

УДК 621.396

А.Ю. СТРЮК<sup>1</sup>, И.Н. ПОНОМАРЕВ<sup>1</sup>, А.В. СОЛОВЬЕВА<sup>2</sup><sup>1</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины «КПИ», Украина<sup>2</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОСПРИНИМАЕМОГО КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Проведен аналитический обзор методик оценки оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационных сетей. Оценена практическая реализуемость и прогнозируемая точность определения значений показателя воспринимаемого качества обслуживания (PQoS) с использованием существующих методов оценки. Точность полученных оценок может быть повышена за счет использования перспективных методов оценки PQoS, имеющих большую степень соответствия результатам субъективной оценки, а также за счёт тщательного моделирования и учета параметров сети, влияющих на PQoS. Определена целевая функция оптимизации с использованием показателя PQoS.

**Ключевые слова:** инфокоммуникационные сети, качество обслуживания, распределение ресурсов, воспринимаемое качества обслуживания.

### Введение

В последние годы быстрое развитие телекоммуникационных и информационных технологий значительно обогатило разнообразие доступных пользователю информационных служб и приложений. Телекоммуникационные службы эволюционируют от традиционных голосовых служб к широкому спектру мультимедийных служб объединяющих данные, голос и видео, что, в свою очередь, приводит к замещению телекоммуникационных сетей инфокоммуникационными [1].

Одним из важнейших требований, предъявляемых к инфокоммуникационным сетям, является обеспечение для каждого из пользователей сети заданного качества обслуживания (QoS, Quality of Service). Рекомендации ITU-T G.1000 определяет QoS как совокупный эффект характеристик сетевого сервиса, определяющий степень удовлетворения потребителя данной сервиса [2].

### 1. Управление ресурсами инфокоммуникационных сетей

Традиционный подход к заданию качества обслуживания, предполагает определение для информационных потоков в сети набора граничных значений параметров, обеспечивающих приемлемое функционирование сервиса (службы) –  $\{q_k\}$ . Для сетей с коммутацией пакетов наиболее значимыми параметрами QoS являются: пропускная способ-

ность; задержка передачи пакета; вариация задержки передачи пакета (джиттер); процент утраченных пакетов; вероятность битовой ошибки [3]. Управление ресурсами сети в таком случае представляет собой поиск такой стратегии распределения ресурсов сети, которая обеспечивает достижение заданных (или максимально возможных) значений параметров QoS для конкурирующих за доступ к ресурсам информационных потоков [4, 5]. Задача поиска оптимального распределения ресурсов сети сводится к задаче многокритериальной оптимизации для нечётко заданных целей и альтернатив, решение которой имеет высокую степень сложности [5].

Для упрощения поиска оптимального распределения ресурсов сети вводится так называемая функция утилизации (utility function), определяющая степень достижения QoS для каждого из информационных потоков (или типов информационных служб) в зависимости от значений параметров QoS и выделенных для данного потока ресурсов сети [6]. При таком подходе задача оптимизации становится однокритериальной, например, оптимальной стратегией распределения ресурсов сети  $x_{\text{опт}}$ , принадлежащей множеству возможных стратегий  $\{x\}$ , считается такая стратегия, которая обеспечивает максимизацию значений функций утилизации для сети в целом

$$x_{\text{опт}} = \arg \max_{x \in \{x\}} \left( \sum_{i=1}^N U_i(R_i, \{q_k\}) \right) \quad (1)$$

при условии

$$\sum_i R_i = C,$$

где  $R_i$  – ресурсы, выделенные для потока (службы)  $i$ ;  $\{q_k\}$  – совокупность значений параметров QoS;  $N$  – количество информационных потоков (служб) в сети;  $C$  – общий объём ресурсов сети.

Сложный характер взаимной связи между параметрами QoS, неоднозначность их влияния на итоговое качество обслуживания, определяет нетривиальность определения значений функции утилизации как функции нескольких переменных. Во многих моделях управления распределением ресурсов функция утилизации задается как функция, зависящая от одной переменной, как правило, от пропускной способности или задержки (рис. 1).

