

ТЕЛЕНИК С.Ф.  
РОЛИК А.И.  
БУКАСОВ М.М.  
ЯСОЧКА М.В.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СЕТИ ДОСТУПА НА КАЧЕСТВО ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ СЕРВИСОВ

Предлагаются метод и алгоритм определения распространения влияния неисправностей на качество предоставления сервиса абонентам оператора телекоммуникаций, когда показателями качества являются параметры производительности сети доступа.

Problems of fault impact degree determination on the service quality in a communications network are considered, general approach is described. Method and algorithm of fault estimation in access networks are given. Fault management system based on this approach is developed.

### Введение

В настоящее время успешность бизнеса предприятий и эффективность деятельности организаций существенно зависит от непрерывности и качества информационного взаимодействия, осуществляемого различными коммуникационными системами, как внутри предприятия, так и между головным офисом и филиалами, предприятием и сторонними организациями, между сотрудниками предприятия и клиентами и т. п. Коммуникационное взаимодействие обеспечивается операторами мобильной связи, телефонными компаниями, Интернет-сервис провайдерами (ISP) и другими поставщиками коммуникационных услуг. При этом провайдеры или операторы телекоммуникаций, как правило, предоставляют комплекс коммуникационных услуг.

Поскольку потери бизнеса от несвоевременности получения или низкого качества коммуникационных услуг могут быть очень значительными, предприятия и корпорации перекладывают их на поставщиков этих услуг в виде штрафных санкций, размер которых может быть весьма существенным. Большие объемы и стоимость телекоммуникационных услуг при одновременных жестких требованиях к непрерывности и качеству их предоставления, существенные штрафные санкции и опасность потери клиентов вынуждают телекоммуникационные компании непрерывно отслеживать состояние коммуникационной системы. При возникновении неисправностей необходимо не только осуществлять их локализацию и максимально быстрое устранение, но и оперативно опре-

делять степень влияния неисправностей в коммуникационной системе на качество предоставления сервиса всем клиентам, в первую очередь, наиболее важным.

Для этого системы управления ИТ-инфраструктурой (СУИ) [1] провайдеров телекоммуникационных услуг должны содержать дополнительные модули, позволяющие связать неисправности, возникающие в коммуникационной системе, с соответствующим ухудшением качества предоставления услуг абонентам. Разработка соответствующих модулей сопряжена с рядом трудностей, обусловленных большим количеством элементов коммуникационных систем, сложностью и запутанностью структуры системы, различным влиянием неисправностей и совокупности неисправностей на качество предоставляемого сервиса, наличием разнообразных схем резервирования, большим количеством клиентов, часто исчисляемых миллионами, и пр. Для разработки модулей СУИ, позволяющих в минимальные сроки выявлять клиентов, ощущающих снижение качества обслуживания вследствие неисправностей в коммуникационной системе, и оценить степень ухудшения качества получаемых телекоммуникационных услуг, необходимо разработать эффективные математические модели и алгоритмы определения степени влияния неисправностей в сетях провайдеров коммуникационных услуг на качество предоставления телекоммуникационных сервисов. Решению этих задач и посвящена предлагаемая статья.

### **Постановка проблемы в общем виде**

В сфере телекоммуникационных услуг на доходы коммуникационных компаний непосредственное влияние оказывает качество обслуживания абонентов. Провайдеры коммуникационных услуг, кабельного и спутникового телевидения, провайдеры доступа в Интернет или услуг в Интернете, операторы мобильной связи несут существенные финансовые убытки из-за потери клиентов, недовольных обслуживанием, или штрафных санкций, накладываемых при нарушении непрерывности предоставления услуг или временном предоставлении некачественного сервиса.

Основным документом, регламентирующим отношения потребителя телекоммуникационных услуг и коммуникационной компании, является соглашение об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA). SLA фиксирует качественное и количественное описание сервисов с указанием условий, параметров и других характеристик услуг, как с точки зрения клиента, так и с точки зрения провайдера телекоммуникационных услуг, а также взаимные ответственности. В SLA, в частности, определяются требования к: параметрам производительности и поддержки — среднему или максимальному времени реагирования; доступности — проценту времени обслуживания, в течение которого услуга фактически доступна пользователю; надежности — количеству инцидентов за определенный срок в течение согласованного времени обслуживания; устойчивости — времени восстановления услуги (полного или частичного) в случае повреждения инфраструктуры провайдера.

В случае невыполнения требований к качеству обслуживания, оговоренных в SLA, провайдер телекоммуникационных услуг несет убытки в результате потери клиентов или штрафных санкций. В то время как стабильно высокое качество обслуживания, разнообразие предоставляемых услуг, дифференциация обслуживания клиентов и другие факторы способствуют повышению среднемесячного дохода на абонента (Average Revenue per User — ARPU). Показатель ARPU определяется средним доходом от абонента за фиксированный интервал времени, который обычно равен одному месяцу, и используется ориентированными на потребителя ком-

паниями, предоставляющими не только телекоммуникационные, но и ИТ-услуги.

Одним из ключевых компонентов телекоммуникационной инфраструктуры являются сети доступа, посредством которых обеспечивается доступ абонентов к телекоммуникационным сервисам. Крупные поставщики телекоммуникационных услуг могут насчитывать миллионы клиентов в сетях доступа, а затраты на создание, модернизацию и поддержание работоспособности сетей доступа составляют значительную часть бюджета операторов.

