

УДК 621.395.741

В.И. Орешков, магістр, Одес. нац. акад. зв'язи
А.С. Попова

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕКОНСТРУКЦИИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СЕЛЬСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ SHDSL

В.И. Орешков. Эффективность реконструкции з'єднувальних ліній сільської телефонної мережі на базі технології SHDSL. Виконано дослідження впливу терміну експлуатації кабелів КСПП з'єднувальних ліній сільської телефонної мережі на швидкісну характеристику систем передавання SHDSL, що працюють по цих з'єднувальних лініях, та проведено аналіз ефективності реконструкції з'єднувальних ліній сільської телефонної мережі при застосуванні технології SHDSL.

Ключові слова: з'єднувальна лінія, ефективність реконструкції, швидкісна характеристика, термін експлуатації, з'єднувальна лінія.

В.И. Орешков. Эффективность реконструкции соединительных линий сельской телефонной сети на базе технологии SHDSL. Выполнено исследование влияния срока эксплуатации кабелей КСПП соединительных линий сельской телефонной сети на скоростную характеристику работающих по этим соединительным линиям систем передачи SHDSL и проведён анализ эффективности реконструкции соединительных линий сельской телефонной сети при применении технологии SHDSL.

Ключевые слова: соединительная линия, эффективность реконструкции, скоростная характеристика, срок эксплуатации, соединительная линия.

V.I. Oreshkov. Effectiveness of reconstructing the rural telephone network connecting lines based on SHDSL technology. The influence of lifetime of communication cables of a rural telephone network connecting lines on the rate characteristic of SHDSL transmission systems using these lines is investigated. The effectiveness of reconstructing the connecting lines of the rural telephone network using SHDSL technology is analyzed.

Keywords: connecting line, effectiveness of reconstruction, rate characteristic, lifetime, connecting line.

Для жителей сельских населенных пунктов страны доступ к современным инфокоммуникационным услугам (ИКУ) ограничен использованием традиционной телефонной связью. Поэтому первоочередным шагом должно стать расширение современной инфокоммуникационной инфраструктуры сельских административных районов [1].

При построении сети связи наибольшую долю расходов составляют стоимость кабелей связи и затраты на их прокладку, а на сельской телефонной сети (СТС) Украины между АТС проложено более 100 тыс. км кабелей (в основном типа КСПП [2]) [3]. Учитывая это, экономически эффективным путем преодоления данной проблемы является использование существующих кабелей СТС, т.е. реконструкция соединительных линий (СЛ) между районной и сельскими АТС (рис. 1). Под СЛ понимают совокупность каналов, образуемых в телефонной сети для соединения телефонных станций и узлов между собой или подстанций с опорными станциями местной телефонной сети. На сегодняшний день СЛ СТС преимущественно организованы с помощью оборудования цифровых систем передачи с импульсно-кодовой модуляцией (ЦСП ИКМ: ИКМ-15, ИКМ-30, ИКМ-30С) [3], которым уплотняется кабель КСПП. Предлагается вариант реконструкции СЛ организованной с помощью оборудования ИКМ-30С, заключающейся в замене оборудования линейного тракта (ОЛТ) и регенераторов ИКМ-30С на станционные модемы и линейные регенераторы системы передачи (СП) SHDSL, при этом желательно сохранить номинальную длину регенерационного участка ИКМ-30С. Стоит отметить, что в случае аналоговой АТС необходимо сохранить от ИКМ-30С аналогово-цифровое оборудование (АЦО-30) для формирования первичного цифрового потока Е1, а цифровая АТС (ЦАТС) уже имеет соответ-

ствуючий інтерфейс, поэтому ИКМ-30С демонтируется полностью. Важно, что СП SHDSL имеет интерфейсы Ethernet для подключения к сети Internet. Таким образом, наряду с традиционными услугами связи, обеспечивается доступ к современным ИКУ.

