



---

# ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 621.396.9

## АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ QoS ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСЕТИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**К. А. ПОЛЬЩИКОВ**

*Белгородский  
государственный  
национальный  
исследовательский  
университет*

*e-mail:  
polshchikov@bsu.edu.ru*

В статье предложены классификация и анализ известных методов обеспечения QoS с точки зрения целесообразности их применения для увеличения производительности мобильной радиосети специального назначения. Обоснована необходимость разработки теоретически обоснованных методов для управления интенсивностью потоков данных в рассматриваемой сети.

Ключевые слова: мобильная радиосеть специального назначения, интенсивность потоков данных, качество обслуживания, производительность сети, доставка данных.

---

### Введение

Мобильные самоорганизующиеся сети (Mobile Ad-Hoc Networks, MANET), характеризующиеся случайной топологией, являются перспективным направлением развития телекоммуникационных технологий и относятся к классу беспроводных самоорганизующихся сетей [1–5]. Благодаря высокой живучести и разведзащищенности, быстрого развертывания и возможности доставки информации в условиях динамически изменяющейся топологии технология MANET имеет хорошие перспективы, связанные с построением мобильных радиосетей специального назначения (МРСН), т.е. сетей, функционирующих в интересах силовых структур (армии, внутренних войск, сил охраны правопорядка) [6–8]. В работе [9] показано, что влияние мобильности узлов делает трафик MANET более нестационарным, непредсказуемым, приводит к тому, что в каждом отдельно взятом канале сети наблюдается быстрое изменение интенсивности передаваемых потоков и, соответственно, пропускной способности, доступной для передачи данных. С учетом того что, кроме перемещения узлов, функционирование мобильных радиосетей специального назначения усложняется влиянием деструктивных факторов, можно объяснить тот факт, что МРСН в большей степени, чем другие сети, подвержена канальным перегрузкам, потерям пакетов, разрывам соединений. Это влечет к существенному замедлению доставки данных и снижению производительности МРСН. Для повышения производительности телекоммуникационных сетей традиционно применяются методы, ориентированные на обес-



печение качества обслуживания (QoS, Quality of Service). Поэтому анализ известных методов обеспечения QoS в контексте целесообразности их применения для увеличения производительности МРСН в процессе доставки данных является актуальной научно-технической задачей.

### Классификация методов обеспечения QoS

Анализ литературы [10–12] показал, что все многообразие известных методов обеспечения QoS можно разделить на две основные группы (рис. 1). Первая группа ориентирована на использование средств, увеличивающих пропускную способность физических каналов, например, за счет применения высокоскоростной среды передачи или улучшения характеристик сигналов. Применение этих методов направлено на то, что требуемый уровень QoS обеспечивается благодаря работе пользователей в малонагруженной сети. В этом случае практически исключается какая-либо конкуренция между информационными потоками, для передачи любого сообщения в сети имеется требуемое количество ресурсов. Описанная ситуация является идеальной для пользователей, но крайне неприемлемой с точки зрения рационального использования сетевых ресурсов. К сожалению, условие постоянного наличия необходимого количества свободных ресурсов в большинстве существующих телекоммуникационных сетей, особенно в МРСН, является практически невыполнимым. Более реальной представляется ситуация, соответствующая работе абонентов в нагруженной сети.

