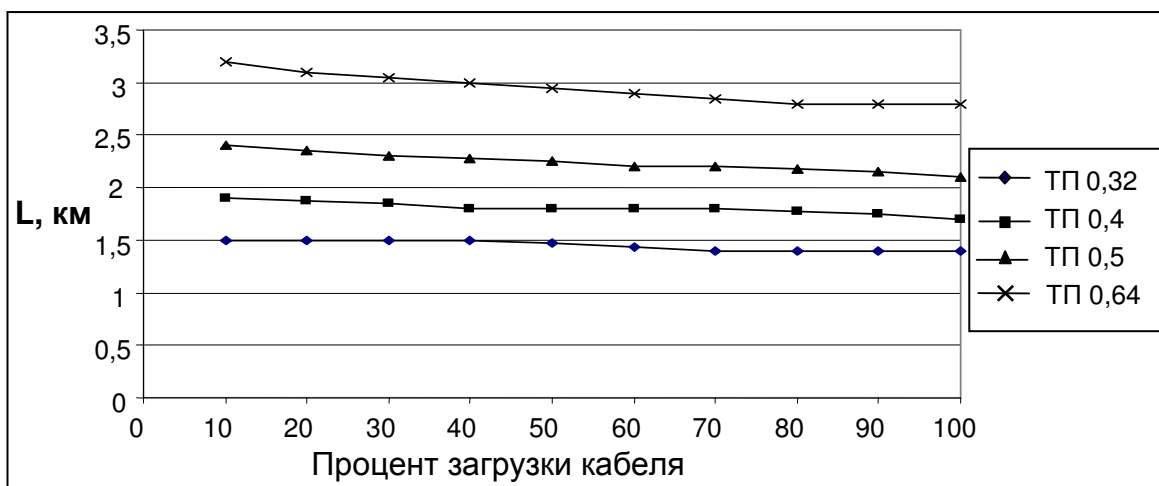


в) СПМ белого шума минус 100 дБм/Гц

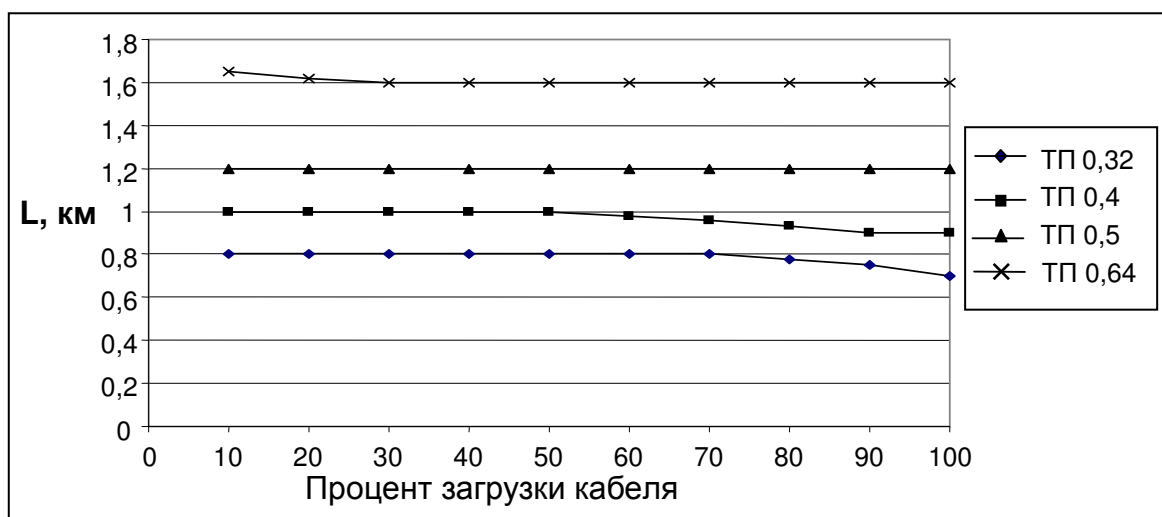
**Рисунок 2.2** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 19648 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с в восходящем направлении при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 140, 120, 100 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+



а) СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц



б) СПМ белого шума минус 120 дБм/Гц



в) СПМ белого шума минус 100 дБм/Гц

**Рисунок 2.3** – Достижимая длина линии ADSL2+ для скорости 9824 кбит/с в нисходящем направлении и 928 кбит/с в восходящем направлении при использовании 10-парного кабеля типа ТП и СПМ белого шума минус 140, 120, 100 дБм/Гц в зависимости от процента загрузки пар кабеля линиями ADSL2+

### 3 Ключевые вопросы

3.1 Как зависят переходные затухания на ближнем и дальнем конце от расположения пар в кабеле?

Какие решения необходимо принять в случае:

– достижимая скорость при заданной конфигурации сети доступа ниже требуемой;

– достижимая длина ЦАЛ при заданной конфигурации сети доступа ниже требуемой.

3.2 Как зависит длина ЦАЛ от скорости передачи при одинаковых сценарии загрузки, диаметре жил кабеля и СПМ шума?

3.3 Как зависит длина ЦАЛ от загрузки кабеля линиями xDSL?

3.4 Как зависит длина ЦАЛ от диаметра жил кабеля при одинаковых скорости передачи, сценарии загрузки и СПМ шума?

3.5 Как зависит длина ЦАЛ от СПМ шума при одинаковых скорости передачи, сценарии загрузки и диаметре жил кабеля?

### 4 Домашнее задание

4.1 Дать ответы на ключевые вопросы.

4.2 Подготовить бланк протокола согласно лабораторному заданию.

### 5 Лабораторное задание

5.1 Ознакомиться с интерфейсом программы «xDSL-Liner».

5.2 Согласно номеру бригады установить заданные параметры (СП, тип кабеля, длину линии, СПМ помех, сценарий загрузки).

**Таблица 5.1** – Варианты системы передачи

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8
Тип системы передачи (технологии) xDSL	ADSL	ADSL2+	VDSL А	VSDL В	ADSL	ADSL2+	VDSL А	VSDL В
Тип кабеля (повивная скрутка)	ТПП 20x2x0,5		ТПП 30x2x0,5		ТПП 30x2x0,4		ТПП 20x2x0,4	
СПМ помех, дБм/Гц	-140	-130	-135	-140	-135	-140	-130	-135
Длина кабеля, км	2	2,5	0,5	0,7	1,5	2	0,4	0,6
Сценарий загрузки (номера занятых пар)	0, 2, 4, 7, 11, 13, 15	1, 3, 6, 9, 15, 17, 19	0, 5, 7, 8, 14, 18, 20, 29	1, 3, 6, 7, 10, 12, 16, 22, 26	2, 7, 12, 15, 19, 23, 25, 28	3, 4, 8, 9, 12, 14, 18, 21, 23, 27, 29	1, 5, 7, 10, 12, 13, 16	0, 3, 5, 6, 8, 11, 16

5.3 Определить достижимую скорость передачи для каждой из заданных ЦАЛ (каждой из заданных пар). Рассчитать среднеарифметическое значение достижимой скорости передачи. Определить для выбранных параметров пару кабеля (свободную, которую можно занять новой системой) с худшей и лучшей

помеховой характеристикой. Найти оптимальное размещение ЦАЛ в кабеле и определить достижимую скорость передачи по каждой из ЦАЛ при этом размещении. Рассчитать среднеарифметическое значение достижимой скорости передачи для оптимально размещённых ЦАЛ. Сравнить среднеарифметическое значение достижимой скорости передачи при начальном и при оптимальном размещении пар. Дать пояснения.

5.4. Для СП заданного типа и заданного типа кабеля определить достижимую скорость передачи в зависимости от диаметра жил кабеля, длины кабеля, СПМ помех и сценариев загрузки.

Результаты занести в табл. 5.2 – 5.7. Построить графики. Дать пояснения.

**Таблица 5.2** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 140 дБм/Гц и длине кабеля  $l_1$  \*

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										

\* **Примечание.** Для вариантов 1, 2, 5, 6 (технология ADSL и ADSL2+) длина кабеля составляет  $l_1 = 1$  км,  $l_2 = 2$  км,  $l_3 = 3$  км, а для вариантов 3, 4, 7, 8 (технология VDSL A и VDSL B)  $l_1 = 0,5$  км,  $l_2 = 1$  км,  $l_3 = 1,5$  км

**Таблица 5.3** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 100 дБм/Гц и длине кабеля  $l_1$  \*

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										



**Таблица 5.4** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 140 дБм/Гц и длине кабеля  $l_2^*$

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										

**Таблица 5.5** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 100 дБм/Гц и длине кабеля  $l_2^*$

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										

**Таблица 5.6** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 140 дБм/Гц и длине кабеля  $l_3^*$

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										

**Таблица 5.7** – Зависимость скорости передачи от сценария загрузки и диаметра жил кабеля при СПМ шума минус 100 дБм/Гц и длине кабеля  $l_3^*$

Диаметр жил, мм	Скорость передачи	Загрузка, %									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,32	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,4	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										
0,5	$R_D$ , Мбит/с										
	$R_U$ , Мбит/с										

По результатам расчетов построить графики зависимости скорости передачи в нисходящем направлении  $R_D$  и в восходящем направлении  $R_U$  от сценария загрузки кабеля (в одной системе координат для наглядного сравнения изображается три графика для различных диаметров жил кабеля).

