

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

УДК 621.39

УДОСКОНАЛЕННЯ СІМЕЙСТВА ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ADSL ВИКОРИСТАННЯМ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ БАГАТЬОХ СКЛАДОВИХ

І. Горбатий

*Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів, Україна.
giv@polynet.lviv.ua*

Розглянуто відоме сімейство технологій ADSL, що застосовують для передавання даних телекомунікаційними мережами доступу на основі симетричних ліній зв'язку. Отримано залежність пропускної здатності виділеного телекомунікаційного каналу на основі технології ADSL від довжини лінії зв'язку в смугах робочих частот 1,104 і 2,208 МГц. Запропоновано метод адаптивного передавання даних у телекомунікаційних мережах доступу на основі симетричних і коаксіальних ліній зв'язку з використанням амплітудної модуляції багатьох складових. Доведено можливість зменшення ймовірності бітової помилки в ході передавання даних і підвищення ефективності телекомунікаційних мереж доступу в разі застосування цього методу.

Ключові слова: технології ADSL, ADSL2, ADSL2+ та ADSL2+M, амплітудна модуляція багатьох складових, ймовірність бітової помилки, ефективність телекомунікаційної мережі.

Для підключення абонентів до мережі Інтернет часто використовують виділені телекомунікаційні канали, що входять до складу телекомунікаційних мереж доступу. Перевагою таких каналів є їхня відносна дешевизна. Саме тому постійно ведуть наукові роботи з метою підвищення ефективності таких каналів і мереж на їхній основі.

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ, International Telecommunication Union (ITU)) розробив технологію ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line, ITU G.992.1) та її сучасніші версії, зокрема ADSL2 (ITU G.992.3), ADSL2+ (ITU G.992.5) і ADSL2+M (ITU G.992.5 Annex M) [1–3]. МСЕ увів у нові технології багато різних доповнень, що збільшують продуктивність і функціональність порівняно з традиційною ADSL.

Подальше підвищення продуктивності та ефективності виділених телекомунікаційних каналів і мереж на їхній основі передбачає впровадження нових технологій передавання даних, зокрема, розроблення нових чи вдосконалення відомих видів модуляції сигналу й завадостійкого кодування для зменшення впливу характеристик телекомунікаційних каналів і шумів, наведених на ці канали, на процесу передавання даних.

Наша мета – розроблення методу адаптивного передавання даних у телекомунікаційних мережах доступу на основі симетричних і коаксіальних ліній зв'язку з застосуванням амплітудної модуляції багатьох складових (АМБС) для адаптивного підвищення інформацій-

ної ефективності й максимізації швидкості передавання даних однією лінією зв'язку.

Виділений телекомунікаційний канал на основі сімейства технологій ADSL. Різновиди технологій ADSL наведено в табл. 1 [1–4].

Таблиця 1

Різновиди технологій ADSL

Стандарт чи рекомендація MCE	Загальна назва технології	Швидкість завантаження даних до абонента, Мбіт/с	Швидкість передавання даних від абонента, Мбіт/с
ANSI T1.413-1988 Issue 2	ADSL	8,160	1,216
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	12	1,3
ITU G.992.1 Annex A	ADSL over POTS	12	1,3
ITU G.992.1 Annex B	ADSL over ISDN	12	1,8
ITU G.992.2	ADSL Lite (G.Lite)	1,5	0,5
ITU G.992.3	ADSL2	12	1,216
ITU G.992.3 Annex J	ADSL2	12	3,5
ITU G.992.3 Annex L	RE-ADSL2	5	0,8
ITU G.992.4	splitterless ADSL2	1,5	0,5
ITU G.992.5	ADSL2+	24	1,216
ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+M	24	3,5

У ході розроблення сімейства технологій ADSL закладено такі основні принципи [1–4]:

- використання наявної абонентської телефонної лінії для широкосмугового доступу;
- організація асиметричного обміну даними між сервером доступу ADSL та модемом абонента;
- мінімізація робіт із запровадження технології ADSL в наявній мережі для забезпечення масовості впровадження;
- будь-які порушення в забезпеченні широкосмугового доступу не повинні спричинити порушення телефонного зв'язку.

