



УДК 004.052.2

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВЕРТЫВАНИЯ
PASSIVE OPTICAL NETWORKS**© **А.В. Игнатов**¹

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86.

Рассматриваются технологии доступа пользователей к инфокоммуникационным услугам. Речь идет о пассивной оптической сети PON и ее дальнейшем развитии – пассивной оптической сети большой дальности LR-PON. Проводится оценка экономического выигрыша при развертывании LR-PON по сравнению с классической PON. Исследования проведены методами математического моделирования затрат на развертывание сети. Сделан расчет стоимости сетей доступа относительно друг друга. Представлены критерии оптимального выбора одного из вариантов сети доступа с точки зрения экономической выгоды.

Ключевые слова: оптические сети; стандарты PON; LR-PON; экономия затрат; стоимость оборудования сети доступа.

COMPARATIVE ECONOMIC ANALYSIS OF PASSIVE OPTICAL NETWORK DEPLOYMENT**A.V. Ignatov**

Siberian State University of Telecommunications and Informatics,
86 Kirov St., Novosibirsk, 630102, Russia.

The article deals with the technologies of users' access to infocommunication services. It discusses a passive optical network (PON) and its further development – a passive optical long-range network LR-PON. The economic profit of LR-PON deployment as compared with classical PON is estimated. The research involves the methods of mathematical modeling of network deployment costs. The cost of access networks is calculated relative to each other. The criteria of optimal selection of one of the variants of access network in terms of economic benefit are given.

Keywords: optical networks; PON standards; LR-PON; cost savings; access network equipment cost.

В современном мире сетевых технологий абонентский доступ к инфокоммуникационным услугам реализуется различными средствами, среди которых можно назвать инструменты спецификации PON (Passive Optical Networks). PON, начиная с 1995 года, набирает все большую популярность и сама по себе не консервативна. Она развивается в другие спецификации, в которых происходит увеличение масштабирования. И речь идет уже о PON большой дальности – LR-PON (long-reach Passive Optical Networks) [1].

Развертывание сети абонентского доступа, как и любое другое строительство, требует капитальных денежных вложений. Расходы при строительстве сети будут связаны с закупкой сетевых устройств (OLT, splitter, ONU и др.) и оптического кабеля, а также с производством работ по прокладке кабеля и установке устройств. Методы проведения строительных и пуско-наладочных работ по развертыванию сетей доступа, в том числе и PON, хорошо изучены и широко

ко применяются в производственной деятельности. В статье о них будет говориться только в общих чертах.

Целью данной статьи является сравнение новой спецификации LR-PON и классической PON с позиции экономической выгоды строительства сети. В рамках статьи допускается, что затраты на производство работ по развертыванию обоих видов сети доступа приблизительно равны. Поэтому основное различие между рассматриваемыми сетями может быть в цене на кабельную продукцию и сетевые устройства. Сравнение будет производиться на основе совокупной стоимости оборудования и материалов, используемых при строительстве.

С точки зрения топологии PON и LR-PON представляют собой деревья, которые отличаются масштабом развертывания сети. На рис. 1 сеть, развернутая по классической PON-архитектуре, представлена справа (рис. 1, б), перспективные разработки LR-PON слева (рис. 1, а). Различие в

¹Игнатов Александр Владимирович, аспирант, тел.: 89146027090, e-mail: igsascha@mail.ru
Ignatov Alexander, Postgraduate, tel.: 89146027090, e-mail: igsascha@mail.ru

масштабе развертывания обусловлено типами сетевых устройств, используемых в них. Новые пассивные оптические сети, в отличие от классической PON, в составе своих сетевых устройств имеют более мощные усилители, что позволяет размещать компоненты на расстояниях до 100 км (классическая PON – до 20 км) [2].

Оптический кабель, соединяющий между собой несколько OLT, является магистральным. Волокно, прокладываемое от OLT к сплиттеру, называют фидерным, а от сплиттера к ONU – распределительным.