5.5 По окончании работы сделать выводы о зависимости достижимой скорости передачи от сценария загрузки кабеля, диаметра жил, длины кабеля и СПМ шумов.

## 6 Содержание протокола

6.1 Тема и цель лабораторной работы.

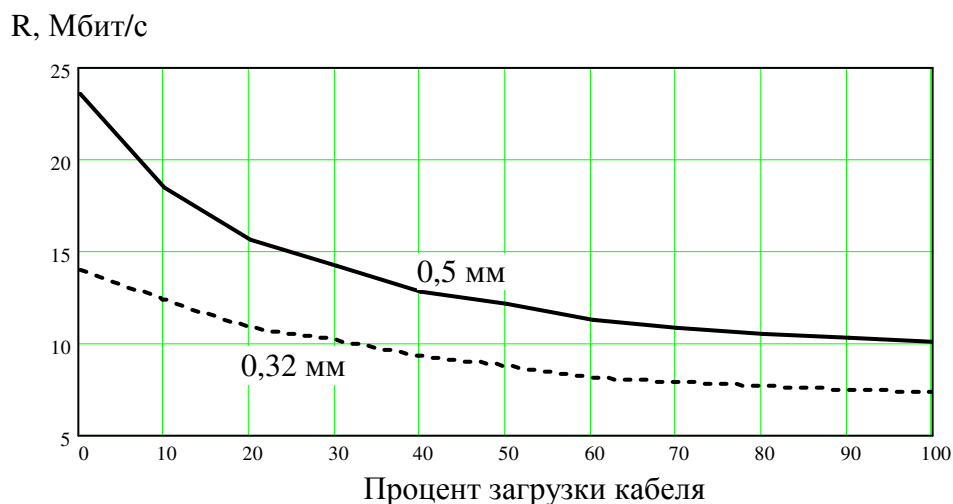
6.2 Результаты выполнения лабораторного задания с таблицами и графиками.

6.5 Выводы по выполненным расчетам.

### Приложение к лабораторной работе № 13

#### Графики ожидаемых результатов исследований

Графики ожидаемых зависимостей скорости передачи в нисходящем направлении от процента загрузки 100-парного кабеля типа ТПП повивной скрутки (диаметры жил 0,32 и 0,5 мм, длина 2 км) цифровыми абонентскими линиями ADSL2+ при СПМ белого шума минус 140 дБм/Гц приведены на рис. Д.1.



**Рисунок Д.1** - Графики ожидаемых зависимостей скорости передачи в нисходящем направлении от процента загрузки 100-парного кабеля типа ТПП

## Список литературы

14. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. Под редакцией Балашова В.А.;
15. Павличенко Ю.А., Пашолок П.О., Антиков В.В. Системы доступа до інформаційних ресурсів. Навч. посібник., Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2002, – 174 с.;
16. Павличенко Ю.А., Пашолок П.А., Антиков В.В. Цифровой абонентський доступ. Навч. посібник., Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2001, – 92 с.;
17. Пашолок П.О. Термінологія цифрових телекомунікаційних технологій. Навч. посібник. Одеса, вид. центр ОНАЗ, 2003;
18. ОСТ 45.36-97. Линии кабельные, воздушные и смешанные городских телефонных сетей. Нормы электрические эксплуатационные;
19. ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные;
20. Рекомендация МСЭ-Т G.961 Digital transmission system on metallic local lines for ISDN basic access (Цифровая система передачи по металлическим местным линиям для доступа на базовой скорости ЦСИС);
21. Рекомендация МСЭ-Т G.902 Framework Recommendation on functional access networks. Architecture and functions, access types, management and service node access (Базовая Рекомендация по функциональным сетям доступа. Архитектура и функции, типы доступа, доступ к узлу управления и услуг);
22. Рекомендация МСЭ-Т G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL));
23. Рекомендация МСЭ-Т G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2 (ADSL2));
24. Рекомендация МСЭ-Т G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – расширенная полоса частот ADSL2 (ADSL2+));
25. Рекомендация МСЭ-Т G.993.1 Very high speed Digital Subscriber Line transceivers (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии);
26. Рекомендация МСЭ-Т G.993.2 Very high speed Digital Subscriber Line transceivers 2 (VDSL2) (Приемопередатчики сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL2)).

## ПРИЛОЖЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

### П1 Параметры и характеристики кабелей абонентских линий

#### П1.1 Общие сведения об абонентских кабелях

**Телефонный металлический кабель** – это соединительный элемент, представляющий собой некоторое количество металлических проводников, изолированных друг от друга и предназначенных для передачи электрических сигналов.

Кабели различаются по:

конструкции рабочей цепи – симметричные и коаксиальные;

виду электросвязи – телефонные, радиовещательные, телевизионные, комбинированные и др.;

диапазону уплотнения – низкочастотные и высокочастотные;

виду изоляции жил – воздушно-бумажные, воздушно-пластмассовые, сплошные полиэтиленовые и др.;

группам – из двух, четырех и т.д. изолированных и скрученных между собой жил, образующих физические цепи;

составу конструктивных элементов – однородные и комбинированные;

степени помехозащищенности – экранированные и неэкранированные;

материалу оболочки – свинцовые, алюминиевые, стальные, пластмассовые и комбинированные;

защитным покровам – голые, бронированные стальными лентами или круглыми проводами;

условиям прокладки – подземные, подводные и подвесные.

**Кабель повивной скрутки** – это телефонный металлический кабель, в сердечнике которого изолированные жилы, объединенные в пары, расположены коаксиальными повивами чередующихся направлений.

**Кабель пучковой скрутки** – это телефонный металлический кабель, в котором изолированные жилы или пары жил образуют пучки, а пучки в свою очередь – сердечник.

**Пара** – группа или часть группы из двух изолированных между собой жил (проводников), предназначенных для работы в одной электрической цепи.

**Симметричная пара** – пара, у которой изолированные жилы одинаковой конструкции – параллельные или скрученные – расположены симметрично относительно её продольной оси.

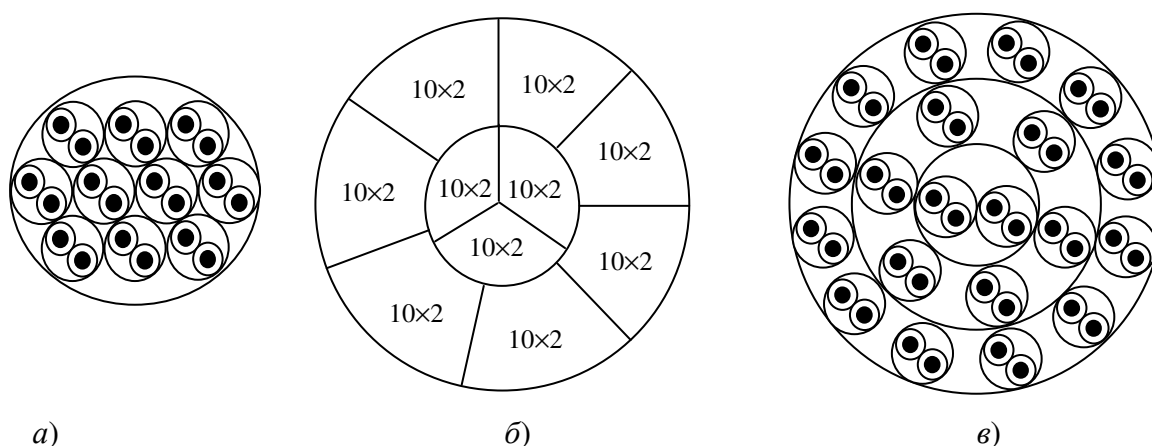
**Витая пара** – скрученная симметричная пара с высокой степенью симметрии электрических параметров относительно продольной оси.

**Повив** – слой элементов скрутки, расположенных коаксиально либо по отношению к остальным аналогичным элементам, образующим в совокупности скрученную часть конструкции кабельного изделия (токопроводящую жилу, сердечник), либо коаксиально поверх внутренней (по отношению к этому слою) части кабельного изделия.

**Пучок** – элемент конструкции сердечника кабеля, состоящий из совокупности групп (пар, четверок и т.п.), скрученных в одну сторону с одинаковым шагом.