Сучасніші версії ADSL розробляють для збільшення швидкості завантаження даних до абонента чи передавання даних від абонента на довгих лініях зв'язку за наявності завад. Підвищення швидкостей завантаження й передавання даних стало можливим завдяки використанню ефективних методів модуляції, зменшенню кількості службової інформації, збільшенню ефективності кодування й застосуванню вдосконалених алгоритмів опрацювання сигналу. На довгих лініях, де швидкості передавання низькі, ADSL2 дає змогу досягнути більшої ефективності кодування з використанням коду Ріда–Соломона.

Згідно зі стандартами ADSL2+ і ADSL2+M, можна досягти швидкості завантаження даних від провайдера абоненту до 24 Мбіт/с на телефонних лініях довжиною до 1 км і 20 Мбіт/с – до 1,5 км. Швидкість передавання даних від абонента до провайдера в каналі ADSL2+ залежить від якості зв'язку й не перевищує 1,216 Мбіт/с, а для ADSL2+M – 3,5 Мбіт/с. Технології ADSL2+ і ADSL2+M використовують смугу частот до 2,2 МГц, тому досягають значного збільшення швидкості низхідних потоків на коротших лініях

зв'язку. Їх також можна застосовувати для зниження перехресних наведень у багатопарному кабелі. Для цього можливо використовувати лише діапазон частот від 1,1 до 2,2 МГц, у якому не працює обладнання ADSL. Це дає змогу зменшити перехресні наведення завдяки використанню різних частотних діапазонів для передавання даних одночасно через декілька ліній багатопарного кабелю у разі застосування обладнання на основі сім'ї технологій ADSL і так підвищити сумарну швидкість передавання даних через кабель зв'язку.

Для ADSL використовують діапазон частот у межах 25,875–1 104 кГц [1], а для ADSL2+ і ADSL2+M – у межах 25,875–2 208 кГц [3]. В окремих випадках застосовують вузький діапазон частот – від 138 до 2 208 кГц. На рис. 1 показано один із варіантів обвідної спектра сигналів, що передають у діапазоні 25,875–2 208 кГц у каналі зв'язку на основі ADSL2+ відносно абсолютного рівня потужності +15 дБм у каналі тональної частоти в діапазоні 0–4 кГц [3]. Позасмугова низькочастотна частина спектра лежить нижче 25,875 кГц, позасмугова високочастотна – вище 2 208 кГц.

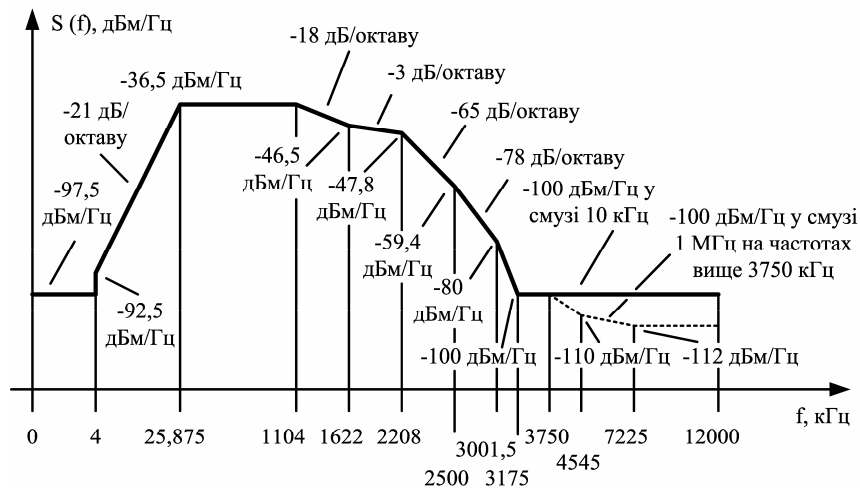


Рис. 1. Обвідна спектра сигналів у каналі зв'язку на основі ADSL2+.