Затраты на развертывание сети в общем виде можно представить как сумму затрат на приобретение ее компонентов:

$$C_{\text{общ}} = \sum C_k \quad (1)$$

Для определения компонентов и их стоимости для PON и LR-PON введем следующие обозначения:

$C_{OLT}^{(1)}, C_{OLT}^{(2)}$ – стоимость OLT для PON и LR-PON соответственно (верхний индекс в обозначениях элементов здесь и далее будет относиться: 1 – к спецификации PON, 2 – к LR-PON, если не будет оговорено другое);

$C_{сп}^{(1)}, C_{сп}^{(2)}$ – стоимость сплиттеров;

$C_{ONU}^{(1)}, C_{ONU}^{(2)}$ – стоимость ONU;

L_m – длина линии между OLT (магистральный участок);

L_ϕ – длина линии от OLT до сплиттера (фидерный участок);

L_p – длина линии от сплиттера до ONU (распределительный участок);

C_m, C_ϕ, C_p – удельная стоимость оптического кабеля (магистрального, фидера и распределительного соответственно);

C_{cm} – стоимость строительных и пуско-наладочных работ.

Тогда общие затраты на строительство сети составят:

$$C_{\text{общ}} = C_{cm} + \sum_x (L_{M_{x-1}} C_m + C_{OLT_x}) + \sum_y (L_{\phi_y} C_\phi + C_{сп_y}) + \sum_z (L_{p_z} C_p + C_{ONU_z}) \quad (2)$$

Для дальнейшего расчета стоимости сетей доступа и сравнения двух стандартов введем несколько допущений.

Стоимость строительных и пуско-наладочных работ, как было сказано ранее, учитывать не будем, так как $C_{cm}^{(1)} \approx C_{cm}^{(2)}$.

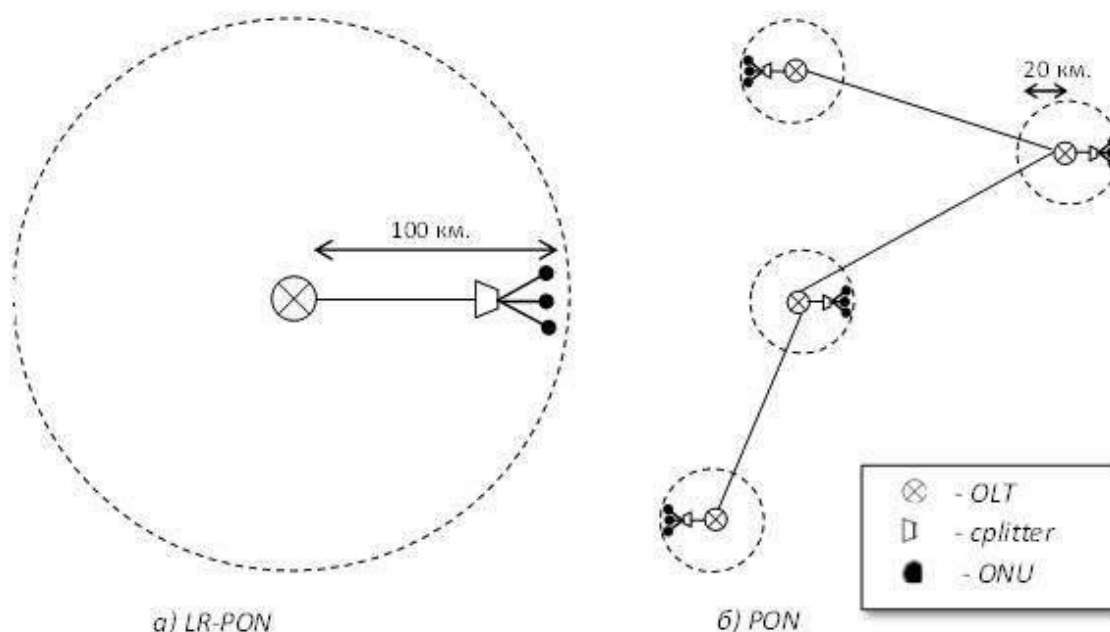


Рис. 1. Топологии PON и LR-PON



Выполним расчеты для перспективной LR-PON по сравнению с классической PON и будем уравнивать показатели, если они для первой сети будут не хуже, чем для второй (пессимистичный сценарий).

Более подробно остановимся на затратах, связанных с оптическим волокном. Суммарная длина линий от OLT до ONU будет практически равной. Методы оптимизации длины прокладываемых трасс кабеля одинаково работают в PON и LR-PON [3].