### ***Кабели с пучковым построением сердечника***

Пары жил скручивают в элементарные пучки (пяти- или десятипарные) или сердечник (пяти- или десятипарного кабеля) однонаправленной или разнонаправленной скруткой. На рис. П1.1, *а* приведена схема образования сердечника кабеля емкостью 10 пар. Пары в элементарном десятипарном пучке и десятипарном сердечнике имеют определенную расцветку.



**Рисунок П1.1** – Схемы образования сердечника кабеля емкостью:

*а)*  $10 \times 2$  – элементарный пучок; *б)*  $100 \times 2$  – пучковая скрутка; *в)*  $20 \times 2$  – повивная скрутка

Пары в элементарном пятипарном пучке или пятипарном сердечнике имеют расцветку первых или вторых пяти пар десятипарного элементарного пучка.

На элементарный пучок накладывается по спирали скрепляющая обмотка из синтетических нитей или идентификационных лент. Элементарные пучки скручивают в главные (50- или 100-парные) пучки однонаправленной или разнонаправленной скруткой. На рис. 1.3, *б* приведена схема образования 100-парного пучка. Главные пучки скручивают в сердечник кабеля однонаправленной или разнонаправленной скруткой.

Допускается маркировка с помощью счетного и направляющего элементарных пучков в каждом повиве сердечника или главного пучка, отличающихся от других пучков цветом скрепляющей нити или ленты. Счетный элементарный пучок обматывают скрепляющей синтетической нитью или идентификационной лентой красного цвета, направляющий – нитью или лентой зеленого или синего цвета.

### ***Кабели с повивным построением сердечника***

Пары в сердечнике кабеля располагают в повивах. Повивы с взаимно противоположным направлением скрутки обматывают синтетической нитью или лентой. В каждом повиве должна быть одна счетная и одна направляющая пары, расцветка которых должна отличаться от расцветки других пар в повиве. Расцветки счетной и направляющей пар также отличаются между собой. Пары,

расположенные в центре сердечника, могут не скручиваться между собой и не отделяться синтетической нитью или лентой от смежного повива. На рис. 1.3, в приведена схема образования сердечника кабеля ёмкостью 20 пар.

Системы скрутки элементарных пучков и пар в сердечниках кабеля емкостью до 100 пар приведены в табл. П1.1 и П1.2.

**Таблица П1.1** – Системы скрутки элементарных пучков в сердечник кабеля емкостью до 100 пар с пучковой скруткой

Номинальное число пар	Система скрутки
5	$1 \times (5 \times 2)$
10	$1 \times (10 \times 2)$
20	$2 \times (10 \times 2)$
20	$4 \times (5 \times 2)$
30	$6 \times (5 \times 2)$
30	$3 \times (10 \times 2)$
50	$5 \times (10 \times 2)$
100	$(3 + 7) \times (10 \times 2)$
100	$(2 + 8) \times (10 \times 2)$

**Примечание.** В правой части обозначения системы скрутки сердечника содержится обозначение количества пар (5 или 10) в элементарном пучке ( $5 \times 2$  или  $10 \times 2$ ). Одна (две) цифры перед ( $5 \times 2$ ) или ( $10 \times 2$ ) означает количество элементарных пучков в центральном (центральном и первом) повивах

**Таблица П1.2** – Системы скрутки сердечника кабеля емкостью до 100 пар с повивной скруткой

Номинальное число пар	Система скрутки
10	$2 + 8$
20	$2 + 6 + 12$
30	$4 + 10 + 16$
50	$4 + 10 + 16 + 20$
100	$2 + 8 + 14 + 20 + 26 + 30$

**Примечание.** Обозначение системы скрутки сердечника содержит несколько чисел, количество которых равно количеству повивов. Первая цифра указывает на количество пар в центральном повиве, вторая цифра – на количество пар в первом повиве, т.д.

## П1.2 Параметры передачи абонентских кабелей

**Шлейф пары** – пара токопроводящих жил, закороченная на дальнем конце (жилы соединены между собой).

**Сопротивление шлейфа пары (цепи)** – электрическое сопротивление двух соединенных между собой на дальнем конце токопроводящих жил постоянному току.

**Омическая асимметрия цепи постоянному току** – разность электрических сопротивлений проводников цепи (пары) постоянному току.

**Сопrotивление изоляции пары** – электрическое сопротивление постоянному току между двумя проводниками пары, изолированными между собой.

**Рабочая емкость цепи** – электрическая емкость между двумя изолированными проводниками цепи.

**Коэффициент затухания (линии)** – затухание синусоидального сигнала при распространении по согласованной на входе и выходе цепи длиной 1 км.

**Коэффициент фазы** – изменение фазы синусоидального сигнала в цепи длиной 1 км, которое возникает вследствие конечной скорости распространения сигнала.

**Волновое сопротивление** – сопротивление, которое испытывает синусоидальная электромагнитная волна при распространении вдоль однородной цепи без отражения.

**Примечание.** Волновое сопротивление определяется как отношение комплексной амплитуды напряжения к комплексной амплитуде тока, имеет модуль и фазу.

**Затухание** (сигнала, электрической цепи, линии, оборудования) – величина, которая характеризует изменение мощности (напряжения) сигнала при передаче его по среде распространения (электрической цепи, устройства) и определяется логарифмом отношения значений мощности  $P_{вх}$  (напряжения  $U_{вх}$ ) на входе среды распространения к мощности  $P_{вых}$  (напряжению  $U_{вых}$ ) на выходе этой среды распространения:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_{вх}}{P_{вых}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{вх}}{U_{вых}} \right|.$$

**Примечание.** Затухание измеряется в децибелах (дБ).

**Рабочее затухание** – затухание синусоидального сигнала при распространении по цепи, согласованной на входе и несогласованной на выходе.

**Примечание 1.** Величина рабочего затухания определяется как разность уровней сигнала на входе и выходе цепи.

**Примечание 2.** При согласованной нагрузке на входе и выходе цепи величина рабочего затухания равна её собственному затуханию.

В таблицах П1.3 и П1.4 приведены значения основных параметров кабелей типа ТП.

**Таблица П1.3** – Средние значения электрического сопротивления, омической асимметрии и рабочей емкости кабелей типа ТП

Параметр	Частота, Гц	Среднее значение
1 Электрическое сопротивление токопроводящей жилы длиной 1 км при температуре 20° С, Ом/км, для диаметра жил, мм:	0	0,32
0,40		223
0,50		144
0,64		92,1
0,70		56,5
0,90		47,0
2 Омическая асимметрия жил пары, %, не более	0	1
3 Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабеля постоянному току, МОм	0	5 000
4 Рабочая емкость, пересчитанная на длину 1 км, при температуре 20° С, нФ/км, не более:	800 или 1000	
- для кабелей без гидрофобного заполнения		48
- для кабелей с гидрофобным заполнением		54
- для кабелей с гидрофобным заполнением «Зв»		57

**Таблица П1.4** – Допустимые значения коэффициента затухания кабелей типа ТП на частотах 1, 512 и 1024 кГц

Диаметр жил, мм	Частота, кГц	Коэффициент затухания, дБ/км, не более	
		кабель без гидрофобного заполнения	кабель с гидрофобным заполнением
0,32	1	2,4	2,5
0,4		1,9	2,0
0,5		1,5	1,6
0,64		1,2	1,3
0,7		1,1	1,2
0,9		0,7	0,8
0,4	512	19,5	20,8
0,5		16,7	18,0
0,4	1024	27,2	29,1
0,5		23,4	25,2



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Интерфейс пользователя программного комплекса “xDSL Liner”

#### П2.1 Описание основного окна программного комплекса “xDSL Liner”

После запуска программного комплекса основное окно выглядит так, как показано на рис. П2.1.

