

УДК 621.396

**ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА СИСТЕМЫ МИТРИС  
ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ**

*Нарытник Т. Н.*

*Национальный технический университет Украины «КПИ»*

*Киев, Украина*

*director@mitris.com*

**ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ ЛІНІЙНОГО ТРАКТУ СИСТЕМИ МІТРИС  
ПРИ ПЕРЕДАВАННІ СИГНАЛІВ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ**

*Нарытник Т. М.*

*Національний технічний університет України «КПІ»*

*Київ, Україна*

*director@mitris.com*

**CAPACITY LINEAR PATH THE TRANSMISSION SYSTEM MITRIS  
DIGITAL TV SIGNALS**

*Narytnik T.*

*National Technical University of Ukraine "KPI"*

*Kiev, Ukraine*

*director@mitris.com*

**Аннотация.** Проанализирована связь пропускной способности линейного тракта системы МИТРИС при передаче сигналов цифрового телевидения с энергетическими показателями радиолинии при использовании стандарта передачи DVB-S (DVB-S2). Показано, что новейшие технологии по сжатию и обработке цифровых сигналов позволяют значительно увеличить пропускную способность линейных трактов при существующем частотном ресурсе системы МИТРИС в диапазоне частот 11,7...12,5 ГГц.

**Ключевые слова:** система МИТРИС, пропускная способность, линейный тракт, DVB-S (DVB-S2), энергетические показатели, радиолиния, цифровое телевидение.

**Анотація.** Проаналізовано зв'язок пропускної здатності лінійного тракту системи МІТРИС при передачі сигналів цифрового телебачення з енергетичними показниками радіолінії при використанні стандарту передачі DVB-S (DVB-S2). Показано, що новітні технології зі стиснення і обробки цифрових сигналів дозволяють значно збільшити пропускну здатність лінійних трактів при існуючому частотному ресурсі системи МІТРИС в діапазоні частот 11,7...12,5 ГГц.

**Ключові слова:** система МІТРИС, пропускну здатність, лінійний тракт, DVB-S (DVB-S2), енергетичні показники, радіолінія, цифрове телебачення.

**Abstract.** Analyzed the link bandwidth linear path system MITRIS transmission of digital television signals with energy performance using radio transmission standard DVB-S (DVB-S2). It is shown that the latest technology for compression and digital signal processing can significantly increase the throughput of linear paths with the existing system MITRIS frequency resource in the frequency range of 11.7 ... 12.5 GHz.

**Key words:** MITRIS, bandwidth, linear path, DVB-S (DVB-S2), energy performance, radio link, a digital TV.

**Введение.** История украинской радиотехнологии МИТРИС насчитывает уже более 20 лет. За это время архитектура сетей МИТРИС эволюционировала от простейших аналоговых сетей вещания, охватывающих до 30 ТВ программ, до довольно сложных сетей, объединяющих в себе функции вещания и передачи данных, и даже до более сложных систем,

включающих еще и подсистемы сбора видеоинформации. В результате перехода на цифровые методы передачи видео система увеличила свою пропускную способность и стала более универсальной, допуская самые разнообразные конфигурации, способные отвечать любым требованиям потребителей услуг. При этом были сохранены все наиболее привлекательные особенности данных систем (энергетическая эффективность, экологические характеристики и т.д. [1...10].) Спустя 10 лет после ее появления в Украине на подобные системы обратили внимание и за рубежом. В США подобная сеть вещания и передачи данных получила название Multichannel Video Distribution and Data Service (MVDDS).

Одной из важнейших проблем дальнейшего развития радиотехнологии МИТРИС является повышение спектральной эффективности телекоммуникационных систем при передаче цифрового телевидения, что определяется в основном пропускной способностью линейного тракта системы передачи.

**Цель статьи** состоит в том, чтобы связать пропускную способность линейного тракта системы МИТРИС – максимальную скорость передачи транспортного потока цифрового телевидения, формированного по стандарту MPEG-2 или MPEG-4, – с энергетическими показателями радиолинии системы передачи МИТРИС при использовании стандарта передачи DVB-S (DVB-S2) и определённых энергетических показателей центральной (ЦС) и абонентских (АС) станций. В транспортном потоке могут передаваться несколько программ телевидения и данные методом временного уплотнения. Это обусловлено тем, что новейшие технологии по сжатию и обработке цифровых сигналов позволяют значительно увеличить пропускную способность линейных трактов при существующем частотном ресурсе системы МИТРИС в диапазоне 11,7...12,5 ГГц.

