

*Леонид Александрович Бондаренко*

*Николай Александрович Масесов (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Вячеслав Вячеславович Малых*

*Константин Валериевич Андреев*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации Государственного университета телекоммуникаций, Киев, Украина*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИОСРЕДСТВ В ИНТЕРЕСАХ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

*Предложены методы построения программно-определяемых систем радиосвязи на основе сигнально-кодовых конструкций и расширения спектра, позволяющих увеличить надёжность радиосвязи. Определены преимущества применения расширения спектра коррелированными скачками по частоте по сравнению с известными методами. Приведено описание структуры сети радиосвязи на основе программно-определяемых радиостанций, обеспечивающих улучшение вероятностно-временных характеристик системы радиосвязи при передаче информации по сравнению с существующими неавтоматизированными радиосетями.*

*Ключевые слова:* радиосеть; программно-определяемое радиосредство; SDR радиостанция; сигнально-кодовые конструкции; расширение спектра.

### Введение

В мировой практике отмечается тенденция к расширению масштабов использования коротковолновой радиосвязи в интересах различных групп потребителей. Это обусловлено появлением принципиально новых технологий передачи информации по радиоканалам, основанных на внедрении программно-определяемых радиосредств с цифровой обработкой и синтезом сигналов непосредственно на радиочастоте.

К преимуществам коротковолновой (ДКМВ) радиосвязи следует отнести оперативность установления прямой связи на большие расстояния, в том числе и в условиях экстремальных ситуаций, простоту организации радиосвязи с подвижными объектами, возможность обеспечения связи с объектами в труднодоступных районах, высокую мобильность средств ДКМВ радиосвязи, быструю восстанавливаемость связи в случае нарушения в результате воздействия как случайных, так и преднамеренных помех.

**Постановка проблемы.** Существующие системы ДКМВ радиосвязи работают в условиях ограничений на частотные и энергетические ресурсы, поскольку зафиксированы значения выделенной ширины полосы частот канала и мощности передатчика. При этом в силу непредсказуемости условий распространения радиоволн от сеанса к сеансу связи изменяется значение отношения сигнал/шум и в конкретном сеансе связи оно заранее не известно, что приводит в результате к невыполнению

требования по достоверности передачи информации.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Особый интерес представляет использование цифровых радиосигналов, позволяющих улучшить помехоустойчивость систем радиосвязи. Однако возможности применения цифровых методов передачи в ДКМВ диапазоне ограничены из-за многолучевости распространения радиоволн и существенного ослабления сигналов на трассах радиосвязи в частотном диапазоне 1,5–30 МГц [1].

Современные радиоэлектронные системы специального и общего назначения функционируют, как правило, в условиях сложной радиоэлектронной обстановки, обусловленной влиянием как внутрисистемных, так и внешних помех (многолучевого распространения, сосредоточенных и импульсных помех, доплеровского размытия, доплеровского смещения, сдвига частоты, быстрых и медленных замираний, дисперсионности, магнитно-ионного расщепления и других) [2–4].

Исходя из вышеизложенного, целью статьи является формирование предложений по построению перспективных сетей радиосвязи с выполнением требований достоверности передачи информации.

### Изложение основного материала

Ключом к решению поставленной задачи авторами предлагается внедрение комплексов и средств радиосвязи на базе программно-определяемой аппаратной платформы по технологии SDR. При этом введение различных

новых режимов и интерфейсов осуществляется путём обновления программного обеспечения изделий, которые выпускаются серийно без остановки производства аппаратной части. Также возможна программная модернизация изделий выпущенных ранее и находящихся в эксплуатации без участия предприятий-изготовителей.

На основе внедрения технологии SDR в качестве аппаратной платформы создания перспективных средств радиосвязи появляется возможность использования современных методов цифровой обработки сигналов. Особый интерес представляет построение систем радиосвязи на базе технологий расширенного спектра сигналов, а также эффективных сигнально-кодовых конструкций (СКК).