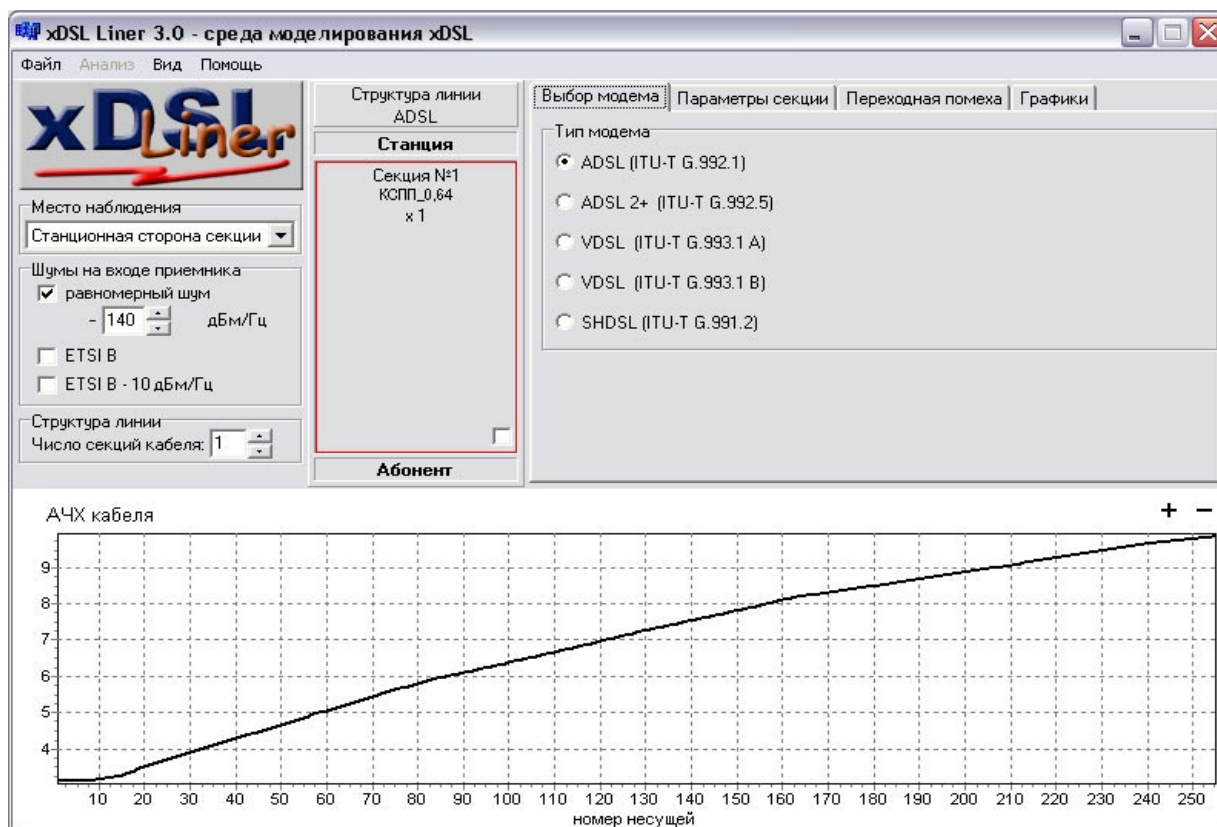


Рисунок П2.1 – Основное окно программного комплекса

Основное окно можно условно разделить на четыре области:

1 область общих настроек (левая верхняя сторона) – позволяет выбрать контекст, в котором будут рассчитываться параметры при наблюдении со стороны станции или абонента. Кроме того, здесь можно выбрать модель шумов на входе приемника и количество секций составной линии;

2 структура линии (средняя часть окна). Здесь отображается выбранная структура линии и важные параметры отдельных секций;

3 область детальных настроек (правая верхняя сторона) – содержит несколько закладок, позволяющих установить все параметры, необходимые для моделирования;

4 область графиков (нижняя часть окна) – предназначена для отображения всех графиков, которые могут быть построены по результатам моделирования.

## П2.2 Выбор системы передачи

Рассмотрим процесс моделирования с помощью программного комплекса.

Первое, с чем нужно определиться, – тип системы передачи xDSL, для которой будет проводиться моделирование. Для выбора типа СП предназначена вкладка «Выбор системы передачи», рис. П2.2.

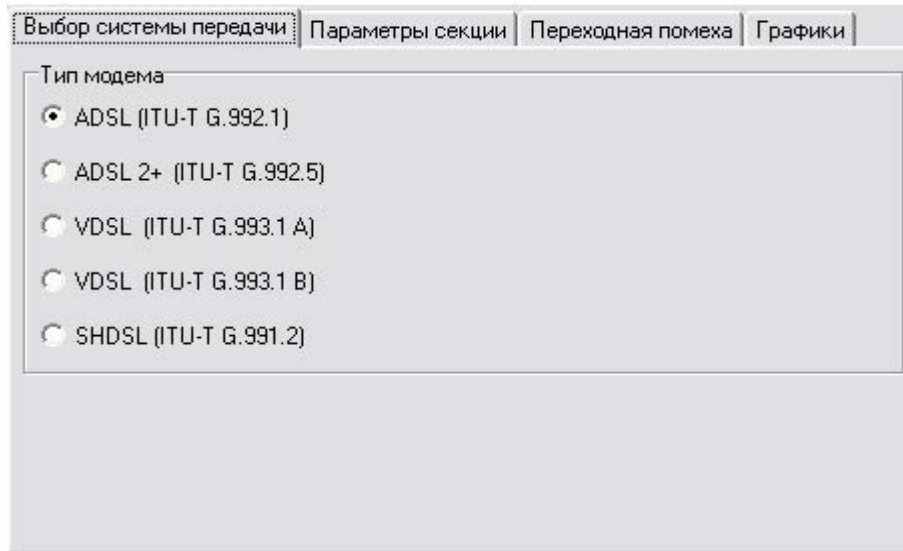


Рисунок П2.2 – Вкладка «Выбор системы передачи»

Как можно видеть из рисунка, вкладка позволяет выбрать одну из пяти систем передачи: ADSL, ADSL2 +, VDSL (частотные планы А и В) и SHDSL.

## П2.3 Выбор структуры линии

Следующий шаг – выбор структуры линии, по которой должна работать система передачи. Для этой цели предназначена область «Структура линии» и закладка «Параметры секции», рис. П2.3

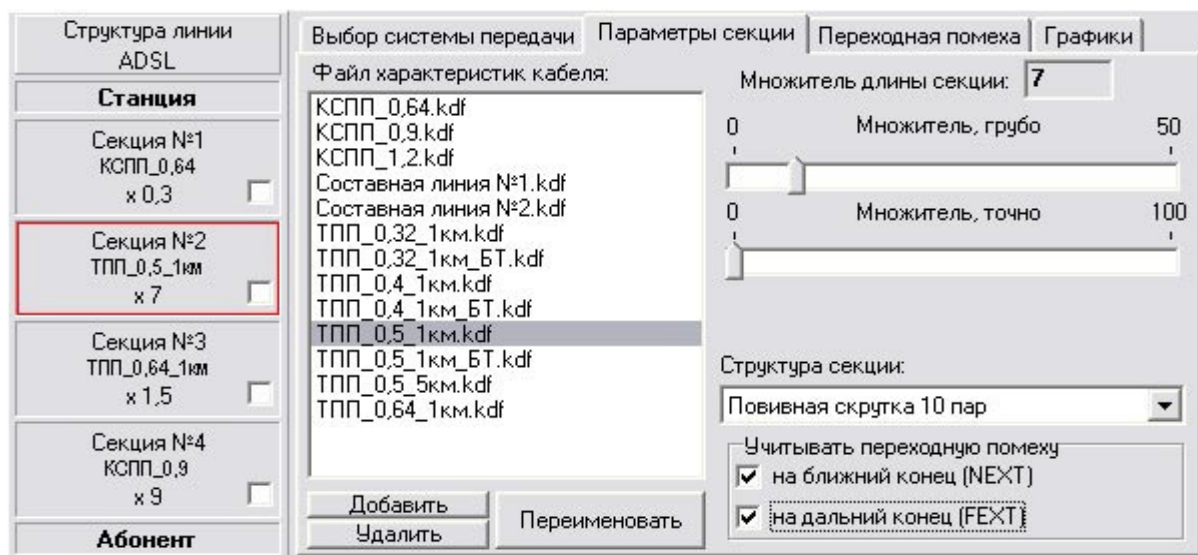


Рисунок П2.3 – Область «Структура линии» и закладка «Параметры секции».

Программный комплекс предусматривает составление линии из нескольких секций (до 4-х). Для того, чтобы настроить параметры секции, нужно выбрать ее, нажав на поле секции левой кнопкой мыши. Выбранная секция подсвечивается красным прямоугольником, а ее текущие параметры отображаются в поле закладки «Параметры секции». В этом поле можно выбрать файл характеристик кабеля секции, тип кабеля, длину секции, а также указать, какие переходные помехи следует учитывать для данной секции.

Каждая секция в области «Структура линии» имеет флаг активности (белый прямоугольник в правом нижнем углу поля каждой секции). Если ни одна секция не имеет установленного флага активности, то все расчеты проводятся для выбранной секции. Если одна или несколько секций имеют установленный флаг активности, то все расчеты проводятся для линии, составленной из активных секций (независимо от того, какая секция выбрана). Например, в ситуации, изображенной на рис. П2.4, расчеты будут производиться для линии, составленной из секции № 1 и № 3.

