



ВОЕННАЯ СВЯЗЬ СТРАН НАТО: ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Слюсар

Со времени последней публикации в журнале "ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ" по вопросам военной связи [1] в технологиях военных коммуникаций произошли заметные изменения. В области обработки сигналов они связаны, прежде всего, с внедрением программируемой архитектуры радиосредств (Software Defined Radio), OFDM сигналов и методов MIMO. В идеологии построения тактических сетей основной акцент сместился на поддержку сетевых сценариев боевых действий. В целом же, главное отличие нынешнего этапа в развитии тактических коммуникаций — преимущественно в усовершенствовании методов, используемых в гражданских системах. Подтверждением тому является симпозиум панели "Информационные системы и технологии" (IST) Организации исследований и технологий (RTO) НАТО по вопросам военной связи, состоявшийся 21–22 апреля 2008 года в Праге. Рассмотрим ключевые события симпозиума и основные доклады его участников.

Целью симпозиума было обсуждение проблем и обоснование рекомендаций в актуальных направлениях совершенствования систем тактической связи в интересах сетевых операций*. Доклады распределились по сессиям: радиосредства с программируемой архитектурой (Software Defined Radio, SDR); динамическое управление ресурсом и качество обслуживания (QoS); общие кон-

* Сетевая война — ориентированная на достижение информационного превосходства концепция проведения военных операций, предусматривающая увеличение боевой мощи группировки объединенных сил за счет создания информационно-коммуникационной сети, связывающей датчики (источники данных), лиц, принимающих решения, и исполнителей, что обеспечивает доведение до участников операций информации об обстановке, ускорение процесса управления силами и средствами, а также повышение темпа операций, эффективности поражения сил противника, живучести своих войск и уровня самосинхронизации боевых действий. Net-Centric Environment Joint Functional Concept. — DoD, 2005, Appendix B. Glossary.

цепции и подходы; системы передачи сообщений и проблемы управления; тактические коммуникации; протоколы связи; проблемные работы. В симпозиуме принимали участие представители стран-членов НАТО, а также участники программы "Партнерство ради мира", в том числе и один представитель России.

В пленарном докладе Рика Барфута (секретариат штаб-квартиры НАТО по консультациям, командованию и управлению, NATO HQ C3 Staff) "Взаимодействие тактических коммуникаций в поддержку сетевых возможностей НАТО", в частности, был презентован проект TACOMS POST- 2000. Он рассматривается в качестве методологии интеллектуальных телекоммуникаций (www.tacomspost2000.org), призванных обеспечить для НАТО возможность ведения коалиционных сетевых операций. Соответствующую группу стандартов в инициативном порядке разрабатывают ученые и промышленность 15 стран, в частности Бельгии, Канады, Франции, Германии, Италии, Нидерландов, Норвегии, Португалии, Испании, Турции, Великобритании, США, Польши. Стандарты TACOMS POST- 2000 основаны на поддержке протоколов тактического Интернета (от IPv4 до IPv6) с использованием наземных, воздушных и космических ретрансляторов. Среди основных преимуществ TACOMS POST- 2000 докладчик отметил: возможность передачи файлов, видео- и других мультимедийных данных; поддержку глобальной мобильности за счет абсолютной адресации всех пользователей в адресном пространстве IPv6; большую емкость абонентских каналов, их совместимость; защищенность каналов передачи данных при высокой скорости трафика (до 1 Гбит/с).

Проект направлен на реализацию концепции представления боевых систем как интеграции сетей сенсорных средств, сетей узлов управления и эффекторов (огневых комплексов). Они строятся на SDR-системах, и в рамках индустриальной консультативной группы НАТО NIAG сейчас изучаются возможности создания соответствующей технической базы SDR силами 10 стран НАТО. Главное преимущество технологии SDR на данном этапе — возможность



