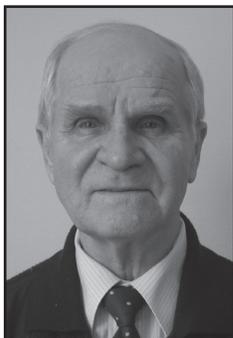




Видеонаблюдение на станциях метро



Виктор ЖУКОВ
Victor I. ZHUKOV

Виталий СЛЕПЦОВ
Vitaly S. SLEPTSOV



Жуков Виктор Иванович — кандидат технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Слепцов Виталий Сергеевич — аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Применение беспроводных сетей Wi-Fi в видеонаблюдении на станциях метрополитена для обеспечения безопасности пассажиров и рабочего персонала. Выбор местоположения оборудования при развертывании сетей, расчет дальности действия беспроводного канала. В контексте IP-технологий и практики видеонаблюдений в московской подземке авторы делают определенные выводы об эффективности (и, в частности, качестве и быстродействии) системы. Полученные результаты соотносятся с теоретическими ожиданиями и оцениваются с точки зрения удобства и рациональности управления.

Ключевые слова: Wi-Fi, беспроводные сети, видеонаблюдение, метрополитен, технологии управления, безопасность пассажиров и персонала.

Московский метрополитен был и остается объектом повышенной опасности как для пассажиров, так и рабочего персонала станций. Среднесуточный пассажиропоток в подземке составляет 6–7 млн человек, а в ночное время выполняется техническое обслуживание всей инфраструктуры, оборудования трасс и подвижного состава, что актуализирует организацию видеонаблюдения с применением беспроводных систем Wi-Fi.

Для этих целей до нынешнего момента использовали в основном аналоговые проводные системы. Разработка более совершенного комплекса стала особенно необходимой в рамках антитеррористической программы, хотя никуда не ушли профилактика преступлений и вандализма на платформах и вестибюлях станций, архивирование видеoinформации для последующего изучения в случае чрезвычайных ситуаций, а также обеспечение безопасного пассажиропотока и комфортного управления обслуживающим персоналом [1].

Помимо охранной профилактики системы наблюдения играют немаловажную

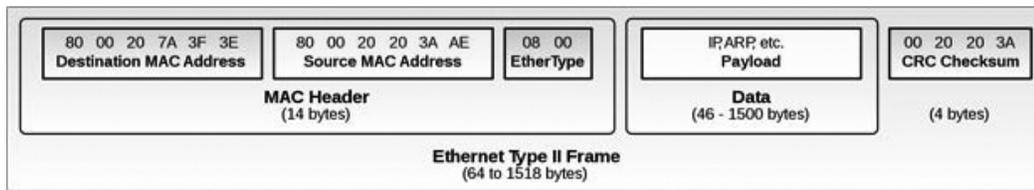


Рис. 1. Схема пакетной передачи данных.
MACHeader – часть пакета, содержащая следующую информацию:
 • **Destination MAC Address** – адрес источника;
 • **Source MAC Address** – адрес места назначения;
 • **EtherType** – информация, синхронизирующая передачу.
Data – часть пакета, содержащая собственно передаваемые данные.
CRCChecksum – трейлер (или концевик) – часть пакета с информацией для проверки ошибок при приеме пакета.

роль в технологическом процессе управления станциями, позволяя диспетчерам в режиме реального времени получать информацию о состоянии путей и помещений, энергосетей и вентиляции, контролировать работу дежурных бригад.

На заре развития радиотехники термин «беспроводный» (wireless) обозначал радиосвязь в широком смысле этого слова, т. е. буквально во всех случаях, когда передача информации осуществлялась без проводов. Позже это толкование постепенно вышло из обращения, и «беспроводный» стал эквивалентом термину «радио» (radio).

Сейчас оба понятия считаются взаимозаменяемыми в том случае, если речь идет о диапазоне частот от 3 кГц до 300 ГГц. Тем не менее термин «радио» чаще используется для описания уже давно существующих технологий (радиовещание, спутниковая связь, радиолокация, радиотелефонная связь и т. д.). А термин «беспроводный» в наши дни принято относить к таким новым технологиям радиосвязи, как микросотовая и сотовая телефония, пейджинг, абонентский доступ, а также беспроводные системы Wi-Fi.