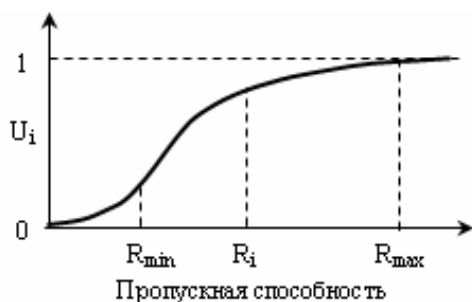


Рис. 1. Зависимость функции утилизации от пропускной способности для мультимедийных служб [7]

Такое упрощение ставит под сомнение адекватность полученных оценок воспринимаемому пользователем качеству информационной службы.

Серьёзным системным недостатком описанного выше управления ресурсами в инфокоммуникационной сети только на основе анализа сетевых параметров, является исключения из анализа стратегий распределения ресурсов возможностей приложений прикладного уровня. Современные методы кодирования и декодирования информации позволяют, например, изменять требования к пропускной способности элементов сети за счёт кодирования с переменной скоростью [8, 9], уменьшать требования к вероятности битовой ошибки в каналах связи за счёт помехоустойчивого сжатия [10] и дифференцированной защиты пакетов, переносящих мультимедийную информацию [11], компенсировать влияние потери пакетов и джиттера за счёт адаптивного воспроизведения [9, 12].

В качестве комплексного показателя оценки оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационной сети непосредственно связанного с ее основным предназначением – обеспечением передачи информации с заданным качеством и учитывающего как влияние параметров сети, так и влияние приложений прикладного уровня может быть использовано воспринимаемое пользователем качество информационной услуги (рис. 2) [13, 14].

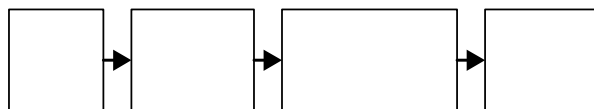


Рис. 2. Процесс получения оценки сквозного качества функционирования информационной службы

Целью данной статьи является определение методики оценки оптимальности управления ресурсами инфокоммуникационной сети на основе показателя воспринимаемого качества обслуживания.

## 2. Методы оценки воспринимаемого качества обслуживания

Воспринимаемое качество обслуживания (PQoS – perceived quality of service) – это оценка качества информационного сервиса с точки зрения восприятия пользователя как потребителя услуг данного сервиса. На рис. 3 приведена обобщенная классификация методов и алгоритмов оценки PQoS для аудиовизуальных служб.

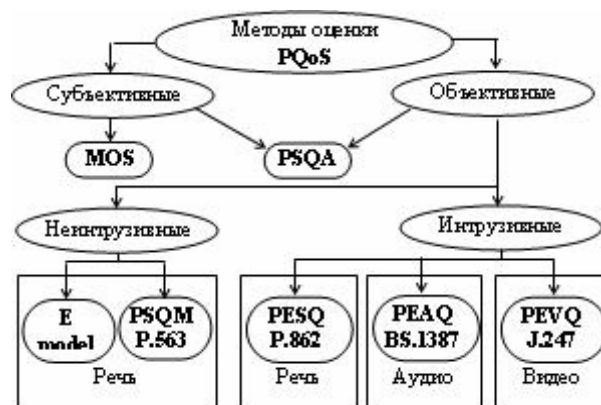


Рис. 3. Классификация методов оценки качества пользовательского восприятия

Субъективные методы позволяют получить наиболее адекватную оценку воспринимаемого качества, поскольку прямо отображают мнение пользователей. Многочисленные международные и отечественные стандарты определяют особенности организации и проведения субъективной оценки как отдельных параметров (разборчивость, узнаваемость), так и интегрального качества службы. В большинстве случаев результат субъективных методов, представляет собой усреднённое мнение группы людей-экспертов о качестве предоставленных контрольных видео или аудио последовательностей. В рекомендации ITU-T P.830 [15] рекомендовано использовать для оценки качества пользовательского восприятия пятибалльную шкалу (табл. 1) MOS (Mean Opinion Score – среднее значение экспертных оценок).