У разі використання телефонної лінії для широкосмугового доступу до інформаційних мереж з метою передавання телефонних сигналів залишають смугу частот 0,3–3,4 кГц, для передавання даних від абонента до провайдера – 25,875–138 кГц, а від провайдера до абонента – 138–1 104 (ADSL) або 138–2 208 кГц (ADSL2+ чи ADSL2+M). Для частотного розділення мовних сигналів і даних застосовують частотні розгалужувачі сигналу (сплітери) на боці як провайдера, так і абонента. У випадку, коли лінію ISDN використовують для широкосмугового доступу, дані ISDN передають у діапазоні частот до 80 кГц, а для широкосмугового доступу у разі передавання даних від абонента до провайдера застосовують смугу частот, що починається з 138 кГц. Процес формування сигналу у випадку використання технології ADSL зображений на рис. 2.

Наголосимо, що в технології ADSL виконують передавання даних на 256 незалежних носійних коливаннях, віддалених одне від одного на 4,3125 кГц та модульованих інформаційним сигналом із використанням квадратурної амплітудної модуляції (КАМ).

Отже, кожен з 256 підканалів незалежно від інших передає певну частину інформації, а кількість переданої підканалом інформації залежить від рівня шумів у діапазоні частот підканалу та обраної модуляції.

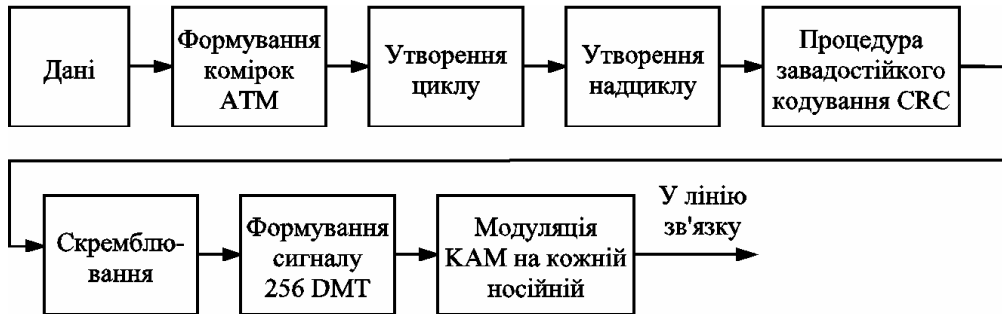


Рис. 2. Формування сигналу в разі використання технології ADSL.

За умов використання сигнальних ґраток на основі КАМ за один інформаційний такт можливо передати дискретну кількість M сигналів: 4, 16, 32, 128 чи більше, залежно від обраної кількості дискретних рівнів амплітуди модулюючих сигналів [1–4]. Це дає змогу передавати $\log_2 M$ бітів інформації за один інформаційний такт. Сукупності всіх можливих сигналів, що відрізняються амплітудами та початковими фазами, можна відобразити на амплітудно-фазовій площині у вигляді сигнального сузір'я, приклад якого для 36-КАМ показано на рис. 3, а. Зазначимо, що в технології ADSL серед інших застосовують 32-КАМ-сигнали, сигнальне сузір'я яких одержують із сузір'я 36-КАМ-сигналу без чотирьох точок, що відповідають сигналам з максимальною амплітудою (див. рис. 3, б).

