

**Мануков Михаил**

**Повышение эффективности компьютерных сетей телемедицины**

представлена на соискание академической степени  
доктора

Грузинский Технический Университет  
Тбилиси, 0175, Грузия  
Ноябрь, 2008

© Авторское право Михаил Мануков, 2008

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერნი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით სერგო მანუკოვის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: “ყბა–სახის დაავადებათა დიაგნოსტიკის ექსპერტული სისტემა” და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი

ხელმძღვანელი:

---

რეცენზენტი:

---

რეცენზენტი:

---

რეცენზენტი:

---

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2008

ავტორი: მანუკოვი მიხეილი  
დასახელება: “ტელემედიცინის კომპიუტერული ქსელების ეფექტურობის ამაღლება  
ფაკულტეტი : ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების  
აკადემიური ხარისხი: ასპირანტი  
სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პროგნოზების ან ინსტიტუტების მიერ შემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

---

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებთ დაცული მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

## რეზიუმე

თანამედროვე საზოგადოებაში სულ უფრო დიდ აქტუალურობას იძენს ისეთი ახალი დარგი, როგორც არის ტელემედიცინა. ტერმინი ტელემედიცინა ნიშნავს, რომ სამედიცინო მომსახურება წარმოებს დიდ მანძილებზე. ტელემედიცინა პოულობს თავის გამოყენებას მედიცინის ყველა მიმართულებაში და სფეროში. შეგვიძლია განვსაზღვროთ ტელემედიცინის ისეთი ტექნოლოგია, როგორც არის: ტელეკონსულტაცია, ტელესწავლება, ტელემონიტორინგი, ტელელექცია, ტელესემინარი, ტელესამედიცინო თათბირი, ტელეკონსილიუმი, ტელესიმპოზიუმი.

ფართო გაგებით ტელემედიცინა არის სამედიცინო მონაცემებით გაცვლის უზრუნველყოფა ლოკალურ, რეგიონალურ და გლობალურ ტელესაკომუნიკაციო ქსელებში მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვის საკითხების მთელი კომპლექსის გადასაჭრელად (დიაგნოსტიკა, მკურნალობა, განათლება, მეცნიერება, მართვა). ამ დროს ორივე მიმართულებით რეალური დროის რეჟიმში გადაიცემა ლაპარაკი, ტექსტები, ნახატები, სქემები და ცხრილები, სტატიკური გამოსახულებები (ფოტოსურათები, რენდგენის, ულტრაბგერითი მონაცემები, პათოლოგო-ანატომიური პრეპარატების გამოკვლევების შედეგები და სხვა) და დინამიური (ენდოსკოპიული, ქირურგიული და სხვა) ვიდეოგამუსახულებები.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მედიცინის ძირითადი მოთხოვნები კომპიუტერული ქსელების გამოყენების მიმართ შეგვიძლია ამოვიჩიოთ სტომატოლოგია. სტომატოლოგია არის მედიცინის ერთერთი დარგი, აქ აგრეთვე შეიმჩნევა კომპიუტერის გამოყენების შესაძლებლობების გაფართოვება. შეგვიძლია ავლნიშნოთ, რომ ზუსტად სტომატოლოგია უყენებს მომატებულ მოთხოვნებს კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებას.

სტომატოლოგია გამოირჩევა თავისი გაზრდილი მოთხოვნებით კლინიკური ინფორმაციის მონაცემთა შეგროვების, დამუშავებისა და გადაცემისადმი. განსაკუთრებულ მნიშვნელობას აქ იძენს გამოსახულების ხარისხი და ამ გამოსახულების დამუშავების პროცედურები. სტომატოლოგიის ერთერთი სფერო - იმპლანტოლოგია სვავს კომპიუტერული ტომოგრაფების საშუალებით მიღებული სამგანზომილებიანი გამოსახულებების დამუშავების ძალიან რთულ ამოცანებს. ამიტომაც დღეისათვის ფართოდ გავრცელებულია გამოსახულებების ანალიზისა და დამუშავების ავტომატიზებული სისტემები.

სტომატოლოგია - მედიცინის სწრაფად განვითარებადი დარგია, ამიტომაც ახალი მასალებისა და კონსტრუქციების დანერგვა და გამოყენება მოითხოვს მრავალ გაანგარიშებას, შესაბამისად, აქ, პრაქტიკულად, შეუძლებელია მუშაობა ავტომატიზირებულ პროექტირებისა და მოდელირების სისტემების გარეშე.

სტომატოლოგიაში სულ უფრო ფართო გავრცელებას პოულობს სხვადასხვა ექსპერტული და დიაგნოსტიკური სისტემა. უფრო და უფრო საჭიროა სპეციალისტის მოქმედებების დაგეგმვის ამოცანების გადაჭრა.

ამასთან ერთად უნდა არინიშნოს, რომ სტომატოლოგია მოიცავს მრავალ ვიწრო სპეციალიზაციას. ეს სპეციალიზაციები მჭიდროდ არის დაკავშირებული ერთმანეთთან. ამიტომაც ერთი სპეციალიზაციის სპეციალისტს სჭირდება სხვა სპეციალიზაციების სპეციალისტების კონსულტაცია. ქსელების გამოყენების აუცილებლობა გამოწვეულია ზუსტად მონაცემთა გაცვლის აუცილებლობით სპეციალისტებსა და პაციენტებს შორის და იმ მაღალი მოთხოვნებით, რომლებიც არსებობს ინფორმაციის გადაცემისადმი, რომელიც თავის მხრივ ხასიათდება დიდი მოცულობით (საუბარია ბრტყელ და მრავალგანზომილებიან გამოსახულებებზე, რომელთა სიზუსტე აისახება გადასაცემი ფაილების მოცულობაზე).

შესაბამისად, შეგვიძლია შემდეგნაირად დავახასიათოდ კომპიუტერებისა და კომპიუტერული ქსელების მედიცინაში გამოყენების ძირითადი ასპექტები:

- ტელემედიცინის მსოფლიო ქსელში ჩართვა,
- დიაგნოსტიკის, მკურნალობისა და კონსულტაციების უზრუნველყოფა რეალურ დროში,
- ექსპერტულ-დიაგნოსტიკური და სხვადასხვა ინფორმაციული სისტემების გამოყენება,
- სასწავლო კომპიუტერული პროგრამების გამოყენება.

ტელემედიცინის არსებობის საფუძველს წარმოადგენს კომპიუტერული ქსელები. ამასთან ერთდა უდან აღინიშნოს, რომ ტელემედიცინის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს კომპიუტერულ ქსელებში ვიდეოკონფერენციების ჩატარება.

ვიდეოკონფერენცია - არის კომპიუტერული ტექნოლოგია, რომელიც საშუალებას აძლევს ადამიანებს დაინახინ და მოუსმინონ ერთმანეთს, გაცვალონ მონაცემები და რეალური დროის რეჟიმში ერთობლივად დაამუშაონ ისინი. ვიდეოკონფერენციების დახმარებით შესაძლებელია კონსულტაციების, სხვადასხვა სახის თათბირების და სასწავლო პროგრამების დემონსტრაციების ჩატარება რეალურ დროში სწავლების მიზნით.

მსოფლიო გამოცილება გვიჩვენებს, რომ ტელემედიცინის ქსელის შესაქმნელად შესაძლებელია ორი მიდგომა. პირველი მიდგომა მდგომარეობს სულ ახალი სპეციალიზირებული ქსელის შექმნაში. მეორე, რომელიც ყველაზე ხშირად გამოიყენება, მდგომარეობს სამედიცინო დაწესებულებებში უკვე არსებული ქსელების გაერთიანებაში ერთ ქსელში. ეს ქსელები შეიძლება იყოს აბსოლუტურად განსხვავებული თავისი ხასიათის მიხედვით: ლოკალური კორპორაციული, ციფრული და ანალოგური, სატელეფონო, ინტერნეტი. შესაძლებელია სრულიად განსხვავებული ტოპოლოგიის ქსელების გაერთიანება.

აუცილებლად უნდა აღინიშნოს, რომ ქსელების გაერთიანება წარმოადგენს ერთერთ ურთულესს საკითხს, რომლის გადასაჭრელად საჭიროა მრავალი სხვა პრობლემის გადაჭრა.

ამასთან ერთად უნდა აღინიშნოს, რომ განხილული ტიპის ქსელები ხასიათდება საკმაოდ სერიოზული პრობლემებით. ვიდეოკონფერენციებისათვის დამახასიათებელია დიდი ინფორმაციული ნაკადების არსებობა ქსელში. თავის მხრის ეს იწვევს ქსელის გადატვირთვას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ქსელის მომსახურების ხარისხზე. გარდა ამისა ადგილი აქვს სხვა სირთულეებსაც: მუშაობა რეალურ დროში, მუშაობა მულტიმედიურ ფაილებთან, რომლებსაც ახასიათებს დიდი მოცულობა და ა.შ. აღნიშნულთან დაკავშირებით საჭიროა მთელი რიგი ღონისძიებების ჩატარება, რათა აღნიშნული ტიპის ქსელები ფუნქციონირებდნენ იმ დონეზე, რომელიც აკმაყოფილებს მომხარებლის მოთხოვნებს.

უნდა ითქვას, რომ საქართველოს მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობა და რეფორმები, რომელიც ტარდება ჯანდაცვის სფეროში, გადაუდებელი ამოცანების რიგში აყენებს სამედიცინო მომსახურების დონისა და ხარისხის ამაღლებას, ექიმების კვალიფიკაციის, შრომის ეფექტურობის ამაღლებას საბიუჯეტო დაფინანსების შემცირების პირობებში და სადაზღვევო მედიცინის გავრცელების პირობებში. ამასთან დაკავშირებით აუცილებელი ხდება სამედიცინო მომსახურების გადაყვანა სრულიად ახალ მეთოდოლოგიურ დონეზე სწრაფად მზარდი თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით. ამ ასპექტში დიდი პერსპექტივები გააჩნია ტელემედიცინის ტექნოლოგიების გამოყენებას, რომელიც მოიცავს სამკურნალო-დიაგნოსტიკურ კონსულტაციებს, მმართველობით, საგანმანათლებლო, სამეცნიერო და სხვა მრავალი ღონისძიების ჩატარებას ჯანდაცვის სფეროში. ამასთან დაკავშირებით აქტუალური ხდება ტელემედიცინის ქსელის შექმნა საქართველოში.

მოცემული სადისერტაციო ნაშრომის მიზანია იმ კომპიუტერული ქსელების კვლევა, რომლებიც განკუთვნილია ტელემედიცინისათვის და ფუნქციონირებს დიდი დატვირთვის პირობებში, მათ მოდელირება ფუნქციონირების ხარისხის შეფასების მიზნით და ოპტიმიზაცია აღნიშნული ქსელების წარმადობის ამაღლების მიზნით.

ყოველივე თქმულიდან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომში დასმულია და გადაჭრილია შემდეგი საკითხები:

- გაზრდილი დატვირთვის პირობებში მომუშავე დიდი ზომის კომპიუტერული ქსელის ეფექტურობის შეფასების სისტემის დამუშავება, რომელიც საშუალებას იძლევა ზუსტად შეფასდეს ქსელის წარმადობა;

- მასობრივი მომსახურების აპარატის გამოყენებით დამუშავდეს მოდელები, რომლებიც მოგვცემენ შესაძლებლობას ზუსტად შევაფასოდ დიდი ზომის კომპიუტერული ქსელის ფუნქციონირება და მისი პარამეტრები მომატებული დატვირთვის პირობებში,

- კომპიუტერული ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია მისი წარმადობის ამაღლების მიზნით.

სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავლის, ოთხი თავის, დასკვნებისა და გამოყენებული ლიტერატურის სიისაგან.