С развитием теоретических основ цифровой обработки сигналов радиосвязи и элементной базы их реализации появилась возможность разделить собственно алгоритмы обработки сигнала, сам сигнал и носитель информации о сигнале. Возможности аппаратуры по синтезу и демодуляции радиосигналов определяются разрядностью представления сигнала и доступным вычислительным ресурсом системы.

В настоящее время разработаны принципиально различающиеся между собой методы использования широкой полосы частот:

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) – псевдослучайная перестройка рабочей частоты;

CSS (Chirp Spread Spectrum) – расширение спектра методом линейной частотной модуляции

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – расширение спектра методом прямой последовательности.

Области применения технологий расширенного спектра сигналов, их достоинства и недостатки описаны в литературе [1–4] и успешно применяются на практике.

Относительно новым является метод использующий расширение спектра сигнала коррелированными скачками по частоте – CHES (Correlated Hopping Enhanced Spread Spectrum), представленный компанией BAE Systems (ранее Сандерс, США) в заключительном техническом отчете [6].

Сигналы типа CHES предназначены для передачи небольших объёмов информации в любых условиях. При скорости псевдослучайной перестройки по частоте до 200 скачков в секунду в полосе до десятков мегагерц, сигналы этого типа обладают высокой скрытностью и устойчивостью как к обнаружению, перехвату, так и к любым видам естественных и искусственных помех. В CHES данные кодируются с помощью методики, называемой дифференциальной скачкообразной перестройки частоты (DFH).

В отчете указано, что метод расширения спектра в различных условиях демонстрирует лучшие или аналогичные показатели в сравнении с методами FHSS и DSSS, а именно:

CHES более энергоэффективен, чем FHSS и DSSS при одинаковом коэффициенте расширения спектра;

CHES демонстрирует более низкую вероятность обнаружения перехвата;

вероятность обнаружения и перехвата сигналов CHES сопоставима с сигналами CDMA в одинаковых полосах пропускания;

CHES имеет лучшую производительность, по сравнению с CDMA, при воздействии сосредоточенных помех;

CHES имеет одинаковую производительность, по сравнению с CDMA при воздействии помех в широком спектре;

CHES работает лучше чем CDMA в присутствии следящих помех;

вероятность обнаружения перехвата сигналов CHES ниже чем TCM в одинаковых полосах пропускания;

CHES позволяет работу в радиосети без использования MAC-адресов;

CHES может исправлять пропущенные скачки и ложные срабатывания;

CHES имеет потенциал для самосинхронизации;

практическая реализация CHES проще, чем CDMA.

В таблицах 1 и 2 приведены некоторые сравнительные характеристики сигналов использующих расширение спектра.

Таблица 1

**Сравнительные характеристики сигналов**

Граница LPI, Db (PG=27, TW=10 <sup>-6</sup> , N <sub>T</sub> = 400)					
LRT detector		CHES		DSSS	
		P <sub>e</sub> =10 <sup>-3</sup>	P <sub>e</sub> =10 <sup>-6</sup>	P <sub>e</sub> =10 <sup>-3</sup>	P <sub>e</sub> =10 <sup>-6</sup>
P <sub>fa</sub> =10 <sup>-3</sup>	P <sub>d</sub> =0,9	-2,5	-5,4	-6,3	-10,0
	P <sub>d</sub> =0,1	-5,7	-8,6	-10,2	-13,9
P <sub>fa</sub> =10 <sup>-6</sup>	P <sub>d</sub> =0,9	-1,8	-4,7	-4,8	-13,9
	P <sub>d</sub> =0,1	-3,3	-6,2	-7,5	-11,2

где: P<sub>fa</sub> – вероятность ложных срабатываний;

P<sub>e</sub> – вероятность битовой ошибки;

P<sub>d</sub> – вероятность обнаружения;

LPI – низкая вероятность перехвата;

PG – регулирование усиления;

TW – отношение длительности сигнала и полосы пропускания;

NT – число каналов детектора;

LRT detector – детектор критерия отношения правдоподобия.