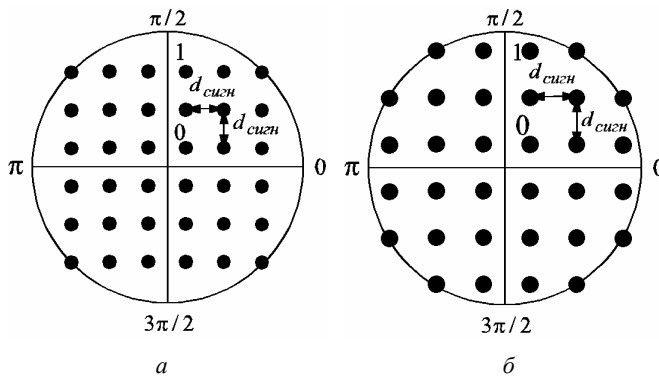


Рис. 3. Сигнальні сузір'я: а – 36-КАМ; б – 32-КАМ.

Дослідження впливу довжини лінії зв'язку на пропускну здатність телекомунікаційного каналу, побудованого на основі сімейства технологій ADSL. Вивчено вплив довжини лінії зв'язку на пропускну здатність виділеного телекомунікаційного ка-

налу за однакових потужностей сигналу в кожному підканалі $P_{\text{свх}_i} = 43,12$ мкВт та білого шуму з потужністю в кожному підканалі $P_{\text{ш}_i} = 4,312 \cdot 10^{-11}$ Вт. Дослідження виконано

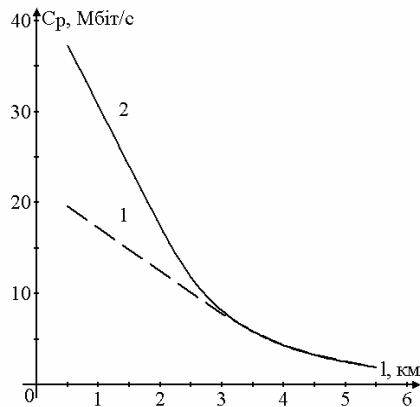


Рис. 4. Залежність пропускної здатності виділеного телекомунікаційного каналу від довжини лінії зв'язку у смузі робочих частот, МГц:
1 – 1,104; 2 – 2,208.

в смугах частот 1,104 (для ADSL та ADSL2) і 2,208 МГц (для ADSL2+ та ADSL2+M).

Результати обчислень зображені на рис. 4. Як бачимо, розрахункова пропускна здатність досліджуваного телекомунікаційного каналу може досягти 17 Мбіт/с у смузі частот 0–1,104 МГц (ADSL та ADSL2) і близько 30 Мбіт/с у смузі частот 0–2,208 МГц (ADSL2+ та ADSL2+M) за довжини лінії зв'язку 1 км. Реальна пропускна здатність каналу буде меншою, що обмежене максимально можливою швидкістю передавання даних модемами відповідно до можливостей кожної технології.

Пропускна здатність телекомунікаційного каналу зменшується зі збільшенням довжини лінії зв'язку, а за довжини лінії близько 3 км пропускні здатності каналів у разі використання технологій ADSL, ADSL2, ADSL2+ та ADSL2+M приблизно однакові, тобто виграш від застосування ADSL2+ і ADSL2+M найбільший на коротких лініях зв'язку.

Інформаційна ефективність телекомунікаційних систем та мереж. Для оцінювання ефективності телекомунікаційних систем і мереж використовують енергетичну ефективність β , частотну ефективність γ та узагальнену характеристику ефективності телекомунікаційних систем і мереж – інформаційну ефективність η [5]:

$$\beta = v_b / \rho_0 = N_0 / E_b, \quad (1)$$

де v_b – бітова швидкість передавання інформації; ρ_0 – відношення потужності сигналу P_c до спектральної густини потужності N_0 білого шуму в каналі зв'язку; E_b – енергія одного біта інформації;

$$\gamma = v_b / \Delta F_c, \quad (2)$$

де ΔF_c – ширина спектра сигналу (приймають, що спектр сигналу займає всю смугу пропускання каналу ΔF_k);

$$\eta = v_b / C_k, \quad (3)$$

де C_k – пропускна здатність телекомунікаційного каналу.

Інформаційна ефективність η відображає, наскільки швидкість передавання інформації менша від пропускну здатності телекомунікаційного каналу.