პირველ თავში განხილულია გამოთვლით ტექნიკის გამოყენების ასპექტები მედიცინაში, დახასიათებულია მედიცინის ახალი მიმართულება - ტელემედიცინა, მოყვანილია ტელემედიცინის განმარტებები, განხილულია კომპიუტერული ქსელების გამოყენების ძირითადი საკითხები და მოყვანილია მედიცინაში გამოთვლითი ტექნიკის გამოყენების მაგალითები. ამავე თავში დასმულია ამოცანები, რომლებიც გადაჭრილია სადისერტაციო ნაშრომში.

მეორე თავში განხილულია ტელემედიცინის ქსელების აგებისა და შეფასების საკითხები, კერძოდ, ისეთი ქსელების, რომლებიც უზრუნველყოფენ ვიდეოკონფერენციების ჩატარებას. მოყვანილია ქსელების არსებული ვარიანტები, რომელთა საფუძვლველზე შემუშავებულია და შემოთავაზებულია სტომატოლოგიის ტელემედიცინის ქსელის სტრუქტურა, რომელიც შეიძლება იყოს გამოყენება საქართველოში ტელემედიცინის ქსელის შექმნისათვის. ამასთან ერთად დამუშავებულია ვიდეოკონფერენციების ქსელის სტრუქტურა. როგორც უკვე აღნიშნულია ზევით, ასეთი ტიპის ქსელები ხასიათდება გარკვეული სირთულეებით, ვინაიდან მათში ადგილი აქვს მომატებულ დატვირთვას. ამასთან დაკავშირებით გამოყოფილია ის ძირითადი პარამეტრები, რომელთა საშუალებით შეიძლება შეფასდეს დიდი ზომის გაერთიანებული კომპიუტერული ქსელის წარმადობა მომატებული დატვირთვის პირობებში. შემოღებულია ზოგადი პარამეტრი, რომელიც იძლევა საშუალებას კომპიუტერულად შეფასდეს ქსელის წარმადობა.

მესამე თავში წარმოდგენილია მასობრივი მოსმახურების მოდელები, რომელიც შეიძლება იყოს გამოყენებულია ქსელის პარამეტრების განსაზღვრის მიზნით. კერძოდ შემუშავებულია მოდელი, რომელიც იძლევა საშუალებას შეფასდეს ისეთი ქსელის გამტარუნარიანობა, რომელშიც უნდა ჩატარდეს ვიდეოკონფერენცია, რაც გულისხმობს მუშაობას გაზრდილი დატვირთვის პირობებში. ამასთან ერთად მოყვანილია თანამგზავრული ქსელის მოდელი, რომელიც იძლევა ასეთი ტიპის ქსელის დროით-ალბათური მახასიათებლების მიღების საშუალებას.

მეოთხე თავში დამუშავებულია ტელემედიცინის კომპიუტერული ქსელის ოპტიმიზაციის ამოცანა, რომელიც საშუალებას იძლევა შეიქმნას შედარებით ოპტიმალური სტრუქტურა, რომელიც უზრუნველყოფს შეტყობინებების - ვიდეო-პაკეტების მიწოდებას გარკვეული დროითი ინტერვალის ფარგლებში, რაც აუცილებელია რეალურ დროში ვიდეო-ინფორმაციის გადცემისას. სტრუქტურის ოპტიმიზაცია მიმდინარეობს ღირებულების მინიმიზაციის პირობებში.

და ბოლოს მოცემულია დასკვნები. კერძოდ, აღნიშნულია, რომ:

- ჩატარებულია კვლევები კომპიუტერული ქსელების გამოყენების საკისში ტელემედიცინაში დაგამოვლენილია მათი ძირითადი პრობლემური მხარეები, დადგენილია ძირითადი სირთულეები სხვადასხვა ქსელების გაერთიანებაში ტელემედიცინის ერთ ქსელში;

- მოყვანილია რეკომენდაციები მაღალი წარმადობის მქონე ქსელების შესაქმნელად და შემოთავაზებულია ზოგადი მაჩვენებელი ქსელების ეფექტურობის შესაფასებლად;
- შემოთავაზებულია ტელემედიცინის ქსელის შექმნის მეთოდოლოგია, დამუშავებულია სტომატოლოგიის ტელემედიცინის ქსელი და ვიდეოკონფერენციების ქსელის სრუქმშობა;
- დასმულია და გადაჭრილია ტელემედიცინის ქსელის გამტარუნარიანობის შეფასებისათვის მასობრივი მომსახურების მოდელის შექმნის ამოცანა;
- დასმულია და გადაჭრილია ტელემედიცინის ქსელის სტრუქტურის ოპტიმიზაციის ამოცანა

## Resume

In the modern society most actuality has the new field of medicine – telemedicine. Term – telemedicine – means realization of medical service on a big distance. Telemedicine has application in all directions and spheres of medicine. We can define also new technologies of telemedicine: tele-medical advice, tele-education, tele-monitoring, tele-lecture, tele-seminar, teleconference, tele-council, tele-symposium.

In general telemedicine – supports exchange of medical data in local, regional and global telecommunication networks for solving of whole complex of questions which are connected with health protection (diagnostic, treatment, education, science, management). During all mentioned operations in the mode of real time in both directions are transferred conversation, texts, pictures, schemes and tables, static images (photos, X-ray photography, ultrasound data, biological research of pathoanatomistic preparations and etc.) and dynamic (endoscopic, surgical and etc.) video-images.

For definitions of main demands of medicine to the using of computer networks we can choose stomatology. Stomatology is one of fields of medicine, where we also can see increasing of spheres of computers' using. We can note some raised demands which has stomatology concerning using of computer networks. Stomatology has demands to date collection, processing and transfer of clinical information. The most importance has the quality of images and procedures of their processing. One of the main spheres of stomatology is implantology which sets the problems of processing of three-dimensional images, which are received by the mean of computerized tomography. That is why today automated systems of analyses and processing of images are prevalent.

As stomatology is fast developed branch of medicine constant implementation of new materials and constructions requests too many calculations. So here it is impossible to works without computer added design and modeling systems.

Different expert and diagnostic systems have wide spread occurrence in stomatology. At the same time more and more is necessary to plan actions of specialist.

At the same time we need to note that stomatology includes too many specializations. These specializations are deeply connected with each other. And specialists from one specialization need consultations from specialists of other specializations. Necessity of computer networks is provided by the necessity of data transfer between specialists, patients and high request to information transfer, which is characterized with large value (we mean transfer of two- and multidimensional images data accuracy of which influence on the size of transferred files).

So it is possible to characterized main aspect of using of computers and computer networks in medicine by the next:

- connection with world wide network of telemedicine'
- support of diagnostic, treatment, consultations in real time mode,
- using of expert-diagnostic and different information systems,
- using of educational computer programs

Bases of existence of telemedicine are computer networks. At the same time it is necessary to point out that integral part of telemedicine is holding of videoconferences. Videoconference – is computer technology which allows people to see and hear each other, to exchange data and jointly to process them in real time mode. By the mean of videoconference in real time mode it is possible to hold

consultations, different conferences and meetings and demonstrations of educational computer programs in the real time mode.

World experience shows that there two ways of creation of network for telemedicine. The first is in the creation of new special computer network. The second and more often used is merge of already existing in medical institutions computer networks into one network. These networks may with different character: local corporative, digital and analog, telephone networks, Internet. It is possible to merge networks with absolutely different topologies.

It is necessary to say that merge of networks is very complicated question, for solving of which it is necessary to solving many problems. Here we can add, that networks of such type are characterized with enough serious problems. Videoconference creates large information flows. This causes overload, this has negative influence on quality of service of network. Also there are other difficulties in the networks in the connection with videoconferences, like: work in real time mode, work with multimedia files, which have very large size and etc. In this connection it becomes necessary to realize large scale of events for functioning of given types of networks on the level responsible to demands of users.

We can say that the situation in the field of health protection in Georgia and reforms of health protection set into the rang of urgent task – the question of growing of level and quality of medical service, raising of qualification and efficiency of doctors work in the conditions of reducing (decreasing) of budget' financing and in the conditions of spread of insurance medicine. In this connection it is necessary to transfer of medical service to another new metrological level with using of fast developed modern technologies. In this aspect big perspectives has using technologies of telemedicine, which include management, educational, scientific and other events in the field of health protection. In this connection it becomes very actual creation of telemedicine network in Georgia.

The goal of dissertation is learning of computer networks for telemedicine and which functioning in the conditions of big loan, their modeling and optimization with the purpose of estimation of quality of their functioning and growing oth their efficiency.

From all mentioned in the given dissertation are offered and solved next questions:

- development of system of parameters for estimation of computer network of big size, which give possibility to estimate efficiency of network functioning in the conditions of big load.

- development of models on the bases of queue models theory and which give possibility most precisely estimate parameters of functioning of big size computer network which works in the conditions of overload,

- optimization of structure of computer network for growth of efficiency.

The give dissertation includes introduction, four chapters, conclusions and the list of used literature.

In the first chapter there are described main aspects of computer science in medicine, there is characterized new direction in medicine – telemedicine, definitions of term telemedicine are given, are discussed main question of using of computer networks in medicine, there are given examples of application of computers in medicine. In the same chapter are offered task which are solved in the given dissertation.

In the second chapter are considered questions of creation and estimation of networks for telemedicine, in particular, networks which allows holding of videoconference. Are offered existing variants of networks on the bases of which is created structure of network for telemedicine for stomatolofy, which may be used during creation of network of telemedicine in Georgia. The structure of network for videoconference is developed, which is characterized with overload. So there are offered main parameters, by the mean of which can be estimated efficiency of network which works in the conditions of high load. There is offer integrated parameter which gives possibility to estimate network fully.

In the third chapter there are offered queuing models which may be applied for more precise estimation of functioning of large computer networks which work in the conditions of overload. Particularly it is offered model of estimation of data throughput of computer network of telemedicine, which must support holding of videoconference – this means the work of network in the conditions of large load. Also it is offered model of network in which organization of videoconference is planning through satellite communication.

In the forth chapter there is offered task of computer network optimization. For this goal it is setted and solved a task of optimization of computer network structure which gives possibility to deliver information during acceptable period of time with minimal cost of optimized network.

And finally are given conclusions.

**ВЫВОДЫ ДОБАВИТЬ**

## Содержание

Введение .....	xviii
1. Основные аспекты применения компьютерных сетей в медицине.....	23
1.1. Определение предмета телемедицины .....	23
1.2. Основные проблемы применения сетей телемедицины .....	57
1.3. Постановка задач.....	61
2. Вопросы разработки и оценки компьютерных сетей .....	67
2.1. К вопросу оценки сетей видеоконференций .....	67
2.2. Проектирование высокопроизводительных сетей.....	71
2.3. Проектирование сетей телемедицины .....	77
2.4. Организация видеоконференций для телемедицины.....	81
2.5. Построение сетей видеоконференций.....	87
3. Моделирование компьютерных сетей телемедицины .....	96
3.1. Определение проблемы .....	96
3.2. Анализ пропускной способности сети телемедицины .....	98
3.3. Моделирование спутниковой сети.....	108
4. Оптимизация компьютерной сети телемедицины .....	111
4.1. Постановка задачи.....	111
4.2. Математическая модель .....	114
4.3. Распределение емкостей.....	122
4.4. Метод решения.....	122
5. Заключение .....	130
Используемая литература .....	132

## Список таблиц

Табл. 1.1 Определение предмета телемедицины . . . . .	27
Таблица 1.2 Рекомендации по использованию телемедицинских технологий у больных с неотложными состояниями . . . . .	51
Таблица 1.3. Отличия между сетями на сетевом уровне. . . . .	63
Таблица 3.1. Условия для $\{S^2, N_u\}$ и пространства состояний $D_u^2$ для спутниковой системы связи. . . . .	110