Большое количество абонентов и необходимость снижения затрат на обслуживание своей инфраструктуры вынуждают операторов производить дифференциацию обслуживания абонентов, уделяя больше внимания наиболее важным из них. В этом случае при обнаружении СУИ неисправностей в коммуникационной системе определяется степень влияния этих неисправностей на качество предоставления услуг абонентам и, в отношении наиболее важных из них, предпринимаются дополнительные мероприятия по обслуживанию, в то время как остальные клиенты довольствуются номинальным обслуживанием.

Для реализации эффективного дифференцированного подхода к обслуживанию абонентов в случае возникновения неисправностей в коммуникационной системе необходимо обеспечить в СУИ поддержание жизненного цикла снижения потерь из-за ухудшения качества предоставляемых услуг, состоящего из следующих этапов: выявление и локализация неисправностей; определение их влияния на качество предоставления услуг; выделение наиболее важных абонентов, пострадавших в результате получения некачественных услуг; проведение дополнительных мероприятий по отношению к этим абонентам.

### **Анализ публикаций по теме**

Структура и принципы построения СУИ предложены в [1, 2]. Однако описание СУИ сделано без рассмотрения принципов построения подсистемы управления устранением неисправностей и, соответственно, без описания работы модуля, ответственного за определение распространения влияния неисправностей на элементы информационно-телекоммуникационной системы.

В [3] рассматриваются вопросы управления устранением неисправностей в ИТ-системах без учета влияния неисправностей в сети на качество предоставления абонентам телекоммуникационных услуг.

Аналізу качества функционирования элементов информационно-телекоммуникационных систем посвящена работа [4], но в ней не предлагаются модели и методы анализа распространения изменения состояния элементов телекоммуникационной сети на параметры функционирования оборудования в точках доступа абонентов.

В [5] предложен метод и система определения влияния неисправностей в телекоммуникационных сетях на работоспособность сервисов. На основе анализа собранных данных, характеризующих работоспособность сервисов, предложенная система позволяет предсказывать их последующее состояние. Объединяя фактические и потенциальные неисправности в сети, система снабжает подразделение технической поддержки оператора мобильной связи информацией об отказах в оборудовании. Система не учитывает важность абонентов, а технология мобильной связи ограничивает возможности службы технической поддержки в выборе методов индивидуальной работы с наиболее важными абонентами.

В [6] предложена сервисно-ориентированная модель, рассматривающая различные фазы предоставления сервиса, позволяющая определить, каким образом неисправности, возникающие в отдельных сетевых элементах влияют на работоспособность сервисов в целом. Для этого вводится понятие индикаторов состояния компонентов сети применительно к отдельным сервисам, а умножение значений индикаторов на соответствующий вес позволяет получить приоритетный список неисправностей, оказывающих наибольшее влияние на качество предоставления сервисов. При этом не предлагаются методы оценки влияния неисправностей на качество предоставления сервисов отдельным абонентам.

**Целью статьи** является разработка метода и алгоритма определения влияния неисправностей в сетях доступа операторов телекоммуникационных услуг на качество предоставления сервисов абонентам.

### **Проблемы определения влияния неисправностей в сетях доступа на качество предоставления сервиса абонентам**

Сети операторов связи можно разделить на два класса — магистральные сети передачи данных и сети доступа.

Магистральные сети, являясь ядром больших сетевых инфраструктур, связывают крупные телекоммуникационные узлы или региональные подсети. Магистральные сети используют каналы связи с большой пропускной способностью, объединяют информационные потоки большого количества подсетей и отличаются повышенной надежностью.

Одним из ключевых компонентов телекоммуникационной инфраструктуры являются сети доступа, посредством которых абонентам предоставляются различные телекоммуникационные услуги. В сетях доступа крупных операторов связи могут насчитываться миллионы абонентов, а затраты на создание, модернизацию и поддержание работоспособности таких сетей составляют значительную часть бюджета операторов.

Многообразие и большое количество оборудования, существенная протяженность линий связи, высокая стоимость резервирования, жесткие требования к экономичности обслуживания и другие факторы делают сети доступа существенно менее надежными, чем магистральные сети. Большие штрафные санкции и угроза потери клиентов вынуждают операторов немедленно реагировать на неисправности, оказывающие непосредственное влияние на качество предоставляемых услуг. Наряду с оперативным обнаружением и локализацией неисправностей со стороны СУИ и их устранением службой эксплуатации сетей доступа подразделение оператора, занимающееся обслуживанием клиентов, производит предупредительные мероприятия по отношению к важным клиентам, призванные нивелировать негативные последствия неисправностей, влияющих на качество услуг. Эти мероприятия включают в себя своевременное информирование клиентов о возникших неполадках, переключение на резерв или предоставление альтернативных источников сервиса и другие действия с целью максимально сгладить недовольство и негативный эффект от некачественного обслуживания у наиболее важных клиентов.