Удосконалення сімейства технологій ADSL. Для підвищення ефективності виділених каналів у телекомунікаційних мережах доступу на основі симетричних і коаксіальних ліній зв'язку, зокрема каналів на основі сім'ї технологій ADSL, ми запропонували використовувати новий різновид модуляції – амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС). У цьому разі модульований сигнал формується у вигляді суми N гармонічних складових, що відрізняються початковими фазами φ_n , він має такий вигляд [6]

$$u_{\text{АМБС}}(t) = \sum_{n=1}^N U_0 a_n u_{m_n}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_n), \quad (5)$$

де a_n – коефіцієнти пропорційності для n -х каналів модулятора, що є параметрами модулятора; $u_{m_n}(t)$ – модулюючі сигнали на n -х входах модулятора.

Заслугує на увагу АМБС-сигнал, у разі формування якого використовують складові, зсунуті між собою на фазові кути

$$\Delta\varphi = \pi / N. \quad (6)$$

Ми отримали співвідношення для обчислення відстані $d_{\text{сигн}}$ (В) між сигнальними точками на сигнальній площині для АМБС при $N = 3$, початкових фазах складових ($\varphi_1 = 0$ рад, $\varphi_2 = \pi/3$ рад та $\varphi_3 = 2\pi/3$ рад), що задовольняють (6), та за максимально можливої амплітуди модульованого сигналу $U_{c_{\text{max}}}$ (В) у разі модуляції кожної складової модулюючими сигналами з кількістю рівномірно віддалених рівнів M_U :

$$d_{\text{сигн}} = \frac{U_{c_{\text{max}}}}{M_U - 1}. \quad (7)$$

У цьому випадку кількість неповторюваних АМБС-сигналів, що можна однозначно демодулювати (а отже, і ефективна кількість символів), становить

$$M_{\text{еф}} = 3M_U(M_U - 1), \quad (8)$$

а загальна кількість символів, що можна одержати з використанням усіх можливих комбінацій модулюючих інформаційних сигналів за початкових фаз складових,

$$M_{\text{заг}} = (M_U)^N. \quad (9)$$

У цьому разі протягом тривалості одного інформаційного символу може бути передано $\log_2 M_{\text{еф}}$ бітів інформації.

Розглянемо сигнальні сузір'я в разі використання $N = 3$ складових і чотирьох можливих рівнів амплітуди модулюючих сигналів у випадку застосування точки в центрі сигнального сузір'я (37-АМБС, рис. 5, а), без використання точки в центрі сигнального

сузір'я (36-АМБС, рис. 5, б) та без використання п'ятих точок сигнального сузір'я (32-АМБС, рис. 5, в).

Порівнюємо властивості модуляцій 36-КАМ (див. рис. 3, б) та 36-АМБС (див. рис. 5, б) з однаковою кількістю 36 сигнальних точок. У випадку використання обох різновидів модуляції можливо передати однакову кількість інформації $\log_2 36 = 5,17$ біт протягом тривалості одного інформаційного символу.

Мінімально можлива відстань між сусідніми точками сигнального сузір'я 36-КАМ-сигналу з максимально можливою амплітудою $U_{c_{\max}} = 1$ В та $M_U = 6$ рівномірно віддаленими можливими рівнями амплітуди модулюючих інформаційних сигналів становить 0,28 В. Під час модуляції 36-АМБС, згідно зі співвідношенням (9), при $U_{c_{\max}} = 1$ В та $M_U = 4$ мінімальна відстань між сигнальними точками дорівнює 0,33 В, тобто для забезпечення тієї ж завадостійкості під час передавання даних з використанням 36-АМБС необхідно на 1,43 дБ менше відношення потужності сигналу до потужності шуму в каналі порівняно з 36-КАМ.