## Список рисунков

Рис. 1.1. Принципиальная схема телемедицинской системы первой группы . . . . .	45
Рис.1.2. Принципиальная схема телемедицинской системы второй группы.. .	46
Рис.1.3.. Общая (принципиальная) схема удаленного консультирования . . . . .	48
Рис.1.4. Технологии видеоконсультирования . . . . .	49
Рис.1.5. Основные проблемы применения компьютерных сетей в телемедицине. . . . .	58
Рис.2.1. Основные факторы, влияющие на качество видеоконференции . . . . .	75
Рис.2.2. Структура сети телемедицины для стоматологии. . . . .	79
Рис.2.3. Структура сети телемедицины для стоматологии с учетом служб . . . . .	80
Рис.2.4. Методы диагностики в медицине . . . . .	81
Рис.2.5. Типовые решения видеоконференций. . . . .	83
Рис.2.6. Типы видеоконференций по организации . . . . .	84
Рис.2.7. Типы видеоконференций по топологии. . . . .	85
Рис.2.8. Типы видеоконференций по типу связи и сети. . . . .	87
Рис. 2.9 Объединенная сеть телемедицины. . . . .	89
Рис. 2.10. Два типа организации видео-файлов . . . . .	93
Рис.2.11. Буферизация потоков фреймов. . . . .	94
Рис 3.1. Структура сети для видеоконференций телемедицины. . . . .	97
<b>Рис.3.2. Схема спутниковой сети. . . . .</b>	<b>108</b>
Рис.3.3. Модель распределения емкости спутникового ретранслятора . . . . .	109
Рис 4.1. Структура сети видеоконференции в общем виде . . . . .	112
Рис.4.2. Зависимость приведенных затрат на канал связи от расстояния $L$ и $C$ емкости. . . . .	125
Рис. 4.3. Зависимости приведенных затрат $G$ на сеть от количества маршрутизаторов $q$ . . . . .	129
Рис. 4.4. Схема алгоритма размещения маршрутизатора . . . . .	130
Рис. 4.5. Схема алгоритма зонирования абонентов и размещения маршрутизаторов. . . . .	131

Рис. 4.6. Схема алгоритма выбора размещения  $q$  маршрутизаторов в  
фиксированных зонах. .... 134

## Список аббревиатур используемых в диссертации

- БРС - базовая рабочая станция,  
ВОЗ - Всемирная Организация Здравоохранения,

## Благодарности.

В благодарность моему учителю Проф. .

## Введение

Хорошо известно, что компьютерные технологии широко используются во всех сферах деятельности человека. С этой точки зрения не составляет исключения и медицина.

В современном обществе все большую актуальность приобретает такая новая отрасль, как телемедицина. Сам термин телемедицина означает осуществление медицинского обслуживания на больших расстояниях. Телемедицина находит свое применение во всех направлениях и сферах медицины. Можно определить и основные технологии телемедицины, как: телеконсультация, телеобучение, телемониторинг, телелекция, телесеминар, телемедицинское совещание, телеконсилиум, телесимпозиум.

В расширенном понимании телемедицина – это обеспечение обмена медицинскими данными в локальных, региональных и глобальных телекоммуникационных сетях для решения всего комплекса вопросов охраны здоровья населения (диагностика, лечение, образование, наука, управление). При этом в обе стороны, в том числе в режиме реального времени, передаются речь, текст, рисунки, схемы и таблицы, статические изображения (фотографии, рентгеновские, ультразвуковые данные, биологические исследования патолого-анатомических препаратов и пр.) и динамические (эндоскопические, хирургические и др.) видеоизображения.

Для определения основных требований медицины, предъявляемых к применению компьютерных сетей можно избрать стоматологию. Стоматология является одной из отраслей медицины, и здесь также наблюдается расширение сфер применения компьютеров. Можно отметить определенные повышенные требования, предъявляемые именно стоматологией к применению компьютерной техники.

Стоматология выделяется особыми требованиями к сбору, обработке и передаче клинической информации. Особое значение здесь приобретает качество изображений и процедуры обработки этих изображений. Одна из основных областей стоматологии – имплантология ставит очень сложные задачи обработки трехмерных изображений, полученных с помощью компьютерных томографов. Поэтому, на сегодняшний день широко распространены автоматизированные системы анализа и обработки изображений.

Поскольку стоматология - быстроразвивающаяся отрасль медицины, постоянное внедрение и использование новейших материалов и новых конструкций требует множества расчетов, поэтому здесь уже практически не обойтись без систем автоматизированного проектирования и систем моделирования.

В стоматологии все более широкое распространение получают различные экспертные и диагностические системы. Вместе с этим все больше и больше приходится решать задачи планирования действий специалиста.

Наряду с этим, необходимо отметить, что стоматология включает в себя множество узких специализаций. Эти специализации тесно связаны друг с другом. Поэтому специалисту одной из специализаций необходима консультация специалистов других специализаций. Необходимость использования компьютерных сетей вызвана именно необходимостью в обмене информации между специалистами и пациентами и высокими требованиями, предъявляемыми к передаче информации, которая характеризуется большими объемами (разговор идет о передаче плоских и многомерных изображений, точность которых отражается на объеме передаваемых файлов).

Следовательно, основные аспекты применения компьютеров и компьютерных сетей в медицине и, в частности, в стоматологии можно охарактеризовать следующим образом:

- включение во всемирную сеть телемедицины,
- обеспечение диагностики, лечения, консультаций в реальном времени,
- использование экспертно-диагностических и различных информационных систем,
- использование учебных программ.

Основу существования телемедицины представляют компьютерные сети. Вместе с этим надо отметить, что неотъемлемую часть телемедицины представляет проведение видеоконференций в компьютерных сетях.

Видеоконференция - это компьютерная технология, которая позволяет людям видеть и слышать друг друга, обмениваться данными и совместно их обрабатывать в реальном режиме времени. Благодаря видеоконференциям в режиме реального времени становится возможным проведение консультаций, совещаний разного характера и демонстрация учебных программ с обучением в реальном времени.

Мировой опыт показывает, что для создания сети телемедицины возможно осуществить два подхода. Первый заключается в создании новой специализированной компьютерной сети. Второй, наиболее часто используемый, заключается в объединении существующих в медицинских заведениях компьютерных сетей в одну сеть. Эти сети могут быть совершенной различными по своему характеру: локальные корпоративные сети, цифровые и аналоговые телефонные сети, Интернет. Возможно объединение сетей совершенно различной топологии. Необходимо отметить, что объединение сетей представляет собой один из сложных вопросов, для решения которого становится необходимым решение множества проблем [1].

Здесь же можно добавить, что сети такого типа характеризуются достаточно серьезными проблемами. Для видеоконференций характерно создание больших информационных потоков в сети. В свою очередь это вызывает перегрузку, что отрицательно действует на качество обслуживания сети. Вместе с этим в сети телеконференции имеют место и другие сложности, такие как: работа в реальном времени, работа с мультимедийными файлами, которые характеризуются большими объемами, и т.д. В связи с указанным становится нужным проведение целого ряда мероприятий, для того чтобы сети указанного типа функционировали на уровне, отвечающем требованиям пользователя.

Нужно отметить, что состояние здоровья населения Грузии и реформы в области здравоохранения в ряд неотложных задач ставят повышение уровня и качества медицинского обслуживания, повышение квалификации врачей и эффективности их труда в условиях сокращения бюджетного финансирования и в условиях распространения страховой медицины. В связи с этим необходим переход медицинского обслуживания на совершенно новый методологический уровень с применением быстро развивающихся современных технологий. В этом аспекте большие перспективы имеются у применения технологий телемедицины, которые включают лечебно-диагностические консультации, управляющие, просветительские, научные и другие мероприятия в области здравоохранения. В связи с этим актуальным становится создание сети телемедицины в Грузии.

Целью данной диссертационной работы является изучение компьютерных сетей, предназначенных для телемедицины и функционирующих

в условиях большой нагрузки, их моделирование и оптимизация с целью оценки качества функционирования и повышения производительности указанных сетей [2,3].

Исходя из всего сказанного в предложенной диссертационной работе поставлены и решены следующие вопросы: разработка системы оценки эффективности компьютерной сети большого размера, функционирующей в условиях большой нагрузки, которая дает возможность наиболее точно оценить производительность сети; разработка моделей, которые будут построены на основе аппарата теории массового обслуживания, и которые наиболее точно дадут возможность оценить функционирование компьютерной сети большой размерности, работающей в условиях повышенной нагрузки; оптимизация структуры компьютерной сети с целью повышения ее производительности.

Данная диссертационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение и список использованной литературы.

В первой главе рассмотрены основные аспекты применения вычислительной техники в медицине, охарактеризовано новое направление медицины – телемедицина, предложены определения телемедицины, рассмотрены основные вопросы использования компьютерных сетей в медицине, предложены примеры применения вычислительной техники в медицине. В этой же главе поставлены задачи, которые решены в представленной диссертационной работе.

Во второй главе рассмотрены вопросы построения и оценки компьютерных сетей телемедицины, в частности, сетей позволяющих проведение видеоконференций. Предложены существующие варианты сетей, на основе которых предложена структура сети для телемедицины стоматологии, которая может быть использована при создании сети телемедицины в Грузии. Разработана структура сети для видеоконференций, сети данного типа характеризуются определенными сложностями, поскольку здесь имеет место повышенная нагрузка. Поэтому, выделены основные параметры, которыми могут быть оценена производительность объединенной компьютерной сети большой размерности, работающая в условиях повышенной нагрузки. Введен обобщенный показатель, который дает возможность комплексно оценить производительность сети.

В третьей главе предложены модели массового обслуживания, которые могут быть применены для наиболее точной оценки функционирования компьютерной сети большой размерности, работающей в условиях большой нагрузки. В частности, предложена модель оценки пропускной способности компьютерной сети телемедицины, в которой предполагается проведение видеоконференций, что подразумевает работу сети в условиях большой нагрузки. Вместе с этим предложена модель сети, в которой проведение конференций осуществляется через спутниковую связь, и которая дает возможность оценить вероятность-временные характеристики сети подобного типа.

В четвертой главе предложена задача оптимизации компьютерной сети телемедицины, которая дает возможность создать сравнительно оптимальную структуру сети, обеспечивающей доставку пакетов в определенный промежуток времени. что необходимо при проведении видеоконференций в режиме реального времени. Оптимизация структуры производится в условиях минимизации стоимости сети.

В заключении даны основные выводы. В частности, отмечено, что:

- проведены исследования в области применения компьютерных сетей в телемедицине и выявлены их основные проблематичные стороны, установлены основные трудности при объединении различных сетей в одну сеть телемедицины;
- приведены рекомендации по созданию высокоэффективных сетей и предложен обобщенный показатель оценки эффективности сетей;
- предложена методика создания сети телемедицины, разработана сеть телемедицины для стоматологии и сеть для проведения видеоконференций;
- поставлена и решена задача создания моделей массового обслуживания для оценки пропускной способности сети телемедицины;
- поставлена и решена задача оптимизации структуры сети телемедицины

# 1. Основные аспекты применения компьютерных сетей в медицине

## 1.1. Определение предмета телемедицины

В настоящее время в медицине среди классических субклинических и клинических дисциплин прочно утвердилась клиническая информатика - научно-прикладная отрасль медицинского знания, предметом которой является использование электронных информационных технологий в практической и теоретической медицине. Одним из главных разделов клинической информатики является телемедицина. Чаще всего под телемедициной подразумевают дистанционное оказание медицинской помощи с помощью компьютеров и средств телекоммуникационной связи.

В современном понятии телемедицина - это использование достижений телекоммуникационных технологий в здравоохранении. Телемедицина позволяет поднять эффективность лечения и диагностики на качественно новый уровень. С помощью телемедицинских технологий можно, например, удаленному больному оказать высоко квалифицированную медицинскую помощь. Врачи могут поставить диагноз, на основании полученных через электронную почту или глобальную сеть Интернет изображений рентгеновских снимков, компьютерных томограмм, электрокардиограмм, электроэнцефалограмм или других данных лабораторных и инструментальных исследований больного. В связи с тем, что зачастую основная часть узких специалистов в различных областях медицины работает в специализированных медицинских центрах крупных городов, это привело к определенной централизации медицинской помощи. Однако достижения телемедицины устраняют необходимость в физическом присутствии специалиста на месте.