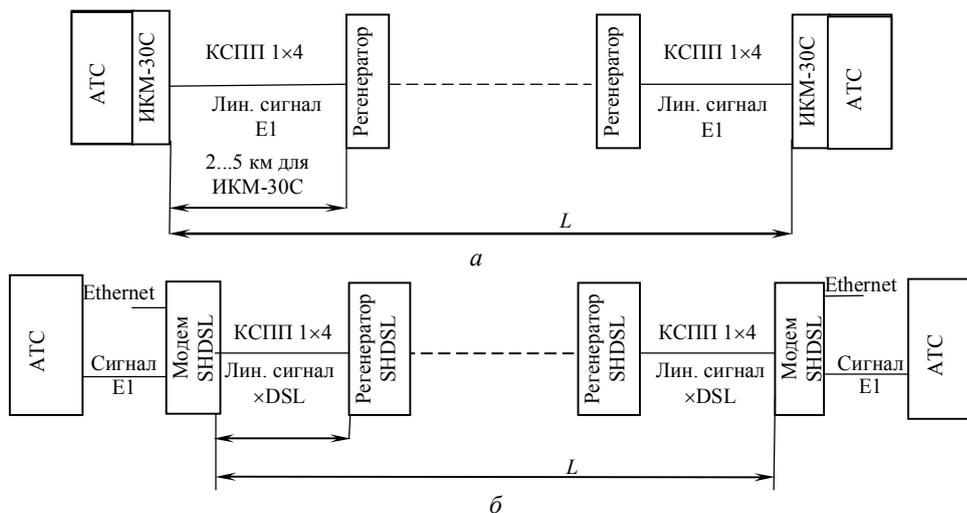


Рис. 1. Структурная схема соединительных линий СТС: до реконструкции (а); после реконструкции (б); $L_{max}=90$ км для КСПП $1 \times 4 \times 0,9$; 110 км для КСПП $1 \times 4 \times 1,2$

Доказана актуальность модернизации сельской сети, в частности, реконструкция СЛ, построенных с использованием кабелей типа КСПП, на базе технологий SHDSL [4], но не определено, насколько технически эффективен вариант замены ИКМ-30С на SHDSL.

Предполагается, что на СЛ СТС работает одна система передачи ИКМ-30С, соответственно скорость передачи до реконструкции составляет 2,048 Мбит/с, что не отвечает современным требованиям доступа к ИКУ (рис. 1, а). Техническая эффективность реконструкции СЛ, в первую очередь, определяется отношением скорости передачи, организованной по СЛ, после реконструкции к скорости передачи до реконструкции. Следовательно требуется рассчитать скорость передачи, которую можно организовать по СЛ при использовании СП SHDSL.

Известны исследования достижимых скоростей передачи технологий xDSL [5, 6], которые позволили обосновать целесообразность применения СП SHDSL для реконструкции СТС. Однако проведенные расчеты зависимости скоростной характеристики $R(L)$ — скорости передачи от длины регенерационного участка СП SHDSL учитывали паспортные характеристики сельских кабелей типа КСПП [2], соответствующие началу срока эксплуатации ($t_3=0$). Но следует учитывать, что со временем, в процессе эксплуатации СЛ из-за старения, некачественного монтажа или ремонта кабеля ухудшаются его параметры: снижается сопротивление изоляции жил, увеличиваются асимметрия и рабочее затухание, уменьшается переходное затухание на ближнем и дальнем концах между парами. Следовательно, изменение параметров кабеля связи влияет на скоростную характеристику $R(L)$ СП, работающей по нему.

Предлагаются:

— результаты исследования зависимости скоростной характеристики $R(L)$ СП SHDSL от срока эксплуатации соединительных линий СТС;

— оценка технической эффективности реконструкции СЛ СТС на базе технологии SHDSL на основе полученных данных.