Беспроводную сеть в метрополитене можно применять в двух ипостасях: а) для доступа пассажиров и сотрудников в Интернет; б) для обслуживания охранной системы видеонаблюдения. Такое совмещение рабочих функций в практике встречается редко, ведь смешивать публичный доступ к сети и передачу данных охраны стратегически важного объекта не рекомендуется. Тем не менее раз существует сама возможность использовать

Wi-Fi IP видеокamеры и системы, то ею надо пользоваться грамотно и надежно.

1.

Для начала необходимо четкое понимание того, что представляет собой цифровой поток. Рассмотрим технологию беспроводной передачи видеопотока в системе Wi-Fi. Набор единиц и нулей «говорит» о цвете того или иного сегмента на матрице видеокamер, движении, размере и цвете объекта и обо всем том, что мы видим на экране монитора. Передача осуществляется с помощью пакетной технологии. На рис. 1 показана схема пакетной передачи данных.

В столичном метро установлено около 6 тысяч камер наружного наблюдения. Видеоинформация хранится три дня. Картинка мониторится 24 часа в режиме on line в ситуационном центре управления милиции на Московском метрополитене. Сотрудники милиции отслеживают изображение. Диспетчера сами могут выбирать станцию, которую хотят посмотреть, и даже отдельную камеру из примерно 20–30 установленных на каждой станции, но при этом, как и в среде передачи сигнала, используется оптический кабель и видеосигнал представлен в аналоговом виде, что в принципе дорого.

В беспроводном видеонаблюдении средой передачи является воздушное пространство под действием электромагнитной волны, диапазон частот 2,4 или 5 ГГц. Согласно свойствам диапазона ВЧ и КВЧ, дифракция радиоволн существенна мала, а сигнал может передаваться лишь в зоне прямой оптической видимости. Передача



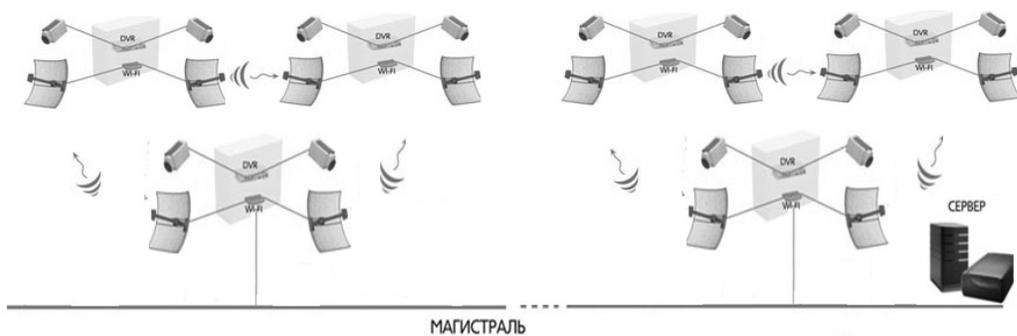


Рис. 2. Схема реализации сетей передачи видеоизображения по каналу Wi-Fi.

сигнала сквозь твердые поверхности здания (межэтажные перекрытия и стены) на частоте 5 ГГц и более существенно затруднена.

С помощью физических свойств можно это описать так: чем больше частота, тем меньше длина волны и проникающая способность радиосигнала, применительно к указанным условиям. Длина волны на частоте 2,5 ГГц составляет 0,12 м, на частоте 5 ГГц – 0,06 м, что сравнимо с толщиной перекрытий и стен, отсюда и большое затухание сигнала. Но для работы любой Wi-Fi видеокамеры обязательно требуется прямая оптическая видимость между точкой доступа и видеокамерой. Трасса прохождения радиосигнала должна быть свободна от любых помех – бетонных стен, гипсокартонных перегородок, межэтажных перекрытий, деревьев, кустов, зданий и т. д.