Стоимость оптического кабеля в основном зависит от производителя (показателей качества изготовления товара), вида кабеля (в зависимости от метода прокладки) и от количества оптических волокон в одном кабеле. Первые два условия выбора кабеля будут справедливы для обеих сетей. Качество изготовления кабеля является неотъемлемой частью потребительского спроса. Прокладка кабеля в соответствующей местности будет, как и строительные работы, аналогичной для обоих видов сетей доступа. Можно подчеркнуть, что условия прокладки для классической PON могут оказаться более сложными. Сетевые устройства PON необходимо устанавливать в специальных местах. Если сплиттер и можно установить на одной из опор, к которым подвешивается кабель (при подвешивании кабеля на опорах), то OLT уже требует установки в шкаф. При прокладке кабеля в грунте или канализации оба устройства придется выносить на поверхность для выполнения технических условий эксплуатации изделия [4]. Таким образом, чем больше будет использоваться сетевых устройств, тем больше будет затрат на прокладку всех линий (согласование установки устройств с муниципальными службами, переходы типа канализация – поверхность – канализация и др.). Третья составляющая стоимости кабеля, зависящая от количества волокон, может существенно повлиять на общие затраты. Однако необходимо принять во внимание особенности построения PON и LR-PON. В таких сетях нисходящий поток данных от OLT направляется в одном волокне, а на сплиттер раз-

дается каждому ONU. В восходящем потоке данные от ONU к сплиттеру поступают в определенные интервалы времени и затем направляются в OLT, так же по одному волокну. Таким образом, в PON-сетях необходимость использования кабеля с большим числом волокон отсутствует. Исключением может быть использование большого числа волокон в магистральном кабеле для соединения OLT между собой. Рассматривая территорию в 100 км^2 (рис. 1), видно, что магистральный кабель используется только в PON, увеличивая ее стоимость по сравнению с LR-PON.

Принимаем

$$\begin{aligned} \sum_x L_{M_{x1}} C_M^{(1)} + \sum_y L_{\phi_y} C_{\phi}^{(1)} + \sum_z L_{P_z} C_P^{(1)} = \\ = \sum_y L_{\phi_y} C_{\phi}^{(2)} + \sum_z L_{P_z} C_P^{(2)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Убрав из (2) перечисленные слагаемые с учетом (3), рассмотрим затраты на строительство PON по отношению к затратам на LR-PON:

$$\frac{C_{\text{общ}}^{(1)}}{C_{\text{общ}}^{(2)}} = \frac{\sum_x C_{OLT_x}^{(1)} + \sum_y C_{cp_y}^{(1)} + \sum_z C_{ONU_z}^{(1)}}{\sum_x C_{OLT_x}^{(2)} + \sum_y C_{cp_y}^{(2)} + \sum_z C_{ONU_z}^{(2)}}. \quad (4)$$

Обозначим $\frac{C_{\text{общ}}^{(1)}}{C_{\text{общ}}^{(2)}} = \Psi \in [0, \infty]$ – эконо-

мия при развертывании LR-PON по сравнению с PON.

Используя однотипные устройства, получим:

$$\Psi = \frac{N^{(1)} C_{OLT}^{(1)} + M^{(1)} C_{cp}^{(1)} + T^{(1)} C_{ONU}^{(1)}}{N^{(2)} C_{OLT}^{(2)} + M^{(2)} C_{cp}^{(2)} + T^{(2)} C_{ONU}^{(2)}}, \quad (5)$$

где N – количество OLT; M – количество сплиттеров; T – количество ONU. $T^{(1)} = T^{(2)}$ – количество ONU не зависит от типа сети доступа.