Данная шкала используется и в большинстве других методов оценки качества восприятия как субъективных, так и объективных (некоторые методы используют для оценки качества т.н. R-фактор, измеряемый по 100-бальной шкале; для этих методов устанавливаются соотношения для пересчёта полученной оценки в пятибалльную шкалу).

Основная сложность в практическом использовании субъективных тестов заключается в длительности процедуры тестирования (особенно при оценке качества в зависимости от значительного количества параметров), а также в невозможности автоматизации и проведения в реальном времени.

Таблица 1  
Шкала оценки пользовательского восприятия

Оценка MOS	Категория качества	Удовлетворенность пользователей
5	Наилучшая (Excellent)	Удовлетворены в высшей степени
4	Высокая (Good)	Удовлетворены
3	Средняя (Fair)	Некоторые не удовлетворены
2	Низкая (Poor)	Многие не удовлетворены
1	Плохая (Bad)	Почти все не удовлетворены

Объективные методы оценки качества позволяют исключить человека из процедуры оценки, и, как следствие, могут быть легко автоматизированы. Объективные методы делятся на интрузивные и неинтрузивные. В интрузивных методах оценка качества осуществляется путём сравнения эталонной последовательности (оригинала) с последовательностью, подвергнутой искажению в сети. Такое сравнение может осуществляться во временной области (вычисление среднеквадратического отклонения, соотношения сигнал/шум, или пиковое отношение сигнал/шум), однако корреляция полученных таким образом оценок с субъективными методами оценки оказывается низкой. Наибольшую степень корреляции с результатами пользовательского восприятия обеспечивают методы сравнения, основанные на моделировании аппарата восприятия человека. В частности, к данной группе относятся включённые в рекомендации ITU методы оценки качества речевых (телефонных) сигналов – PESQ (perceptual evaluation of speech quality) рекомендация ITU – T P.862 [16]; аудио сигналов – PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) соответствует рекомендации ITU – R BS.1387; видео сигналов – PEVQ (Perceptual Evaluation of Video Quality) рекомендация ITU-T J.144. Неинтрузивные методы позволяют

проводить оценку качества сигналов без сравнения с эталонным сигналом. К сожалению, в настоящее время отсутствуют верифицированные методы неинтрузивной оценки качества видео служб. Для неинтрузивной оценки качества речевых служб разработаны и рекомендованы методы PSQM (perceptual speech quality measurement) рекомендация ITU – T P.563 [17] и так называемая E – модель рекомендация ITU – T G.107 [18].

Особое положение в классификации методов оценки качества восприятия занимает метод PSQA (Pseudo-Subjective Quality Assessment), который позволяет осуществлять объективную оценку с использованием нейронной сети, обучение которой проведено с использованием субъективных оценок.

Для оценки PQoS пользователей немультимедийных приложений может быть использована рекомендация ITU – T G.1030 [20].

### 3. Методика оценки оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационной сети

Предлагаемая методика оценки оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационной сети на основе показателей воспринимаемого качества обслуживания состоит из двух этапов.

Первый этап – определение значений показателя PQoS для каждой из функционирующих с сети информационных служб при выбранной стратегии распределения ресурсов с учётом параметров средств прикладного уровня.

Второй этап – оценка оптимальности выбранной стратегии распределения ресурсов сети на основе значения показателя качества пользовательского восприятия.

Определение значений показателя PQoS для каждой из функционирующих в сети информационных служб предполагает определение значений многомерного вектора  $MOS_i$  зависящих от выделенных ресурсов, заданных параметров QoS в сети, с учётом функциональности реализующего данную службу прикладного программного обеспечения (оконечного абонентского оборудования)

$$MOS_i = F(R_i, E_i, \{q_k\}), \quad (2)$$

где  $MOS_i$  – значение PQoS по шкале MOS для информационной службы  $i$ ,  $i \in 1..N$ ;  $N$  – количество информационных служб, функционирующих в сети;  $R_i$  – объем ресурсов сети, выделяемый информационной службе  $i$ ;  $E_i$  – факторы, отражающие влияние на PQoS особенности реализации прикладного программного обеспечения, и (или) оконечного абонентского оборудования;  $\{q_k\}$  – набор параметров QoS, характеризующих сеть.