Поэтому очень важно быстро определять влияние неисправностей в сети доступа на качество абонентского обслуживания. В то же время, большое количество абонентов крупных операторов связи, иногда насчитывающее миллионы юридических и физических лиц, громоздкость и сложность коммуникационных систем, содержащих до десяти и более иерархических уровней в сетях доступа, большое количество типов и единиц коммутационного оборудования, непростые зависимости влияния неисправностей на качество сервиса, сложная интерференционная картина воздействия совокупности неисправностей и другие факторы превращают задачу быстрого определения распространения влияния неисправностей на качество сервиса для отдельного абонента в чрезвычайно трудную задачу, решение которой требует больших вычислительных ресурсов. Трудность обусловлена большими размерами инвентаризационной базы данных оператора, поиск взаимосвязей в которой может потребовать существенного времени, в то время как подразделение обслуживания клиентов должно начать реагировать через считанные минуты после возникновения неисправностей, предпринимая предопределенные действия по отношению к наиболее важным клиентам.

Поэтому необходимо создать методы и простые модели, позволяющие СУИ максимально быстро получать картину распространения неисправностей по телекоммуникационной сети от проблемного узла до клиентского оборудования.

Учитывая большое количество разнообразных сервисов в сети, создать универсальную модель для оценки влияния неисправностей на все сервисы одновременно не представляется возможным, поэтому следует задействовать совокупность различных моделей, каждая из которых учитывает особенности отдельных или группы родственных сервисов.

Поэтому нужен общий подход, который позволит определить структурно-функциональную схему взаимодействия различных моделей оценки влияния неисправностей на сервисы и качество предоставления услуг абонентам. По меньшей мере, этот подход должен помочь разработчикам и пользователям СУИ определить последовательность действий, построить механизм по-

дключения моделей, уточнить характеристики, влияющие на распространение неблагоприятных последствий неисправностей.

Ниже предлагается такой подход для определения распространения негативных последствий неисправностей в сетях доступа на качество предоставления услуг абонентам, построенный на определенных правилах распространения влияния неисправностей, учитывающих особенности структуры сети и сервисов, используемые технологии и ряд других важных факторов.

### **Общее описание предлагаемого подхода к оценке влияния неисправностей на качество предоставляемого сервиса**

Из всех неисправностей, выявленных в сети доступа, СУИ выделяет только те, которые оказывают влияние на качество предоставления сервиса. Остальные неисправности, которые обнаруживаются СУИ, игнорируются при определении влияния на качество сервиса, но информация о них используется службой эксплуатации для их устранения в соответствии с определенными регламентами и с учетом их значимости для коммуникационной системы. Например, отказ резервного узла в кластерной системе или ненагруженного резервного канала связи снижает надежность коммуникационной системы оператора связи, но не отражается на качестве предоставления сервиса клиентам.

Качество предоставления каждого сервиса, определяется через значения группы параметров, оговоренных в SLA. Потому сначала создаются упрощенные схемы сети доступа, построенные с точки зрения возможного влияния неисправностей в узлах на значения отдельных параметров, зафиксированных в SLA, и учитывающие особенности распространения влияния неисправностей на эти параметры от места возникновения неисправности через промежуточные узлы до абонентского оборудования.

Далее для каждого типа узлов прописываются правила, нивелирующие особенности отдельных сетевых технологий, связывающие тип неисправности, произошедшей в узле, со степенью влияния на значения отдельных или группы однородных параметров.

Кроме того, для каждого типа узлов определяются правила распространения влияния неисправностей на значение рассматриваемого параметра, характеризующего качество

сервиса, в направлении от узлов, расположенных выше в иерархии сети, к узлам, расположенным ниже в иерархии сети или к абонентскому оборудованию, если между рассматриваемым узлом и оборудованием доступа абонентов к сети промежуточные узлы отсутствуют.

После этого, последовательно от узла верхнего уровня, в котором произошла неисправность, для каждого из зависимых узлов нижерасположенных уровней рассчитываются коэффициенты снижения значений показателей качества сервиса до тех пор, пока не будет достигнут уровень абонентского оборудования, для которого также рассчитываются значения коэффициентов, определяющих степень снижения качества предоставляемых услуг относительно нормативного значения.

При этом, если в сети доступа возникла только одна неисправность, для анализа распространения ее влияния не рассматриваются пути, исходящие с верхнего уровня на смежный нижний уровень, значением коэффициентов снижения качества предоставляемых услуг в которых можно пренебречь. В таких случаях говорят о затухании влияния неисправностей.

Если значение коэффициента, определяющего степень снижения качества предоставляемого оператором сервиса, на выходе абонентского оборудования превышает пороговую величину, задаваемую для каждого абонента или класса абонентов в зависимости от их важности, то СУИ вырабатывает информационные сообщения, поступающие в подразделение обслуживания клиентов для реагирования в соответствии с заранее прописанным регламентом.

### Применение предлагаемого подхода для оценки влияния неисправностей на показатели производительности сети доступа

Рассмотрим случай, когда в качестве параметров, влияние на которые будет оцениваться при возникновении неисправностей, выбираются показатели производительности сети доступа. К таким параметрам относится, например, скорость доступа абонентов к сети Интернет. Этот параметр относится к категории важнейших, в связи с тем, что снижение скорости доступа негативно сказывается на качестве предоставления других услуг, таких, например, как качество передачи голосовых сообщений сервиса VoIP.