Расчет $R(L)$ СП SHDSL проведен по методике [6]. Изменение параметров кабелей типа КСПП определено по результатам статистических исследований характеристик кабелей КСПП- $1 \times 4 \times 0,9$ и КСПП- $1 \times 4 \times 1,2$, долгое время находящихся в эксплуатации, в частности, зависимость увеличения коэффициента затухания $\Delta\alpha(f)$ и уменьшения переходного затухания на ближнем

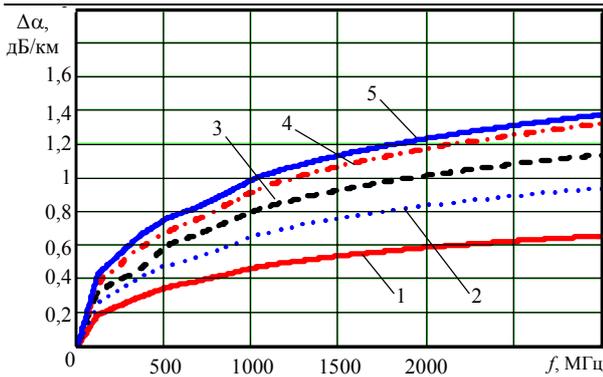


Рис. 2. Частотна залежність збільшення коефіцієнта затухання при $t_{э}$: 5 (1); 10 (2); 15 (3); 20 (4); 25 (5) лет

1...120 кГц — лінійна екстраполяція, а в полосе 1,024...2,5 МГц — екстраполяція по закону двоїчного логарифма (с збільшенням частоти f в два рази $\Delta\alpha(f)$ збільшується на визначену величину).

Як вказано при паралельній роботі двох СП SHDSL вимагається враховувати перехідні перешкоди на ближній і дальній кінці [6], при цьому ΔA_0 і ΔA_l приймалися рівними 5,5; 8,5; 10; 11 і 12 дБ, відповідно для $t_{э}$: 5, 10, 15, 20 і 25 лет [2].

Приведені результати розрахунків $R(L)$ СП SHDSL в залежності від строку експлуатації при роботі однієї СП (без перехідних перешкод) по кабелю КСПП-1×4×1,2 і рівні адитивної перешкоди з рівномірною спектральною щільністю потужності (АПРСПМ) $N_{\text{АПРСПМ}}(f) = -140$ дБм/Гц (рис. 3). Під АПРСПМ розуміється сума адитивних перешкод від всіх можливих внутрішніх і зовнішніх джерел (теплові шуми, ЛЭП, атмосферні перешкоди і др.), крім перехідних перешкод і ехо-перешкод, потужність яких можна розрахувати по характеристикам кабелю (робоче затухання, затухання на ближньому і дальньому кінцях) і СП (спектральна щільність потужності сигналу). Тенденція зміни швидкісної характеристики $R(L)$ в залежності від строку експлуатації $t_{э}$ при інших умовах роботи (рівень перешкод, кількість паралельно працюючих СП, тип кабелю) буде аналогічно, тому достатньо розглянути один варіант.

При збільшенні $t_{э}$ кабелю ступінчастий вигляд швидкісної характеристики $R(L)$ СП SHDSL [6] зберігається, але сама характеристика зміщується “вліво” (в бік зменшення довжини регенераційного ділянки), що обумовлено збільшенням затухання сигналу і, відповідно, зменшенням очікуваної захищеності. В результаті на плоских ділянках $R(L)$ перегиб графіка, відповідний рівності очікуваної і допустимої захищеності при фіксованому типі лінійного кодування, відбувається при меншій довжині регенераційного ділянки. На нахилних ділянках $R(L)$ швидкість передачі має обернено пропорційну залежність від $t_{э}$ кабелю і визначається значенням його $\Delta\alpha(f)$.

Загальна тенденція зменшення швидкості передачі в залежності від $t_{э}$ (см. рисунок 3) при фіксованій довжині регенераційного ділянки така: якщо прийняти за 100 % різницю між швидкостями передачі по новій СЛ і лінії, що знаходиться в експлуатації 25 лет, то найбільше падіння швидкості спостерігається в перші п'ять лет експлуатації — це 45...50 %, решта 50...55 % приходяться на рештє час: приче $\approx 16...20$ % — зменшення швидкості на ділянці часу 5...10 лет, і на останньому ділянці 20...25 лет зменшення швидкості передачі не перевищує 9 % від загального значення.