Таблица 2

**Сравнение производительности сигналов**

Характеристика	CHES	DSSS	FHSS
Граница LPI/LPD (по затуханию канала)	> 19	6	0
Граница LPI/LPD (при АБГШ)	6	4	2
Энергоэффективность сигнала	6	0	6

Примечание: относительны величины, в дБ.

Перспективным направлением развития систем ДКМВ радиосвязи в условиях ограниченных энергетических и частотных ресурсов представляется поиск эффективных сигнально-кодовых конструкций (СКК), а именно:

поиск новых эффективных методов модуляции и помехоустойчивого кодирования;

поиск эффективных СКК в условиях ограниченных энергетических и частотных ресурсов;

адаптация к помеховой обстановке за счет оперативного выбора соответствующей СКК.

В основу исследований может быть положен подход к проектированию систем передачи данных для нестационарных каналов, заключающийся в расширении алфавита передаваемого сообщения путем преобразования первичного информационного сообщения в многопозиционную сигнально-кодовую конструкцию.

В литературе [1] отмечается, что большинство видов сигнала обеспечивает хорошее приближение к потенциальной пропускной способности канала в ограниченном диапазоне скоростей даже при приёме на фоне белого шума. В то же время для различных удельных скоростей передачи наилучший результат достигается применением различных видов модуляции.

Внедрение новых СКК в системах ДКМВ радиосвязи позволяют перейти к разработке высоконадёжной сети с распределенной многосвязной структурой, с пакетной передачей информации на основе программно определяемых радиосредств.

Анализ существующих и перспективных зарубежных радиосетей и радиосредств позволяет предложить двухуровневую аппаратную архитектуру системы радиосвязи.

Построение узлов связи на совмещённых приёмо-передающих радиостанциях технически сложно, с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости функционирования комплексов радиосвязи, что может исключить реализацию совместной работы CHES и узкополосных радиолоний при наращивании канальной ёмкости радиостанций.

На рис. 1. показан вариант структуры фрагмента сети ДКМВ на основе программно-определяемых радиосредств.

Основу сети автоматизированной радиосвязи составляют радиосредства двух основных типов:

абонентский радиотерминал (АТ) модульного исполнения, интегрирующий в одном конструктиве многоканальный приёмник, передатчик, усилитель мощности, согласующее антенное устройство (САУ), модемы оконечной аппаратуры, аппаратуру установления и ведения соединения, аппаратуру вертикального ионосферного зондирования, программно определяемые интерфейсы с внешней оконечной аппаратурой, алфавитно-цифровую клавиатуру, дисплей, а также другие функциональные узлы. Такой АТ не требует дополнительного внешнего

оборудования для предоставления абонентам сети необходимых сервисных услуг и легко интегрируется в контуры управления подвижных узлов связи. АТ должен обеспечивать обмен короткими сообщениями и цифробуквенными кодами и файлами между двумя любыми мобильными или стационарными абонентами сети.

стационарный (мобильный) комплект аппаратуры представляет собой радиоконкомплекс радиопередающих устройств средней мощности (от 1000 Вт, в зависимости от требуемой зоны радиосвязи) и приемных устройств с круглосуточной доступностью. Комплект предназначен для построения многоканальных разнесённых приёмных и передающих радиостанций, реализует предоставление полного набора услуг для пользователей сети. Он имеет выход непосредственно или через цифровой узловой коммутатор в каналы ЦСС (цифровой сети связи), которые может использовать для маршрутизации принятых сообщений, если получатель находится на значительном удалении. Также каналы ЦСС могут быть использованы, наряду с выделенными прямыми линиями связи, для организации дистанционного управления передающим радиостанцией (ПДРЦ). Стационарный (мобильный) комплект аппаратуры, дополнительно к возможностям абонентского комплекта, реализует следующие дополнительные функции:

совместный с другими стационарными (мобильными) комплектами, в том числе и расположенными на значительном расстоянии, приём сигналов типа CHES для повышения вероятности приёма до уровня 0,99 и выше;

маршрутизация принятых сообщений в рамках подсети стационарных радиостанций;

возможность наращивания канальной ёмкости радиостанций путём введения дополнительных комплектов в рамках одного узла;

одновременная работа (дежурство) как в составе подсети радиостанций, так и в составе подсети абонентских радиотерминалов;

АТ также могут образовывать радиосети различной конфигурации с учётом взаимной радиовидимости. На рис. 1. показана одноранговая радиосеть взаимодействия, образованная абонентскими терминалами одновременно с работой в вызывной радиосети.