Рассмотрим практическую реализуемость и прогнозируемую точность определения  $MOS_i$  с использованием описанных выше методов оценки PQoS.

Наиболее адекватную оценку PQoS обеспечивают субъективные методы. Однако, даже при достаточно большом шаге изменения параметров, от которых зависит  $MOS_i$ , объем необходимых тестовых процедур делает применение субъективных методов практически нереализуемым. Таким образом, получить достаточно полную совокупность значений  $MOS_i$  возможно только с использованием объективных методов оценки PQoS. Наиболее привлекательным в контексте решения сформулированной задачи выглядит применение неинтрузивных объективных методов оценки качества восприятия, использование которых позволяет полностью исключить при получении значений  $MOS_i$  экспериментальные исследования, и осуществлять оценку PQoS в реальном времени в процессе функционирования системы управления ресурсами.

Немультимедийные службы предъявляют достаточно мягкие требования к параметрам QoS сети (как правило, нормируются только пропускная способность, задержка передачи и реже – вероятность битовой ошибки) [6]. Кроме того, при оценке качества немультимедийных служб, как правило, нет необходимости моделировать влияние на качество восприятия особенностей реализации прикладного программного обеспечения. Относительная простота моделирования качества восприятия немультимедийных служб делает вполне оправданным использование для оценки  $MOS_i$  неинтрузивных методов оценки.

Для неинтрузивной оценки качества речевых служб рекомендовано использование методов **PSQM** и **Е-модели**. Метод **PSQM** неприменим для оценки  $MOS_i$  (выражение 2), так как разработан для мониторинга качества телефонных сигналов в реальном времени без использования эталонного сигнала, и не отображает причины изменения качества сигнала.

**Е-модель** – вычислительная модель, используемая при планировании передачи, определяет качество телефонного соединения коэффициентом рейтинга передачи  $R$

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A, \quad (3)$$

где  $R_0$  – основное соотношение сигнал/шум, включая такие источники шума, как шум цепи и шум

помещения;  $I_s$  – комбинация из всех снижений качества, которые действуют на речевой сигнал;  $I_d$  – снижение качества, вызываемое задержкой;  $I_e$  – снижение качества, вызываемое кодеками с низкой битовой скоростью, а также из-за потери пакетов в сети;  $A$  – коэффициент выигрыша, который позволяет компенсировать коэффициенты снижения качества в тех случаях, когда существуют другие преимущества доступа к пользователю.

Анализ рекомендации G.107 показывает, что коэффициенты  $R_0$  и  $I_s$  зависят от качества реализации оконечного телефонного оборудования, коэффициент  $A$  – зависит от типа сети (проводная, мобильная, спутниковая и т.д.) и при оценке оптимальности распределения ресурсов инфокоммуникационной сети фактически представляют собой константы. Таким образом, в Е-модели, значения  $MOS_i$  варьируются в зависимости от задержки, вероятности потери пакета и качества кодера.

Основной недостаток Е-модели, низкая точность предсказания, на что указано непосредственно в тексте рекомендации. К недостаткам Е-модели также может быть отнесена необходимость моделирования как сети, так и используемого кодера (оконечного оборудования).

Недостаточная точность неинтрузивных методов оценки качества речевых служб, а также отсутствие верифицированных методов неинтрузивной оценки качества видео служб определяет необходимость использования для определения  $MOS_i$  объективных интрузивных методов оценки PQoS.

Для экспериментального определения совокупности значений  $MOS_i$  с использованием объективных интрузивных методов предлагается схема проведения эксперимента, приведенная на рис. 4.