По представлениям специалистов телемедицина остается, в первую очередь, дистанционной диагностикой, но её потенциальные возможности значительно шире. Сетевые технологии предоставляют возможность документальной передачи историй болезни при переводе больных из клиники в клинику, оперативное решение вопросов страхования и оплаты, новые

возможности повышения квалификации врачей, широкое внедрение новых медицинских технологий и методов, дистанционные медицинские консультации, консилиумы, телеконференции, и телеманипуляции (дистанционное управление аппаратурой и даже хирургические вмешательства на расстоянии).

Современные телемедицинские подходы позволяют проводить удаленные консультации врачей и их пациентов, находящихся в самых отдаленных районах. При этом для проведения консультации тяжелого больного врач может полагаться не только на собственный опыт. Когда врач сталкивается со сложным случаем в практике, он советуется, консультируется с коллегами. Очень часто возникает потребность общаться с коллегами не только из своей больницы, а с коллегами из других медицинских организаций как в собственной стране так и за рубежом, при этом обмениваясь медицинской документацией, снимками, видеоизображениями. При современном уровне развития информационных технологий становится возможным обмениваться электронными версиями таких документов, общаться при помощи интернет, устраивать видеоконференции.

Благодаря телемедицинским технологиям врачи и специалисты могут слушать лекции известных ученых по самым актуальным проблемам здравоохранения и медицинской науки, поддерживать профессиональные связи с ведущими мировыми научными центрами, а также со своими коллегами из соседних районных больниц или с ведущими специалистами областного центра. Крайне привлекательна возможность использования технологий видеоконференций, позволяющих сторонам живое общение в режиме видео.

В целом можно сказать, что телемедицина - это направление на стыке нескольких областей - медицины, телекоммуникаций, информационных технологий, образования.

#### Определение термина «телемедицина»

Термин «телемедицина», введенный R. Mark в 1974 г. (по другим данным, это сделал ThomasBird в 1970 г.), объединяет множество телекоммуникационных и информационных методов, применяемых в здравоохранении, а также их разнообразные клинические приложения.

В библиографической Интернет-базе MEDLINE термин "телемедицина" впервые использован в 1974 году. В более ранних работах встречаются термины «телегнозия» (одноименная работа J.Gershon-Conen и A.G.Cooley, 1950 г.), телепсихиатрия, диагноз с помощью телевидения, «консультация с помощью телевидения».

Существует несколько десятков определений телемедицины, отличающихся как по степени детализации её характеристик, так и по содержанию включаемых в неё технологий и направлений.

Н. Браун (руководитель телемедицинского проекта в Портлендском, Орегон, исследовательском центре) определяет телемедицину как использование телекоммуникаций для предоставления медицинской информации и услуг, как «нечто среднее» между простым обсуждением клинического случая двумя врачами по телефону, и проведением интерактивной видео-консультации между медицинскими центрами разных стран с использованием спутниковой технологии.

Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ) в 1997 г. ввела несколько более широкое понятие — медицинская телематика, что означает деятельность, услуги и системы, связанные с оказанием медицинской помощи на расстоянии посредством информационно-коммуникационных технологий, направленные на содействие развитию здравоохранения, осуществление эпидемиологического надзора и предоставление медицинской помощи, а также обучение, управление и проведение научных исследований в области медицины.

Существует и такое определение: «Телемедицина — направление медицины, основанное на использовании современных компьютерных и телекоммуникационных технологий для адресного обмена медицинской информацией между специалистами с целью повышения качества и доступности диагностики и лечения конкретных пациентов». Ряд других определений телемедицины в основных элементах сходны. В таблице 1.1 приведено большинство определений телемедицины, наиболее точно характеризующих ее суть.

Исходя из всего вышесказанного можно отметить, что устоявшегося определения понятия "телемедицина" не существует. Тем не менее можно сказать, что наиболее полным является определение, данное Американской Ассоциацией Телемедицины: "Предмет телемедицины заключается в передаче

медицинской информации между отдаленными друг от друга пунктами, где находятся пациенты, врачи, другие провайдеры медицинской помощи, между отдельными медицинскими учреждениями. Телемедицина подразумевает использование телекоммуникаций для связи медицинских специалистов с клиниками, больницами, врачами, оказывающими первичную помощь, пациентами, находящимися на расстоянии, с целью диагностики, лечения, консультации и непрерывного обучения". (Telemedicine Resources and Services: American Telemedicine Association// The Univ. of Texas at Austin.-1994.)

Табл. 1.1 Определение предмета телемедицины

№ п/п	Понятие	Источник
1	Термин «телемедицина» объединяет множество телекоммуникационных и информационных методов, применяемых в здравоохранении, а также их разнообразные клинические приложения.	Введен R. Mark в 1974 г. (по другим данным, это сделал ThomasBird в 1970 г.) По данным энциклопедии Википедия <a href="http://ru.wikipedia.org/">http://ru.wikipedia.org/</a>
2	Телемедицина (eMedicine) – направление медицины, основанное на использовании телекоммуникаций для адресного обмена медицинской информацией с целью повышения доступности и качества медицинской диагностики и лечения заболеваний. Непременным условием адекватного обмена медицинской информацией является согласованная подготовка медицинских данных и знаний при их передаче по каналам связи.	Тезаурус по информационному обществу Министерства информационного развития республики Молдова
3	Телемедицина – это использование компьютеров, Интернет и других коммуникационных технологий для обеспечения медицинской помощи больным на расстоянии.	NLM NATIONAL TELEMEDICINE INITIATIVE Summaries of awards announced october 1996// US National Library of medicine.- 1996.-N3.-9 p.
4	Телемедицина – это использование телекоммуникационных технологий для обеспечения медицинской информацией и медицинским обслуживанием потребителей, которые находятся на расстоянии от медицинского персонала. Этот термин используется в настоящее время как общее обозначение обеспечения консультаций и постановки диагноза на расстоянии. Телемедицина не является медицинской субдисциплиной (или субспециальностью), а является вспомогательным средством для всех терапевтических и хирургических специальностей. Это понятие включает все, начиная от телефонной системы и заканчивая высокоскоростными системами широкополостной передачи с	Khandheria B.K. Telemedicine: An application in search of users//Mayo Clin.Proc.-1996. – Vol.71.-P.420-421.

	использованием фиброоптики, спутников или сочетания технологий наземной и спутниковой коммуникаций.	
5	Телемедицина – это медицинское обслуживание, проводимое на расстоянии: изображения передаются таким образом, что пациенту и врачу нет необходимости быть в одном и том же месте в одно и то же время.	Telemedicine: Fad or Future? Editorial//The Lancet.-1995.- Vol.345,N89.- P.42.
6	Телемедицина – это интегрированная система оказания медицинской помощи с использованием телекоммуникаций и компьютерной технологии вместо прямого контакта между медиком и пациентом.	Goldberg M.A. Telemedicine an overview// Telemed.J.-1995.-Vol.1,N1.- P.20-25.
7	Телемедицина –это оказание медицинской помощи больным в любой точке земного шара за счет сочетания коммуникационной технологии с медицинским опытом.	Bashshur R.L.On the Definition and Evaluation of Telemedicine//Telemed.J.- 1995.-Vol.1,N1.-P.34-38.
8	Телемедицина – это использование телекоммуникаций и компьютерной технологии в сочетании с опытом специалистов-медиков для облегчения оказания медицинской помощи в отдаленных районах.	Kim D.,Cabral J., Kim Y. Networking Requirement and the Role of Multimedia Systems in Telemedicine// Image Computing Systems Laboratory.-Univ. Of Washington.-1995.-13 p.
9	Телемедицина – это «медицина, практикуемая на расстоянии». Поэтому она включает постановку диагноза,лечение и обучение.В последние десятилетия появились такие виды обслуживания как видеоконсультации и телерадиология, интенсивные исследования ведутся в области телепатологии.	Aims and Scope// J. Of Telemed. And Telecare.- 1995.-Vol.1, N1.-P.1.
10	Понятие телемедицины включает использование телекоммуникаций для связи медицинских специалистов с клиниками, больницами, врачами, оказывающими первичную помощь, пациентами, находящимися на расстоянии, с целью диагностики, лечения, консультации, непрерывного обучения.	Telemedicine Resources and Services: American Telemedicine Association// The Univ. Of Texas at Au stin.-1994.- 4p.
11	Телемедицина – это использование информационных и	Perednia D., Allen A. Telemedicine technology and clinical

	телекоммуникационных технологий в здравоохранении, в частности, обеспечении медицинской помощью на расстоянии.	application//JAMA.-1995.-Vol.7,N6.- P.483-485.
12	Телемедицина – это быстрое обеспечение медицинскими знаниями на расстоянии с помощью телесвязи и информационной технологии независимо от того, где находится пациент или где требуется нужная информация.	Telematics Systems for Health Care:AIM-92.-Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities,1992.-213p.
13	Телемедицина – это совокупность внедряемых, «встраиваемых» в медицинские информационные системы, принципиально новых средств и методов обработки данных, объединяемые в целостные технологические системы, обеспечивающие создание, передачу, хранение и отображение информационного продукта (данных, знаний) с наименьшими затратами с целью проведения необходимых и достаточных лечебно-диагностических мероприятий, а также обучения, для всех нуждающихся в них в нужном месте и в нужное время.	Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века/ Под ред. Р.М.Юсупова, Р.И.Полонникова. - СПб,1998.- 487 с.
14	Телемедицина – прикладное направление медицинской науки, связанное с разработкой и применением на практике методов дистанционного оказания медицинской помощи и обмена специализированной информацией на базе использования современных телекоммуникационных технологий	О.С.Медведев. Что такое телемедицина? <a href="http://www.ctmed.ru/telemed/tm1.html">http://www.ctmed.ru/telemed/tm1.html</a>

15	<p>Телемедицина может быть определена как способ обеспечения врачей и организаторов здравоохранения современными информационно-телекоммуникационными средствами, в результате применения которого электронные, видео- и аудио-коммуникации используются для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ оказания диагностической и консультативной помощи,</li> <li>▪ повышения квалификации медицинских специалистов, находящихся вне учебных центров,</li> <li>▪ оперативного доступа к информации распределенных или удаленных баз данных;</li> <li>▪ административных целей.</li> </ul>	<p>Из проекта о телемедицины Украины, Окружная целевая программа «Телемедицинская система здравоохранения – 2007»</p>
----	---	---

### Развитие телемедицины

Попытки использования каналов связи для оказания медицинской помощи и передачи медицинской информации на расстоянии предпринимались ещё в первой четверти XXв. с использованием недавно появившейся телефонной связи. Так, в Швеции в 1905г. была осуществлена передача сигнала электрокардиограммы по телефонным линиям связи, а с 1922г. в университетском госпитале Готтенбурга по радиоканалам проводились медицинские консультации моряков, находившихся в плавании, с 1935г. аналогичная служба работает в Италии. В 1959г. в США была проведена телевизионная консультация психиатрического больного, в том же году в Канаду было передано изображение флюорограммы легких.

В середине XX века в медицине возникла новая отрасль - биорадиотелеметрия (или просто - телеметрия) - регистрация, передача и

мониторинг физиологических параметров человека на расстоянии как в покое, так и в процессе выполнения им определенной деятельности. Стремительное развитие этой отрасли связано прежде всего с успехами космических программ СССР и США – необходимость постоянного контроля за состоянием здоровья астронавтов. Первыми шагами «телемедицины» как «дистанционной диагностики» можно считать телеметрическую запись физиологических показателей у первых космонавтов, а также первые данные им медицинские советы. Уже во время первых полетов у космонавтов телеметрически регистрировались ЭКГ в одном и двух грудных отведениях и пневмограммы. В дальнейшем была введена регистрация сейсмокардиограммы, разработаны специальные методы и аппаратура для дистанционной регистрации основных физиологических и биохимических параметров организма человека в условиях космического полета, для передачи этой информации на землю и принятия своевременных мер по коррекции возникающих нарушений.