Структура линии ADSL	
Станция	
Секция №1 КСПП_0,64 x 0,3	<input checked="" type="checkbox"/>
Секция №2 ТПП_0,5_1км x 7	<input type="checkbox"/>
Секция №3 ТПП_0,64_1км x 1,5	<input checked="" type="checkbox"/>
Секция №4 КСПП_0,9 x 9	<input type="checkbox"/>
Абонент	

**Рисунок П2.4** – Пример задания структуры линии (линия состоит из секции кабеля типа КСПП 0,64 мм и секции кабеля типа ТПП 0,64 мм)

Одной из особенностей программы является способ задания длины секции. Длина секции задается множителем длины (выбирается в поле вкладки «Параметры секции»). Фактически, АЧХ и ФЧХ секции, заданные в файле параметров кабеля, увеличиваются пропорционально множителю длины секции. В связи с этим целесообразно задание в файле характеристик кабеля АЧХ и ФЧХ для линии длиной 1 км. Для заданного таким образом кабеля множитель длины секции соответствует длине секции в километрах.

Так, на рисунке А7 длина секции № 2 составляет 7 км, поскольку множитель длины секции равен семи («x 7»), а характеристики кабеля приведены для 1 км (файл «ТПП\_0,5\_1км»).

## П2.4 Работа со сценариями загрузки

Программный комплекс также позволяет при моделировании составных линий выбирать сценарий загрузки для каждой секции, что обеспечивает возможность анализа реальных линий сети доступа. Для настройки сценария загрузки выбранной секции предназначена вкладка «переходная помеха», рис. П2.4.

Вкладка отражает срез кабеля выбранной секции. Как видно из рисунка, по умолчанию для секции устанавливается пустой сценарий (M1). Изображение среза показывает, что в кабеле работает только одна система передачи - ADSL (зависит от типа системы передачи, выбранного в поле вкладки «Выбор системы передачи»).

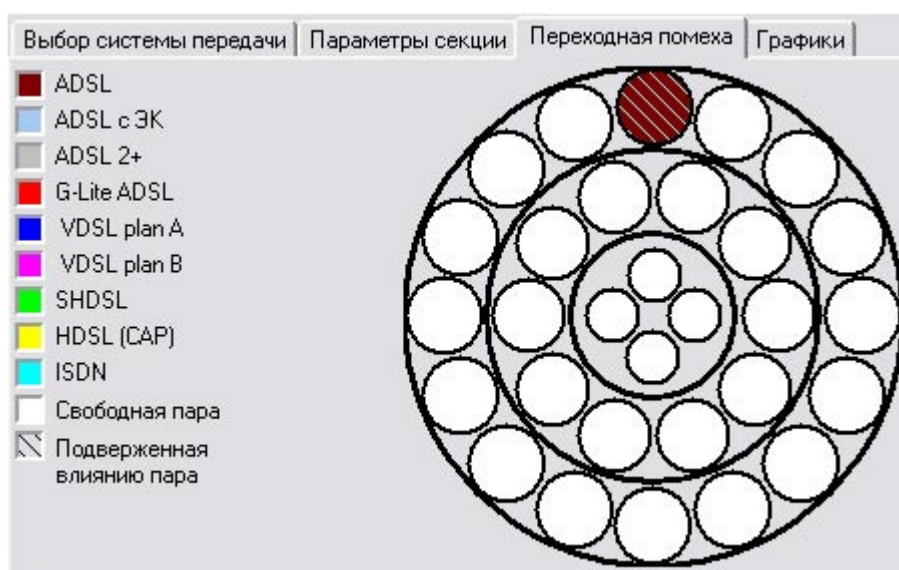


Рисунок П2.4 – Вкладка «Переходная помеха»

Для того чтобы установить необходимый сценарий загрузки, необходимо нажать на изображение нужной пары правой кнопкой мыши, что вызовет появление контекстного меню рис. П2.5.

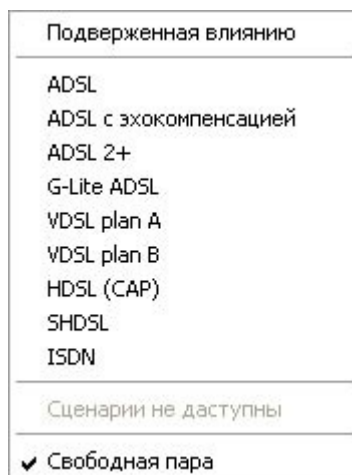


Рисунок П2.5 – Контекстное меню вкладки «Переходная помеха»

Контекстное меню позволяет выбрать систему передачи, которую необходимо поместить в нужную пару. На рис. П2.6 показан срез кабеля, в котором добавлена система передачи VDSL plan A.

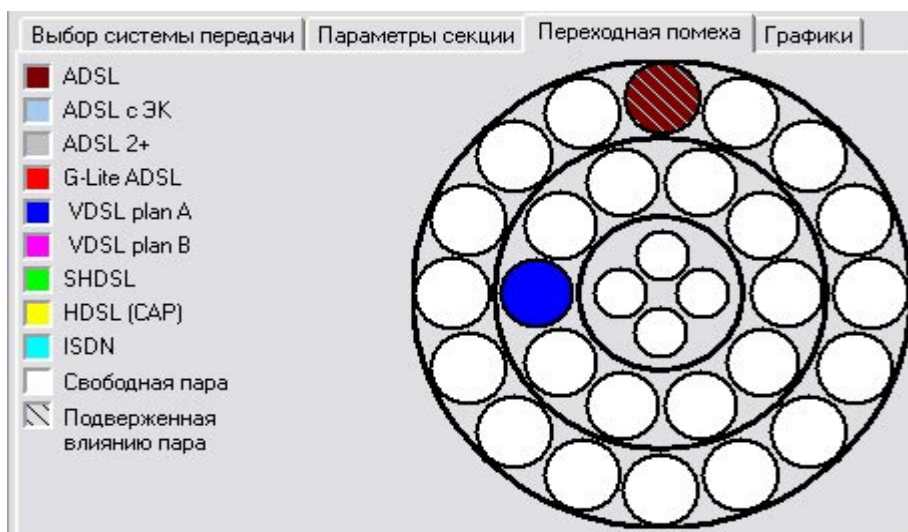


Рисунок П2.6 – Пример простого сценария загрузки

Приведенный на рис. П2.6 сценарий означает, что кроме пары ADSL, для которой проводятся измерения, в кабеле присутствует пара VDSL plan A, которая может быть источником переходных помех.

Для быстрого задания сложного стандартного сценария можно воспользоваться функцией построения сценария. Если нажать на изображение пары, по которой работает какая-либо система передачи, правой кнопкой мыши, то в открывшемся контекстном меню появится пункт «Выбрать сценарий». Если контекстное меню было вызвано для пары, по которой работает СП VDSL plan A, то пункт выбора сценария будет называться «Выбрать сценарий VDSL plan A». Если выбрать этот пункт меню, на срезе кабеля будет отображена панель выбора сценария, рис. П2.7.

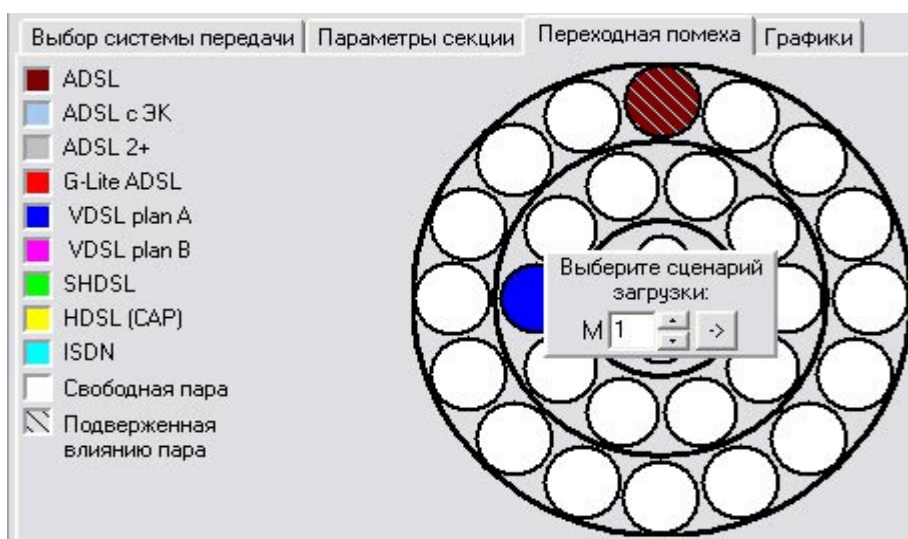


Рисунок П2.7 – Вид панели выбора сценария загрузки

Далее нужно только установить номер сценария, и программа построит его на срезе, при этом пара сценария, помеховая ситуация в которой наихудшая, выбирается как подверженная влиянию, и все расчеты будут производиться для нее. На рис. П2.8 изображен вид вкладки «Переходная помеха» после выбора сценария М15.