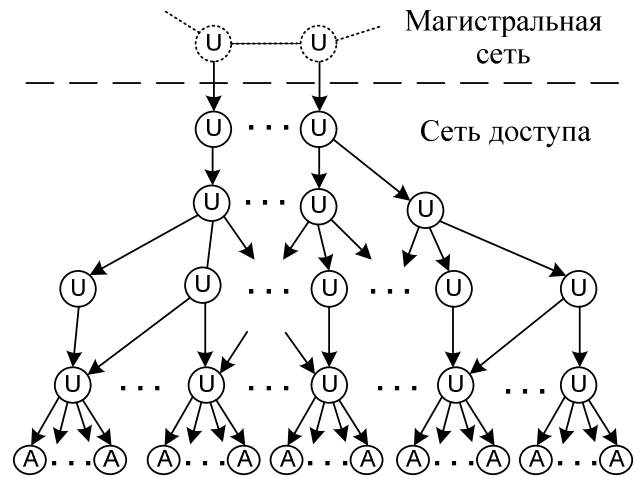


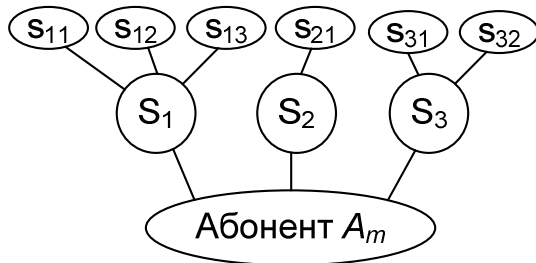
Рис. 1. Схема соединений узлов в сети доступа

Для анализа распространения воздействия неисправностей и оценки ухудшения качества сервиса, предоставляемого абонентам, когда в качестве параметров используются показатели производительности, достаточно использовать единственную схему, аналогичную схеме, приведенной на рис. 1. Эта схема представляет собой ориентированный граф, вершины  $U$  которого соответствуют узлам сети доступа, таким как маршрутизаторы, коммутаторы, мультиплексоры доступа и др., ветви — линиям связи, а листья  $A$  — абонентскому оборудованию.

Схема, приведенная на рис. 1, позволяет установить пути прохождения потоков данных от узлов к абонентскому оборудованию, определить поражаемые участки сети в результате распространения последствий неисправностей, получить интерференционную картину при возникновении нескольких неисправностей и т. п.

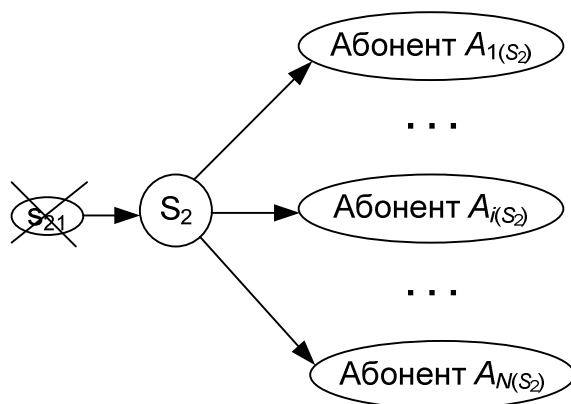
Эта схема, по сути, определяет лишь связность узлов сети доступа для передачи трафика. Такой схемы достаточно для решения поставленной задачи при рассмотрении сетей передачи данных, функционирующих на уровнях не выше второго уровня модели OSI. Однако ее не достаточно при сервисно-ориентированном подходе к определению влияния неисправностей. Так, в настоящее время преобладают мультисервисные сети, построенные с использованием IP-протокола, и для оценки влияния неисправностей в сети доступа на качество предоставления сервиса абонентам необходимо учесть состояние различных служб, обеспе-

чивающих работоспособность сервисов. В последнем случае дополнительно к схеме, приведенной на рис. 1, необходимо использовать схему, аналогичную той, что приведена на рис. 2. Эта схема, по сути, перечисляет сервисы, которыми пользуется абонент, и службы, обеспечивающие работу этих сервисов.



**Рис.2. Сервисы, используемые абонентом  $A_m$**

В качестве примера на рис. 2 сервисы  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , которыми пользуется  $m$ -й абонент  $A_m$ , поддерживают службы  $s_{11}$ , ...,  $s_{32}$ . Такая схема составляется для каждого важного абонента  $A_m$ ,  $m = 1, \dots, M$ , где  $M$  — количество абонентов оператора связи, или для группы абонентов, и позволяет быстро определить влияние неисправностей в элементах сетевой инфраструктуры, обеспечивающих работу отдельных служб. Например, в случае отказа элемента, который обеспечивает работоспособность службы  $s_{21}$ , например, почтового сервера, прекращается предоставление сервиса  $S_2$ , например, электронной почты, что немедленно сказывается на абонентах  $A_{i(S_2)}$ ,  $i(S_2) = 1, \dots, N(S_2)$  пользующихся этим сервисом (см. рис. 3).



**Рис. 3. Распространение неисправностей в элементах, поддерживающих работу служб, на качество сервисов для абонентов**

Перечень абонентов услуг, например, клиентов электронной почты, целесообразно хранить в таблицах, которые уже отсортированы по важности абонентов. Тогда при снижении качества предоставления сервиса, вызывается соответствующая таблица, и предпринимаются необходимые мероприятия по работе с абонентами.