добиться совместимости разнотипных устройств. Однако для реализации всего потенциала SDR, как отмечалось в серии докладов, необходимо, чтобы разработчики четко придерживались требований стандартов НАТО относительно конвертации исходных программных кодов в формат Software Communications Architecture (SCA). Это касается не только языка высокого уровня, но и программирования архитектуры ПЛИС (например, на языке VHDL), а также IP-блоков для ПЛИС сторонних разработчиков. SCA-правила выполнения проекта SDR требуют модульного построения программного обеспечения (ПО), а также структурируют модульные интерфейсы. Существенно, что средство радиосвязи не сможет пройти сертификацию по стандартам НАТО без предоставления соответственно оформленных открытых текстовых кодов ПО SDR и прошивки ПЛИС. Открытые тексты описания архитектуры ПЛИС не только позволят обеспечить надежность функционирования устройства, но и упростят проблемы совместимости на международном уровне, особенно при многонациональных разработках. Кроме того, эффективнее охраняются права на интеллектуальную собственность, поскольку проще обнаруживать заимствование фрагментов чужих кодов. Конечно, такой уровень открытости должен сопровождаться предшествующим патентованием ПО согласно национальному законодательству. Хотя и считается, что нормы SCA довольно сложны для выполнения, и эта архитектура не лишена определенных недостатков, однако пока для разработки платформ SDR ничего лучшего не придумано.

По мнению зарубежных специалистов, существенных эксплуатационных преимуществ не достичь, если использовать SDR-технологии лишь для того, чтобы одно устройство поддерживало множество старых стандартов и протоколов. SDR-устройства должны обладать еще и дополнительными возможностями по пропускной способности, помехозащищенности, криптостойкости и др. Поэтому для успеха SDR-технологии нужен поиск новых сигнально-кодовых конструкций и алгоритмов их обработки. SDR и SCA-архитектура позволяют реализовывать новые методы обработки сигналов без замены и переоборудования радиоаппаратуры, а использование библиотек открытых кодов экономит время и стоимость разработок (неизменным, как правило, остается до 70% программного кода).

Представитель польского Военного института технологий Е.Лопатка анонсировал один из крупнейших европейских проектов в сфере SDR – European Secure Software Radio (ESSOR). В нем принимают участие шесть стран: Финляндия, Франция, Италия, Испания, Швеция и Польша. Бюджет проекта определен Европейским оборонным агентством (EDA) в размере 100 млн. евро на 4 года, в октябре 2008 года можно ожидать подписания контрактов с компаниями – производителями работ. Во время сертификации

разработанного образца планируется фаза национальных испытаний, для чего должна быть изготовлена партия из 26 опытных SDR-устройств. Они должны поддерживать, в том числе, мобильную связь на расстоянии до 60 км и видеоконференции с мобильными абонентами на расстоянии до 15 км. Отличительная особенность проекта – использование MEMS-технологий и Smart-антенн (цифровых антенных решеток), на которые возлагается задача подавления активных помех.

Применение технологии MIMO в тактической связи было в центре внимания нескольких докладчиков. В частности, сотрудник Исследовательского центра коммуникаций (Оттава, Канада) Трайси Уайлинк рассказал о результатах исследования предельной скорости передачи системы MIMO в городских условиях на примере центральных улиц Оттавы. Отличительной особенностью эксперимента было применение не только 4-, но и 8-элементных передающих и приемных антенн (схемы 4×4 и 8×8), одна из которых располагалась на крыше автомобиля, двигавшегося со скоростью 30 км/ч. Максимальное удаление приемной решетки от передатчика по уличному "каньону" можно оценить в 550 м. При отсутствии прямой видимости из-за городской застройки максимальное расстояние "передатчик-приемник" достигало 350 м. При этом использовалось квазиортогональное блочное пространственно-временное кодирование (STBC) OFDM-сигналов с модуляцией QPSK, эффективность которого сравнивалась с методом пространственного мультиплексирования V-BLAST. Эксперименты проводились в диапазоне 2 ГГц, полоса сигналов составляла 20 МГц, частота дискретизации в приемниках – 50 МГц, ширина фильтра быстрого преобразования Фурье ограничивалась 200 Гц, что значительно превышает доплеровский сдвиг частоты. Как результат исследований отмечается, что MIMO-технология коммуникаций имеет значительный потенциал для увеличения спектральной эффективности при рассеянии сигналов в окружающей среде, соответствующей городским тактическим сценариям. Хотя выигрыш не столь велик, как это предвещали ранние, оптимистичные пространственно-некоррелированные модели каналов передачи, спектральная эффективность увеличивается почти линейно с ростом числа элементов антенн. Поскольку при определенном расположении передающего и приемного сегментов более выигрышным может быть как метод STBC, так и V-BLAST, Трайси Уайлинк предложил использовать адаптивную обработку сигналов, учитывающую реальное состояние каналов связи. Однако для этого нужен обратный обмен служебными данными между передающим и приемным сегментами на этапе вхождения в связь.