**Рисунок П2.8** – Отображение сценария М15

Кроме построения стандартных сценариев загрузки кабелей, программный комплекс позволяет выбрать произвольный сценарий, устанавливая систему передачи отдельно для каждой пары. На рис. П2.9 изображен такой произвольный сценарий.



**Рисунок П2.9** – Отображение произвольного сценария

Программный комплекс также предоставляет несколько полезных инструментов, предназначенных для работы со сценариями загрузки, которые можно найти в пункте «Анализ» главного меню программы. Следует заметить, что этот пункт активен только в том случае, когда для выбранной секции

установлен кабель типа ТПП (в названии файла характеристик кабеля содержится аббревиатура ТПП). Это связано с некоторыми особенностями модели переходных влияний кабелей КСПП.

Меню «Анализ» содержит следующие пункты:

1 «Расположить подверженную влиянию пару оптимально» – перемещает подверженную влиянию пару на место пустой пары, в которой наводится минимальная переходная помеха при установленном сценарии загрузки;

2 «Определить пару с наихудшей помеховой ситуацией» – обозначает на срезе кабеля пару, в которой при установленном сценарии загрузки наводится максимальная переходная помеха;

3 «Найти оптимальное распределение пар» – меняет установленный сценарий загрузки так, что взаимные влияния между действующими в кабеле системами передачи сводятся к минимуму.

## П2.5 Отображение результатов моделирования

Закладка «Графики» основного окна программного комплекса позволяет выбрать, какая информация будет отображаться в поле графика в нижней части окна, рис. П2.10.

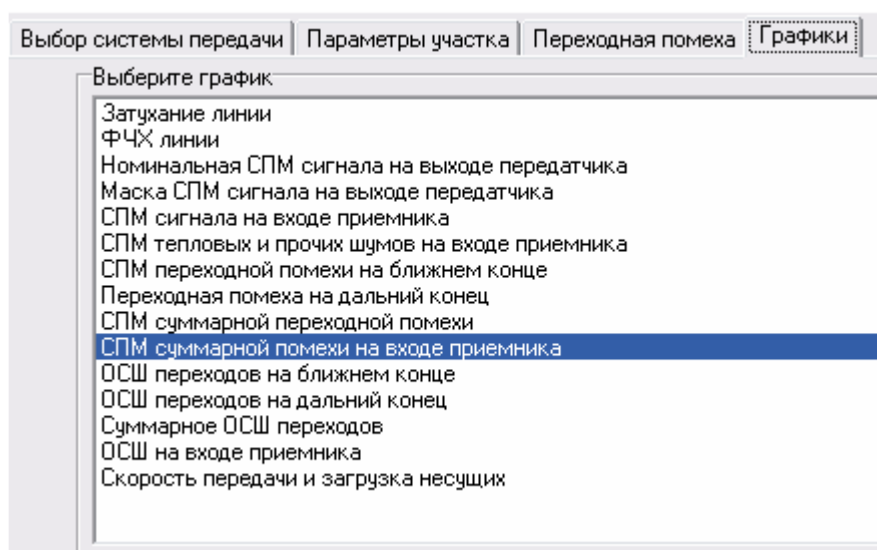


Рисунок П2.10 – Закладка «Графики»

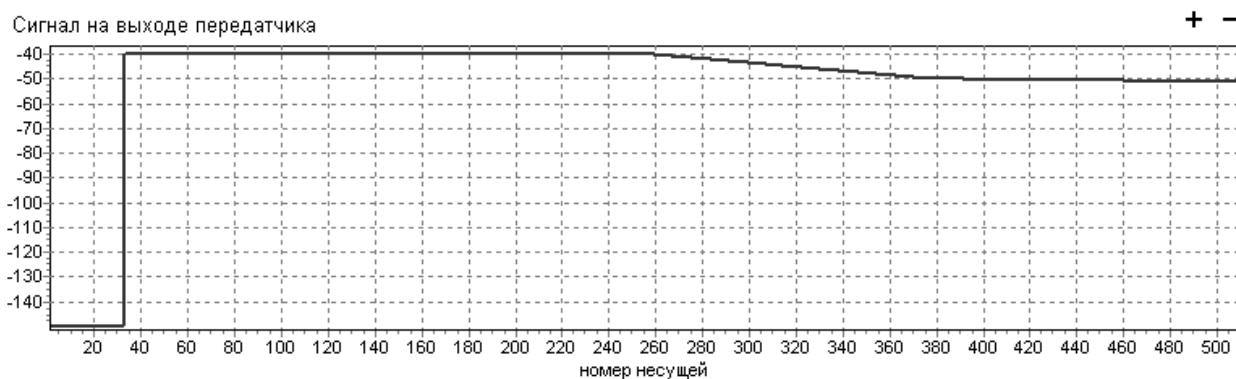
В поле закладки «Графики» можно выбрать следующие графики:

- «Затухание линии» – выводит график зависимости затухания линии, дБ, от частоты;
- «ФЧХ кабеля» – выводит график зависимости ФЧХ линии, в радианах, от частоты;
- «Номинальная СПМ сигнала на выходе передатчика» – выводит номинальную спектральную плотность мощности сигнала на выходе передатчика;
- «Маска СПМ сигнала на выходе передатчика» – выводит маску спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика;

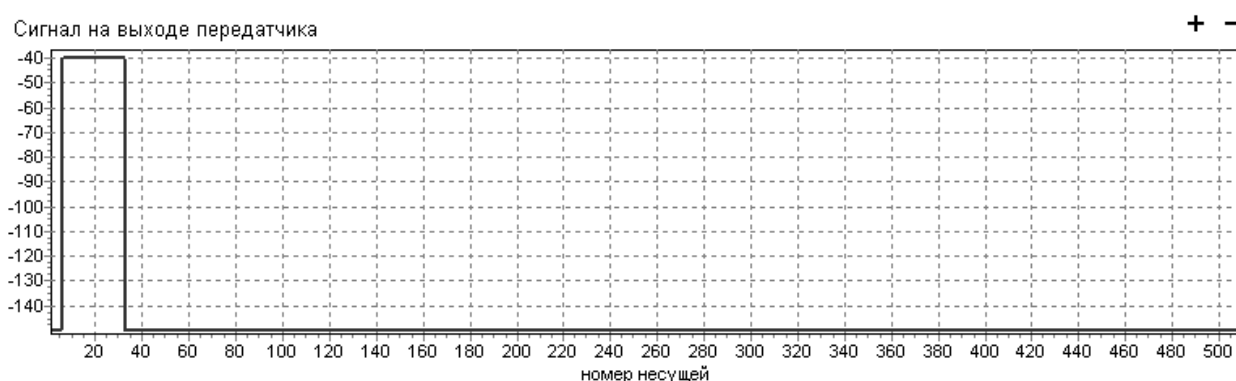
- «СПМ сигнала на входе приемника» – выводит спектральную плотность мощности сигнала на входе приемника;
- «СПМ тепловых и прочих шумов на входе приемника» – выводит спектральную плотность мощности тепловых и прочих шумов, а также определяет суммарную мощность этих шумов во всей рассматриваемой полосе частот;
- «СПМ переходной помехи на ближнем конце» – выводит спектральную плотность мощности переходных помех на ближнем конце, а также определяет суммарную мощность этих помех во всей рассматриваемой полосе частот;
- «СПМ переходной помехи на дальнем конце» – выводит спектральную плотность мощности переходных помех на дальнем конце, а также определяет суммарную мощность этих помех во всей рассматриваемой полосе частот;
- «СПМ суммарной переходной помехи» – выводит спектральную плотность мощности суммы переходных помех на ближнем и дальнем конце, а также определяет суммарную мощность суммы этих помех во всей рассматриваемой полосе частот;
- «СПМ суммарной помехи на входе приемника» – выводит спектральную плотность мощности суммы всех помех, действующих на входе приемника, а также определяет суммарную мощность суммы этих помех во всей рассматриваемой полосе частот;
- «ОСШ переходов на ближнем конце» – выводит отношение сигнал-шум переходных помех на ближнем конце;
- «ОСШ переходов на дальнем конце» – выводит отношение сигнал-шум переходных помех на дальнем конце;
- «Суммарное ОСШ переходов» – выводит отношение сигнал-шум суммы переходных помех на ближний и дальний конец;
- «ОСШ на входе приемника» – выводит полное отношение сигнал-шум на входе приемника;
- «Скорость передачи и загрузка несущих» – выводит график распределения информационной нагрузки по несущим (для СП с DMT) или спектральную плотность мощности сигнала (для СП SHDSL). Кроме того, выводится суммарная скорость передачи в направлениях вверх и вниз (для SHDSL выводится одна скорость).