Таким образом, для оценки влияния неисправностей в сети доступа на качество предоставления услуг абонентам в мультисервисных сетях необходимо одновременно использовать обе схемы, приведенные на рис. 1 и рис. 2.

Остановимся на этом подробнее. Действительно, для оценки влияния неисправностей на значения отдельных параметров, характеризующих, например, продуктивность сети, таких как скорость доступа в Интернет или реальная полоса пропускания, схемы, приведенной на рис. 1 достаточно. Но представим, что в качестве метрики оценки влияния неисправностей в сети на качество предоставления услуг используется средняя величина или диапазон изменения джиттера при передаче голосовых сообщений. Тогда неисправность в узлах и линиях связи может привести к снижению качества передаваемого голоса или сделать обмен голосовыми сообщениями в принципе неосуществимым. Поэтому оценить качество голоса при использовании технологии VoIP с помощью только схемы, приведенной на рис. 1, не представляется возможным.

В силу изменчивости структуры и состава сетей доступа нецелесообразно строить совокупность моделей, которые будут непосредственно связывать все возможные неисправности в них с изменением значений параметров производительности каждого конкретного абонента. Более рациональным выглядит подход, который позволяет вычислить влияние неисправностей на абонентов на основе структуры, состава сети доступа и некоторых общих принципов распространения влияния неисправностей в сети на качество предоставления услуг. Иными словами, в основу подхода целесообразно положить модели распространения воздействия неисправного узла на зависимые узлы нижних иерархических уровней, до тех пор, пока не будет достигнут уровень абонентского оборудования. Только после этого можно будет определить степень влияния неисправности на

показатели качества для каждого абонента, если ее воздействие не затухло на верхних уровнях.

Итак, рассмотрим распространение влияния неисправностей, когда в качестве показателей качества используются параметры производительности. Для конкретизации изложения будем использовать в качестве такого параметра скорость доступа в Интернет.

Для формальной оценки влияния неисправностей на узлы и абонентов сети доступа введем коэффициент снижения скорости передачи  $k_{i,j(n)}$ ,  $i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J_i, n = 1, \dots, N_{i,j}$ , где  $j$  — номер узла в  $i$ -м уровне иерархии сети доступа,  $I$  — количество уровней иерархии, выделяемых в рассматриваемой сети доступа,  $J_i$  — количество узлов в  $i$ -м иерархическом уровне,  $n$  — номер исходящей линии связи из  $i,j$ -го узла сети,  $N_{i,j}$  — количество линий связи, исходящих из  $i,j$ -го узла сети.

Коэффициент  $k_{i,j(n)}$  принимает значения в диапазоне  $[0, 1]$  и определяет, во сколько раз уменьшается скорость передачи в  $n$ -й линии связи, исходящей из  $i,j$ -го узла сети, относительно нормативного показателя.

Если воздействие всех неисправностей в узлах и линиях связи представить таким образом, чтобы их влияние сводилось к изменению значения коэффициентов  $k_{i,j(n)}$ , то фактическая скорость доступа  $Vp_{i,j(n)}$  в  $n$ -й линии, исходящей из  $i,j$ -го узла будет определяться следующим образом

$$Vp_{i,j(n)} = k_{i,j(n)} \times Vn_{i,j(n)}, \quad (1)$$

где  $Vn_{i,j(n)}$  — нормативная скорость доступа в  $n$ -й линии на выходе  $i,j$ -го узла.

С помощью соотношения (1) определяется фактическая скорость доступа  $Vp_m$ , для каждого  $m$ -го абонента  $A_m$ ,  $m = 1, \dots, M$ . Если полученная скорость  $Vp_m$  больше порогового значения, оговоренного в SLA, т.е. при выполнении условия

$$Vp_m \geq Vr_m, \quad (2)$$

где  $Vr_m$  — пороговое значение допустимого снижения скорости для  $m$ -го абонента, то в отношении  $m$ -го абонента никакие меры не предпринимаются. В противном случае действия, предпринимаемые оператором связи, определяются степенью снижения скорости доступа и значимостью абонента.

Введем зависящий от состояния узла коэффициент  $K_{i,j}$ , определяющий снижение относительно нормативного значения парамет-

ра производительности  $j$ -го узла,  $j = 1, \dots, J_i$ ,  $i$ -го,  $i = 1, \dots, I$ , уровня иерархии узлов сети доступа,  $J_i$  — количество узлов  $U$  на  $i$ -м уровне.

Для рассматриваемого случая коэффициент  $K_{i,j}$  определяет степень снижения скорости передачи на выходах узла  $U_{i,j}$  относительно нормативного, а значения коэффициента  $K_{i,j}$  зависят от состояния узла, обусловленного неисправностями в сети доступа.

Коэффициент  $K_{i,j}$  принимает значения в диапазоне  $[0, 1]$ . Значение  $K_{i,j}$  устанавливается равным 0, если возможные неисправности приводят к тому, что трафик через узел  $U_{i,j}$  не проходит. Значение  $K_{i,j}$  устанавливается равным 1 при полностью исправном узле  $U_{i,j}$ , или, в случае, когда произошедшая неисправность в узле  $U_{i,j}$  не влияет на скорость передачи данных. Для всех остальных неисправностей значения  $K_{i,j}$  принимают промежуточные значения в диапазоне  $[0, 1]$ .