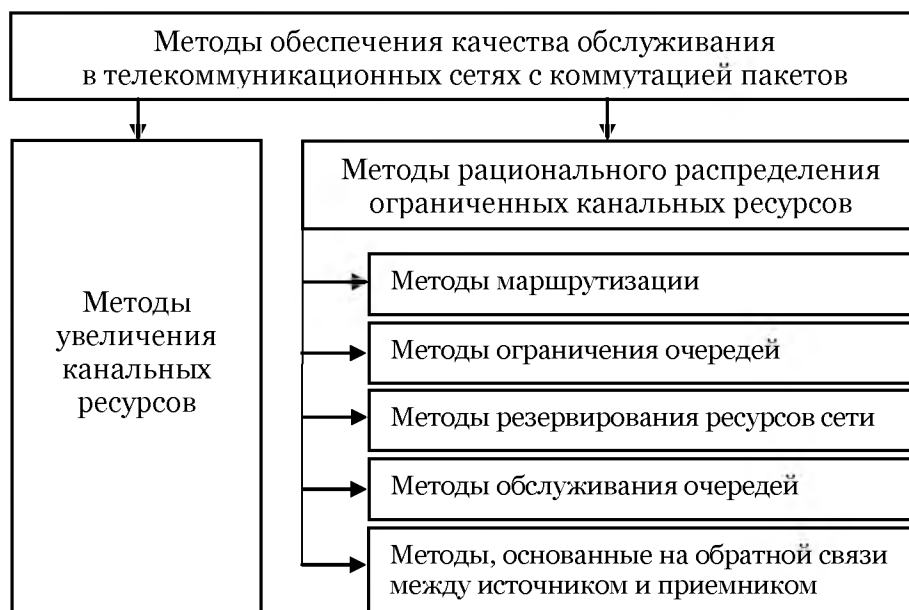


Рис. 1. Классификация методов обеспечения QoS

Разработке методов, направленных на повышение пропускной способности физических каналов, посвящено большое количество исследований. Не случайно считается, что наибольшие успехи в телекоммуникационной отрасли связаны с прогрессом именно технологий физического и канального уровней модели взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI). Наблюдается развитие методов доступа к канальным ресурсам и адаптации протоколов MAC-уровня к особенностям беспроводных сетей, в том числе MANET. Например, в [13] предложено решение, которое предполагает вероятностный переход между радиоканалами и представляет собой схему расширения стандарта IEEE 802.11. Рассмотренное усовершенствование позволяет минимизировать влияние радиопомех и существенно увеличить пропускную способность беспроводного соединения.

Однако опыт показывает, что увеличение пропускной способности, как правило, становится необходимостью, вызванной стремлением удовлетворить растущие потребности пользователей в получении телекоммуникационных услуг. Поэтому в современных условиях на практике крайне сложно обеспечить необходимый уровень QoS в сетях только за счет увеличения их физических ресурсов. Неэффективное использование имеющихся



ся в сетях каналов, особенно беспроводных линий, обладающих наиболее ограниченными характеристиками, неизменно влечет за собой снижение качества обслуживания пользователей. Приведенные выше аргументы свидетельствуют о том, что для удовлетворения требований абонентов по доставке информации не достаточно заботиться только о наращивании пропускной способности каналов, а необходимо решать и другие не менее важные задачи, связанные с ее рациональным распределением.

Методы рационального распределения ограниченных сетевых ресурсов при обслуживании абонентов в разных источниках трактуются как методы управления ресурсами или методы борьбы с перегрузками [10–12]. Разработка этой группы методов обусловлена потребностью в получении качественных услуг в условиях, когда возможность передавать информацию ограничена дефицитом пропускной способности сетевых каналов.

Часть методов борьбы с сетевыми перегрузками основана на использовании специальных процедур, связанных с маршрутизацией информационных потоков. Идея, положенная в основу этих методов, состоит в том, чтобы разгрузить те участки сети, на которых не обеспечивается требуемый уровень обслуживания. Эта идея заложена, например, в методах QoS-based Routing (маршрутизация на основе качества обслуживания) и Load-Balance Routing (маршрутизация для сбалансированной нагрузки), реализуемых в рамках технологии Traffic Engineering (инжиниринг трафика) [14]. Данная технология применяется для достижения сбалансированности загрузки всех ресурсов сети за счет рационального выбора путей прохождения трафика через сеть. Разработке эффективных методов маршрутизации, в том числе в MANET, посвящено большое количество работ, например [15–17].

Методы обеспечения QoS, основанные на резервировании ресурсов сети, нашли применение в технологиях интегрированного обслуживания (Integrated Services, IntServ) и дифференцированного обслуживания (Differentiated Services, DiffServ). Технология IntServ предназначена для обеспечения гарантированного качества передачи индивидуальных потоков [12]. Она предусматривает резервирование необходимых ресурсов на каждом сетевом маршрутизаторе вдоль пути от отправителя к получателю. Для осуществления резервирования используется сигнальный протокол RSVP (Resource Reservation Protocol). При этом выполняется проверка наличия в сети ресурсов, требуемых для качественной доставки информации. Затем принимается решение об осуществлении резервирования и последующей передаче потока [18]. Потребность в передаче огромного количества различных потоков в крупных сетях привела к большим сложностям в реализации технологии IntServ на магистральных участках. В результате была предложена концепция DiffServ, предполагающая объединение индивидуальных потоков в немногочисленные классы [19]. В соответствии с DiffServ принадлежность потока к тому или иному классу определяет качество его передачи.