Быстрое развитие технологий радиосвязи позволило использовать телеметрию в спортивной, аэрокосмической медицине, для изучения состояния здоровья населения и т.д. Испытав небывалый подъем в 1960-х годах телеметрия, увы, оказалась практически забыта. Ее уделом стали лишь строго специфические виды деятельности - наблюдение за состоянием здоровья космонавтов, теоретические исследования в спортивной медицине.

Совсем в ином виде телеметрия возродилась с появлением новых широкодоступных компьютерных и телекоммуникационных технологий. С помощью системы "компьютер-модем-телефонная линия-модем-компьютер" стало возможным не только передавать все виды медицинской информации из одной точки Земного шара в другую, но и проводить консилиумы, узнать мнение своего коллеги из другой страны или даже с другого континента; более того, подключив к компьютеру видеокамеру и микрофон, стало возможным обеспечить виртуальное присутствие специалиста при осмотре пациента, в лаборатории и даже операционной.

В 60-70-х годах начались опытные работы по передаче медицинских данных: проводили первые клинические испытания по дистанционной диагностике врожденных пороков сердца и других заболеваний с использованием вычислительных машин, связанных телеграфными линиями. Известность получили работы по передаче на расстояние электрокардиограмм

по телефонным линиям для срочной консультации в кардиологических центрах с использованием специальных систем.

В 1965г. американский кардиохирург М. ДеБэйки, используя спутниковый канал связи, консультировал ход операции на сердце, выполняемой в Женеве (Швейцария). С 70-х гг. в США осуществлялась передача данных через средства космической связи между медицинскими центрами Аризоны, Бостона, Канады.

В конце 1980-годов были опубликованы первые военные разработки в области телемедицины.

Весьма демонстративный международный опыт практического применения телемедицины в её современных вариантах был получен во время землетрясения в Армении (1988). Тогда были налажены телемосты (аудио-, видео и факсимильная связь) между зонами бедствия и ведущими медицинскими центрами США под эгидой Советско-американской комиссии по космической биологии и медицине. В телеконсультациях и видеоконференциях участвовали специалисты московских клиник и медицинских центров США. Проводились консультации ожоговых, психиатрических и некоторых других групп пациентов. За 12 недель работы телемоста в 34 продолжавшихся по четыре часа видеоконференциях приняли участие около 200 советских (Армения, Москва,) и 170 американских специалистов. Всего было рассмотрено приблизительно 200 клинических случаев по 20 медицинским специальностям. В результате вносились значительные изменения в диагностический и лечебный процесс, внедрялись новые лечебные методики, передавалось значительное количество медицинской информации. Так, был изменен диагноз в 33%, рекомендованы дополнительные диагностические меры в 46%, изменена тактика лечения в 21% и внедрены новые методики лечения в 10% случаев.

В 1993 году телемедицина выделена в отдельную международную библиографическую рубрику. Термин «телемедицина» стал особенно популярным именно в 1990-х годах.

Телемедицина получила в ряде стран академическое признание - образованы новые кафедры в университетах (кафедра телемедицины, например, в Университете г. Белфаст, Великобритания). Появились специальные журналы, такие как "Telemedicine Journal" и "Journal of Telemedicine and Telecare". Журнал "Journal of Telemedicine and Telecare" является академическим, издается

Королевским Медицинским обществом с 1995 г. В редакционную коллегию входят представители из США, Италии, Австралии, Испании, Канады, Франции, Великобритании, Японии, Норвегии, Греции.

### Проекты телемедицины

Первой страной, поставившей телемедицину на практические рельсы стала Норвегия, где имеется большое количество труднодоступных для традиционной медицинской помощи мест. Второй проект был осуществлен во Франции для моряков гражданского и военного флотов. А сегодня уже трудно назвать западноевропейскую, где бы не развивались телемедицинские проекты. Особый размах сеансы «телемедицины» получили в США.

В настоящее время во многих странах и в международных организациях разрабатываются многочисленные телемедицинские проекты. ВОЗ разрабатывается идея создания глобальной сети телекоммуникаций в медицине. Имеется в виду электронный обмен научными документами и информацией, её ускоренный поиск с доступом через телекоммуникационные сети, проведение видеоконференций, заочных дискуссий и совещаний, электронного голосования.

Получают развитие и международные сети медицинских телекоммуникаций, направленных на разные цели: система «Satellife» — для распространения медицинских знаний в развивающихся странах и подготовки кадров, «Planet Heres» — предложенная ВОЗ система глобальных научных телекоммуникаций, международной научной экспертизы и координации научных программ, другие системы и сети.

Европейское сообщество уже несколько лет назад финансировало более 70 международных проектов, нацеленных на развитие различных аспектов телемедицины: от скорой помощи (проект NECTOR) до проведения лечения на дому (проект HOMER-D). Главной задачей проектов является развитие методов медицинской информатики, нацеленных на регистрацию и формализацию медицинских данных, их подготовку к передаче и приему. Разрабатываются и испытываются алгоритмы сжатия информации, стандартные формы обмена информацией как на уровне исходных данных (изображений, электрических сигналов, например электрокардиограмм, и т. д.), так и на уровне истории болезни. Идет разработка автоматизированных рабочих мест по различным

врачебным и диагностическим специальностям (ультразвуковая диагностика, компьютерная томография, рентгенология, биохимия).

Все разрозненные на первый взгляд проекты на самом деле хорошо скоординированы, существуют проекты, интегрирующие все конкретные разработки (например, ITNACA), а также проекты, осуществляющие оценки эффективности частных проектов и распространение лучших решений (STAR). Практически все проекты дублированы, т. е. ЕЭС заведомо идет на увеличение расходов, чтобы получить наилучшие решения.

В настоящее время в мире известны более 300 телемедицинских проектов, которые по своему характеру делятся на клинические (подавляющее большинство), образовательные, информационные и аналитические. По географической распространенности проекты распадаются на: местные (локальные внутри одного учреждения, их 27%), региональные (40%), общенациональные (16%) и международные (17%). Многие проекты являются многоцелевыми, в половине случаев (48%) они связаны с телеобразованием и телеобучением. В каждом четвертом проекте новые каналы передачи информации используются для нужд управления и администрации. В 23% телемедицина используется для медицинского обслуживания жителей сельских и удаленных районов.

Большинство современных телемедицинских систем созданы на базе глобальной компьютерной сети Internet (Интернет). С помощью телемедицины стало реальным объединение лечебно-профилактических учреждений, медицинских учебных заведений, отдельных специалистов в единые информационно-консультативные и учебные компьютерные сети. Столкнувшись с трудным клиническим случаем, любой врач может получить совет у специалиста из удаленной точки Земного шара. Стоит отметить, что кроме большого клинического значения, телемедицина весьма выгодна в экономическом плане - она позволяет существенно снизить командировочные расходы, траты на обеспечение служб "Скорой помощи" и других, уменьшить количество осложнений (а соответственно снизить расходы на повторное лечение), сократить срок пребывания пациента в стационаре и т.д.

В современной телемедицине активно развивается новая отрасль - дистанционное управление диагностической и хирургической аппаратурой. Уже

сейчас созданы реальнодействующие хирургические эндоскопические роботы, дистанционные микроскопы, офтальмоскопы и др.

Расширяется география участников решения проблем телемедицины. Весьма активно участвуют в этой работе ученые и специалисты большинства стран Европы, Австралии, США. Тематика исследований в области телемедицины также чрезвычайно обширна и разнообразна: обзоры состояния телемедицины в разных странах, регионах; информатика и телемедицина, новые технологии для телемедицины, сети для телемедицины, инфраструктура телемедицины, управление телепомощью, испытания телемедицинских систем, Интернет и телемедицина, эффективность телемедицины, сбор и анализ мнений врачей о телемедицине, обучение с помощью телемедицины, телемедицина катастроф, телемедицина и развивающиеся страны, политика государств по поддержке телемедицины, проблемы этики и конфиденциальности в телемедицине, телемедицинские протоколы и стандарты, представление информации в телемедицинских системах, факторы, влияющие на электронную передачу данных, формы сбора клинических данных для оказания медицинской помощи на расстоянии, медико-юридические приложения телемедицины, глобальная телемедицина, телерадиология, телерадиология для сельских больниц, телеконференции в радиологии, телепсихиатрия, неотложная телепсихиатрия, телеофтальмология, телеотоларингология, телеонкология, телемедицина в акушерстве и гинекологии, телепедиатрия, телемедицина в профилактике, телехирургия, телероботохирургия, телемедицина в гастроэнтерологии, телекардиология, диагностика врожденных пороков сердца с помощью телемедицины, телепатология, телемедицина в нефропатологии, теледиализ, телемедицина в ортопедии, травма и телемедицина, телестоматология, коммуникационные системы для нейрохирургии и челюстно-лицевой хирургии, теледерматология, международные системы телепатологии, мобильные телемедицинские системы, телемедицина и безопасность, телемедицина на авиалиниях, телемедицина и принятие медицинского решения в море, интерпретация микропрепаратов на основе передачи изображений, телемедицина и средний медицинский персонал, телемедицина для консультирования больных, телеконсультации (анализ ошибок, проблем, опыта, будущее), телемедицина для первичной медицинской помощи, непрерывный

мониторинг физиологических показателей на дому, телемедицина для инвалидов, телемедицина для пожилых, персональная телемедицинская система.

Успехи телемедицины определяются уровнем развития систем связи и вычислительной техники. Сегодня они позволяют зарегистрировать любое изображение в компьютере, приготовить его для пересылки, передать за разумное время, а если нужно, то и в реальном масштабе времени, на любое расстояние, принять и расшифровать эту информацию практически без потери качества и представить для совместного обсуждения. В последний период значительные достижения в телемедицине обусловлены тем, что на смену аналоговому телевидению пришли цифровые каналы передачи информации, широкое распространение получили глобальные сетевые коммуникации.

Вместе с тем, многие существенные, информационные, методологические, организационные, технические и финансово-экономические аспекты ещё остаются нерешенными. Более того, локальные решения этих вопросов становятся все более дорогими, а потому и малоперспективными в отношении широкого развития. Требуется значительно больший масштаб в постановке этой проблемы в целом, так как только при этом можно обеспечить технически обоснованные и одновременно социально и экономически приемлемые решения.

Телемедицина - это новый вид оказания специализированной и высококвалифицированной медицинской помощи. Это новая форма организации здравоохранения для XXI века.

#### Оценка эффективности проектов телемедицины

Для оценки эффективности реализации мероприятий по внедрению региональной телемедицинской сети могут быть применены следующие оценочные критерии:

общее количество телеконсультаций и телеконсилиумов, проведенных жителям региона в окружных, межрегиональных и федеральных медицинских центрах;

количество клинических случаев, при которых верификация диагноза (инструментальная и морфологическая) осуществлена с помощью телемедицинских технологий;

количество управленческих мероприятий (селекторных совещаний, коллегий, балансовых комиссий), проведенных с помощью видеоконференцсвязи;

количество медицинских специалистов, которым проведена переподготовка (специализация, усовершенствование), на основе телеобучения;

снижение перинатальной смертности достигнутое с помощью телемедицинских технологий;

суммарный экономический эффект от внедрения телемедицинских технологий - сумма сэкономленных средств за счет теледиагностики и телеобучения – должна покрыть расходы на финансирование мероприятий.

Финансирование телемедицинских проектов и программ должно осуществляться из средств, предусмотренных федеральной и региональными программами развития телемедицинских технологий и внебюджетных источников. При этом мировой опыт телемедицинских проектов показывает, что эффективность вложения средств в развитие телемедицинских систем превосходит другие подходы к решению важных медицинских и социальных проблем, стоящих перед здравоохранением на этапе радикальных реформ.