Аналогічні відсоткові співвідношення спостерігаються для залежності довжини регенераційного ділянки від $t_{э}$ кабелю при фіксованій швидкості передачі.

Ці дані дозволяють зробити висновок, що суттєве погіршення $R(L)$ СП SHDSL відбувається в перші п'ять лет експлуатації кабелю, далі спостерігається уповільнення падіння і на ділянці 20...25 лет зменшення швидкості передачі незначущо мало.

ΔA_0 і дальнєм ΔA_l кінцях від строку експлуатації $t_{э} = 1...25$ лет [2]. Розрахунки проведені для $t_{э,i}$ кратних п'яти годам.

Результати статистических досліджень характеристик кабелю типу КСПП приведені лише на окремих частотах в ділянці 120...1024 кГц при гармонічєсєм впливі, тому до початку розрахунків швидкісеских характеристик СП SHDSL, що працює в ділянці частот 0,001...2,5 МГц, виконана апроксимація збільшення коефіцієнта затухання $\Delta\alpha(f)$ в усєй робочєй ділянці частот в залежності від $t_{э}$ (рис. 2).

В ділянці частот 0,12...1,024 МГц виконана лінійна інтерполяція, в ділянці

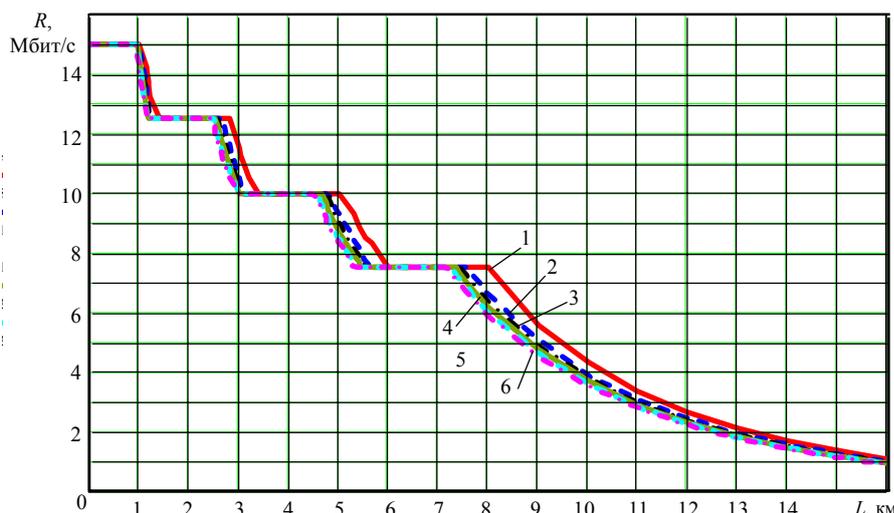


Рис. 3. Скоростная характеристика СП SHDSL без переходных помех при работе по кабелю КСПП-1×4×1,2; $N_{\text{АПРСМ}}(f) = -140$ дБм/Гц и $t_{\text{э}}: 0$ (1); 5 (2); 10 (3); 15 (4); 20 (5); 25 (6) лет

Аналогичные процентные соотношения наблюдаются для зависимости длины регенерационного участка от $t_{\text{э}}$ кабеля при фиксированной скорости передачи.

Данные результаты позволяют сделать вывод, что существенное ухудшение $R(L)$ СП SHDSL происходит в первые пять лет эксплуатации кабеля, далее наблюдается замедление падения и на отрезке 20...25 лет уменьшение скорости передачи пренебрежительно мало.

На большинстве СЛ СТС кабель типа КСПП находится в эксплуатации более 15...20 лет, поэтому имеет смысл оценивать ухудшение $R(L)$ при максимальном $t_{\text{э}} = 25$ лет относительно новой СЛ:

- при фиксированной длине регенерационного участка уменьшение скорости передачи находится в пределах 13...20 %;
- при фиксированной скорости передачи уменьшение длины регенерационного участка находится в пределах 10...12,5 %.