В перспективных LR-PON используют более дорогие (и более мощные) усилители оптического сигнала. Выразим через коэффициенты повышение стоимости устройств LR-PON относительно устройств PON:



$$C_{OLT}^2 = dC_{OLT}^1, \quad (6)$$

$$C_{cp}^2 = rC_{cp}^1, \quad (7)$$

$$C_{ONU}^2 = eC_{ONU}^1. \quad (8)$$

В соответствии с заявляемыми возможностями пассивных оптических сетей в классической PON к OLT через один сплиттер может быть подключено до 64 ONU (иногда до 128 ONU). Для повышения количества подключений необходимы дополнительные комплекты OLT+сплиттер. LR-PON строится по топологии дерева с ветвлениями, когда к одному OLT может быть подключено до 4352 ONU через 17 сплиттеров. Через один сплиттер создается подключение к 256 ONU [5, 6]. Тогда прибавление OLT и сплиттеров в сети можно выразить через увеличение количества ONU:

$$N^{(1)} = M^{(1)} \approx \frac{T}{64}, \quad (9)$$

$$N^{(2)} \approx \frac{T}{4352}, \quad (10)$$

$$M^{(2)} \approx \frac{T}{256}. \quad (11)$$

В (9–11) округление будем производить всегда в большую сторону. Данное действие точно описывает процесс увеличения количества устройств в сетях доступа. Определим количество сетевых

устройств на произвольном промежутке в зависимости от T . Данные упорядочим в таблице.

Операцию округления обозначим как $[n]'$, где n – переменная. Подставляя (6) – (11) в (5), получаем:

$$\Psi = \frac{\left[\frac{T}{64} J' C_{OLT}^{(1)} + \left[\frac{T}{64} J' C_{cp}^{(1)} + TC_{ONU}^{(1)} \right] \right]}{d \left(\left[\frac{T}{4352} J' C_{OLT}^{(1)} \right] + r \left(\left[\frac{T}{256} J' C_{cp}^{(1)} \right] + e \left(TC_{ONU}^{(1)} \right) \right) \right)}. \quad (12)$$

Стоимость однотипных сетевых устройств в рамках статьи остается неизменной, и изменение экономии будет зависеть только от изменения количества устройств:

$$\Psi = \frac{\left[\frac{T}{64} J' + \left[\frac{T}{64} J' + T \right] \right]}{d \left(\left[\frac{T}{4352} J' \right] + r \left(\left[\frac{T}{256} J' \right] + eT \right) \right)}. \quad (13)$$

Подставив данные таблицы в выражение (13), построим графики экономии при строительстве LR-PON, по сравнению с PON. Реальная экономия будет наблюдаться при $\Psi > 1$. Сначала отобразим экономию при увеличении стоимости ONU.

Количество сетевых устройств в сетях доступа при увеличении числа пользователей

T	1	100	200	300	500	800	1 300	2 100	3 400	5 500	8 900	14 400	23 300	37 700
N^1	1	1	4	5	8	13	21	33	54	86	140	225	365	590
M^1	1	1	4	5	8	13	21	33	54	86	140	225	365	590
N^2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	6	9
M^2	1	1	1	2	2	4	6	9	14	22	35	57	92	148

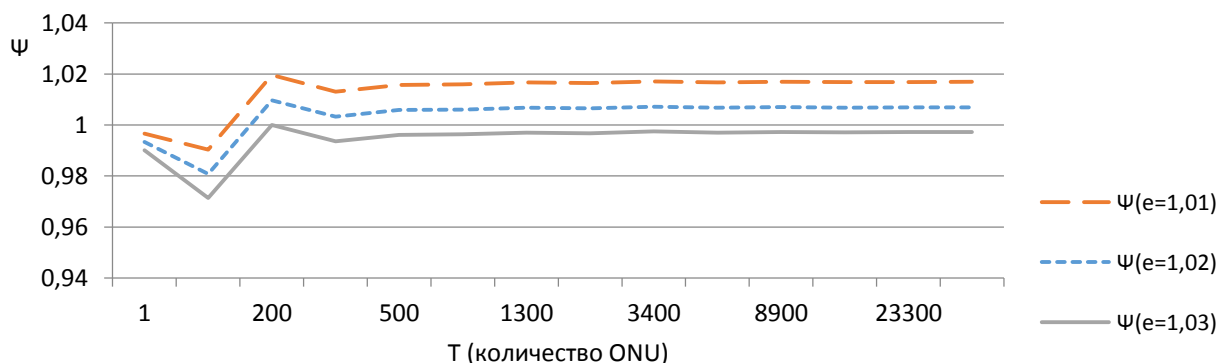


Рис. 2. Экономия применения LR-PON относительно PON при увеличении стоимости ONU



На рис. 2 просматриваются две тенденции. Во-первых, для $T < 256$ развертывание LR-PON обойдется дороже PON. К такому же результату мы приходим даже при незначительном увеличении стоимости ONU: $e + \Delta e$, $\Delta e > 2\%$.