Коэффициент  $K_{i,j}$  можно определять на основании правил, прописываемых для каждого типа узлов в зависимости от структуры сети доступа. Правила должны адекватно учитывать особенности коммуникационных технологий, настройки оборудования, зависимость от величины коэффициентов снижения скорости передачи во входящих линиях, наличие резервирования и другие параметры. При обнаружении неисправностей в сети производится их локализация, определяется степень серьезности и производится сопоставление состояния узла  $U_{i,j}$  конкретному значению коэффициента  $K_{i,j}$  по соответствующему правилу.

Для повышения быстродействия модуля СУИ, ответственного за определение влияния неисправностей на качество абонентского обслуживания, правила должны быть максимально простыми.

Упомянутые правила, в первую очередь, должны учитывать структурно-технологические особенности сети доступа. Исходя из анализа существующих сетей доступа, принципов их функционирования и эксплуатации, используемых в них коммуникационных технологий и оборудования, целесообразно положить в основу определения правил следующие возможные способы соединения узлов сети доступа (см. рис. 4).

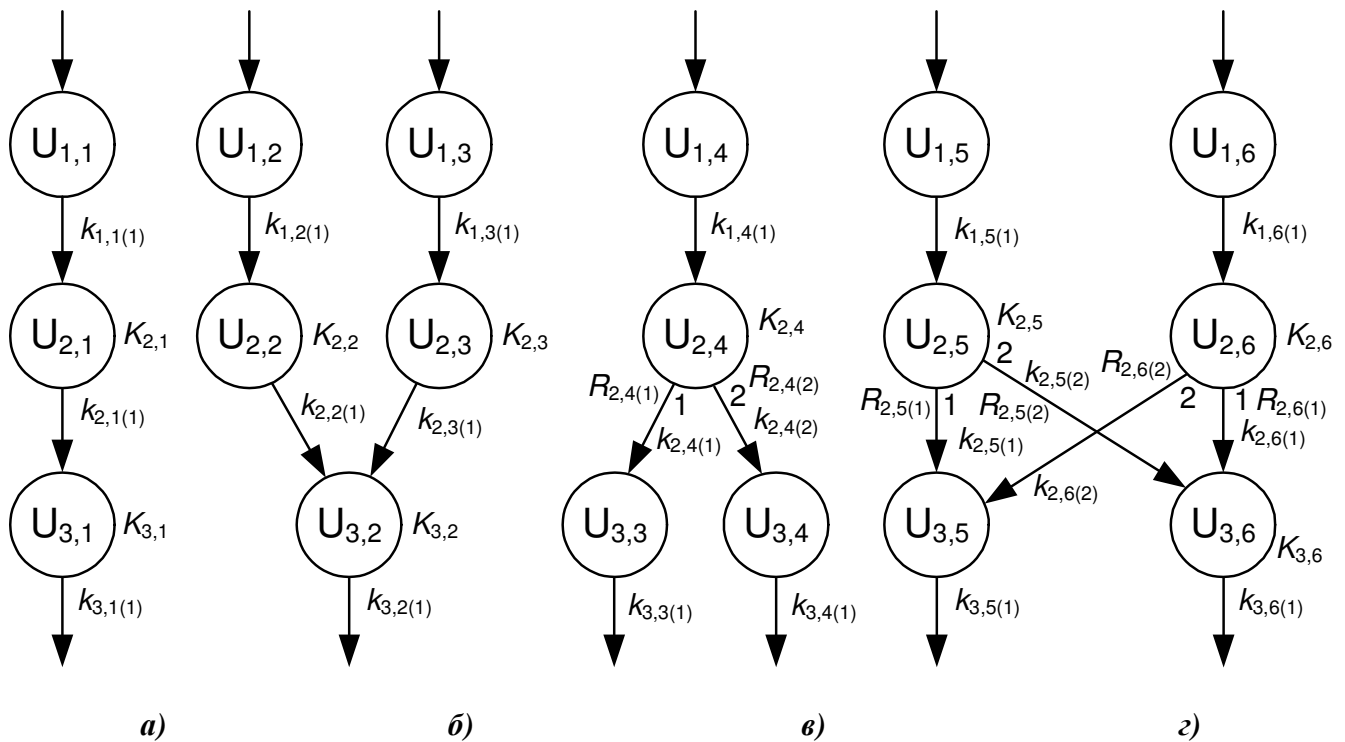


Рис. 4. Возможные способы соединения узлов сети доступа

Способ а). При исправном узле  $U_{2,1}$  скорость доступа в исходящей линии определяется входной скоростью и ограничениями, накладываемыми на скорость передачи и приема, устанавливаемую для портов узла  $U_{2,1}$  при его конфигурации.

Если узел  $U_{2,1}$  неисправен, то возможны два случая. В первом случае, когда коэффициент  $K_{2,1} = 0$  скорость в исходящей ветви равна 0 независимо от скорости на входе.

Во втором —  $0 < K_{2,1} < 1$  и неисправность в узле  $U_{2,1}$  приводит к снижению скорости в исходящей линии в  $K_{2,1}$  раз.