С использованием предложенной схемы может быть получена база значений  $MOS_i$  как многомерно-го вектора зависящего от особенностей реализации прикладного программного обеспечения (оконечных устройств) реализующих информационную службу и параметров качества обслуживания. Регрессионный анализ дискретных значений  $MOS_i$  позволит получить непрерывные зависимости, аналогичные приведенным на рис. 5.



Рис. 4. Схема экспериментального определения значений сквозного качества пользовательского восприятия

К достоинствам предложенной схемы относятся:

- использование наиболее адекватных на сегодняшний день объективных методов оценки качества восприятия;
- при оценке  $MOS_i$  с использованием предложенной схемы используются реальные (программно реализованные) кодер и декодер и, как следствие, необходимо моделировать только искажающие воздействия в сети, что повышает точность полученных оценок.

Недостатком экспериментальной оценки  $MOS_i$  является невозможность получения оценок в реальном времени непосредственно в цикле управления.



Рис. 5. Зависимость  $MOS$  от вероятности потери пакета для различных кодеков речи [21]

При использовании предлагаемой методики в каждом цикле управления для каждого информационного потока осуществляется оценка качества пользовательского восприятия информационной услуги -  $MOS_i$  (с использованием алгоритмов реализующих неинтрузивные методы, либо с использованием значений полученных экспериментально). Определяются возможные стратегии распределения ресурсов сети между информационными потоками пользователей и режимы преобразования информации на прикладном уровне.

Оптимальной считается стратегия, которая обеспечивает максимизацию целевой функции, зависящей от  $MOS_i$ , например, максимум среднего качества обслуживания

$$x_{\text{опт}} = \arg \max_{x \in X} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MOS_i(R_i, E_i, \{g_k\}) \right) \quad (4)$$

при условии

$$\sum_{i=1}^N R_i = C.$$

Теория решения однокритериальных задач оптимизации, аналогичных (4), достаточно хорошо развита.

## Заключение

Использование предложенной методики позволяет упростить задачу поиска оптимального распределения ресурсов сети при сохранении адекватности полученных решений основному предназначению инфокоммуникационной сети – обеспечению передачи информации с заданным качеством. Точность полученных оценок может быть повышена за счёт использования перспективных методов оценки PQoS, имеющих большую степень соответствия результатам субъективной оценки, а также за счёт тщательного моделирования и учёта параметров сети влияющих на PQoS.

## Литература

1. Гайворонская Г.С. *Инфокоммуникации* / Г.С. Гайворонская. – Одесса: ОГАХ, 2006. – 90 с.
2. ITU-T G.1000. *Communications quality of service*. – ITU, 2001. – 16 p.
3. *Network quality of service: know it all* / A. Farrel et al. – Morgan Kaufmann, 2008. – 351 p.
4. Дымарский Я.С. *Управление сетями связи* / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
5. Миночкин А.И. *Управление качеством обслуживания в мобильных радиосетях* / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // *Зв'язок*. – 2005. – № 8. – С. 17-23.
6. Räsänen V. *Implementing service quality in IP networks* / V. Räsänen – John Wiley & Sons, 2003. – 325 p.
7. Lu N. *Utility-Based Bandwidth Adaptation for Multimedia Wireless Networks* / N. Lu, J. Bigham, N. Nasser // *Adaptation and cross layer design in wireless networks*. – CRC Press, 2008. – P. 149-182.
8. *Broadband mobile multimedia: techniques and applications* / edited by Y. Zhang. – Auerbach Publications, 2008. – 586 p.
9. *Multimedia over IP and wireless networks: compression, networking, and systems* / Edited by P.A. Chou, M. van der Schaar. – Elsevier, 2007. – 692 p.
10. Баранник В.В. *Оценка помехоустойчивости двухпризнаковых структурных кодовых конструкций* / В.В. Баранник, А.К. Юдин // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 2. – С. 20-26.
11. Янсонс Я. В. *Метод повышения качества восстановленного сигнала на основе дифференцированной защиты кадра речевых данных* // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2008. – № 5(32). – С. 116-120.
12. Гайворонская Г.С. *Уровневая модель предоставления инфокоммуникационных услуг* / Г.С. Гайворонская // *Зв'язок*. – 2007. – № 1. – С. 49-55.