Специалисты Шведского агентства оборонных исследований также изучили параметры MIMO-канала в городском окружении. Новизна этих исследований – в использо-

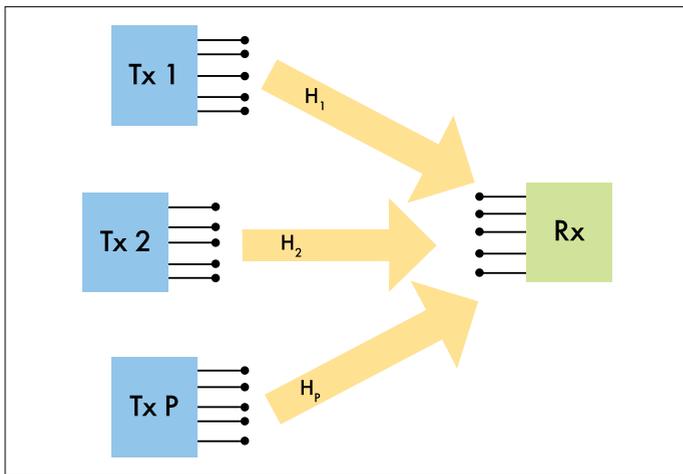


Рис. 1. Система мультиММО в трактовке А.Гершмана [2]

вании несущей частоты в районе 300 МГц, в то время как известные публикации по вопросам развития ММО-технологий относились преимущественно к более высокочастотным диапазонам (например, 2 и 5 ГГц). По мнению докладчика, для тактической военной связи диапазон 300 МГц довольно привлекателен благодаря "мягким" характеристикам распространения радиоволн, которые в этой полосе могут легко огибать препятствия. Кроме того, частота несущей 300 МГц еще достаточно высока, чтобы ММО-терминалы с антенными решетками были сравнительно компактны для размещения на боевых машинах и других подвижных средствах. Описанный в докладе эксперимент проводился с OFDM-сигналом общей полосой 20 МГц. Качество связи в городской застройке исследовалось в диапазоне расстояний "передатчик – приемник" до 250 м. При этом использовались 7-элементные кольцевые антенные решетки из вертикальных вибраторов на передачу и прием сигналов. В ходе испытаний стабильно наблюдалось увеличение в 4–6 раз емкости канала связи в сравнении с одноантенными решениями. Теоретически же при некоррелированных трассах распространения сигналов должен был быть семикратный выигрыш. В докладе также сделан акцент на том, что канальная емкость исследуемой системы ММО



Рис. 2. Устройство персональной радиосвязи PR-20 компании DICOM

уменьшается, когда функция передачи возрастает за счет проникновения сигналов в промежутках между застройками, т.е. в случае прямой видимости.

Доктор Дональд Товсли из Массачусетского университета США в докладе "Кооперация в беспроводных сетях" изложил концепцию кооперативной передачи данных в распределенных системах ММО. В сущности, он обобщил известный метод передачи данных в мультиММО системах, предложенный А.Гершманом (Германия) [2], на случай иерархического образования кластеров ММО-средств. При этом на первом уровне в качестве компонентов системы ММО рассматривались распределенные на местности одноантенные средства, тогда как мультиММО системы в понимании А.Гершмана образовывались уже на втором уровне иерархии, объединяя несколько кластеров ММО в единую сверхсистему (рис.1). Таких уровней иерархического обобщения ММО-кластеров, согласно Д.Товсли, может быть три и более. Можно использовать как пересекающиеся в пространстве кластеры (с общими элементами), так и не перекрывающиеся. В качестве одной из схем кооперации отмечена возможность будущей реализации распределенного диаграммообразования (distributed beamforming), когда одноантенные средства первого уровня образуют антенную решетку с адаптивным формированием диаграммы направленности на прием и передачу в вычислительных средствах второго иерархического уровня. Для автоматического формирования ММО-кластеров было предложено несколько механизмов, один из которых опирается на теорию фильтрации (Percolation Theory) [3, 4]. Д.Товсли полагает, что в той или иной локальной области пространства кластер ММО должен образовываться при превышении плотностью радиосредств заданного порога. Он также получил формулу для прогнозирования емкости кооперативной сети ММО-систем. Если считать, что емкость сети на первом уровне, где существуют одноантенные решения, пропорциональна \sqrt{n} , где n – число узлов сети, то при кооперации h уровней с одинаковым количеством узлов в каждом из них емкость сети возрастет пропорционально $n^{h/(h-1)}$.