Тогда коэффициент снижения скорости относительно номинальной в исходящей линии связи узла  $U_{2,1}$  будет определяться следующим образом

$$k_{2,1(1)} = K_{2,1} \times k_{1,1(1)}. \quad (3)$$

В свою очередь, коэффициент  $k_{3,1(1)}$  снижения скорости на выходе узла  $U_{3,1}$  с учетом (3) будет определяться с помощью следующего выражения

$$k_{3,1(1)} = K_{3,1} \times k_{2,1(1)} = K_{3,1} \times K_{2,1} \times k_{1,1(1)}. \quad (4)$$

Способ б). Если в один узел, например, в узел  $U_{3,2}$  ведут несколько линий связи, которые используются для распределения нагрузки, поступающей от абонентов, а не для це-

лей резервирования, то при  $K_{3,2} = 1$  для оценки влияния нужно использовать выражение

$$k_{3,2(1)} = \begin{cases} k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)}, & \text{если } k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)} \leq 1, \\ 1, & \text{если } k_{2,2(1)} + k_{2,3(1)} > 1. \end{cases}$$

Если коэффициент  $K_{3,2}$  не равен 1, то производится соответствующая коррекция коэффициента  $k_{3,2(1)}$ .

Способ в). Введем коэффициент  $R_{i,j(n)}$ , определяющий распределение полосы пропускания или скорости передачи между  $n$ -ми исходящими линиями связи  $j$ -го узла  $i$ -го иерархического уровня.

Коэффициент  $R_{i,j(n)}$  принимает значения в диапазоне  $[0, 1]$ , причем, если скорость доступа во входящей линии полностью распределяется между портами исходящих линий без дополнительных ограничений, устанавливаемых при конфигурации узла  $U_{2,4}$ , то принимается

$$\sum_{n=1}^{N_{i,j}} R_{i,j(n)} = 1.$$

Коэффициент снижения скорости в 1-й и 2-й линиях связи на выходе узла  $U_{2,4}$  при возникновении неисправностей будет определяться по формуле (3).

Способ г). Для повышения надежности в сети доступа используются резервные линии связи. На рис. 4г такими линиями являются



линии 2, исходящие из узлов  $U_{2,5}$  и  $U_{2,6}$ , в то время как линии 1 являются основными. Переключение на резерв в IP-сетях происходит автоматически при выходе из строя основной линии связи или основного узла, а распределение скоростей в основной и резервной линиях прописывается в узловых элементах при их конфигурации. Тогда для оценки коэффициента  $k_{3,6(1)}$  нужно использовать выражение

$$k_{3,6(1)} = \begin{cases} K_{3,6} \times k_{2,6(1)}, & \text{если } K_{2,6} \text{ равен 1,} \\ K_{3,6} \times k_{2,5(2)}, & \text{если } K_{2,6} \text{ равен 0,} \\ & \text{а } K_{2,5} \text{ равен 1,} \\ 0, & \text{если } K_{2,6} = K_{2,5} = 0. \end{cases}$$

В свою очередь, для оценки коэффициента  $k_{2,5(2)}$  нужно использовать выражение

$$k_{2,5(2)} = \begin{cases} R_{2,5(2)} \times K_{2,5} \times k_{1,5(1)}, & \text{при } K_{2,6} = 0, \\ 0, & \text{если } K_{2,6} \neq 0. \end{cases}$$

Естественно, что выделение части канальных ресурсов на поддержание резервной линии может повлечь за собой снижение скорости в основной линии. Тогда для оценки коэффициента  $k_{2,5(1)}$  нужно использовать выражение

$$k_{2,5(1)} = \begin{cases} R_{2,5(1)} \times K_{2,5} \times k_{1,5(1)}, & \text{при } K_{2,6} = 0, \\ K_{2,5} \times k_{1,5(1)}, & \text{если } K_{2,6} \neq 0. \end{cases}$$

Таким образом, состояние одного из узлов, например,  $U_{2,6}$  может оказывать влияние на коэффициенты снижения скорости в выходных линиях других узлов, в данном случае  $U_{2,5}$ , находящихся на том же или выше-расположенных уровнях относительно рассматриваемого узла и не связанных с ним физически.

Такую логическую взаимосвязь состояний можно установить на основе анализа резервных линий и узлов на схемах, подобных рис. 1 или 4. Учитывая низкую динамику создания и удаления резервных узлов и линий связи, информацию о взаимовлиянии можно отдельно фиксировать в качестве свойств или параметров узлов, отказы в которых оказывают косвенное влияние на другие узлы, или задавать в виде соответствующих пра-

вил. Для сохранения единства подхода взаимовлияние состояний узлов задается изменением состояния зависимого узла при изменении состояния основного.

На самом нижнем уровне иерархии сети доступа коэффициент  $k_{i,j(n)}$  определяет, во сколько раз уменьшилась скорость передачи на входе или выходе абонентского оборудования относительно скорости, заданной в SLA. Точка контроля скорости на входе или выходе абонентского оборудования определяется организационно или ограничивается возможностями СУИ контролировать выход абонентского оборудования.

Фактическая скорость доступа  $Vp_m$  каждого  $m$ -го абонента  $A_m$ ,  $m = 1, \dots, M$ , определяется с помощью следующего выражения, полученного по аналогии с выражением (1)

$$Vp_m = k_m \times Vn_m,$$

где  $k_m$  коэффициент, соответствующий  $k_{i,j(n)}$  на выходе абонентского оборудования,  $Vn_m$  — нормативная скорость доступа  $m$ -го абонента.