В технологиях, основанных на резервировании сетевых ресурсов, для недопущения перегрузок и поддержки требуемого уровня QoS используются средства сглаживания потоков пакетов в соответствии с заданным профилем конкретного класса качества обслуживания [10; 12]. Например, средством ограничения максимальной интенсивности трафика является алгоритм «дырявого ведра» (Leaky Bucket), а с помощью алгоритма «корзины маркеров» (Token Bucket) можно получить трафик с ограниченной средней интенсивностью и допустимым уровнем пульсаций. За счет резервирования ресурсов обеспечивается доставка пакетов с небольшими значениями их задержки и джиттера, что не требуется при передаче потоков данных. Это подчеркивает тот факт, что создание анализируемой группы методов было вызвано, в первую очередь, необходимостью обеспечения заданного QoS при обслуживании мультимедийных приложений, т. е. качественной передачи потокового трафика [20].

Для обеспечения QoS в телекоммуникационных сетях предусмотрено использование методов обслуживания пакетных очередей в маршрутизаторах (методов планирования обслуживания пакетов) [12]. Применение самого простого метода, предполагающего



обслуживание пакетов в порядке их поступления в очередь (First – In, First – Out, FIFO), не гарантирует качественную доставку какого-либо сообщения [21]. Для устранения этого недостатка были созданы приоритетные очереди (Priority Queuing, PQ), в которых пакеты определенного класса обслуживаются в первую очередь. Однако при использовании метода PQ низкоприоритетные пакеты могут остаться не обслуженными [12]. Для справедливого обслуживания пакетов разработан метод циклической очередности (Round Robin, RR), применение которого обеспечивает предоставление всем потокам одинаковой пропускной способности. Данный метод реализован в коммерческом оборудовании сетей ATM (Asynchronous Transfer Mode) [22]. Для справедливого обслуживания пакетов с переменной длиной создан метод циклической очередности с дефицитом времени (Deficit Round Robin, DRR), который является усовершенствованной версией RR [12]. Одним из наиболее востребованных методов планирования обслуживания пакетов является метод взвешенной справедливой очередности (Weighted Fair Queuing, WFQ). В отличие от RR, метод WFQ предполагает выделение каждому классу трафика пропускной способности, соответствующей значению его весового коэффициента. Реализация этого метода позволяет осуществить дифференцированный подход к качеству передачи различных потоков и обеспечить каждому из них передачу с минимальной гарантированной интенсивностью. Созданы различные модификации метода WFQ, например, метод распределенной взвешенной справедливой очередности (Distributed Weighted Fair Queuing, DWFQ) или метод взвешенной справедливой очередности на основе класса (Class-Based Weighted Fair Queuing, CBWFQ). Указанные методы нашли применение в технологии DiffServ [18]. Усовершенствование метода WFQ для беспроводных сетей предложено в [23]. С помощью контрольных фреймов маршрутизаторы обмениваются информацией о размере пакетных очередей. На основе этих данных принимаются решения об очередности и задержках передачи пакетов. Недостатком такого решения является необходимость организации дополнительного служебного трафика.

В МРСН методам взвешенной справедливой очередности совместно со средствами резервирования ресурсов можно найти применение, прежде всего, для обеспечения качественной передачи мультимедийного трафика. При передаче в такой сети потоков данных добиться эффективного обслуживания пакетных очередей возможно лишь при обосновании значений, адекватно определяющих вес или приоритет конкретного сообщения. Это является трудновыполнимой задачей, выходящей за рамки теории телекоммуникационных сетей, т. к. для ее решения необходимо располагать точными сведениями о том, какую пользу принесет доставка тех или иных данных для выполнения конкретных (боевых) задач.