13. Батлер Ю.В. О качестве услуг в IP-сетях / Ю.В. Батлер, В.Ф. Михайлов // Зв'язок. – 2006. – № 6. – С. 2-6.
14. *End-to-End Quality of Service over cellular networks* / Edited by G. Gómez and R. Sánchez. – John Wiley & Sons, 2005. – 317 p.
15. ITU – T P. 830. *Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs*. – ITU, 1996. – 26 p.
16. ITU – T P. 862. *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*. – ITU, 2001. – 30 p.
17. ITU – T P.563. *Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications*. – ITU, 2004. – 66 p.
18. МСЭ-Т G.107. *Е-модель – вычислительная модель, используемая при планировании передачи*. – МСЭ, 2005. – 28 с.
19. Rubino G. *Controlling multimedia QoS in the future home network using the PSQA metric*/ G. Rubino, M. Varela, J.-M. Bonnin // *Computer Journal*. – 2006. – № 2. – P. 137-155.
20. МСЭ-Т G.1030. *Оценка сквозного качества работы в IP-сетях для приложений передачи данных*. – МСЭ, 2005. – 28 с.
21. Jurca D. *Joint Network and Rate Allocation for Simultaneous Wireless Applications* / D. Jurca, W. Kellerer, E. Steinbach, S. Khan, S. Thakolsri, P. Frossard // *2007 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME 2007)*, 2007. – P. 931-934.

Поступила в редакцию 20.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой компьютерных информационных технологий и систем А.Л. Ляхов, Полтавский национальный технический университет, Полтава, Украина.

#### МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛЕННЯ РЕСУРСІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ПОКАЗНИКА СПРИЙНЯТТЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

*О.Ю. Стрюк, І.М. Пономарьов, А.В. Соловйова*

Проведений аналітичний огляд методик оцінювання оптимальності розподілення ресурсів інфокомунікаційних мереж. Оцінена практична реалізованість і прогнозована точність визначення показника сприйняття якості обслуговування (PQoS) з використанням існуючих методів оцінювання. Точність отриманих оцінок може бути підвищена за рахунок використання перспективних методів оцінки PQoS, що мають великий ступінь відповідності результатам суб'єктивної оцінки, а також за рахунок ретельного моделювання і обліку параметрів мережі, що впливають на PQoS. Визначена цільова функція оптимізації із використанням показника PQoS.

**Ключові слова:** інфокомунікаційні мережі, якість обслуговування, розподілення ресурсів, сприйняття якості обслуговування.

#### THE METHODOLOGY OF OPTIMALITY ASSESSMENT RESOURCES ALLOCATION OF INFO-COMMUNICATION NETWORKS BASED ON PERCEIVED QUALITY OF SERVICE FACTOR

*A.Y. Strjuk, I.N. Ponomaryov, A.V. Solovjova*

State of the art of methodologies of optimality assessment resources allocation of infocommunication networks has been conducted. Practical realizability and expected accuracy of perceived quality of service (PQoS) factor value definition with use of existing methods assessment is estimated. Accuracy of the estimations can be enhanced due to the use of perspective methods of PqoS estimations, which have a large degree of accordance with results of subjective estimation, and also due to a careful design and taking into account network parameters which influence on RqoS. Criterion function of optimization with use of PQoS factor is defined.

**Key words:** infocommunication networks, quality of service, resources allocation, perceived quality of service.

**Стрюк Алексей Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент, докторант Военного института телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины «КПИ», Полтава, Украина, e-mail: strjuk@rambler.ru.

**Пономарёв Игорь Николаевич** – заместитель начальника факультета по учебной и научной работе – начальник учебной части, факультет средств военной связи Военного института телекоммуникаций и информатизации Национального технического университета Украины «КПИ», Полтава, Украина.

**Соловьёва Алина Владимировна** – студентка 4 курса факультета компьютерной инженерии и управления Харьковского национального университета радиоэлектроники, Харьков, Украина.