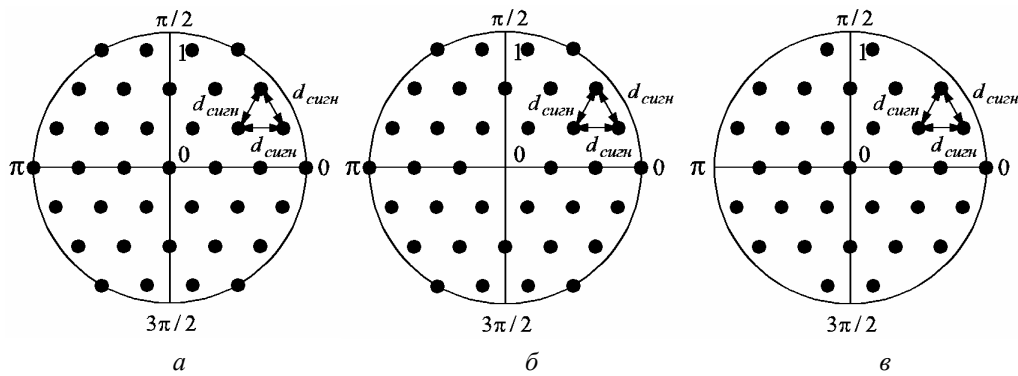


Рис. 5. Сигнальні сузір'я: а – 37-АМБС; б – 36-АМБС; в – 32-АМБС.

Результати дослідження ймовірності бітової помилки в телекомунікаційній системі чи мережі в разі застосування різних видів модуляції сигналу наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Ймовірність бітової помилки в телекомунікаційній системі чи мережі
в разі застосування різних видів модуляції сигналу

Модуляція	Ймовірність бітової помилки P_b				
32-КАМ	$5,474 \cdot 10^{-4}$	$4,148 \cdot 10^{-5}$	$3,135 \cdot 10^{-6}$	$2,362 \cdot 10^{-7}$	$1,776 \cdot 10^{-8}$
36-КАМ	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
32-АМБС	$3,845 \cdot 10^{-4}$	$2,103 \cdot 10^{-5}$	$1,140 \cdot 10^{-6}$	$6,144 \cdot 10^{-8}$	$3,296 \cdot 10^{-9}$
36-АМБС	$7,576 \cdot 10^{-4}$	$5,732 \cdot 10^{-5}$	$4,325 \cdot 10^{-6}$	$3,253 \cdot 10^{-7}$	$2,433 \cdot 10^{-8}$
37-АМБС	$6,475 \cdot 10^{-4}$	$4,494 \cdot 10^{-5}$	$3,106 \cdot 10^{-6}$	$2,138 \cdot 10^{-7}$	$1,468 \cdot 10^{-8}$

За результатами дослідження ймовірність бітової помилки в разі застосування 36-АМБС є меншою в 2,3 раза порівняно з 36-КАМ за відношення енергії одного біта інформації до спектральної густини потужності білого шуму 15,93 дБ. Отже, у випадку

використання АМБС зменшується ймовірність помилки на виході вирішуючого пристрою телекомунікаційного каналу порівняно з використанням КАМ за тієї самої інформативності (кількості символів M , що можливо передати за один інформаційний такт) модульованих сигналів, що пояснюють збільшенням відстані між сигнальними точками на сигнальній площині.

Отже, АМБС має вищу завадостійкість порівняно з КАМ за однакової максимальної потужності модульованого сигналу та однакової інформативності, або ж потребує меншої середньої потужності модульованого сигналу за тієї самої завадостійкості.