Среди средств борьбы с сетевыми перегрузками важное место занимают методы ограничения очередей путем отбрасывания определенной части поступающих в маршрутизатор пакетов до момента переполнения соответствующей очереди. Эти методы именуются методами активного управления очередями [12]. В телекоммуникационных сетях получил достаточное распространение метод случайного раннего обнаружения перегрузки (Random Early Detection, RED) [24]. Заблаговременное отбрасывание пакетов позволяет избежать переполнения пакетных очередей и уменьшить задержки передачи данных. Кроме того, к устранению возможной перегрузки приводит сам факт потери пакета, являясь для источника потока данных сигналом к уменьшению интенсивности отправки информации. Метод RED имеет большое количество модификаций: адаптивный RED (Adaptive RED, ARED), динамический RED (Dynamic RED, DRED), стабилизированный RED (Stabilized RED, SRED), потоковый RED (Flow RED, FRED), взвешенный RED (Weighted RED, WRED). Оригинальное усовершенствование метода RED для мобильных радиосетей предложено в [25]. Данное решение предполагает, что локально на каждом узле принимается решение отбрасывания пакета на основе различных эвристик, не имеющих должного теоретического обоснования.



Следует отметить, что все указанные методы активного управления очередями основаны на вычислении вероятности отбрасывания поступающих в маршрутизатор пакетов и имеют основной недостаток классического RED: решение об отбрасывании пакетов принимается на основе использования достаточно грубых, приближенных моделей. Поэтому применение существующих методов ограничения очередей в телекоммуникационных сетях не всегда позволяет осуществлять эффективную борьбу с перегрузками, что ограничивает возможности в обеспечении качественного обслуживания пользователей. Идею заблаговременного отбрасывания пакетов можно использовать для повышения производительности МРСН в процессе доставки данных. Для этого с учетом специфики трафика мобильной радиосети целесообразно разработать теоретически обоснованный метод управления вероятностью отбрасывания пакетов, поступающих в маршрутизаторы.

На повышение производительности телекоммуникационных сетей направлены методы, основанные на обратной связи между источником и приемником. Большое количество этих методов обусловило необходимость их систематизации и требует отдельного рассмотрения.

#### **Анализ методов обеспечения QoS, основанных на обратной связи между источником и приемником**

Классификация методов обеспечения QoS, ориентированных на использование обратной связи между источником и приемником представлена на рис. 2.

Часть анализируемых методов основана на управлении интенсивностью отправки данных источником. Для повышения эффективности доставки данных разработан метод адаптивного изменения окна приема, в соответствии с которым интенсивность отправки данных источником регулируется исходя из возможности их приема адресатом. С целью уменьшения загруженности сети применяется метод увеличения размеров пакетов (метод Нагля), который предписывает источнику не отправлять короткие пакеты, а накапливать данные на передающей стороне для формирования пакетов достаточно большой длины [11]. В методах явного уведомления источника о перегрузке для соответствующей сигнализации используются сдерживающие пакеты, образующие в сети дополнительный служебный трафик [11]. К тому же, в распределенных сетях информация о перегрузках, передаваемая в явном виде, принимается источником с большими задержками, утрачивая свою актуальность.

В существующих пакетных сетях стандартом передачи данных фактически стал протокол TCP (Transmission Control Protocol). Различные его модификации используют те или иные методы управления окном перегрузки. В версии TCP Tahoe для управления интенсивностью отправки сегментов применяются методы замедленного старта, предотвращения перегрузки, а также мультипликативного сброса окна до размеров одного сегмента [26]. Кроме перечисленных методов в протоколе TCP Reno используется метод быстрого восстановления, с помощью которого интенсивность отправки сегментов источником в определенных ситуациях принимает более адекватные значения [27]. В соответствии с версией TCP Vegas управление размером окна перегрузки осуществляется с учетом времени ожидания квитанций на успешно доставленные адресату данные [28]. В протоколе ВИС-TCP для управления окном перегрузки предусматривается применение метода дихотомического поиска [29]. Для беспроводных сетей авторами работы [30] предусмотрено изменение окна перегрузки в зависимости от количества участков приема в рамках TCP-соединения.



Рис. 2. Классификация методов обеспечения QoS, основанных на обратной связи между источником и приемником

Во всех указанных модификациях протокола TCP управление интенсивностью отправки сегментов осуществляется в соответствии с концепцией скользящего окна, которой присущи недостатки, связанные с интерпретацией потери сегмента как признака перегрузки в сети. В результате наблюдаются значительные пульсации циркулирующего в сети трафика. Это приводит к возникновению и усилению сетевых перегрузок, увеличения количества потерянных сегментов, которое влечет за собой замедление процесса передачи данных.