На рис. 2. показан возможный вариант использования нескольких совместно функционирующих стационарных радиостанций, обеспечивающих разнесённый приём сообщений между абонентами.

## Выводы

Внедрение новых сигнально-кодовых конструкций в системах ДКМВ радиосвязи позволяют перейти к разработке систем и комплексов радиосвязи для построения высоконадёжных сетей с распределенной многосвязной структурой, с пакетной передачей информации на основе программно определяемых радиосредств.

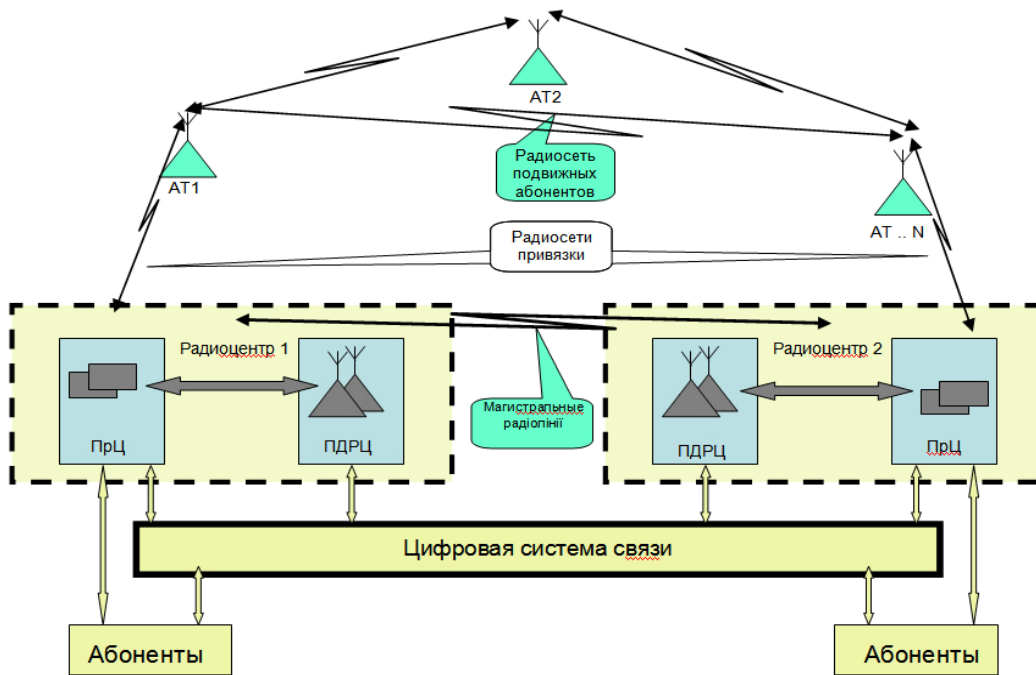


Рис. 1. Фрагмент сети ДКМВ диапазона на основе SDR радиосистем

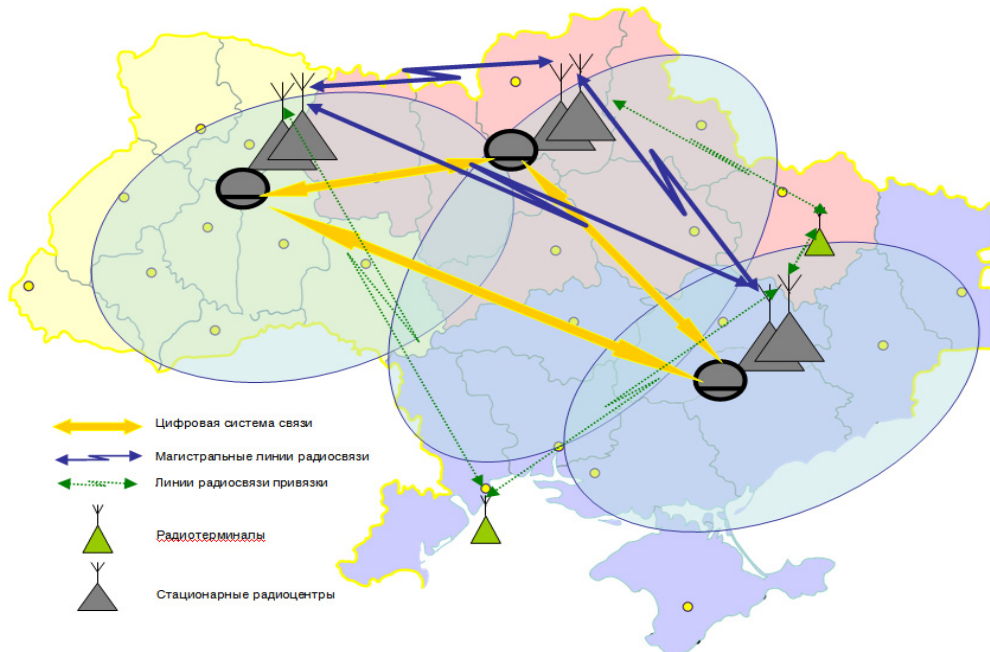


Рис. 2. Вариант использования нескольких совместно функционирующих стационарных радиочастот

Применение сигналов типа CHES, использующие расширение спектра сигнала коррелированными скачками по частоте, представляют собой усовершенствованный подход к повышению скорости цифровой связи в ДКМВ диапазоне, уменьшает взаимное влияние между соседними каналами радиотракта и повышает разведзащищенность. Кроме того, метод кодирования CHES, допускает восстановление пропущенных пакетов в процессе обнаружения ошибок дополнительно к другим методам, которые могут быть применены при выборе сигнально-кодовой конструкции.

Для внедрения новых сигнально-кодовых конструкций и сигналов с расширением спектра в средствах радиосвязи авторами предлагается использование концепции SDR – программно-определяемого радио. Такой подход даст возможность реализовать