Другая часть доклада Дональда Товсли была посвящена кооперативному кодированию сигналов для повышения емкости сетей. Рассматривая важность кодового разделения каналов, Д.Товсли подчеркнул, что по результатам моделирования для двумерной сети типа MANET (Mobile Ad-hoc Networks, мобильная сеть с возможностью устанавливать соединения между произвольными узлами, стандарт маршрутизации в рамках мобильной IP-сети, разрабатывается рабочей группой MANET в рамках комитета по развитию Интернета IETF), содержащей 50–70 узлов, кодирование сигналов позволяет увеличить информационную емкость сети в 5–10 раз. Вместе с тем, существует фундаментальный предел повышения емкости сети за счет кодо-



вого мультиплексирования. В частности, для сети из n узлов, каждый из которых передает или принимает данные со скоростью W , емкость сети пропорциональна выражению $W\sqrt{n/\log(n)}$.

Чешская фирма DICOM (www.dicom.cz/) продемонстрировала устройство персональной радиосвязи PR-20, в котором кроме скачкообразного изменения несущей частоты реализовано пространственное мультиплексирование OFDM-сигналов по технологии MIMO со схемой "2 передатчика – 2 приемника" (рис. 2). Согласно заявленным ТТХ, устройство PR-20 разработано для обеспечения полнодуплексной цифровой связью локальной сети в составе боевой группы, которая может насчитывать до 30 человек, без потребности в маршрутизаторах и другом сетевом оборудовании. Рабочий диапазон частот – 2,4 ГГц. Результаты тестирования устройства в городских условиях и внутри зданий показали, что вероятность ошибок в пакетах данных в режиме MIMO может быть снижена в 4 раза при расстоянии передачи 70–80 м.

Одно из отмеченных на симпозиуме направлений усовершенствования средств тактической связи, в том числе и на основе MIMO с использованием кодированных OFDM сигналов, – применение скачкообразного изменения кода с каждым новым пакетом сигналов. Этот вопрос рассматривался в докладе Франко Херманса (Германия), посвященном методу скачкообразной перестройки кода CDMA (CH-CDMA), а также его гибриднему обобщению FH-CH-CDMA, предусматривающему расширение спектра сочетанием изменения кода с быстрой перестройкой несущей частоты. Доказав путем математического моделирования эффективность нового подхода, Ф.Херманс говорил о необходимости разработки семейства стандартов, которые регламентировали бы реализацию указанных методов в системах SDR.

На сессии по проблемам протоколов связи в докладе представителя Политехнического университета Каталонии была рассмотрена концепция защищенного протокола SEMAN для тактических мобильных сетей MANET. Концепция отличается тщательной проработкой вопросов многоуровневой иерархической защиты процесса слияния и разделения взаимодействующих сетей, а также противодействия несанкционированному доступу в процессе боевых действий. Вообще говоря, тематика защищенных протоколов является одной тех немногих областей, в которых специфика военных коммуникаций порождает уникальные решения, превосходящие по своим возможностям общегражданский сервис.

Среди докладов, представленных на сессии "Динамическое управление ресурсом и QoS", нужно особо указать на результаты исследования влияния высокоскоростных проводных коммуникаций (xDSL, PLT и др.) на уровень общего шума в эфире. Специалисты Исследовательского центра коммуникаций Оттавы совместно с коллегами из Герма-

нии и Норвегии доказали, что благодаря антенному эффекту высока вероятность того, что суммарный уровень излучения проводных линий связи превысит фоновый шум на расстояниях до 10 и более метров от линии. Это заметно ухудшает чувствительность расположенных рядом радиосредств. Поэтому необходимо внедрять нормативные документы, регламентирующие в НАТО уровень посторонних излучений проводными линиями связи.

В докладе "Ресурсный менеджмент в мобильных военных сетях" представитель Польши Петр Гаевски изложил концепцию так называемого красно-черного менеджмента сети, рассмотрев в ней особенности стыка красного (защищенного) и черного (незащищенного) сегментов.