Отмеченные выше недостатки можно устранить, если управление интенсивностью отправки данных осуществлять помощью изменения индивидуальной задержки каждого сегмента, увеличивая или уменьшая тем самым временной интервал между отправкой соседних сегментов. На этом принципе основан метод адаптивной скорости (Adaptive Rate), который не нашел широкого практического применения [31]. Недостаток этого метода заключается в том, что при резком изменении доступной пропускной способности



сети требуется достаточно большое время для установления адекватного значения интенсивности потока данных. Главной причиной указанного недостатка является то, что в соответствии с методом адаптивной скорости вычисление интенсивности отправки данных источником осуществляется на основе применения эвристических выражений и коэффициентов, подобранных экспериментальным путем для определенных условий функционирования сети.

Метод адаптивного управления интенсивностью отправки сегментов в мобильных радиосетях предложен в [32]. На основе применения специальной схемы обратной связи реализуется индикация следующих событий: разрыва соединения между узлами сети, потери сегмента из-за битовых ошибок и неполучения сегмента приемным узлом вследствие возникшей сетевой перегрузки. В первом случае ТСП-источник прекращает передачу сегментов, во втором – выполняется повторная передача недостающих данных, а в третьем – интенсивность отправки сегментов уменьшается. Недостатком этого решения является необходимость использования специальной кросс-уровневой схемы, обеспечивающей обмен дополнительной технологической информацией между маршрутизаторами сети. В работах [33; 34] для управления интенсивностью отправки сегментов в беспроводных сетях предусмотрены идеи, использующие приближенную оценку величины RTT и эмпирически выведенные эвристики на основе значений скорости передачи данных, измеренных в прошлом.

В сетях MANET процесс изменения доступной пропускной способности является более нестационарным, чем в проводных и радиосетях с фиксированной топологией. В подтверждение этого факта в работе [9] отмечено, что производительность самоорганизующихся ТСП-сетей характеризуется высокой нестабильностью. Наличие этого фактора не дает возможности гарантировать определенный уровень сервиса для конечных пользователей. Принимая во внимание указанные особенности сетей «ad-hoc», можно сделать вывод, что для эффективной доставки данных в МРСН вместо алгоритма скользящего окна следует реализовать идею адаптивного изменения интервалов времени между отправкой сегментов.

Обратная связь между источником и приемником используется в методах управления интенсивностью отправки подтверждений [11; 12]. Если паузы между приемом пакетов адресатом достаточно большие, то чтобы еще больше не затягивать процесс отправки источником новых пакетов рекомендуется осуществлять немедленное подтверждение успешно полученных данных. Если же интенсивность получения данных приемником является высокой, то целесообразно отправлять одно подтверждение на группу доставленных пакетов, уменьшая тем самым в сети служебный трафик квитанций. Из этих же соображений при условии двухстороннего обмена данными между источником и приемником подтверждения успешной доставки пакетов следует отправлять в передаваемых в «попутном направлении» пакетах с данными. Чтобы исключить частую отправку источником коротких пакетов (синдром «глупого окна»), рекомендуется реализация в сети метода Кларка, предписывающего приемнику отправлять подтверждения только при получении от источника достаточно большого количества данных.

Реализация методов отправки подтверждений из какого-либо узла (агента), не являющегося адресатом соответствующего сообщения, существенно усложняет сетевую архитектуру и не целесообразна в сетях с динамической топологией. В МРСН, в зависимости от текущей ситуации, целесообразно применять различные методы управления оперативностью подтверждения полученных пакетов. Эффективные схемы управления интенсивностью отправки подтверждений в беспроводных сетях представлены в [35; 36]. В сетях, для которых в процессе доставки данных характерны частые потери пакетов, существенный трафик создают повторные передачи утраченной информации. К таким сетям, безусловно, относятся МРСН. Поэтому в мобильных радиосетях рекомендуется применять методы управления интенсивностью повторных передач.