Теперь рассчитаем экономию при увеличении стоимости сплиттеров, допустив увеличение стоимости ONU: $\Delta e = 2\%$ (рис. 3).

Увеличение стоимости сплиттеров для $T > 256$ на экономию оказывает слабое влияние, т.е. выгоднее развернуть LR-PON при увеличении стоимости сплиттеров: $r + \Delta r$, $\Delta r = 30\%$.

Сохранив условия $\Delta e = 2\%$, $\Delta r = 30\%$, увеличим стоимость OLT и рассчитаем выгоду (рис. 4).

Подводя итоги, можно сказать следующее.

Сеть доступа экономически выгодно строить с использованием технологии LR-PON только при увеличении количества пользователей сети. Число пользователей при этом должно превышать 256. Но даже и этот показатель становится несущественным, если из-за выбора LR-PON будет повышена стоимость ONU более чем на 2%. В этом случае целесообразно развернуть классическую PON, при условии оптимальности выбора по другим показателям, например, по надежности и энергетическому балансу.

Повышение стоимости других сетевых устройств (OLT и сплиттеров) может быть более существенным – свыше 30%

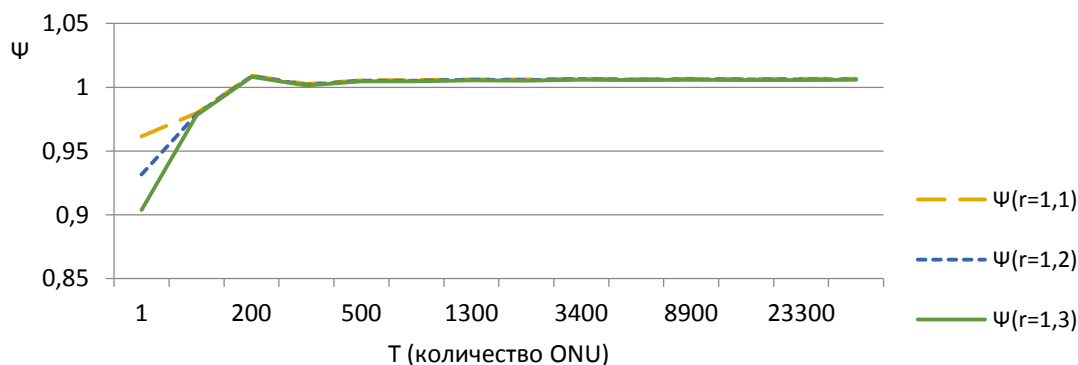


Рис. 3. Экономия использования LR-PON относительно PON при увеличении стоимости сплиттеров

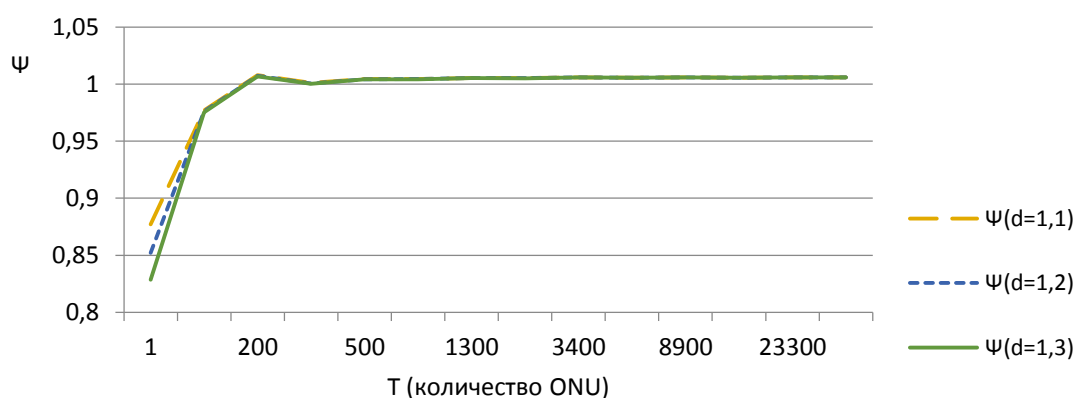


Рис. 4. Экономия применения LR-PON относительно PON при увеличении стоимости OLT

Как и в случае со сплиттерами, предпочтение можно отдать LR-PON даже со значительным удорожанием OLT: $d + \Delta d$, $\Delta d = 30\%$, но только при $T > 256$.