Результати розрахунку ефективності телекомунікаційної системи чи мережі за різних видів модуляції та ймовірності символної помилки $P_{\text{сим}} = 10^{-5}$ або бітової помилки $P_0 = 10^{-5}$ наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Ефективність телекомунікаційної системи чи мережі за різних видів модуляції

Вид модуляції	γ , дБ	$P_{\text{сим}} = 10^{-5}$		$P_0 = 10^{-5}$	
		β , дБ	η	β , дБ	η
32-КАМ	6,99	-16,12	0,651	-15,41	0,671
36-КАМ	7,14	-16,65	0,654	-15,93	0,674
32-АМБС	6,99	-15,71	0,662	-15,03	0,683
36-АМБС	7,14	-16,26	0,665	-15,56	0,685
37-АМБС	7,17	-16,12	0,673	-15,42	0,693

З табл. 3 бачимо, що телекомунікаційна система чи мережа на основі АМБС має вищу інформаційну ефективність η порівняно з КАМ за однакової інформативності. Енергетична ефективність β 37-АМБС вища від 36-КАМ не менше ніж на 0,5 дБ.

На підставі виконаних досліджень можна вдосконалити відоме сімейство технологій ADSL застосуванням запропонованого методу адаптивного передавання даних у телекомунікаційних мережах доступу на основі симетричних і коаксіальних ліній зв'язку з використанням АМБС, що полягає в адаптивному виборі різновиду модуляції та коректуючого коду (зокрема, застосування ґраткового коду), які за певного співвідношення потужності сигналу до потужності завади в телекомунікаційному каналі на основі симетричної чи коаксіальної лінії зв'язку забезпечують найвищу можливу швидкість передавання даних та ефективність телекомунікаційного каналу, а також ймовірність бітової помилки $P_{0д}$, що не перевищує заданої $P_{0з}$ для нормальної роботи мережі. У цьому разі для налагодження з'єднання в телекомунікаційному каналі використовують згорткове кодування зі ступенем кодування 1/3 та бінарну фазову маніпуляцію (БФМн). У випадку, коли ймовірність бітової помилки декодування $P_{0д}$ значно менша від допустимого рівня $P_{0з}$, виконують передавання даних з більшою швидкістю v_0 , використовуючи один з різновидів модуляції КФМн, 6(7)-АМБС, 8-ФМн, 16-КАМ, 18(19)-АМБС, 32-КАМ, 32(36, 37)-АМБС, 60(61)-АМБС, 64-КАМ та, наприклад, згорткове кодування зі ступенем кодування 1/2, 2/3, 3/4 або ґраткове кодування. За умов перевищення допустимого рівня ймовір-

ності бітової помилки декодування $P_{бд}$ для передавання даних застосовують модуляцію з вищою завадостійкістю та коректуючий код з більшою надлишковістю. Керування режимами кодера, модулятора, демодулятора й декодера виконують в автоматичному режимі за результатами визначення ймовірності бітової помилки під час приймання даних, у цьому разі режими кодера й модулятора змінюють через лінію передавання даних у зворотному напрямі. Для модуляції й демодуляції в усіх випадках застосовують модулятор та демодулятор АМБС, для коректувального або ґраткового кодування й декодування – коректуючий або ґратковий кодер та декодер, відповідно.

Запропонований метод дає змогу в разі зміни відношення потужності сигналу до потужності шуму в телекомунікаційному каналі адаптивно переходити на застосування ефективнішої модуляції та кодування, завдяки чому підвищити середню швидкість передавання даних у телекомунікаційному каналі й, відповідно, інформаційну ефективність телекомунікаційної мережі доступу загалом.

Отже, у випадку використання АМБС збільшується відстань між сигнальними точками на сигнальній площині, завдяки чому зменшується ймовірність помилки на виході демодулятора телекомунікаційного каналу порівняно з використанням КАМ за однакових максимальної потужності та інформативності модульованого сигналу. У телекомунікаційному каналі на основі АМБС за меншої середньої потужності модульованого сигналу можливо забезпечити таку ж завадостійкість, як і в разі застосування КАМ. Телекомунікаційна система чи мережа на основі АМБС має вищу інформаційну ефективність η порівняно з КАМ за однакової інформативності.