Если источник не будет получать квитанции на отправленные пакеты, то передача адресату новых пакетов будет временно заблокирована. Чтобы исключить остановку передачи на неопределенно длительное время, на передающей стороне после отправки па-



кета происходит ожидание соответствующей квитанции в течение заданного ограниченного интервала времени, называемого тайм-аутом повторной передачи. Если до истечения тайм-аута квитанция на отправленный пакет не будет доставлена источнику, то этот пакет передается повторно. Правильный выбор значения тайм-аута является важной задачей, решение которой существенно влияет на интенсивность повторных передач в сети. Поэтому разработаны методы адаптивного тайм-аута повторной передачи [37; 38]. В сетях ТСП большое распространение получил метод Джекобсона, в соответствии с которым значение тайм-аута периодически обновляется, адаптируясь к текущей загрузке сети. В большинстве реализаций протокола ТСП метод Джекобсона используется совместно с методом Карна, в соответствии с которым при каждой повторной передаче тайм-аут увеличивается вдвое до тех пор, пока квитанции не будут своевременно поступать к источнику сообщения.

Конечно же, методы Джекобсона и Карна выглядят предпочтительнее, чем концепция фиксированного тайм-аута, которая нашла применение в сетях Х.25 [39]. Однако существующим методам адаптивного тайм-аута присущ серьезный недостаток, который заключается в использовании расчетных выражений, не имеющих достаточного теоретического обоснования. Эти выражения получены экспериментальным путем и дают достаточно адекватные результаты только для наиболее типичных ситуаций, характерных для проводных сетей. Поэтому в определенных условиях, в частности в условиях функционирования мобильных радиосетей, применение методов Джекобсона и Карна является неприемлемым, т. к. в процессе доставки данных существенная часть времени будет затрачиваться на бесполезное ожидание тех квитанций, которые в итоге не поступят к отправителю. Для эффективного управления интенсивностью повторных передач в МРСН необходимо разработать теоретически обоснованный метод управления тайм-аутом повторной передачи.

В условиях невысокой загрузки сети отсутствие квитанции на определенный пакет может быть вызвано искажениями информации в физических каналах или нарушением порядка доставки пакетов получателем. При этом эффективным средством управления интенсивностью потоков данных является метод быстрой повторной передачи, предполагающий повторную отправку нужного пакета при получении трех одинаковых квитанций подряд, не дожидаясь истечения соответствующего тайм-аута [11]. Этот метод успешно применяется в проводных ТСП-сетях. Однако в работе [40] обоснована неэффективность применения быстрых повторных передач в мобильных радиосетях, обусловленная большими задержками подтверждений в беспроводных каналах.

### **Заключение**

Проведенный выше анализ показал, что методы, созданные для рационального распределения сетевых ресурсов, по сути, основываются на управлении интенсивностью информационных потоков. В мобильных радиосетях для эффективной передачи потоков данных можно использовать ряд существующих методов управления трафиком, основанных на обратной связи между источником и приемником, например, метод адаптивного изменения окна приема, метод Наглы, методы управления отправкой подтверждений.

В основе ряда методов используются интересные идеи, применение которых могло бы повысить эффективность управления интенсивностью потоков данных в мобильных радиосетях. Однако в МРСН реализация этих идей неприемлема, т. к. основываясь на эвристических алгоритмах и достаточно грубых, приближенных моделях, она не способствует принятию адекватных решений в условиях влияния мобильности абонентов и деструктивных факторов.

В работе [9] отмечено, что в мобильных радиосетях реализация далеко не всех теоретически обоснованных управляющих решений является целесообразной. Например, значительные изменения в семантике протокола ТСП могут привести к экономической неэффективности применения соответствующих аппаратно-программных средств, делая их не совместимыми с существующими стандартами. Поэтому автор указанной публикации подчеркнул, что, несмотря на наличие путей повышения производительности самоорганизующихся сетей, проблема обеспечения в них требуемого уровня QoS до сих пор остается открытой. Этот факт сдерживает не только продвижение MANET на коммерче-





ском рынке, но и применение этой технологии для решения специфических задач, выполняемых в интересах силовых структур.