Так как реконструкция СТС подразумевает замену оборудования конечных и промежуточных станций ИКМ-30С на оборудование SHDSL, то для оценки влияния срока эксплуатации соединительных линий СТС на техническую эффективность их реконструкции необходимо рассчитать скорости передачи, которые можно обеспечить с помощью СП SHDSL на стандартных длинах регенерационных участков ИКМ-30С.

Результаты расчетов получены соответственно при работе одной (без переходных помех) и параллельной работе двух (с переходными помехами) СП SHDSL (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты расчетов скорости передачи СП SHDSL на стандартных длинах регенерационного участка ИКМ-30С в зависимости от срока эксплуатации СЛ при работе одной СП

Длина регенерационного участка ИКМ-30С, км	Тип кабеля	$N_{\text{АПРСМ}}(f)$, дБм/Гц	$t_{\text{э}}$, лет					
			Начало эксплуатации	5	10	15	20	25
			R , Мбит/с					
4,4	КСПП-1×4×1,2	-140...-120	10	10	10	10	10	10
		-110	9,85	9	8,71	8,5	8,29	8,13
		-100	7,48	6,9	6,7	6,51	6,38	6,28
3,6	КСПП-1×4×0,9	-140...-120	10	10	10	10	10	10
		-110	9,85	9,11	8,86	8,67	8,48	8,33
		-100	7,5	7	6,8	6,68	6,55	6,47

Таблиця 2

Результаты расчетов скорости передачи СП SHDSL на стандартных длинах регенерационного участка ИКМ-30С в зависимости от срока эксплуатации СЛ при параллельной работе двух СП

Длина регенерационного участка ИКМ-30С, км	Тип кабеля	$N_{\text{АПРСИМ}}(f)$, дБм/Гц	$t_{\text{э}}, \text{лет}$					
			Начало эксплуатации	5	10	15	20	25
			R , Мбит/с					
4,4	КСПП-1×4×1,2	-140...-130	8	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-120	7,9	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-110	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-100	6,8	6,3	6,1	5,98	5,85	5,75
3,6	КСПП-1×4×0,9	-140...-130	8,05	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-120	7,95	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-110	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		-100	6,82	6,4	6,25	6,13	6	5,93

Работа одной СП SHDSL (без переходных помех):

— при $N_{\text{АПРСИМ}}(f) = -140 \dots -120$ дБм/Гц ухудшение параметров кабеля не сказывается на работе СП, т.е. достижимая скорость передачи, как и при работе по новому кабелю, составляет 10 Мбит/с (см. рисунок 3, где длине регенерационного участка ИКМ-30С соответствует “плоский” участок скоростной характеристики СП SHDSL, соответствующий линейному кодированию ТС РАМ-32;

— при $N_{\text{АПРСИМ}}(f) = -110 \dots -100$ дБм/Гц длина регенерационного участка ИКМ-30С находится на “наклонном” участке $R(L)$ СП SHDSL, соответственно ухудшение параметров кабеля приводит к уменьшению скорости передачи, которые не превышает 17,5 % по сравнению с новым кабелем.

Параллельная работа двух СП SHDSL (с переходными помехами):

— при $N_{\text{АПРСИМ}}(f) = -140 \dots -120$ дБм/Гц в первые пять лет эксплуатации происходит уменьшение скорости передачи с 8 до 7,5 Мбит/с, что определяется переходом работы СП с линейного кодирования ТС РАМ-32 на ТС РАМ-16; далее скорость не изменяется, т.к. длина регенерационного участка ИКМ-30С находится на “плоском” участке скоростной характеристики СП SHDSL, соответствующему линейному кодированию ТС РАМ-16; уменьшение скорости передачи в этом случае не превышает 7 % относительно новой СЛ;

— при $N_{\text{АПРСИМ}}(f) = -110$ дБм/Гц длине регенерационного участка ИКМ-30С соответствует “плоский” участок скоростной характеристики СП SHDSL, соответствующий линейному кодированию ТС РАМ-16, поэтому скорость передачи не зависит от $t_{\text{э}}$ кабеля;

— при $N_{\text{АПРСИМ}}(f) = -100$ дБм/Гц полученные результаты объясняются так же, как и при работе одной СП, уменьшение скорости передачи в этом случае не превышает 15,5 % относительно работы по новому кабелю.