Решением данной проблемы является использование кодирования на основе технологии OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) [2]. Главным преимуществом OFDM по сравнению со схемой с одной несущей частотой считается её способность противостоять сложным условиям в канале. Например, бороться с затуханием в области ВЧ в длинных медных проводниках, узкополосными помехами и частотно-избирательным затуханием, вызванным многолучевым характером распространения, фильтров-эквалайзеров. Канальная эквализация упрощается вследствие того, что OFDM-сигнал может рассматриваться как множество медленно модулируемых узкопо-

лых сигналов, а не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал.

Низкая символическая скорость делает возможным использование защитного интервала между символами, что позволяет справляться с временным рассеянием и устранять межсимвольные искажения (МСИ), а соответственно и сокращать потери пакетов и информации в целом. Подобное кодирование реализуется за счет разнесенных друг от друга приемной и передающей антенн точки доступа. Такая технология хорошо зарекомендовала себя в построении сетей сотовых операторов связи и в сети WI-MAX.

2.

При проектировании на станциях и в вестибюлях московского метрополитена беспроводных систем видеонаблюдения особого внимания требует выбор местоположения оборудования. Чтобы избежать взаимного влияния отдельных его видов, следует располагать беспроводное оборудование (точки доступа, адаптеры) подальше от трансформаторных подстанций, микроволновых источников и любых других приборов волнового излучения различной мощности. Обычная гипсокартонная перегородка может сильно ослабить сигнал, а капитальная кирпичная или бетонная стена и вовсе стать преграждающим экраном на пути прохождения сигналов.

Для обеспечения равномерной зоны покрытия необходимо использовать несколько точек беспроводного доступа. Кроме того, на беспроводную сеть влияет множество факторов (например, со-

Таблица 1

Каналы, определяемые стандартом 802.11a [5]

Канал	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Частота, ГГц	5,17	5,18	5,19	5,2	5,21	5,22	5,23	5,24	5,25	5,26	5,27	5,28	5,29	5,3
Канал	62	64	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	147
Частота, ГГц	5,31	5,32	5,5	5,52	5,54	5,56	5,58	5,6	5,62	5,64	5,66	5,68	5,7	5,74
Канал	149	150	152	153	155	157	159	160	161	163	165	167	171	173
Частота, ГГц	5,75	5,76	5,76	5,77	5,78	5,79	5,8	5,8	5,81	5,82	5,83	5,84	5,86	5,87
Канал	177	180												
Частота, ГГц	5,89	5,91												

существующие аналогичные сети, большие расстояния, расположение и тип антенн, количество беспроводных каналов и одновременно подключенных видеокамер). При этом очень сложно предугадать, как система будет работать в реальных условиях. Каждое место установки точки доступа уникально количеством препятствий, материалами, из которых состоят те или иные элементы конструкции, погодными условиями (для внешней сети) и т. д. Поэтому предварительно приходится разворачивать некий стенд «точку доступа» с каналом для Wi-Fi IP видеокамер и смотреть, как себя поведет сигнал в той или иной ситуации.

Изображение с видеокамер посредством беспроводных систем передается на оптоволоконный коммутатор (СВИЧ), который находится на станции и направляет информацию по оптическому кабелю, проложенному в тоннеле метрополитена на сервер в ситуационный центр.

3.

Предлагаемые беспроводные сети, видеокамеры, а также другое оборудование работают в соответствии с международными стандартами семейства 802.11 в диапазоне частот 2,4; 3,6 и 5 ГГц. Наиболее важные и распространенные из них – 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n.

Стандарт технологии IEEE 802.11 представляет собой набор стандартов

связи для коммуникации в беспроводном локальном сегменте сети. Он известен как раз под названием Wi-Fi. Стандарт диапазона работы – 2,4 ГГц. Изначально предполагалось, что IEEE 802.11 будет использован для передачи данных по радиоканалу на скорости не более 1 Мбит/с и опционно – на скорости 2 Мбит/с. Сейчас он не используется. Ширина канала 11 МГц [3].

Стандарт 802.11a, рассчитанный на диапазон 5 ГГц, обеспечивает скорость работы от 54 до 6 Мбит/с. Ширина канала – 20 МГц. Стандарту соответствуют каналы, представленные в таблице 1.