Таким образом, для повышения производительности МРСН в процессе доставки данных целесообразно разработать теоретически обоснованные методы управления интенсивностью потоков данных, основанные на адаптивном изменении задержки отправки информационных сегментов в сеть, тайм-аута повторной передачи и вероятности отбрасывания пакетов, поступающих в маршрутизаторы. При этом реализация создаваемых методов должна быть совместимой с существующими стандартами телекоммуникационных сетей (при необходимости, должна быть предусмотрена возможность их интеграции в инфраструктуру Интернет). Кроме того, должен быть минимизирован дополнительный служебный трафик для недопущения тем самым уменьшения доступной пропускной способности радиоканалов в процессе применения этих решений.

### Литература

1. Бунин С. Г. Самоорганизующиеся сети со сверхширокополосными сигналами / С. Г. Бунин, А. П. Войтер, М. Е. Ильченко, В. А. Романюк. – К.: Наукова думка, 2012. – 444 с.
2. Basagni S. Mobile Ad Hoc Networking / S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, I. Stojmenovic // IEEE Press, 2004. – 461 p.
3. Романюк В. А. Мобильные радиосети – перспективы беспроводных технологий / В. А. Романюк // Сети и телекоммуникации. – К., 2001. – № 12. – С. 62–68.
4. Polshchykov K. O. Synthesis of neuro-fuzzy systems of data flows intensity control in mobile ad-hoc network // Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 23rd International Crimean Conference. – Sevastopol, 2013. – P. 517–518.
5. Польщикова К. А. Обобщенные модели нейро-нечетких систем управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети / К. А. Польщикова // Science and Education a New Dimension. – Budapest, 2013. – Vol. 8. – P. 133–137.
6. Польщикова К. А. Функциональная модель управления интенсивностью потоков данных в мобильной радиосети специального назначения / К. А. Польщикова // Научный вестник ДГМА. – 2012. – №1 (9Е). – С. 127–135.
7. Polshchykov K. O. Mathematical model of the information flows transmission in selected route channels in mobile special purpose radio network // International Conference «Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2014)», 2014. – P. 61.
8. Польщикова К. А. Метод нейро-нечеткого управления интенсивностью отправки данных узлами-источниками в мобильной радиосети специального назначения / К. А. Польщикова // Наука і техніка повітряних сил Збройних Сил України. – Харків: ХУПС, 2012. – № 3 (9). – С. 118 – 122.
9. Осипов Е. А. Проблема реализации надежной передачи данных в самоорганизующихся и сенсорных сетях / Е. А. Осипов // Электросвязь. – 2006. – № 6. – С. 29–33.
10. Куроуз Дж. Компьютерные сети: Пер. с англ. 2-е изд. / Дж. Куроуз, К. Росс. – СПб.: Питер, 2004. – 765 с.
11. Таненбаум Э. Компьютерные сети: Пер. с англ. / Э. Таненбаум. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с. – СПб.: Питер, 2002. – 848 с.
12. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 336 с.
13. Bahl P. SSCH: Slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 in ad-hoc wireless networks. [Online]. Available: <http://research.microsoft.com/users/bahl/Papers/Pdf/SSCH.pdf>.
14. Liao W.H. A Multi-Path QoS Routing Protocol in a Wireless Mobile Ad Hoc Network / W.H. Liao – IEEE ICN, 2001.
15. Corson S. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations / S. Corson, J. Macker // RFC 2501, Jan. 1999. [Online]. Available: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2501.html>.
16. Zhu C. QoS Routing for Mobile Ad Hoc Networks / C. Zhu, M. S. Corson // INFOCOM, 2002.
17. Johnson D. The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile Ad Hoc Networks for IPv4 / D. Johnson, Y. Hu, D. Maltz // RFC 4728. – <http://www.faqs.org/rfcs/rfc4728.html>.
18. Polshchykov K. Methods and Technologies Analysis of The Real-Time Traffic Transmission Requests Servicing / K. Polshchykov, K. Kubrakova, O. Odaruschenko // World Applied Programming. – Vol. 3, Issue 9. – 2013. – P. 446–450.