Сотрудники фирмы Thales представили проект многоуровневой архитектуры коммуникационной сети приложений реального времени LARA (Layered Architecture for Real-Time Applications) в интересах военно-морских сил. Данная архитектура обеспечивает управление временем ожидания данных, циркулирующих в сети датчиков в составе мультиплатформенной военно-морской группировки. Доклад содержал обзор архитектуры, принципы управления радиоресурсами и задействованные аппаратные решения. Проект LARA нацелен на улучшение организации радиосети, он демонстрирует возможности современных сетевых тех-

нологий и протоколов типа IPv6 распределять заявки в реальном времени (с задержкой менее 50 мс) в объединенном военном контексте, используя распределенные датчики, сети вооружения и MANET. В качестве демонстрационной рассматривалась радиосеть, образованная из шести платформ: три морских (РЛС APAR и две РЛС Smart-L), одна наземная (РЛС Smart-L) и два вертолета. Новой концепцией стал запатентованный динамический механизм распределения временных задержек так называемых эластичных данных, предложенный в рамках проекта LARA.

Стейн Майтр (США) в докладе "Цифровые иммигранты и цифровые аборигены в век информации" изложил свое видение влияния развития цифровых коммуникаций на современную цивилизацию и характер ведения боевых действий. Он отметил, что при разработке сценариев боевых действий необходимо ориентироваться на информационные нужды и возможности нынешних "цифровых детей" и поколение "Net" как командиров и солдат будущего. В частности, для такого контингента нужны новые интеллектуальные системы тренировок и боевого обучения.

Представитель BBC Италии Роберто Сабатини огласил результаты интеграции терминалов многофункциональной распределенной информационной системы (MIDS) с централизованными многонациональными сетями защищенной передачи данных на основе каналов в формате Link-16. MIDS — это тактическая система коммуникаций, способная объединять разные типы платформ в общую тактическую сеть передачи данных. Согласно соглашению о стандартизации STANAG 5516, протокол Link-16 определен как один из цифровых сервисов MIDS. Докладчик привел примеры использования соответствующих терминалов на самолетах F-18, Tornado, ЗПК SAMP/T, фрегате Horison и других боевых средствах.

На сессии "Системы передачи сообщений и проблемы управления" рассматривались доклады по вопросам обмена голосовыми сообщениями на основе закрытых чатовых систем и развития транспортного механизма сервисно-ориентированной архитектуры (SOA) тактических сетей нового поколения. Несмотря на интересные находки и решения, совокупность всех известных наработок по SOA, к сожалению, не в состоянии решить массу проблем, накопившихся в технологиях тактического Интернета. В этой связи наиболее важным событием симпозиума можно считать предложения исполнительного директора компании "Цефей" (Москва, www.cefe.ru) Марины Николаевны Хохловой, сформулированные как "Новая архитектура единого адаптивного информационно-функционального пространства управления в кризисных ситуациях". По мнению российского участника, необходимо сформировать единое адаптивное информационно-функциональное пространство для управления войсками и вооружением, а также согласованными

действиями Совета "Россия-НАТО" (СРН) в кризисных ситуациях, в том числе военно-политических, экономических, технологических, гуманитарных, экологических, во время антитеррористических операций и др. Сейчас в мире функционируют наборы слабо интегрированных разнообразных информационных систем как национального, так и наднационального уровня, которые порождают проблемы эффективности управления. Существующие архитектуры информационных систем (ИС), в том числе перспективная SOA, не решают поставленных перед ИС задач. Поэтому М.Н.Хохлова предложила использовать российские разработки новой информационной среды Global Gnoseology Graph* (GGG, Глобальный Гносеологический Граф) в части архитектурного компонента G3A (Global Gnoseology Graph Architecture). Предыстория продвижения данной тематики во взаимоотношениях российской стороны и НАТО уже насчитывает несколько лет. Соответствующие вопросы рассматривались на заседаниях Совета "Россия-НАТО" с 2005 года по меньшей мере пять раз. По всей вероятности, именно информация о сути докладов М.Н.Хохловой на этих мероприятиях подтолкнула основателя современной "www"-технологии Интернет Тима Бернерса-Ли к объявлению им в ноябре 2007 года концепции перехода от всемирной сети Интернет к так называемому Гигантскому глобальному графу (GGG). Характерно, что оба проекта имеют одинаковую аббревиатуру GGG, в расшифровке которой присутствует общее слово "граф", а на транспортном уровне предусмотрено схожее разграничение архитектурных иерархий Net, Web и Graph. Вместе с тем, концепция Тима Бернерса-Ли является более ограниченной и не столь радикальной.