Каналы являются независимыми, работа на указанных частотах возможна без взаимных помех. На каждый из них подключается до четырех беспроводных видеокамер, то есть имеется ресурс, чтобы получить в одновременное пользование 88 камер в беспроводном диапазоне 5 ГГц.

Дальнейшее развитие стандарта 802.11b предусматривает эксплуатацию диапазона 2,4 ГГц с шириной канала уже 22 МГц и скоростью передачи данных от 11 до 1 Мбит/с [3].

Наибольшее распространение получил стандарт, предполагающий наилучшую по сравнению с 802.11b пропускную способность – 802.11g. Он использует все тот же диапазон частот 2,4 ГГц и обеспечивает скорость потока в 54, 36, 24, 18, 12 и 6 Мбит/с. При этом совместим со стан-



Сравнительная таблица стандартов беспроводной связи

Технология	Стандарт	Использование	Пропускная способность	Радиус действия	Частоты
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбит/с	до 300 метров	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбит/с	до 300 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбит/с	до 300 метров	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 450 Мбит/с (в перспективе до 600 Мбит/с)	до 300 метров	2,4–2,5 или 5,0 ГГц

Таблица 3

Стандарты 802.11b, 802.11g и 802.11n: каналы и частоты [5]

Канал	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Частота, ГГц	2,412	2,417	2,422	2,427	2,432	2,437	2,442	2,447	2,452	2,457	2,462	2,468	2,472	2,484

Таблица 4

Нестандартные каналы, доступные для оборудования Ubiquiti [6]

Канал	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
Частота, ГГц	2,31	2,32	2,32	2,33	2,33	2,34	2,34	2,35	2,35	2,36	2,36	2,37	2,37	2,38
Канал	251	252	253	254	255	0								
Частота, ГГц	2,38	2,39	2,39	2,4	2,4	2,41								

дарт 802.11b и соответственно поддерживает скорости работы предыдущего стандарта в 11, 5,5, 2 и 1 Мбит/с при ширине канала 20 МГц. Когда увеличивается расстояние, скорость пропускной способности уменьшается за счет потери и задержки пакетов данных.

Все перечисленные стандарты имеют бытовое применение. Сетевое оборудование (сетевые карты) устанавливается в компьютеры, ноутбуки и даже в телефоны. В разрез с прежними нормами, однако, прошел более «мощный» и привлекательный по пропускной способности создаваемого им канала связи стандарт 802.11n, который повышает скорость передачи данных примерно в 4 раза по сравнению с 802.11g (максимальная скорость 54 Мбит/с).

Теоретически 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 480 Мбит/с при отсутствии каких-либо факторов, готовых оказать влияние на качество сигнала. Устройства с более высокими требованиями работают в диапазонах 2,4–2,5 или 5,0 ГГц. Скорость информационного потока подразумевает использование большей ширины канала (40 МГц) и нескольких антенн для приема и передачи. Это позволяет применять

стандарт в помещениях здания, хотя из-за распространенности устройств Wi-Fi работа со спектром 40 МГц в реальных условиях крайне маловероятна.

В таблице 2 приведены некоторые сравнительные характеристики стандартов технологии IEEE 802.11.

Для беспроводной Wi-Fi связи используется определенный диапазон частот, который разбит на несколько каналов, на которых может работать оборудование.

Из таблицы 3 видно, что шаг каналов в диапазоне 2,4 ГГц составляет 5 МГц, а ширина каждого из них остается, как и раньше, 20 МГц. При этом спектр рабочих частот оборудования перекрывается независимыми каналами без взаимных помех. Всего три частоты (2,412 ГГц – канал 1), (2,437 ГГц – канал 6) и (2,462 ГГц – канал 11), отличаются более чем на 20 МГц. Можно также использовать как независимые каналы 2, 7, 12 или 3, 8, 13. Поскольку имеется всего три независимых Wi-Fi канала, а скорость работы их устройств в реальных условиях не превышает 8–10 Мбит/с, то подключение множества единиц оборудования одновременно сильно затруднено из-за ограничения пропускной способности.