19. Grossman D. New Terminology and Clarifications for Diffserv / D. Grossman // RFC 3260, Apr. 2002. [Online]. Available: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3260.txt>.
20. Польщикова К. А. Математическая модель передачи мультимедийного сообщения в телекоммуникационной сети с коммутацией пакетов / К. А. Польщикова, Ю. Н. Здоренко, О. Я. Сова // Научные ведомости БелГУ Серия: История. Политология. Экономика. Информатика – 2014. – № 15 (186). – Вып. 31(1). – С. 176–184.
21. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В. В. Крылов, С. С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
22. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей ATM / А. Н. Назаров – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 256 с.
23. Vaidya N. Distributed fair scheduling in a wireless LAN / N. Vaidya, P. Bahl, S. Gupta // Proc. ACM MobiCom'00, Boston. – 2000.
24. Floyd S. Random early detection gateways for congestion avoidance / S. Floyd, V. Jacobson // IEEE ACM Transactions on networking, 1993. – 1(4). – P. 397–413.
25. Xu K. Enhancing TCP fairness in ad hoc wireless networks using neighborhood RED / K. Xu, M. Gerla, L. Qi, Y. Shy // Proc. ACM MobiHoc'03, Annapolis. – 2003.
26. Postel J. Transmission control protocol / J. Postel // RFC 793. – <http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html>.
27. Allman M. TCP Congestions control / M. Allman, V. Paxson, E. Blanton // RFC 5681. – Available: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc5681.html>.
28. Brakmo L. TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet / L. Brakmo, L. Peterson // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1995. – 13 (8).
29. Бараш Л. Новый транспортный протокол VIC-TCP обещает преобразить Internet / Л. Бараш. – <http://itc.ua/node/17139>.
30. Fu Z. The impact of multihop wireless channel on TCP throughput and loss / Z. Fu, P. Zerfos, H. Luo, Lu, S. Zhang L, M. Gerla // Proc. Infocom'03, San Francisco. – April, 2003.
31. Alekseev I. V. ARTCP: Efficient Algorithm for Transport Protocol for Packet Switched Networks / I. V. Alekseev, V. A. Sokolov // Proc. of PaCT'2001. – Springer-Verlag, 2001. – Vol. 2127. – P. 159 – 174.
32. Liu J. ATCP: TCP for mobile ad-hoc networks / J. Liu, S. Singh // IEEE JSAC. – 2001. – Vol 19. – № 7.
33. Rakabawy S. TCP with adaptive pacing for multihop wireless networks / S. Rakabawy, A. Klemm, C. Lindemann // Proc. ACM MobiHoc'05, Urbana-Campaign. – May, 2005.
34. Yang L. Improving fairness among TCP flows crossing wireless networks and the wired Internet / L. Yang, W. Seah, Q. Yin // Proc. 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Annapolis. – 2003.
35. Altman E. Novel delays ACK techniques for improving TCP Performance in multihop wireless networks / E. Altman, T. Jimenez // Proc. Personal Wireless Communications (PWC), Venice. – 2003.
36. Oliveira R. A dynamic adaptive acknowledgment strategy for TCP over multihop wireless networks / R. Oliveira, T. Brau // Proc. IEEE Infocom'05, Miami. – Mar. 2005.
37. Paxton V. Computing TCP's Retransmission Timer / V. Paxton, M. Allman // RFC 2988. – November, 2000.
38. Jacobson V. Congestion Avoidance and Control / V. Jacobson // Proceedings of ACM SIGCOMM'88. – Stanford, 1988. – P. 314 – 329.
39. ISO TC 97/SC 6/N 3843. Final Text of ISO 4335/DADI: Data Communication – High-Level Data Link Control Procedures – Consolidation of Elements of Procedures – Addendum 1. – 1986.
40. Gurtov A. Effect of Delays on TCP Performance / A. Gurtov // Proc. PWC'01. – 2001.

## **ANALYSIS OF THE QoS METHODS APPLICABLE TO IMPROVE PERFORMANCE OF MOBILE RADIO NETWORK FOR SPECIAL PURPOSE**

**K. A. POLSHCHIKOV**

*Belgorod National Research  
University*

*e-mail:  
polshchikov@bsu.edu.ru*

In this paper a classification and analysis of the known QoS methods assurance in terms of the feasibility of their application to increase the performance of the mobile radio network for special purposes are offered. The necessity of developing theoretically sound methods to control of data flows intensity in this network is proved.

Keywords: mobile radio network for special purposes, data flow intensity, quality of service, network performance, data delivery.