#### Основные задачи и направления телемедицины

Как видно из вышесказанного, телемедицина – далеко не новое и уже очень широкое понятие. Одним из главных достоинств телемедицины является возможность приблизить высококвалифицированную и специализированную помощь специалистов ведущих медицинских центров в отдаленные районы и существенно сэкономить затраты пациентов. Телемедицина повышает доступность высокоспециализированной помощи практически для любого пациента, независимо от места его проживания, расширяет возможности медицинских центров в консультативной работе и внедрении новых лечебно-диагностических методов.

Цель телемедицины - предоставление качественной медицинской помощи любому человеку независимо от его местонахождения и социального положения .

Предмет телемедицины - передача посредством телекоммуникаций и компьютерных технологий всех видов медицинской информации между

отдаленными друг от друга пунктами (медицинскими учреждениями, пациентами и врачами, представителями здравоохранения и т.д.).

Оказание телемедицинской помощи характеризуется преимущественно двумя признаками:

1. Вид передаваемой информации (описание истории болезни, видеоизображения эндоскопической и УЗ-картины, рентгеновских снимков, микроскопических мазков, данные лабораторных анализов и т.п.);

2. Способ передачи информации (телефонные линии, спутниковая и сотовая связь и т.п.).

Здесь же можно перечислить следующие основные задачи телемедицины:

- Профилактическое обслуживание населения,
- Снижение стоимости медицинских услуг,
- Обслуживание удаленных субъектов, устранение изоляции,
- Повышение уровня обслуживания.

В качестве основных направлений применения телемедицинских технологий можно выделить:

видеоконсультации больных в целях диагностики, лечения и решения вопросов направления в специализированные центры;

телеобучение в целях обеспечения непрерывного повышения квалификации врачей;

телеконференции для демонстрации и обсуждения новых методов диагностики и лечения без отрыва от основного места работы;

тиражирование опыта ведущих медицинских центров в процессе непосредственного и активного обсуждения больных с ведущими специалистами;

доступность специализированных баз данных на хронических больных, требующих повторного консультирования, лечения и реабилитации в учреждениях различного уровня (региональных, межрегиональных, федеральных);

информационно-методическое обеспечение путем создания Web-серверов, содержащих данные о современных методах диагностики и лечения, о специализации российских и зарубежных медицинских центров;

аудиовизуальная поддержка оперативного принятия решений в административно-клинических целях, включая преемственность оказания

помощи в стандартных ситуациях и принятие адекватных мер, отвечающих масштабам катастрофы, в чрезвычайных ситуациях.

Можно провести следующую классификацию телемедицинских систем:

I. По прикладному признаку:

1. Средства удаленного консультирования, диагностики и обучения:

- а) системы удаленного консультирования;
- б) системы удаленного управления диагностической и лечебной аппаратурой;
- в) системы инструктажа;
- г) системы дистанционного обучения.

2. Средства удаленного мониторинга жизненных функций

(биорадиотелеметрические системы):

- а) системы внутрибольничного мониторинга;
- б) системы внебольничного мониторинга;
- в) системы домашней телемедицины;
- г) системы биорадиотелеметрии;
- д) тактико-телеметрические системы.

II. По географическому признаку:

1. Внутрибольничные.

2. Городские.

3. Областные (региональные).

4. Национальные.

5. Международные.

### Интернет и телемедицина

В основе телемедицинских услуг лежит использование телекоммуникационных технологий - методов дистанционного оказания медицинской помощи и обмена специализированной информацией на базе информационно-телекоммуникационных технологий. Телемедицинские технологии являются симбиозом традиционных технологий, таких как медицинские, информационные, компьютерные, телекоммуникационные и образовательные технологии. Именно их совместное использование порождает совершенно новые технические решения.

Решение задач телемедицины неразрывно связано с организацией видеоконференций. Видеоконференция - это компьютерная технология, которая позволяет людям видеть и слышать друг друга, обмениваться данными и совместно их обрабатывать в реальном режиме времени. Это проведение научных конференций, консилиумов, демонстраций новейшего оборудования, дистанционное консультирование и лечение, наблюдение больных ведущими специалистами, тиражирование опыта ведущих медицинских центров, дистанционное обучение местных специалистов новейшим технологиям в области практической медицины и диагностики.

При проведении телемедицинских консультаций реального времени консультанту и лечащему врачу необходимо: поставить диагноз, выбрать тактику лечения, определить дополнительные исследования, которые необходимо провести для постановки диагноза и т.д. Для достижения этих целей необходимо: подготовить, упорядочить и прокомментировать всю имеющиеся данные, описывающие ситуацию; отправить имеющиеся данные и убедиться, что данные получены принимающей стороной; обеспечить получение информации с приборов или нецифровых носителей с качеством, достаточным для правильной интерпретации врачом, возможно с использованием дополнительного оборудования; осуществлять документирование хода телекоммуникации и своевременно готовить заключения и другие документы; вести архив и статистику консультаций с тем, чтобы можно было восстановить всю цепочку событий.

Телемедицина связана с развитием глобальной сети Интернет, через которую можно, в принципе, осуществлять все задачи, которые ставятся перед телемедициной. Однако отсутствие гарантированной полосы пропускания между участниками телеконсультации приводит к замедлению передачи визуальной информации и ограничению в передаче аудиоинформации (вплоть до практической невозможности общения и передачи видеофрагментов ввиду их большого объема). Кроме того, Интернет является открытой сетью, а передача медицинских данных пациентов и их обсуждение в открытом для всех режиме является с правовой точки зрения недопустимым. Введение строгой защиты информации связано с необходимостью соблюдения конфиденциальности медицинской (личной, о пациенте) информации.

Поэтому использование телекоммуникаций в медицине (и удовлетворение разнообразных информационных потребностей специалистов и учреждений здравоохранения) развивается по двум основным направлениям: через открытую сеть Интернет и по закрытым корпоративным сетям собственно телемедицины или в режиме выделенных на время телеконсультации фрагментов существующих сетей в режиме «точка — точка» или «точка — многоточка». Это соответствует более высоким требованиям к передаче информации, особенно рентгенограмм, томограмм, микроизображений и пр. Необходимым условием также является разработка, внедрение и соблюдение стандартов получения и представления медицинских изображений (рентгенорадиологических, микроскопических, цветопередачи кожных проявлений заболеваний и др.).

Несмотря на отмеченные ограничения, телемедицинские консультации с определенными ограничениями осуществляются и через Интернет (с использованием IP-соединения). В этих случаях, как правило, не передаются в процессе обсуждения видеоизображения больных, лечащего врача, консультанта другие видеоматериалы, а только статические графические материалы, с которыми можно работать (рисовать поверх них, отмечая вызывающие сомнение участки) с использованием так называемой общей «белой доски» в режиме NetMeeting. А сама консультация поддерживается в интерактивном голосовом варианте.

Использование Интернет и телекоммуникационных технологий стало неотъемлемой частью медицинской науки и практики, влияет на поведение врачей. Так выборочный опрос 400 американских врачей показал, что 356 из них (89%) регулярно пользуются Интернет для пополнения своих знаний, для повышения эффективности работы и для контактов с пациентами. Информация из Интернет в определенной мере влияет на диагнозы, которые ставят врачи, и на выбор лекарств, которые они прописывают своим пациентам.

Уже к 1999 году в Интернете было 15.000 медицинских веб-сайтов, охватывающих все медицинские специальности. На них публикуется немало обзорных работ с иллюстрациями и другой справочной медицинской информации. В плане телемедицины или, так называемой Интернет — медицины, организуется представление клинических случаев для получения мнений специалистов всего мира. Однако следует иметь в виду отсутствие при

использовании такой технологии возможности интерактивного обмена мнениями и определенные юридические вопросы в отношении идентификации консультантов.

Через Интернет можно производить трансляцию процедур и операций в образовательных целях. Тем не менее, Интернет не может рассматриваться, как основная база для непрерывного обучения, но можно использовать его возможности, как составную часть этого процесса. Благоприятные условия создаются лишь в том случае, если соединение не требует длительного времени, т. е. при наличии каналов, отвечающих довольно высоким требованиям, чему соответствуют в основном оптоволоконные или спутниковые линии связи.

Телемедицина в сочетании с Интернет — технологиями позволит более рационально использовать научный и практический потенциал медицины и здравоохранения.

#### Стандарты телемедицины

Компьютерные системы сбора, обработки и анализа медицинской информации актуальны сегодня для всех структур здравоохранения. Вместе с тем, ориентация на решение узких, локальных вопросов, отсутствие стандартных способов хранения, преобразования и передачи медицинских данных в едином информационном пространстве, как, впрочем, и отсутствие такового, становятся существенными препятствиями на пути эффективной информатизации здравоохранения. В результате возникает противоречие между постоянно растущими информационными потребностями и уровнем информационного обеспечения учреждений здравоохранения. На сегодняшний день следует признать, что ключевую роль для внедрения информационных технологий в медицине играет стандартизация. В последние десятилетия наибольшие усилия специалистов по медицинской информатике были сосредоточены в двух основных предметных областях: стандартизация медицинской терминологии и стандартизация передачи медицинских данных.

Концепция функциональных стандартов подразумевает решение следующих основных задач медицины:

1. Медицинскую информационную систему, в состав которой входили бы только компоненты, разработанные одним производителем, создать

невозможно. Это объясняется тем, что в настоящее время большое количество медицинской техники оснащено компьютерами со своим программным обеспечением. Такие программы либо не имеют возможности общаться с другими компонентами, либо могут общаться в некоем своем формате, либо поддерживают тот или иной стандарт обмена информацией. Введение единого стандарта обмена информацией позволит решить эти проблемы внутри медицинской информационной системы;

2. В настоящий момент заканчивается период автономных медицинских компьютерных систем, которые создаются автономно отдельными медицинскими подразделениями для решения своих задач. Наступает другой период - период взаимодействующих между собой медицинских компьютерных систем. Стандарты в медицинских информационных технологиях позволяют обмениваться информацией не только внутри своей системы, но и с внешними системами. Это обеспечит взаимодействие региональных медицинских учреждений с крупными центрами, а так же местных центров с иностранными;

3. Стандарты способствуют облегчению внедрения в медицину современных информационных технологий. Используя программное обеспечение, поддерживающее стандарт, медицинские учреждения будут иметь возможность постепенно внедрять информационные системы, начиная с отдельных отделов, и постепенно создавать системы большого масштаба;

4. Программное обеспечение, поддерживающее стандарты, дольше не устаревает, легко модернизируется и обновляется, и, как показывает практика, работает стабильнее. К тому же оно дешевле, так как введение стандартов вызывает всплеск конкуренции на рынке ПО.

## Построение сетей телемедицины

**Телемедицинская система** - совокупность базовых рабочих станций, объединенных линиями связи, предназначенная для выполнения данной клинической или научной задачи с помощью телемедицинских процедур.

Простейшим видом телемедицины является контроль и консультирование больного медицинской сестрой с помощью телефонной связи. Сложная телемедицинская система использует интерактивное видео и аудиоканалы. Она состоит из стандартных высокоскоростных телефонных линий, цифровых информационных технологий, компьютеров, периферического оборудования, волоконной оптики, спутников связи, программного обеспечения. Для проведения телеконсультаций используются самые разнообразные технологии, наиболее распространенные из них видеоконференции (телемосты) и передача медицинской информации через Internet в режиме on-line или через e-mail (электронную почту). Все телемедицинские системы состоят из совокупности базовых рабочих станций различной комплектации, соединенных линиями связи.

**Базовая рабочая станция (БРС)** - это комплекс аппаратуры и программного обеспечения, представляющий собой многопрофильное и многозадачное рабочее место специалиста с возможностями ввода, обработки, преобразования, вывода, классификации и архивирования общепринятых видов клинической медицинской информации, а также проведения телеконференций. БРС является специализированным медицинским аппаратно-программным комплексом, предназначенным для использования в медицинских учреждениях, научных центрах и учебных заведениях в целях проведения телеконференций различного содержания, организации и проведения удаленных медицинских консультаций, для решения организационно-методических вопросов, получения и предоставления библиотечной, научной, учебной и иной медицинской информации, а также для решения иных задач, стоящих перед медицинскими учреждениями, организациями, заведениями и системами.