В системе МИТРИС, как и в спутниковых системах, для передачи сигналов цифрового телевидения используется квадратурная фазовая манипуляция ФМ-4 и два вида кодирования:

- внутреннее свёрточное кодирование с алгоритмом декодирования Витерби при относительных скоростях кодирования  $R_{CB}$ , равных  $1/2$ ;  $2/3$ ;  $3/4$ ;  $5/6$ ;  $7/8$ ;
- внешнее по Риду-Соломону с  $R_{PC} = 204/188$ .

При коэффициенте сигнала  $K_{сиг} = 10^{-1} \dots 10^{-2}$  на входе демодулятора внутреннее декодирование обеспечивает коэффициент ошибок  $2 \times 10^{-4}$ , а внешнее уменьшает его до  $10^{-11}$ .

**При расчётах пропускных способностей радиоканалов с применением каскадного кодирования и учётом скругления следует пользоваться следующим основным расчётным соотношением:**

$$B_H = \frac{R_{инф} \times R_{pc} \cdot \alpha}{FEC \cdot \log_2 M},$$

где:  $M$  – число уровней манипуляции, которое используется для передачи данных.

$R_{инф}$  – (Мбит/с) – скорость передачи цифрового потока от источника (информационная скорость)

$R_{pc}$  – уменьшение скорости передачи за счет применения кодирования по Риду-Соломону

$1/FEC$  – уменьшение скорости передачи за счет применения свёрточного кодирования

$\alpha$  – коэффициент увеличения (1,15...1,35) полосы по сравнению с занимаемой полосой для передачи сигнала без искажений (выбирается равным 1,35 для стандарта DVB-S, S2).

Следует помнить, что в информационную скорость передачи кроме полезной информации включается также скорость кодирования видеосигнала, сигнала звукового сопровождения, служебная информация  $PSi$  для сигнала MPEG-2,4 и служебная информация  $Si$  для тракта DVB-S, S2 и другая дополнительная информация.

Максимальная скорость передачи информации в системе для ФМ-4 ( $M = 4$ ) равна

$$R_{инф} = 2B_3 \cdot R_{CB} / R_{PC},$$

где  $B_3$  – ширина полосы, занимаемая сообщением.

Значение  $B_3$  определяется как полоса частот, в пределах которой сосредоточено  $(1-\beta)\%$ . Для сигналов всех классов излучения, кроме специально оговоренных, полоса  $B_3$  не должна превышать необходимую ширину полосы частот  $B_H$  больше, чем на 20%.

В соответствии с требованиями Регламента радиосвязи необходимая ширина полосы частот является частью полного обозначения излучений и для системы МИТРИС согласно ТУ У 32.2-1913337-014-2004  $B_H = 40$  МГц, а  $B_3 = 42$  МГц.

В свою очередь, полоса, занимаемая сигналом, зависит от фильтра, формирующего спектр сигнала на выходе модулятора и, конечно, от формы модулированного сигнала. В последнее время используют фильтр с характеристикой, имеющей вид приподнятого косинуса и описываемой следующим выражением

$$H(f) = 1 \text{ для } |f| \geq f_N(1-r);$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left[\left(\frac{\pi}{2} f_N\right) \left(f_N - |f|\right) / r\right] \right\} \text{ для } f_N(1-r) < |f| < f_N(1+r);$$

$$H(f) = 0 \text{ для } |f| \geq f_N(1+r),$$

где  $f_N = 1/2T_{\text{сум}} = R_{\text{сум}} / 2$  – частота Найквиста,

$r$  – коэффициент скругления.

Для демодулятора обычно выбирается фильтр с подобной характеристикой.

Фактически коэффициент  $r$  будет определять занимаемую полосу  $B_3$ . Для модулятора рекомендуется брать  $r = 0,35$ , что мы имеем в системе МИТРИС.