Проведенные расчеты показали, что применение технологии SHDSL на сельской телефонной сети позволяют увеличить эффективность использования существующих соединительных линий. Снижение эффективности для кабеля, находящегося в эксплуатации длительное время, не превышает 20 % и не является критичным при проведении реконструкции соединительных линий СТС, при этом обеспечивается увеличение скорости передачи по соединительным линиям по сравнению с ИКМ-30С более чем в 5,5 раз.

Литература

1. З'єднати села й ІКТ // ДК Зв'язок. — 2011. — № 17 (698), 12 травня. — С. 1.
2. Парфенов, Ю.А. Кабели электросвязи. / Ю.А. Парфенов // М.: Эко-Трендз, 2003. — 256 с.

3. Стан розвитку зв'язку в Україні за 2006 рік. // Статистичний бюлетень. — К., 2007.
4. Кабанов М.В. Использование оборудования SHDSL при модернизации СТС / М.В. Кабанов, Д.С. Маслов // Вестник связи. — 2007. — № 12. — С. 50 — 53.
5. Мамедов, Г.А. Параллельная работа xDSL-модемной сети абонентского доступа / Г.А. Мамедов, Т.М. Мансуров, Э.Т. Мансуров // Электросвязь. — 2011. — № 2. — С. 34 — 38.
6. Ляховецький, Л.М. Дослідження швидкісних характеристик системи передачі SHDSL при роботі по кабелях типу КСПП / Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, В.М. Молога // Наук. пр. ОНАЗ ім. О.С. Попова. — 2011. — № 2. — С. 141 — 147.

References

1. Ziednaty sela y IKT [To Connect Villages and ICT] // DK Zviazok [Communication] —2011. — # 17 (698), may 12. — p. 1.
2. Parfenov Yu.A. Kabeli elektrosvyazi. [Telecommunication Cables] / Y.A. Parfenov // Moscow, 2003. — 256 p.
3. Stan rozvytku zviazku v Ukraini za 2006 rik [State of Communications Development in Ukraine in 2006] // The statistical bulletin. — Kyiv, 2007.
4. Kabanov M.V. Ispol'zovanie oborudovaniya SHDSL pri modernizatsii STS [Use of SHDSL Equipment for Modernization of the RTN] / M.V. Kabanov, D.S. Maslov // Vestnik svyazi [Bulletin of Communications] — 2007. — # 12. — pp. 50 — 53.
5. Mamedov G.A. Parallelnaya rabota xDSL-modemov seti abonentskogo dostupa. [Parallel Operation of xDSL-Modems of Subscriber Access Network] / G.A. Mamedov, T.M. Mansurov, E.T. Mansurov // Elektrosvyaz' [Telecommunications] — 2011. — # 2. — pp. 34 — 38.
6. Liakhovetskiy, L.M. Doslidzhennia shvydkisnykh kharakterystyk systemy peredachi SHDSL pry roboti po kabeliakh typu KSPП [Investigation of rate characteristics of the SHDSL transmission system working on cables of KSPП type] / L.M. Liakhovetskiy, V.I. Oriesnikov, V.M. Moloha // Nauk. pr. ONAZ im. O.S. Popova [scientific papers ONAT na. A.S. Popova] — 2011. — # 2. — pp. 141 — 147.

Рецензент д-р техн. наук, проф. ГП “ОНИИС” Андреев А.И.

Поступила в редакцию 28 марта 2012 г.