Все телемедицинские системы делятся на две основные группы: средства удаленного консультирования, диагностики и обучения, средства удаленного мониторинга жизненных функций (биорадиотелеметрические системы).

Телемедицинские системы первой группы состоят из ряда базовых рабочих станций различной комплектации, соединенных линиями связи. Примечательно, что первая группа систем реализуется и более простыми способами: с помощью двух персональных компьютеров, соединенных модемной связью, возможно проведение сеанса удаленного консультирования по электронной почте, в чат-режиме, по аудиоканалу, видеотелефону или системе ICQ. При этом передается любая информация в виде текста или заархивированных графических и видеофайлов. Следует отметить, что применение такой модификации телемедицинских систем первой группы исключает возможность обследования пациента в режиме реального времени.

Принципиальная схема телемедицинской системы первой группы изображена на рис.1.1

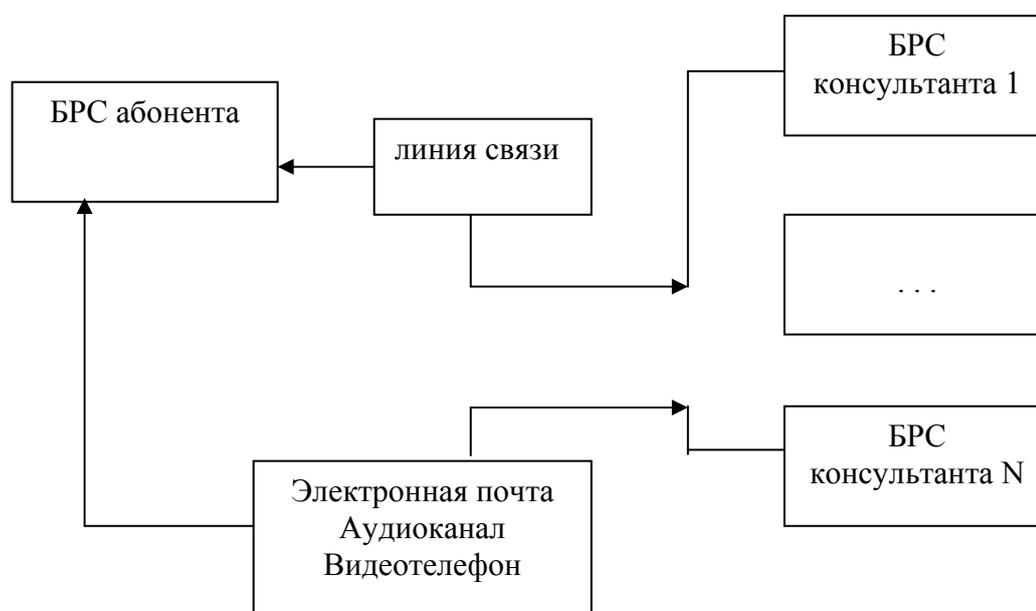


Рис. 1.1. Принципиальная схема телемедицинской системы первой группы

Вторая группа телемедицинских систем служит для дистанционного наблюдения за общим состоянием и функциями органов и систем обследуемого в процессе выполнения им некой активной деятельности. Такие системы обычно

состоят из прибора пациента (в сущности - это совокупность датчиков), линии связи и БРС (прибора) исследователя.

Принципиальная схема строения системы второй группы отражена на рисунке 1.2.



Рис.1.2. Принципиальная схема телемедицинской системы второй группы

В качестве построения сетей телемедицины рассмотрим системы телеконсультирования.

Системы удаленного консультирования служат для оказания высококвалифицированной неотложной и плановой медицинской помощи, когда врач и пациент разделены географическим расстоянием. Особенно актуально применение таких систем, когда врач сталкивается с редкими, атипично протекающими или новыми заболеваниями. С помощью системы удаленного консультирования, развернутой на основе Интернет, возможно привлечение в качестве консультанта специалиста из любой точки Земного шара, а также сбор виртуального консилиума. Простейшим видом удаленного консультирования является контроль и консультирование больного медицинской сестрой с помощью телефонной связи. Сложная телемедицинская система использует интерактивное видео и аудиоканалы. Она состоит из стандартных высокоскоростных телефонных линий, цифровых информационных технологий, компьютеров, периферического оборудования, волоконной оптики, спутников связи, программного обеспечения. Удаленное

консультирование может происходить как в реальном времени (видеоконференции с использованием видеотелефонов, ISDN и т.д.), так и заочно (телеконференции с использованием e-mail, FTP-серверов). Соответственно, телеконсультации разделяют на синхронные и асинхронные.

Шаблонная система удаленного консультирования (Система 1) состоит из следующих компонентов:

- 1) базовая рабочая станция консультанта;
- 2) вспомогательный аналитико-информационный комплекс консультанта (библиотеки, ресурсы Интернет, аппаратно-программные средства расшифровки и анализа данных дополнительных исследований);
- 3) базовая рабочая станция абонента;
- 4) комплекс диагностической аппаратуры с приспособлениями для ввода информации в компьютер БРС абонента;
- 5) линии связи (телефонный кабель, спутниковая связь, радиосвязь и т.д.);
- 6) человеческий фактор: врач-абонент, врач-консультант, пациент, врачпомощник, средний медицинский персонал, технический персонал.

Существует и более упрощенный вариант шаблонной системы удаленного консультирования, пригодный лишь для асинхронных консультаций.

Такая шаблонная система (Система 2) состоит из:

- 1) сервера Интернет;
- 2) специализированной базы данных;
- 3) человеческого фактора (группа врачей-консультантов, произвольное количество врачей-абонентов, технический персонал).

Основным шаблонным сценарием удаленной консультации (Система 1) является следующий:

- 1) запрос на проведение сеанса удаленного консультирования;
- 2) подготовка данных пациента в виде организованной группы файлов в БРС или сетевом сервере, связанном с БРС;
- 3) обеспечение доступа к этим файлам со стороны требуемого консультанта;
- 4) изучение данных пациента консультантом;

5) направление консультативного заключения и рекомендаций или данных об их локализации в сети;

6) направление запросов на повторные консультации или повторное обращение консультанта к поддерживаемым (обновляемым) данным пациента в согласованные сроки;

7) при необходимости - назначение консультативной видеоконференции;

На рис.1.3. представлена типичная система телеконсультирования. А на рис.1.4 представлена схема выбора технологий телеконсультирования.