В табл. 1 предоставлены максимальные значения скорости передачи сигналов цифрового телевидения в зависимости от скорости кодирования для занимаемой полосы частот 40 МГц.

Таблица 1 – Максимальные значения скорости передачи сигналов цифрового телевидения в зависимости от скорости кодирования

B <sub>3</sub> , МГц	R <sub>инф</sub> , Мбит/с при скорости кодирования				
	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
42 МГц	38,8	51,6	58,1	64,5	67,7

Чтобы получить коэффициент ошибок  $2 \cdot 10^{-4}$  на выходе декодера Витерби, на входе демодулятора должны быть обеспечены определённые отношения энергии одного бита к спектральной плотности шума. В табл. 2 приведены пороговые значения при работе демодулятора шлейфом с модулятором и отношения сигнал/шум в занимаемой полосе для различных  $R_{CB}$ .

Таблица 2 – Пороговые значения при работе демодулятора шлейфом с модулятором и отношения сигнал/шум в занимаемой полосе для различных  $R_{CB}$ .

$R_{CB}$	$E_B / N_0$ , дБ	$E_B / N_0$ , дБ с учётом энергетических потерь	$C/N_3$ , дБ
1/2	4,5	6,9	6,55
2/3	5,0	7,4	8,3
3/4	5,5	7,9	9,3
5/6	6,0	8,4	10,3
7/8	6,4	8,8	10,9

Отношения сигнал/шум в занимаемой полосе рассчитаны по формуле

$$\frac{C}{N_3} = \frac{E_B}{N_0} + 10 \lg(2R_{CB} / R_{HC}).$$

Для получения отношения  $\frac{E_B}{N_0}$  с учетом энергетических потерь в линейном тракте к

пороговым значениям прибавлено 2,4 дБ – системный запас на появление переходных шумов – продуктов нелинейности из-за неидеальности амплитудных, частотных характеристик, характеристик группового времени запаздывания высокочастотных приемо-передающих трактов и продуктов нелинейности передающих трактов ЦС.

Все данные табл.2 рассчитаны без запаса на реальные условия распространения, т.е. на замирания.

### Расчёт пропускной способности линейного тракта системы

Для обеспечения требуемого качества радиолиний в соответствии с табл.2 необходимо определенное отношение сигнал/шум в занимаемой сигналом полосе на входе демодулятора, или, что то же самое, на входе приемного устройства в радиолинии. Это отношение зависит от энергетических параметров радиолинии и определяется выражением:

$$\frac{C}{N_3} = \text{ЭИИМ} - L - k + \left( \frac{G}{T_{ш}} \right)_{AC} - B_3 \text{ [дБГц]},$$

где ЭИИМ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность передатчика ЦС, дБВт,  $L$  – затухание в свободном пространстве на рабочей частоте;  $k$  – постоянная Больцмана;  $G$  – усиление приемной антенны АС, дБ;  $T_{ш}$  – эквивалентная шумовая температура приемной части АС, К;  $B_3$  – полоса, занимаемая для передачи сигнала цифрового телевидения.

Поскольку  $L = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi d)^2 \cdot f^2}{C^2}$ , получим

$$\text{ЭИИМ} + \left( \frac{G}{T_{ш}} \right)_{AC} = \left( \frac{C}{N_3} + 20(\lg d + \lg f) \cdot 147,56 \cdot 228,6 + 10 \lg B_3 \right)$$

где  $d$  – расстояние между ЦС и АС, м;  $\lambda$  – длина рабочей волны, м;  $f$  – рабочая частота, Гц;  $C$  – скорость света, равная 300 000 км/с.

Итак, пропускная способность линейного тракта системы МИТРИС при передаче транспортного потока со скоростью  $R_{инф}$  определяется энергетическими показателями радиолинии и записывается в виде:

$$10 \lg R_{инф} = \left[ \text{ЭИИМ} + \left( \frac{G}{T_{ш}} \right)_{AC} \right] - \frac{C}{N_3} - 20(\lg d + \lg f) + 147,56 + 228,6 - 10 \lg \frac{R_{PC}}{2R_{CB}}$$

В табл. 3 представлены рассчитанные зависимости информационной скорости системы от отношения сигнал/шум в занимаемой сигналом полосе на входе демодулятора для системы МИТРИС при рабочей частоте  $f = 12,1$  ГГц, различных фиксированных расстояниях между ЦС и АС (10 км, 25 км и 50 км) для значения  $\text{ЭИИМ} + \left( \frac{G}{T_{ш}} \right)_{AC}$ , равного 8 дБВт.