Опыт показывает, что подключение более 4–5 беспроводных Wi-Fi камер с би-

трейтом 500–1000 кбит/с к одной точке доступа нецелесообразно. Причем лимитирует их количество не только ширина беспроводного канала, но и ограниченное быстродействие процессора точки доступа, который просто не успевает обрабатывать поступающие пакеты данных. По сути, использованием стандартных средств можно подключить не более 12–15 камер.

Кроме того, нужно учитывать наличие самого разнообразного оборудования, работающего в том или ином стандарте, и соответственно беспроводные каналы могут быть заняты другими радиосетями, что еще более затрудняет подключение IP-камер. Применение техники Wi-Fi, напомним, требует еще и оформления лицензий и разрешений, предусмотренных законодательством РФ. Для решения проблемы существует два пути – использовать оборудование, работающее в диапазоне 5 ГГц, или брать на вооружение нестандартные частоты в диапазоне 2,4 ГГц.

Определенное оборудование способно выполнять свои задачи за пределами стандартного диапазона частот, предлагаемого стандартом Wi-Fi. Это свойство полезно при зашумленности или занятости стандартных каналов. Принципиальный момент один: должно применяться только совместимое оборудование.

Для беспроводной Wi-Fi связи в диапазоне 5 ГГц в Европе используется два набора частот: 5150 МГц–5350 МГц (нижний диапазон) и 5470–5850 МГц (верхний диапазон). Это связано с тем, что применяется очень маленькая длина волны и тяжело изготовить антенну, которая одинаково хорошо работала бы при наличии ограничений на геометрические размеры элементов [4].

4.

Еще одной весьма важной характеристикой беспроводной сети является дальность действия канала. Для того чтобы ее рассчитать, необходимо определить потери в свободном пространстве.

Возьмем пример, когда имеем роутер ASUS WL500G Premiumversion, передатчик мощностью 18 дБмВт. На приемной стороне netbook hp Compaqmini 311 мощность антенны – 5 дБм. В качестве рабочей частоты был выбран 14 канал $F=2484$

МГц (см. таблицу № 3), скорость 54 Мбит/с при которой чувствительность – 66 дБмВт. Рассчитаем дальность сигнала в идеальном случае:

Для определения потерь в свободном пространстве найдем суммарное усиление системы с учетом потерь в передатчике и приемнике следующим образом:

$$Y_{\text{дБ}} = P_{I, \text{дБмВт}} + G_{I, \text{дБи}} + G_{r, \text{дБи}} + P_{\text{min, дБмВт}} + L_{I, \text{дБ}} + L_{r, \text{дБ}} =$$

$$= 18 + 5 + 5 + 66 + 1 + 1 = 95 \text{ [дБм]},$$

где $P_{I, \text{дБмВт}}$ – мощность передатчика; $G_{I, \text{дБи}}$ – коэффициент усиления передающей антенны; $G_{r, \text{дБи}}$ – коэффициент усиления приемной антенны; $P_{\text{min, дБмВт}}$ – чувствительность приемника на данной скорости; $L_{I, \text{дБ}}$ – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах передающего тракта; $L_{r, \text{дБ}}$ – потери сигнала в коаксиальном кабеле и разъемах приемного тракта.

Далее найдём FSL (FreeSpaceLoss) – потери в свободном пространстве:

$$FSL = Y_{\text{дБ}} - SOM = 92 - 10 = 82 \text{ [дБм]}.$$

Здесь SOM (System Operating Margin) – запас в энергетике радиосвязи (дБ). Параметр SOM обычно берется равным 10 дБ. Считается, что 10-децибельный запас по усилению достаточен для инженерного расчета.

В итоге получим формулу дальности связи:

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} \frac{33}{20} - \log F\right)} = 10^{\left(\frac{85}{20} \frac{33}{20} - \log 2484\right)} = 0,165 \text{ [км]},$$

где F – центральная частота канала, на котором работает система связи (МГц).