Следует отметить, что отображаемая информация зависит от того, на какой стороне линии проводится наблюдение (это не касается последнего графика). Так, например, на рис. П2.11 изображен график «Сигнал на выходе передатчика» при наблюдении со стороны станции, а на рис. П2.12 – на стороне абонента.



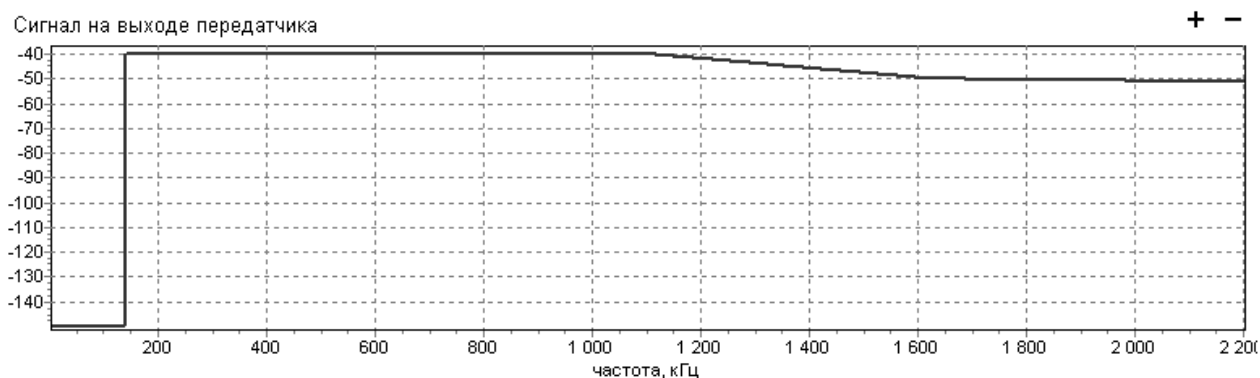


**Рисунок П2.11** – «Сигнал на выходе передатчика» системы передачи ADSL2+ при наблюдении со стороны станции



**Рисунок П2.12** – «Сигнал на выходе передатчика» системы передачи ADSL2+ при наблюдении на стороне абонента

Как можно заметить из рис. П2.11 и П2.12, по умолчанию графики частотной зависимости выводятся относительно номера несущей. Для изменения единиц измерения оси частот можно воспользоваться подменю «Вид» главного меню программного комплекса. Это подменю позволяет градуировать ось частот в номерах несущих, килоггерцах или мегагерцах. На рисунке П2.13 приведен график, аналогичный приведенному на рис. П2.12, но ось частот проградуирована в килоггерцах.



**Рисунок П2.13** – «Сигнал на выходе передатчика» системы передачи ADSL2+ при наблюдении на стороне абонента

## П2.6 Примеры использования программного комплекса

### Пример 1

Предположим, что необходимо определить возможность предоставления абоненту услуги высокоскоростного доступа в Интернет на скорости 2048 кбит/с в направлении к абоненту и 256 кбит/с в направлении от абонента. Линия, по которой предполагается построение линии ADSL, состоит из участка кабеля ТПП 0,5 мм длиной 3,7 км и участка кабеля ТПП 0,64 мм длиной 1,4 км.

Для определения возможности предоставления услуги необходимо ввести все исходные данные в программный комплекс. На рис. П2.14 изображено окно программного комплекса, в котором введены параметры составной линии. Следует также указать тип СП в поле закладки «Выбор системы передачи».

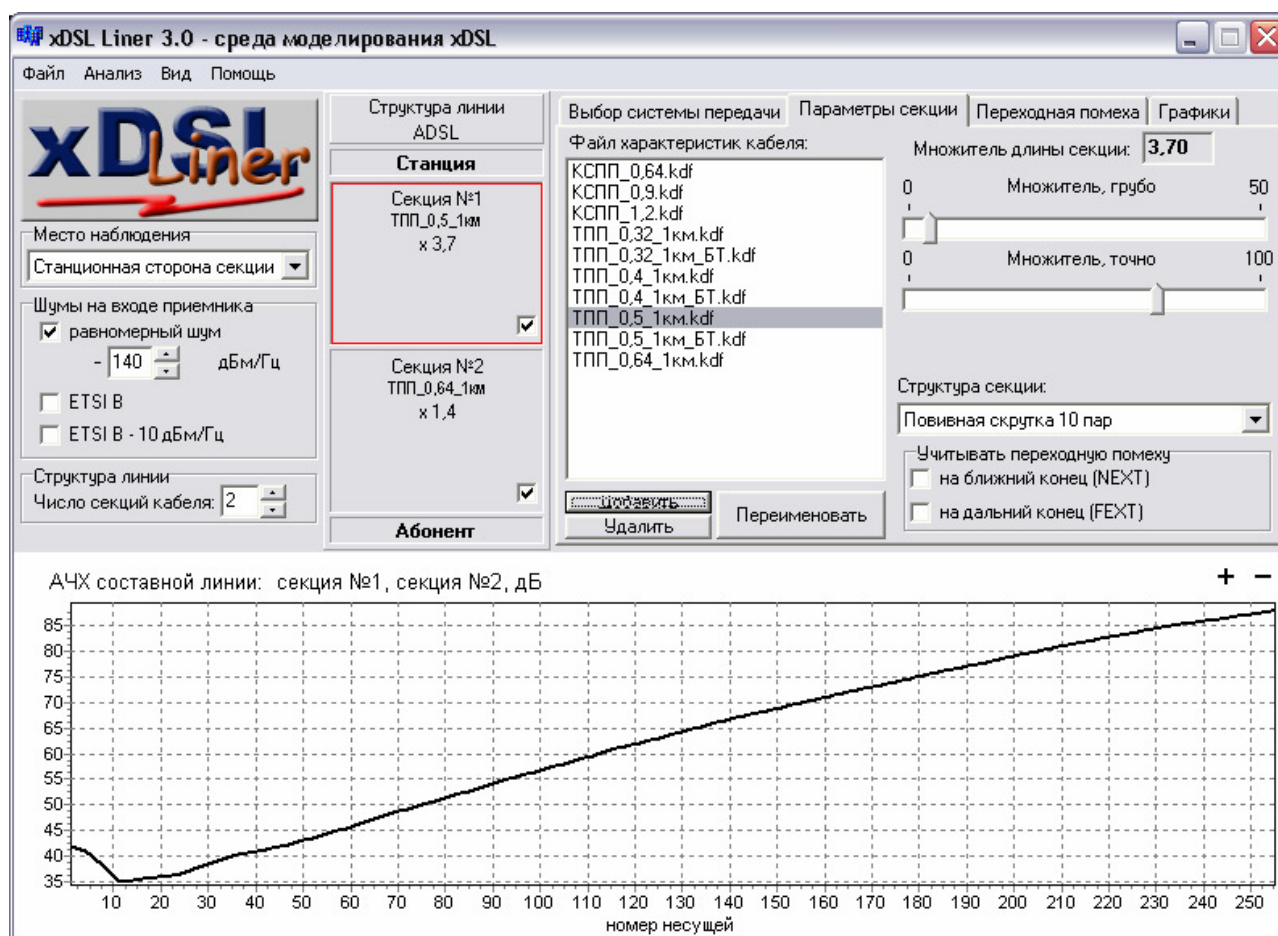
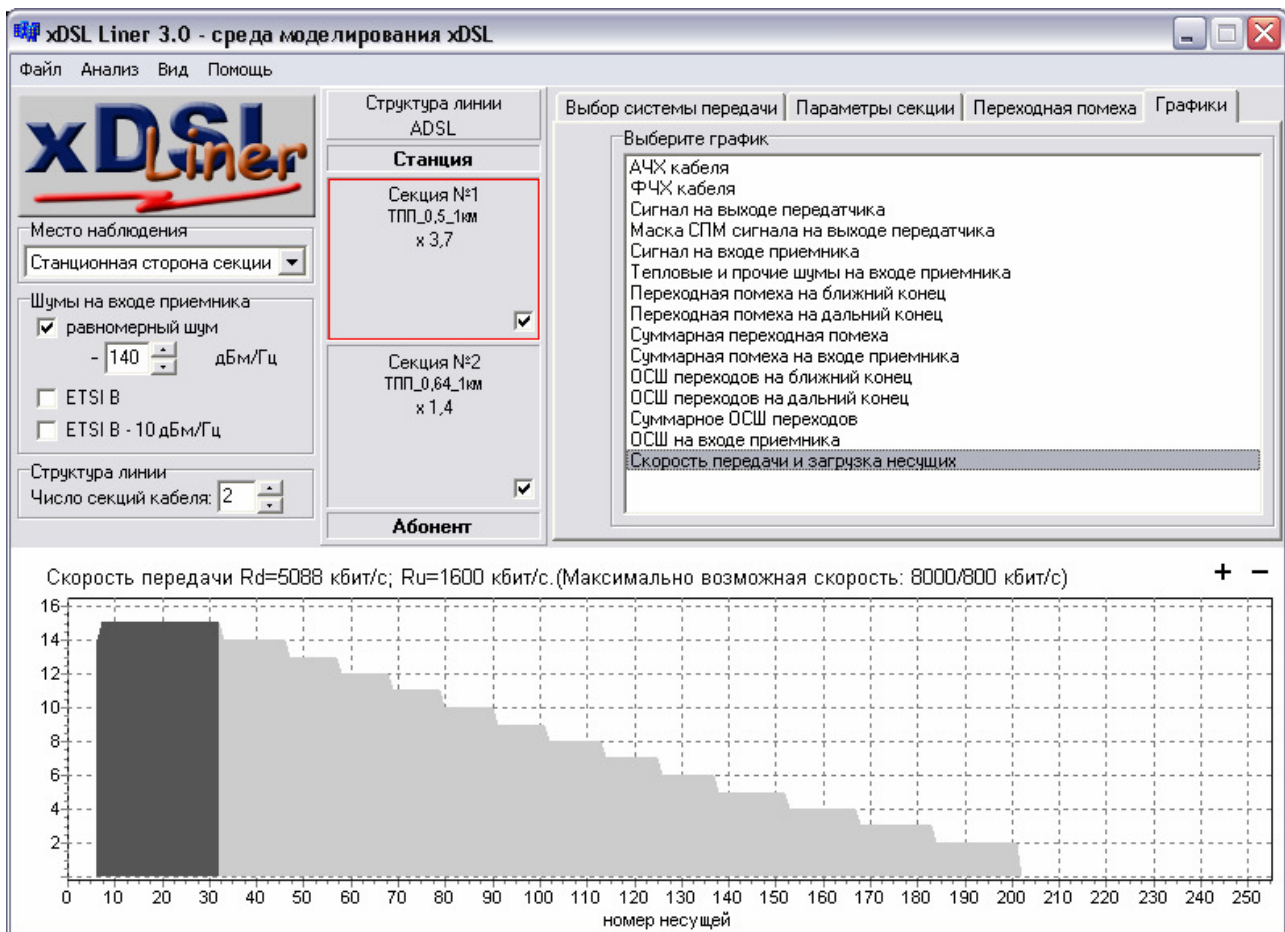