Теперь принимаются решения, о которых говорилось выше. Если скорость  $Vp_m$  меньше порогового значения, оговоренного в SLA, т. е. при выполнении условия (2), то в отношении  $m$ -го абонента никакие меры не принимаются по причине отсутствия существенного влияния на уровень услуг. В противном случае, действия, предпринимаемые подразделением поддержки клиентов оператора связи, определяются степенью снижения скорости доступа и значимостью абонента.

При использовании нескольких пороговых значений  $Vr_m$  можно дифференцировать действия подразделения поддержки клиентов.

Ниже предлагается алгоритм работы модуля СУИ, ответственного за определение влияния неисправностей в сети доступа на показатели производительности качества обслуживания абонентов.

### Алгоритм работы СУИ

Предлагается следующий алгоритм оценки неисправностей в сети доступа на качество предоставления услуг, которые можно оценить с помощью показателей производительности.

Шаг 1. Обнаружение и локализация неисправностей в сети доступа. Информация о них поступает в СУИ от CRM-системы и си-

стем управления отдельными коммуникационными технологиями, либо СУИ самостоятельно обнаруживает и анализирует неисправности. После фильтрации и корреляции сообщений о неисправностях выявляется проблемный узел или линия связи.

Шаг 2. Оценивается влияние неисправности на снижение производительности путем определения значений коэффициентов  $K_{i,j}$  и  $k_{i,j(n)}$  только для проблемного узла и исходящих линий связи. Если значения снижения производительности не превышают порога реагирования, который свидетельствует о существенности неисправности, и в сети имеется только одна неисправность, то дальнейшее исследование не производится.

Шаг 3. Если неисправность оказывается существенной или имеет место несколько независимых неисправностей, то выявляются узлы, расположенные на смежных нижерасположенных иерархических уровнях, на которые влияние неисправностей распространяется непосредственно, и узлы, на которые неисправность в рассматриваемом узле влияет косвенно. Для всех этих узлов производится расчет коэффициентов  $K_{i,j}$  и  $k_{i,j(n)}$ . Если промежуточные коэффициенты не превышают порог реагирования и ошибок в сети не более одной, то считается, что влияние неисправности затухло и дальнейшее определение распространения влияния неполадок не производится.

Шаг 4. Осуществляется проверка, достигнут ли уровень абонентского оборудования.

Если не достигнут, то повторяются шаги 2 и 3.

Шаг 5. Выявляются все абоненты, на которых неисправность сказалась снижением производительности. Абоненты ранжируются по важности и для каждого из них, начиная с наиболее важных, производится сравнение значений рассчитанных коэффициентов  $k_m$  с пороговыми значениями. Если величина снижения производительности не превышает порог реагирования, то никаких действий не производится. Если порог реагирования превышен, то СУИ генерирует соответствующее информационное сообщение.

Предложенный алгоритм позволяет аналитически рассчитать параметры производительности для каждого из абонентов оператора связи, на котором может сказаться неисправность в сети доступа.

### Выводы

Предложен подход к определению распространения влияния неисправностей в сетях доступа на качество предоставляемых услуг абонентам операторов телекоммуникаций, когда показателем качества является скорость доступа. Предложенные модели позволяют аналитически рассчитать влияние неисправностей в узлах сети на снижение показателей продуктивности для каждого абонента. Подход реализован подсистемой локализации и устранения неисправностей СУИ SmartBase.ITSControl, которая внедрена в ряде крупных реальных объектов автоматизации.

### Список литературы

1. Теленик С.Ф., Ролік О.І., Букасов М.М., Соколовський Р.Л. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ// Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2006. — № 45. — С. 112—126.
2. Теленик С.Ф., Ролик А.И., Букасов М.М., Волошин А.В., Галушко Д. А. Система управления ИТ-инфраструктурой — путь к повышению эффективности функционирования предприятия// Матеріали конференції «Інформаційні технології — інструмент підвищення конкурентоздатності підприємств»: 9—10 грудня 2009. — Київ. — УкрНЦ РІТ, 2009. — С. 30—33.
3. Ролик А.И., Тимофеева Ю.С., Турский Н.И. Управление устранением неисправностей в ИТ-системах// Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: «ВЕК+», — 2008. — № 49. — С. 94—107.
4. Ролик А.И., Глушко Е.В. Анализ качества функционирования элементов информационно-телекоммуникационных систем// Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — К.: «ВЕК+», — 2008. — № 48. — с. 113—120.
5. Пат. 5872911 США, МКИ G06F 11/34. Method and system of service impact analysis in a communications network/ M. Berg; MCI Communications corp. — № 581748; Заявлено 29.12.95; Опубликовано. 16.02.99. — 16 с.

6. Пат. 7092707 США, МКИ H04Q 7/20, H04B 1/38, H04B 7/00. Service impact analysis and alert handling in telecommunications systems/ R. Lau, K. Kant, R. Khare; Telcordia Technologies, Inc., — № 10/779432; Заявлено 18.08.05; Опубл. 15.08.06. — 21 с.

Поступила в редакцію 12.12.2009