В теории получилось, что приближительная дальность действия сигнала в нашем случае составила 165 метров устойчивой и постоянной связи при неизменной скорости передачи 54 Мбит/с. Но следует учитывать, что для каждой скорости передачи информации приемник имеет определенную чувствительность. Для небольших скоростей (например, 1–2 мегабита) чувствительность наименьшая: от – 90 до – 94 дБмВт. При высоких скоростях чувствительность намного выше.





ВЫВОДЫ

Использование частот в диапазоне связи 2,4 и 5 ГГц позволяет получить высокое качество видео. Применение беспроводной сети дает возможность к построению IP-видеонаблюдения на основе десятка камер, что обеспечивает эффективность оборудования системы в зависимости от условий и потребностей. При этом нельзя не учитывать: чем выше качество изображения, тем больше камера будет отнимать пропускной способности канала и тем меньше камер можно подключить к одному маршрутизатору.

С целью повышения уровня защиты информации передача видео по сети происходит в зашифрованном виде, что помогает избежать таких неприятных действий, как перехват или подмена циркулирующих данных, что особо актуально для охранных систем видеонаблюдения.

Видеокамеры обладают удобным и понятным интерфейсом управления. Как известно из истории метрополитена, многие станции выполняли роль памятников архитектуры. Поэтому чтобы

не нарушать их внешний вид, зачастую перед конструкторами сетей видеонаблюдения возникают проблемы, связанные с невозможностью прокладки кабеля, и именно в таком случае использование беспроводной сети будет наиболее эффективным. Сеть Wi-Fi обеспечивает стабильное соединение на подходящих расстояниях для платформ и вестибюлей станций. Установка и настройка оборудования занимает относительно небольшое время, стоимость монтажа намного ниже стоимости прокладки кабеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.atanor.ru/engineering/project_collection/5/347/ (Дата обращения: 18.03.2013).
2. Heiskala J., Terry J. OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide. 2002.
3. http://www.security-bridge.com/biblioteka/electronnye_knigi/wi-fi_oborudovanie/ (Дата обращения: 10.03.2013).
4. <http://www.ieee802.org/11> (Дата обращения: 25.02.2013).
5. <http://nastrojkawifi.ru/kanaly-wi-fi-i-raspredelenie-ix-chastot.html> (Дата обращения: 18.03.2013).
6. <http://www.ip-kamera.ru/articles1496.html> (Дата обращения: 18.03.2013). ●

VIDEO SURVEILLANCE AT METRO STATIONS

Zhukov, Victor I. – Ph.D. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Sleptsov, Vitaly S. – Ph.D. student at the department of life safety of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Metro needs efficient and reliable system of video surveillance to ensure safety and security of passenger flow and of the staff during maintenance works. The use of wireless Wi-Fi networks and IP-technology at the metro stations has some evident advantages as compared to analog surveillance systems. One of those advantages relates to the capacity of IP-system to transmit recorded data by Internet, to use also local

wired and Wi-Fi networks. IP-cameras have a built-in movement detector that allows monitoring migration of an observed object within the determined area.

The article pays special attention to the choice of placement of Wi-Fi equipment as metro is a territory with utmost number of sources of electromagnetic fields that could interfere with wireless network and influence its quality.

Key words: Wi-Fi, wireless networks, video surveillance, metro, control technique, safety of passengers and staff.

REFERENCES

1. http://www.atanor.ru/engineering/project_collection/5/347/. Accessed 18.03.2013.
2. Heiskala J., Terry J. OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide. 2002.
3. http://www.security-bridge.com/biblioteka/electronnye_knigi/wi-fi_oborudovanie/ (Accessed 10.03.2013).
4. <http://www.ieee802.org/11> (Accessed 25.02.2013).
5. <http://nastrojkawifi.ru/kanaly-wi-fi-i-raspredelenie-ix-chastot.html> (Accessed 18.03.2013).
6. <http://www.ip-kamera.ru/articles1496.html> (Accessed 18.03.2013).

Координаты авторов (contact information): Жуков В. И. (Zhukov V. I.) – (495) 684–21–69, Слепцов В. С. (Sleptsov V. S.) – sleptsov1990@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 12.04.2013
Принята к публикации / article accepted 03.05.2013