По рассчитанным зависимостям можно определить минимальную необходимую добротность приёмной части абонентской станции при заданной  $\text{ЭИИМ} \leq 3$  дБВт и пропускную способность линейного тракта системы МИТРИС, т.е. максимальную  $R_{инф}$  при коэффициенте ошибок  $2 \cdot 10^{-4}$  на выходе демодулятора.

Таблиця 3

C/N <sub>3</sub> , дБ	Расстояние d=10 км		Расстояние d=25 км		Расстояние d=50 км	
	$\text{ЭИИМ} + \left(\frac{G}{T_{ш}}\right)_{AC}$ , дБВт	R <sub>инф</sub> , Мбит/с	$\text{ЭИИМ} + \left(\frac{G}{T_{ш}}\right)_{AC}$ , дБВт	R <sub>инф</sub> , Мбит/с	$\text{ЭИИМ} + \left(\frac{G}{T_{ш}}\right)_{AC}$ , дБВт	R <sub>инф</sub> , Мбит/с
6,55	8,0	3622,4	8,0	579,4	8,0	144,2
8,3	8,0	3228,5	8,0	516,4	8,0	128,5
9,8	8,0	2890,7	8,0	462,3	8,0	115,1
10,3	8,0	2546,8	8,0	407,4	8,0	101,4
10,9	8,0	2335,5	8,0	369,8	8,0	92,0

### Заключение

Результаты работы могут быть использованы при создании высокоразвитой информационно-телекоммуникационной инфраструктуры на базе радиотехнологии МИТРИС.

Конкурентоспособность системы МИТРИС, которая подтверждена патентами Украины на изобретения, полезные модели и зарубежными патентами на изобретения, а также соответствует международным стандартам и соответствие используемого радиочастотного ресурса Международной таблице распределения частот, позволяет ее внедрению за рубежом на условиях лицензионных условий, создание совместных предприятий и т.д.

Перспективы дальнейшего развития радиотехнологии МИТРИС заключаются в возможной реализации микроволновых систем мультисервисного радиодоступа нового поколения МИТРИС (Постановление Кабинета Министров Украины от 12.03.2012 года №294), в которых согласованно взаимодействуют три основные информационно-коммуникационные сети:

- цифрового телевизионного вещания, включая телевидение высокой и сверхвысокой чёткости, IP-телевидения
- доступа к услугам Интернет и передачи данных
- сбора видеоинформации (видеонаблюдения) и т.д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильченко М.Ю. Телекомунікаційні системи широкопasmового радіодоступу / М.Ю. Ильченко, С.О. Кравчук. – К.:НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2009. – 312с.
2. Ильченко М.Е. Микроволновые телекоммуникационные технологии и биологическая безопасность / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник. // Наука и культура. – № 35. – 2010. – С. 17–29.
3. Спосіб розширення зони обслуговування безпроводової системи доступу до інформаційних ресурсів з одночастотною модуляцією. Патент України на корисну модель № 59212, дата публікації 10.05.2011, Бюл. № 9.
4. Микроволновая интегрированная телерадиоинформационная система МИТРИС-К. Патент Украины на изобретение №50877 от 15.11.2002р. с приоритетом от 30.11.2000р.,
5. Микроволновая интегрирована телерадиоинформационная система МИТРИС-ИНТ. Декларационный патент Украины №51495А с приоритетом от 12.04.2002р.
6. Нарытник Т.Н. Интерактивная система беспроводного доступа к информационным ресурсам / Т.Н. Нарытник, В.А. Сайко, В.Л. Булгач, В.Я. Казимиренко // З'вязок. – № 2. (94). – 2011. – С.32–36.
7. Казимиренко В.Я. Система беспроводного доступа к информационным ресурсам / В.Я. Казимиренко, Т.Н. Нарытник // 4-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» МРФ-2011: Сбор. науч. трудов. – Том II. Международная информация «Телекоммуникационные системы и технологии». – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. – 2011. – С.229–232.
8. Ильченко М.Ю. Етапи еволюційного розвитку системи МИТРИС та концепція побудови микровхвильової інтегрованої телерадіоінформаційної системи мультисервісного радіо доступу UMDS. / М.Ю. Ильченко, Т.М. Нарытник //Науково-технічна конференція [«Проблеми телекомунікацій»] збір. тез. К.:НТУУ «КПІ», 2012. – С.40-43.