различные новые режимы и интерфейсы путём обновления программного обеспечения радиостанций. Кроме того, специальные пользователи могут провести программную модернизацию изделий выпущенных ранее и находящихся в эксплуатации без участия предприятий-изготовителей.

**Литература**

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. М. : Радио и связь, 2000 г. – 520 с. 2. Банкет В. Л. Сигнально-кодовые конструкции в телекоммуникационных системах, Одесса, Феникс, 2009, с. 180, ISBN 978-966-438-224-0. 3. Королев А. И. Сигнально-кодовые конструкции в системах связи, Минск, БУГИР, 63 с. 4. М. Ф. Шebakпольский, А. Б. Царев, М. М. Крахмалева, Э. В. Волкова, А. Ю. Родионов. Оптимизация сигнально-кодовых конструкций для связанных радиоканалов с глубокими релейскими

замираньями, Журнал радиоэлектроники. – № 9. – 2009. 5. Стандарт MIL-STD-188-141B, приложение С. 3-е поколение протоколов передачи данных в КВ-диапазоне. Режим доступа <http://avtokanal.com/fr/1/188-141b-appc.doc>. 6. AFRL-IF-RS-TR-2001-159 Final Technical Report August 2001, Correlated hopping enhanced spread spectrum (chess) study, [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgibin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA394991&ei=9WLaVMiGKle\\_ywOf\\_YH4Bw&usq=AFQjCNE2S4RNjDZyOX4b8qfkLqlyiGjHGA](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgibin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA394991&ei=9WLaVMiGKle_ywOf_YH4Bw&usq=AFQjCNE2S4RNjDZyOX4b8qfkLqlyiGjHGA).

**ПЕРСПЕКТИВИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧАЄМИХ РАДІОЗАСОБІВ В ІНТЕРЕСАХ СПЕЦІАЛЬНИХ СПОЖИВАЧІВ**

*Леонід Олександрович Бондаренко*

*Микола Олександрович Масесов (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*В'ячеслав В'ячеславович Малих*

*Костянтин Валерійович Андреев*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна*

*Запропоновано методи побудови програмно-визначаємих систем радіозв'язку на основі сигнально-кодових конструкцій та розширення спектру, що дозволяють збільшити надійність радіозв'язку. Визначено переваги застосування розширення спектру корельованими стрибками по частоті порівняно з відомими методами. Наведено опис структури мережі радіозв'язку на основі програмно-визначаємих радіостанцій, які забезпечують поліпшення ймовірнісно-часових характеристик системи радіозв'язку при передачі інформації у порівнянні з існуючими неавтоматизованими радіомережами.*

*Ключові слова:* радіомережа; програмно-визначаємий радіо засіб; SDR радіостанція; сигнально-кодові конструкції; розширення спектру.

**THE PROSPECTS OF ESTABLISHING RADIO NETWORKS BASED ON SOFTWARE-DEFINED RADIO AIDS ON BEHALF OF SPECIAL CONSUMERS**

*Leonid O. Bondarenko*

*Mykola O. Masesov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Viacheslav V. Malykh*

*Kostiantyn V. Andriev*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization of State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine*

*The methods of building software-defined radio systems based on code modulations and spread spectrum were proposed, which allows to increase the reliability of radio communications. The advantages of using spread spectrum by correlated jumps enhanced on frequency in comparison with the known methods were defined. The structure description of the radio communication network based on software-defined radio stations, providing the probability-time characteristics of the radio system improving when information transmission in comparison with over existing manual radio networks.*

*Keywords:* radio network; software-defined radio communication equipment; SDR radio station; alarm-code constructions; spread spectrum.

**References**

1. Feer K. (2000), Wireless digital communications. Modulation and spreading. [*Besprovodnaya tsifrovaya svyaz. Metodyi modulyatsii i rasshireniya spectra*]. M Radio i svyaz, g., 520 p.. 2. Banket V.L. (2009), Signal-code construction in telecommunication systems, [*Signalno-kodovyye konstruksii v telekommunikatsionnyih sistemah*], Odessa, Feniks, 180 p., ISBN 978-966-438-224-0. 3. Korolev A., Signal-code construction in communication systems, [*Signalno-kodovyye konstruksii v sistemah svyazi*], Minsk, BUGIR, p. 63. 4. Shebakpolskiy M.F., Tsarev A.B., Krahmaleva M.M., Volkova E.V., Rodionov A.Yu. (2009), Optimization of signal-code constructions for coherent radio channels with deep Rayleigh fading. [*Optimizatsiya*

*signalno-kodovyyih konstruksiy dlya svyaznyih radiokanalov s glubokimi releevskimi zamirannyami*], Zhurnal radioelektroniki vol.9. 5. Standart MIL-STD-188-141B, prilozhenie C. 3-e pokolenie protokolov peredachi dannyih v KV-diapazone. Rezhim dostupa <http://avtokanal.com/fr/1/188-141b-appc.doc>. 6. AFRL-IF-RS-TR-2001-159 Final Technical Report August 2001, Correlated hopping enhanced spread spectrum (chess) study, [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgibin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA394991&ei=9WLaVMiGKle\\_ywOf\\_YH4Bw&usq=AFQjCNE2S4RNjDZyOX4b8qfkLqlyiGjHGA](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.dtic.mil%2Fcgibin%2FGetTRDoc%3FAD%3DADA394991&ei=9WLaVMiGKle_ywOf_YH4Bw&usq=AFQjCNE2S4RNjDZyOX4b8qfkLqlyiGjHGA).

Отримано: 02.03.2015 року