Запропонований метод адаптивного передавання даних у телекомунікаційних мережах доступу на основі симетричних і коаксіальних ліній зв'язку з використанням АМБС дає змогу вдосконалити відому сім'ю технологій ADSL. Такий метод у разі зміни відношення потужності сигналу до потужності шуму в телекомунікаційному каналі передбачає адаптивний перехід на застосування ефективнішої модуляції та кодування, завдяки чому можливо підвищити середню швидкість передавання даних у телекомунікаційному каналі й, відповідно, інформаційну ефективність телекомунікаційної мережі доступу загалом.

Запропоновані АМБС і метод адаптивного передавання даних доцільно застосовувати в ході проектування сучасних телекомунікаційних систем та мереж передавання даних.

Напрямом подальших досліджень є виявлення найефективніших і економічних методів формування розглянутих видів модуляції сигналу.

1. ITU-T Recommendation G.992.1. Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. – Geneva : ITU, 2000. – 256 p.
2. ITU-T Recommendation G.992.3. Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2). – Geneva : ITU, 2010. – 404 p.
3. ITU-T Recommendation G.992.5. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+). – Geneva : ITU, 2004. – 92 p.

4. *Бакланов И.Г.* Технологии ADSL/ADSL2+: теория и практика применения / И.Г. Бакланов. – М. : Метротек, 2007. – 384 с. ил. (Сер. Системы эксплуатации связи).
5. *Горбатий І.В.* Системи дистанційного зондування Землі з космосу : монографія / І.В. Горбатий. – Львів : СПОЛОМ, 2011. – 612 с.
6. *Горбатий І.В.* Амплітудна модуляція багатьох складових / І.В. Горбатий // Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – 2009. – Вип. 50. – С. 186–190.

**IMPROVEMENT OF THE ADSL DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES
FAMILY BY THE USE OF AMPLITUDE MODULATION
OF MANY COMPONENTS**

I. Gorbatyy

*Lviv Polytechnic National University,
S. Bandera Str., 12, UA-79013 Lviv, Ukraine.
giv@polynet.lviv.ua*

The known ADSL technologies family that applies for the data transmission by the telecommunication access networks on the basis of symmetric telecommunication lines was considered. The dependence of data transmission throughput of leased telecommunication channel on the basis of ADSL technology from the telecommunication line length in stripe of working frequencies 1,104 MHz and 2,208 MHz was given. The method of adaptive data transmission in the telecommunication access networks on the basis of symmetric and coaxial telecommunication lines with the use of amplitude modulation of many components (AMMC) was offered. The possibility of reduction of the bit error rate in the process of data transmission and rise of efficiency of telecommunication access networks in case of application of offer method was shown.

Key words: ADSL, ADSL2, ADSL2+ and ADSL2+M technologies, amplitude modulation of many components, bit error rate, efficiency of telecommunication network.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕМЕЙСТВА ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ
ДАНЫХ ADSL ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ
МНОГИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ**

И. Горбатый

*Национальный университет “Львовская политехника”,
ул. С. Бандеры, 12, 79013, Львов, Украина.
giv@polynet.lviv.ua*

Рассмотрено известное семейство технологий ADSL, которое применяют для передачи данных телекоммуникационными сетями доступа на основе симметричных линий связи. Получена зависимость пропускной способности выделенного телекоммуникационного канала на основе технологии ADSL от длины линии связи в полосе рабочих частот 1,104 МГц и 2,208 МГц. Предложен метод адаптивной передачи данных в телекоммуникационных сетях доступа на основе симметричных и коаксиальных линий связи с использованием амплитудной модуляции многих составляющих (АММС). Показана возможность уменьшения вероятности битовой ошибки при передаче данных и повышения эффективности телекоммуникационных сетей доступа при применении предложенного метода.

Ключевые слова: технологии ADSL, ADSL2, ADSL2+ и ADSL2+M, амплитудная модуляция многих составляющих, вероятность битовой ошибки, эффективность телекоммуникационной сети.

Стаття надійшла до редколегії 15.05.2012

Прийнята до друку 16.01.2013