9. Ильченко М.Е. Направления создания телекоммуникационных систем мультисервисного доступа с использованием радиотехнологии МИТРИС / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник // Материалы 22-ой Международной Крымской конференции КрыМиКо'2012. – С.289–291.

10. Ксьонзенко П.Я. Особливості побудови міських мереж передачі даних на базі технології МИТРИС/ П.Я. Ксьонзенко, Т.М. Нарытник, П.В. Химич // Наукові вісті НТУУ "КПІ".–2011. –.№6. – С.16–29.

#### REFERENCES

1. Il'chenko, M., and S. Kravchuk. "Telekomunikacijni Sistemi Shirokosmugovogo Radiodostupu." *NVP «Vidavnictvo «Naukova Dumka» NAN Ukraïni* (2009): 312. Print.

2. Il'chenko, M., and T. Narytnyk. "Mikrovolnovye Telekomunikacionnye Tehnologii I Biologicheskaja Bez-opasnost'" *Nauka I Kul'tura* 35 (2010): 17-29. Print.

3. "Sposib Rozshirennja Zoni Obslugovuvannja Bezprovodovoï Sistemi Dostupu Do informacijnih Resursiv Z Odnochastotnoju Moduljacieju." *Patent Ukraïni Na Korisnu Model'* (2011): n. pag. Print. Patent Ukraïni na korisnu model' №59212, data publikacii 10.05.2011, Bjul.№9.

4. "Mikrovolnovaja Integrirovannaja Teleradioinformacionnaja Sistema MITRIS-K." *Patent Ukraine*(2000): n. pag. Print. Patent Ukrainy na izobrenenie №50877 ot 15.11.2002. s prioritetom ot 30.11.2000

5. "Mikrovolnovaja Integrirovana Teleradioinformacionnaja Sistema MITRIS-INT." *Deklaracionnyj Patent Ukrainy* (2002): n. pag. Print. Dekla-rationnyj patent Ukrainy №51495A s prioritetom ot 12.04.2002

6. Narytnyk, T., V. Sajko, V. Bulgach, and V. Kazimirenko. ". Interaktivnaja Sistema Besprovodnogo Dostupa K Informacionnym Resur-sam." *Zvjazok* 94.2 (2011): 32-36. Print

7. Kazimirenko, V., and T. Narytnyk. "Sistema Besprovodnogo Dostupa K Informacionnym Resursam." *4-j Mezhdunarodnyj Radiojelektronnyj Forum «Prikladnaja Radio-jelektronika. Sostojanie I Perspektivy Razvitija» MRF-2011* (2011): 229-32. Print.

8. Il'chenko, M., and T. Narytnyk. "Etapi Evoljucijnogo Rozvitku Sistemi MITRIS Ta Koncepcija Pobudovi Mikro-hvil'ovoï integrovanoï Teleradioinformacionnoï Sistemi Mul'tiservisnogo Radio Dostupu UMDS." *Naukovo-tehnichna Konferencija [«Problemi Telekomunikacij»]*(2012): 40-43. Print.

9. Il'chenko, M., and T. Narytnyk. "Napravlenija Sozdanija Telekomunikacionnyh Sistem Mul'tiservisnogo Dostupa S Ispol'zovaniem Radiotehnologii MITRIS." *Materialy 22-oj Mezhdunarodnoj Krymskoj Konferencii KryMiKo'2012* (2012): 289-91. Print.

10. Ks'onzenko, P., T. Narytnyk, and P. Himich. "Osoblivosti Pobudovi Mis'kih Merezh Peredachi Dаниh Na Bazi Tehnologii MITRIS." *Naukovi Visti NTUU "KPI"* 6 (2011): 16-29. Print.