В обоснование успешности предлагаемого проекта представитель России отмечает, что основы новой архитектуры G3A уже разработаны в России на уровне теории, технологии и прототипа программного продукта. Они были апробированы в ряде успешных проектов государственного и корпоративного уровня. В качестве примера М.Н.Хохлова указала эффективную реализацию развитых ею новых архитектурных и программных решений при выполнении фирмой "Цефей" нескольких сотен проектов по заказу крупных российских компаний и Правительства РФ. В частности, речь идет о создании системы управления ФЦП "Электронная Россия", систем ситуационного управления для Минатома РФ, компаний "Лукойл", "Транснефть", "Зарубежнефть", "Мосрегазгаз", "Тулалетелеком", "Башинформсвязь", "Кольская ГМК" и др.

В основе новой общей теории эволюционного моделирования, созданной М.Н.Хохловой, лежит понятие гипер-

* Защищено Свидетельством РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611086 на "Единую среду эволюционного моделирования и автоматической генерации исполняемого кода прикладных программ — "GGG — Global Gnoseology Graf", приоритет от 21 марта 2006 года.



рафа классов, вершины которого описываются базовыми и наследуемыми от них полиморфическими классами трех типов, а связи проектируются на основе семи принципов бинарных взаимоотношений и трех видов множественных отношений [5]. Гиперграф классов имеет четырехуровневую иерархическую архитектуру автоматического проектирования, на его основе создается единая эволюционная модель предметной области, которая опирается на фиксированный набор базовых классов. В свою очередь, классы описываются конечными автоматами, которые генерируются на основе технологии автоматического программирования.

Нужно сказать, что со стороны специалистов НАТО и RTO предложенная теория и ее практическое воплощение в архитектуре GGG вызывают беспрецедентный интерес. Об этом свидетельствуют и планы подготовки первого в истории RTO кросспанельного симпозиума по соответствующей тематике с привлечением панелей IST, SET, SCI, MSG и SAS. К этому ученым и специалистам стран НАТО побуждают проблемные вопросы в реализации сетевых концепций ведения боевых действий, воплощения технологии сенсорных сетей и др. Вынесенный согласно предыдущим договоренностям на рассмотрение экспертов НАТО бизнес-проект российского представителя предназначен для разработки математической модели новой архитектуры единого адаптивного информационно-функционального пространства и соответствующего программного обеспечения для согласованного взаимодействия в рамках Совета "Россия-НАТО" в кризисных ситуациях. В частности, в комментарии к докладу Стейна Майтра "Цифровые иммигранты и цифровые аборигены в век информации" М.Н.Хохлова предложила ориентироваться в развитии цифровых сетей на технологии GGG, которые позволят решить проблемы информационного хаоса и уменьшить количество "цифровых иммигрантов" (людей, не владеющих информационными технологиями).

Подводя итог, подчеркнем, что в развитии военной связи явно замедлились темпы обновления методов обработки сигналов. Из прежнего лидера, в роли которого военные сети выступали еще каких-то девять лет назад (на момент публикации [1]), ныне они по большинству направлений попали в арьергард прогрессирующих гражданских технологий. Впрочем, возможно, что такое мнение – лишь следствие знакомства с открытыми работами по вопросам военной связи. Тем не менее, специфика военных приложений по-прежнему стимулирует совершенствование уже зарекомендовавших себя подходов и зачастую придает им новое качество. С этой точки зрения, представленные на симпозиуме доклады несомненно интересны и заслуживают пристального внимания профессионалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Жигadlo В.** Телекоммуникационные сети военного назначения США и стран НАТО. Особенности и тенденции развития. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 1999, № 4 и 5.
2. **A.Gershman, Y.Rong, S.Shahbazpanahi and S.Vorobyov.** From Robust Adaptive Beamformers to Robust Multi-User MIMO Receivers. – Robust Signal Processing and Stochastic Eigen-Analysis Workshop (SEA05), MIT, USA, October 14–15, 2005 (www.ece.ualberta.ca/~vorobyov/RSPSEA_lecture_MIT.pdf).
3. **Muhammad Sahimi.** Applications of Percolation Theory. – Taylor & Francis, London, 1994.
4. **A. Aharony, D. Stauffer.** Introduction to Percolation Theory, 2nd Edition. – 1994.
5. **Волович И.В., Хохлова М.Н.** О теории моделирования и гиперграфе классов. – Труды Математического института имени В.А.Стеклова, 2004, т. 245, с. 281–287.