Рисунок П2.14 – Окно программного комплекса с установленными параметрами линии

На рис. П2.14 можно увидеть график АЧХ составной линии. На рис. П2.15 приведено окно программного комплекса после выбора графика «Скорость передачи и загрузка несущих».



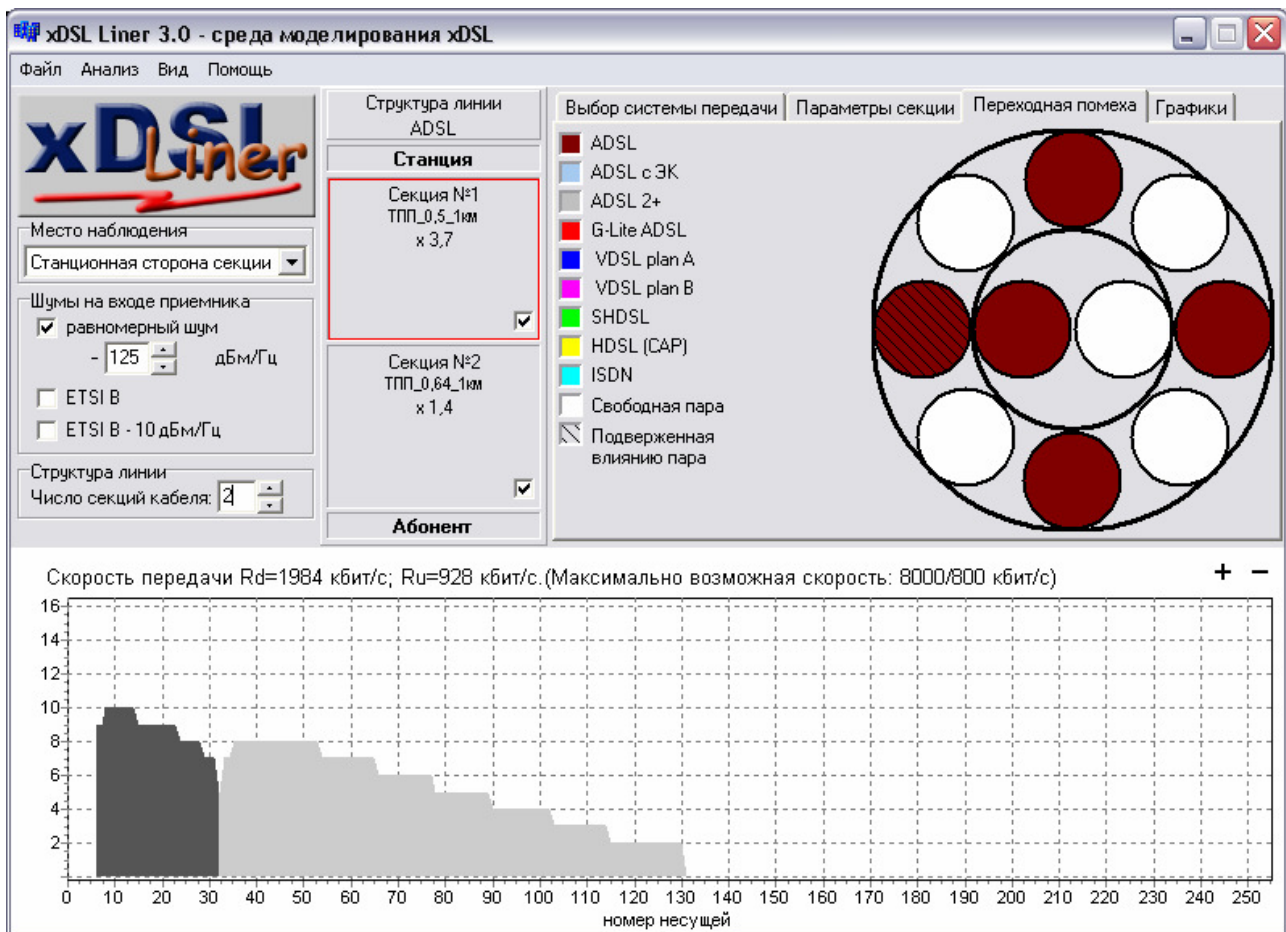
**Рисунок П2.15** – Окно программного комплекса отображает загрузку несущих и скорость передачи СП ADSL для примера 1

Как можно видеть из рис. П2.15, при работе системы передачи ADSL по заданной линии возможна передача информации со скоростью 5088 кбит/с к абоненту и 1600 кбит/с от абонента. Исходя из полученной информации, можно утверждать, что предоставление услуги в данных условиях возможно.

### Пример 2

Рассмотрим ситуацию, приведенную в первом примере, но учтем тот факт, что на участке кабеля ТПП 0,5 мм параллельно с анализируемой СП работает еще 5 систем передачи ADSL, а сам кабель является 10-и парным и имеет повивную скрутку. Кроме того, по результатам измерения шумов в линии было определено наличие в линии равномерного аддитивного шума со спектральной плотностью мощности минус 125 дБм/Гц.

Кроме установления всех исходных данных первого примера, следует выбрать сценарий загрузки участка кабеля ТПП 0,5 мм и изменить мощность равномерного шума. На рис. Д2.16 приведен установленный сценарий загрузки этого участка и мощность шума в линии.



**Рисунок П2.16** – Окно программного комплекса отображает загрузку несущих и скорость передачи СП ADSL для примера 2

Как видно из рис. П2.16, в новых условиях потенциальная скорость передачи уменьшилась до 1984 кбит/с от абонента и 928 кбит/с к абоненту. Такой результат говорит о невозможности предоставления услуги при данных условиях.







**З Б І Р Н И К  
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК**

**ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ № 11, 12, 13**

**З ДИСЦІПЛІНИ**

**«СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ МЕРЕЖ ДОСТУПУ»  
(СПМД)**

**Модулі 4.1, 4.2**

Українською та російською мовами

Укладачі методичних вказівок до лабораторних робіт №11, 12, 13 з  
дисципліни СПМД:

Балашов В.О., Корнійчук В.І., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.

Відповідальний редактор – проф. Павличенко Ю.А.

Здано в набір 10.01.2011 Підписано до друку 23.01.2011

Формат 60x90/16 Зам. № 4512

Тираж 300 прим. Обсяг 6,5 друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

м. Одеса, вул. Ковалевського, 5

Тел. 720-78-94

**ОНАЗ, 2011**