при сохранении общей выгоды от использования LR-PON.

Приведенные в статье расчеты можно применять для проектирования се-



тей доступа не только с фиксированными, но и с произвольными параметрами, указанными в (9–11). Отдельные положения можно использовать для экономической

оптимизации пассивной оптической сети доступа при проектировании на конкретной местности.

Статья поступила 04.06.2015 г.

Библиографический список

1. Song B.H., Kim B.-W., Mukherjee B. Long-Reach Optical Access Networks: a survey of research challenges, demonstrations, and bandwidth assignment mechanisms // IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2010. No. 1. Vol. 12. P. 112–123.
2. Оптимальные коммуникации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.oc.ru> (07.02.2015).
3. Игнатов А.В. Оптимизация структуры пассивных оптических сетей большой дальности (LR-PON) методами теории графов // Территориально-распределенные системы охраны: материалы седьмой всерос. науч. конф. ученых специалистов и

- профессорско-преподавательского состава: сб. № 7. Калининград, 2014. Ч. 2. С. 209–213.
4. ВСН 116-93. Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи. М.: Минсвязи России, Гипросвязь, 1993.
5. Song B.H. Long-Reach Passive Optical Networks: dissertation submitted in partial satisfaction of the requirement for the degree of doctor of philosophy. Davis: University Of California, 2009. 109 p.
6. Kantarci B., Moutah H.T. Availability and Cost-Constrained Long-Reach Passive Optical Network Planning // IEEE Transactions on Reliability. Vol. 61. No. 1. 2012. P. 113–124.

УДК 004.942

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЛУБИННЫХ ПРОФИЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ НА ОСНОВЕ ПОТОКОВ ЛОКАЛЬНЫХ ЭКСТРЕМУМОВ

© Ю.В. Морозов¹

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

Рассматривается метод интерпретации глубинного профиля сейсмического разреза на основе потоков локальных экстремумов. Приведен алгоритм нахождения границ области одинаковой интенсивности сейсмической волны. Алгоритм на основе анализа локальных экстремумов является более компактным и быстродействующим, чем алгоритмы на основе ортогональных преобразований. Основными этапами данного алгоритма являются построение гистограммы распределения интенсивностей, пороговая обработка потока локальных экстремумов и выделение наиболее длинных участков однородной интенсивности.

Ключевые слова: Пуассоновский поток; сейсморазведка; локальный экстремум.

SEISMIC CROSS-SECTION DEPTH PROFILE INTERPRETATION BASED ON LOCAL EXTREMA STREAMS

Yu.V. Morozov

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx pr., Novosibirsk, 630073, Russia.

The paper discusses a method of seismic cross-section depth profile interpretation based on local extrema streams. The algorithm finding boundaries of seismic wave equal intensity area is given. This algorithm based on local extrema analysis is more compact and effective than the algorithms based on orthogonal transformations. The main steps of the proposed algorithm include building an intensity distribution histogram, thresholding of the local extrema stream and detection of the longest segments of uniform intensity.

Keywords: Poisson stream; seismic exploration; local extremum.

Анализ сейсмических разрезов является неотъемлемой частью комплексной интерпретации геофизических данных. Известно, что глубина является преобладающим направлением изменения свойств

земной коры. Аналитическое описание зависимости физических свойств земной коры от глубины с помощью дифференциальных уравнений является неустойчивым к влиянию погрешностей имеющих в их

¹ Морозов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ радиотехники, тел.: (383) 3461537, e-mail: sibfrost24@mail.ru

Morozov Yuri, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical Fundamentals of Radio Engineering, tel.: (383) 3461537, e-mail: sibfrost24@mail.ru