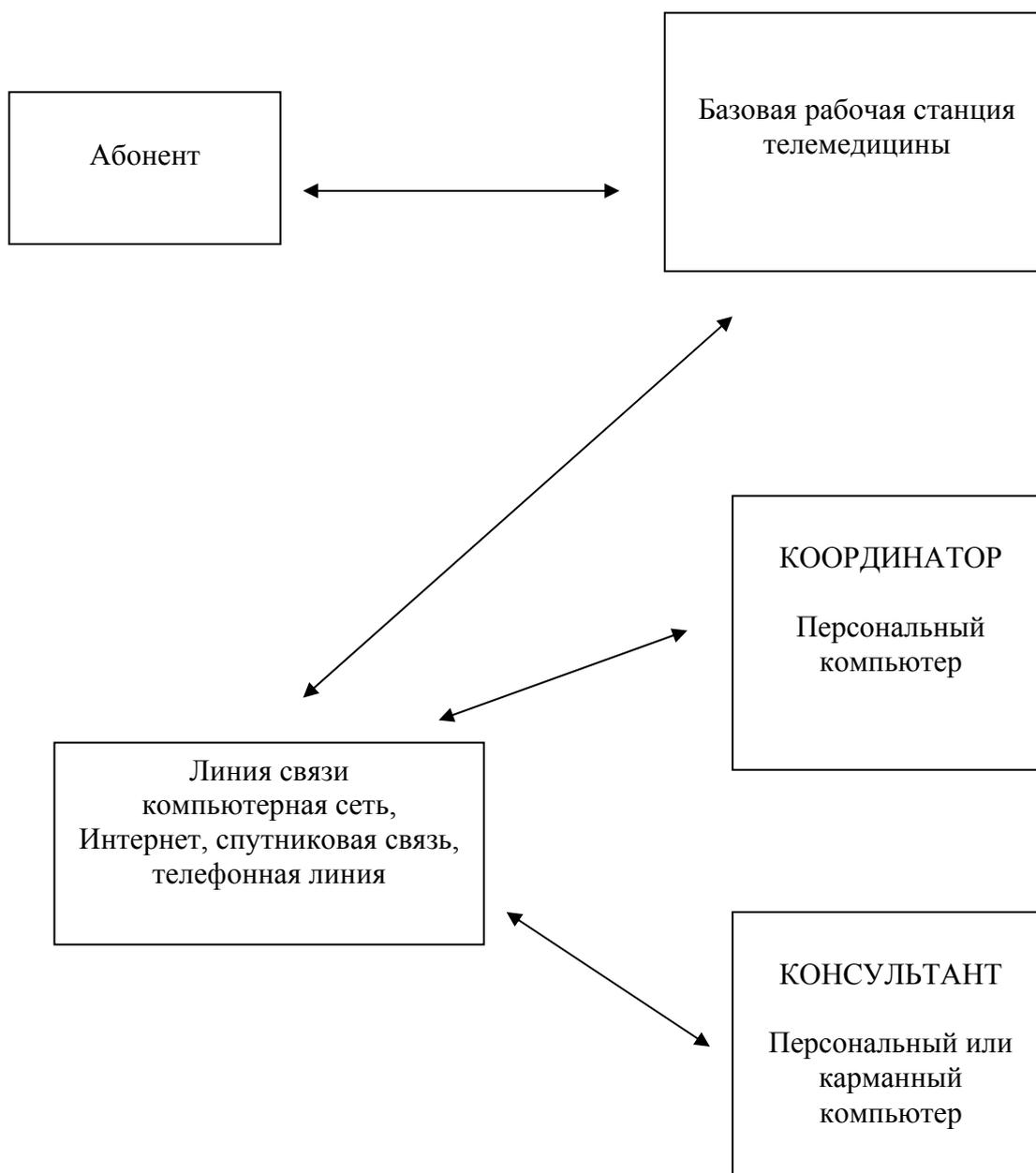


Рис.1.3.. Общая (принципиальная) схема удаленного консультирования

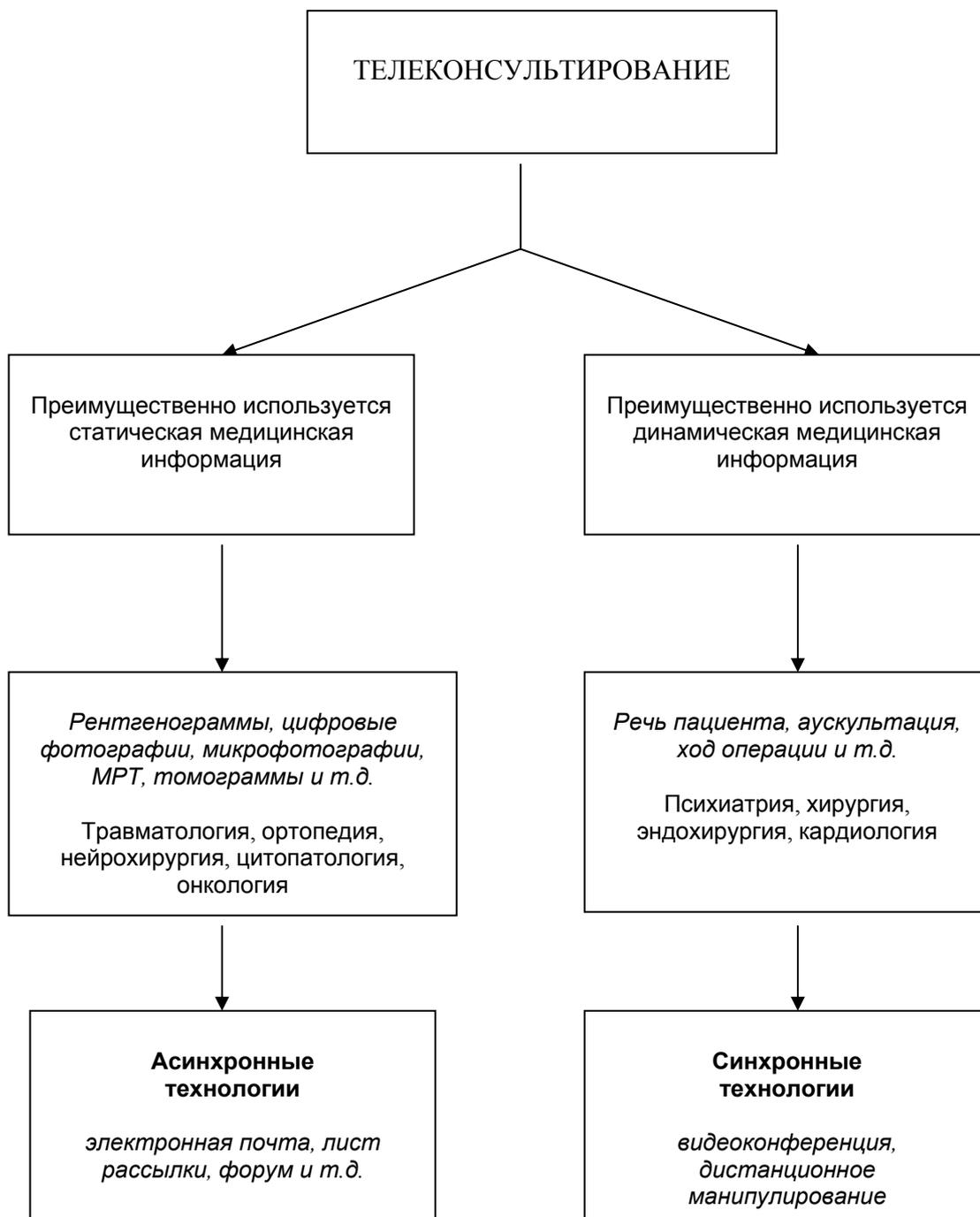


Рис.1.4. Технологии телеконсультирования

## Примеры использования вычислительной техники и компьютерных сетей в телемедицине

### *Телемедицина в лечении сердечно-сосудистых заболеваний*

В последние годы телемедицинские технологии стали активно применяться у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями, в частности для мониторинга электрокардиограммы (ЭКГ) и артериального давления (АД). Все виды обследования (суточный и фрагментарный контроль АД и ЭКГ) можно проводить в амбулаторном режиме, не отрываясь от домашних дел и работы. Существует возможность начать обследование пациента на его рабочем месте. Аппарат не мешает работать, отдыхать, заниматься спортом. Таким образом, возможен оперативный телеметрический и амбулаторный контроль ЭКГ и АД пациентов во время их пребывания в отпуске, на отдыхе, на работе, дома.

Проведены клинические исследования с целью определения возможностей телемедицины при различных сердечно-сосудистых заболеваниях, таких как:

острый коронарный синдром, кардиореабилитация, артериальная гипертензия, хроническая сердечная недостаточность, желудочковые тахиаритмии и контроль за работой имплантируемого кардиовертера-дефибриллятора, потенциально злокачественные нарушения ритма, пароксизмальные предсердные тахиаритмии, фибрилляция и трепетание предсердий, неотложные состояния.

Исследования были посвящены определению показаний по применению технологий передачи ЭКГ с помощью телекоммуникаций у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, находящихся в клинике с целью оптимизации оказания неотложной помощи. На основании обследования 771 пациента определены рекомендации трех классов:

I – передача ЭКГ с помощью телемедицинских технологий показана всем пациентам;

II – передача ЭКГ с помощью телемедицинских технологий показана пациентам как дополнительный метод;

III – передача ЭКГ с помощью телемедицинских технологий не показана (табл. 1.2).

Таблица 1.2 Рекомендации по использованию телемедицинских технологий у больных с неотложными состояниями

Диагноз и характеристика пациентов	Класс рекомендаций	Частота выявления	
		абс.	%
Перкутанная пластика у больных без инфаркта миокарда	II	653	84,7
Перкутанная пластика у больных с инфарктом миокарда	I	21	2,7
Катетеризация сердца у больных с ишемической болезнью сердца	III	14	1,8
Катетеризация сердца у больных с нарушениями кровообращения, исключая ишемическую болезнь сердца	II	13	1,7
Аритмии сердца с нарушением проводимости	I	9	1,2
Пациенты с имплантированным водителем ритма без перенесенного инфаркта миокарда или сердечной недостаточности	II	6	0,8
Сердечная недостаточность	I	6	0,8
Стенкардия напряжения	II	3	0,4
Инфаркт миокарда	I	2	0,3
Имплантация кардиовертера-дефибриллятора	I	1	0,1
Некардиологические диагнозы	III	43	5,5

Существенным ограничением внедрения результатов данного исследования в практику является тот факт, что некоторые рекомендации сформулированы на основании малого количества наблюдений.

Таким образом, в кардиологической практике наблюдается значительный интерес к телемониторингу, что подтверждается увеличением в последние годы количества исследований с использованием данной технологии.

Как свидетельствуют результаты проведенных исследований, использование телемедицинских технологий:

способствует улучшению качества диагностики, оптимизации лечения, ускоряет время, необходимое для подбора терапии и создает условия для ее контроля;

позволяет начать лечение в более ранние сроки, улучшить выживаемость больных, уменьшить количество повторных госпитализаций, оперативно менять назначения у амбулаторных пациентов;

способствует снижению стоимости лечения;

применяется как в клиниках, так и в амбулаторных условиях у больных с острым коронарным синдромом, сердечной недостаточностью, артериальной гипертензией;

предоставляет возможность передачи данных ЭКГ, показателей уровня артериального давления, состояния дыхания, субъективных жалоб.

Наиболее широкий диапазон для использования телемедицинских технологий – у больных с опасными для жизни, пароксизмальными и бессимптомными аритмиями. Однако пока не разработано четких показаний для выделения групп пациентов с различными видами нарушений ритма и проводимости сердца, которым целесообразно проводить телемониторирование ЭКГ.

#### *Телемедицина в лечении травматических заболеваний*

Повышение качества лечения пациентов с травмами и политравмами - одна из основных проблем современного здравоохранения. С помощью телемедицины не только дежурный/лечащий врач, но более расширенный состав врачей принимает участие в лечении пациента.

Основные задачи, которые должны быть решены в данном случае это подбор оборудования и коммуникаций на основе новых технологий.

Здесь предлагаем тот набор аппаратных средств, который может быть использован для лечения пациентов с травмами:

Телемедицинская рабочая станция (ТМРС)

- ПК, SVGA монитор, комплект мультимедийных устройств, CDROM,
- высококачественный сканер,
- цифровая фотокамера (с возможностью коротких видео-клипов),
- принтер
- модем
- набор лечебно-диагностической аппаратуры
- дополнительное оборудование
- мобильный телефон со встроенной камерой и MMS технологией

Дополнительные ТМРС для ургентной травматологии:

- 1) Мобил 1:

- мобильный телефон со встроенной камерой и MMS технологией

2) Мобил 2:

- КПК

- цифровая фотокамера для КПК

- Wi-Fi карта и/или мобильный телефон с GPRS

Линии коммуникаций:

- выделенный канал Интернет (для крупных медицинских учреждений)

- коммутируемый канал Интернет

- GPRS или Wi-Fi Интернет

- мобильный телефон+SMS+MMS

В случае скелетной травмы необходимы:

- информация – цифровые рентгенограммы (jpeg), цифровые фотографии locus morbi (jpeg), КТ, МРТ (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.);

- технологии - e-mail+ICQ/MSN, SMS+MMS, web-приложения+ургентный вызов

Челюстно-лицевая травма:

- информация – цифровые рентгенограммы (jpeg), цифровые фотографии locus morbi (jpeg), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), КТ (jpeg/dicom);

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения+ургентный вызов

В случае политравмы необходима:

- информация – цифровые рентгенограммы (jpeg), цифровые фотографии locus morbi (jpeg), КТ (jpeg/dicom), МРТ (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.);

- технологии – видеоконференция, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения+ургентный вызов.

В случае черепно-мозговой травмы необходима:

- информация – КТ (dicom), МРТ (dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), цифровые рентгенограммы и фотографии locus morbi (jpeg);

- технологии - e-mail+ICQ/MSN, видеоконференция, web-приложения+ургентный вызов

Абдоминальная/торакальная травма требует:

- информация – КТ (dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), МРТ (jpeg/dicom), цифровые рентгенограммы (jpeg);

- технологии - e-mail+ICQ/MSN, видеоконференция, web-приложения+ургентный вызов.

Неургентные случаи для телеконсультирования

В такого рода случаях имеет место подтверждение тактики лечения, определение методов профилактики осложнений, сомнения пациента в правильности диагноза/лечения/результатов, разбор жалоб, поиск альтернативных путей решения клинической задачи. Здесь возможно применение:

– web- или специальные приложения, листы рассылки (почтовые конференции), e-mail, «second-opinion».

При использовании открытых технологий (листы рассылки, форумы, ICQ, MSN и т.д.) необходимо уделять особое внимание конфиденциальности и анонимности медицинской информации (согласие пациента, анонимизация, шифрование, цифровая подпись и т.д.).

*Телемедицина в лечении челюстно-лицевых заболеваний*

Повышение качества лечения пациентов с различного рода заболеваниями и травмами челюстно-лицевой области - одна из основных задач современного здравоохранения. С использованием средств телемедицины не

только дежурный/лечащий врач, но практически врачи всего мира могут принимать участие в лечении пациента.

Основные задачи, которые здесь необходимо решить, это подобрать:

- оборудование и коммуникации,
- технологии.

Практические решения заключаются в следующем.

Телемедицинская рабочая станция (ТМРС) может состоять из следующих частей.

Основная ТМРС для челюстно-лицевой хирургии и стоматологии:

- ПК, SVGA монитор, комплект мультимедийных устройств, CDROM;
- высококачественный сканер;
- цифровая фотокамера (минимально 3,0 мрх1, оптимально – 5,0 мрх1);
- принтер;
- модем;
- набор лечебно-диагностической аппаратуры;
- дополнительное оборудование;
- мобильный телефон со встроенной камерой и MMS технологией.

Дополнительные ТМРС для челюстно-лицевой хирургии и стоматологии:

1) Мобил 1:

- мобильный телефон со встроенной камерой и MMS технологией

2) Мобил 2:

- КПК
- цифровая фотокамера для КПК
- Wi-Fi карта и/или мобильный телефон с GPRS

Линии коммуникаций:

- выделенный канал Интернет (для крупных медицинских учреждений)
- коммутируемый канал Интернет
- GPRS или Wi-Fi Интернет
- мобильный телефон+SMS+MMS.

Далее предложены приоритеты различных видов медицинской информации и технологий для телеконсультирования в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии.

При воспалительных заболеваниях:

- информация – цифровые фотографии locus morbi (jpeg), УЗИ (jpeg), цифровые рентгенограммы (jpeg), КТ, (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), заключения смежных специалистов;

- технологии - e-mail+ICQ/MSN, SMS+MMS, web-приложения +  
ургентный вызов

При травматических повреждениях (в т.ч. сочетанная травма):

- информация – цифровые рентгенограммы (jpeg), цифровые фотографии locus morbi (jpeg), КТ, СКТ с 3D реконструкцией (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), заключения смежных специалистов;

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения +  
ургентный вызов

Врожденные и приобретенные дефекты и деформации требуют следующую информацию:

- информация – цифровые фотографии locus morbi в 2-3 проекциях и по возможности в динамике (jpeg), цифровые рентгенограммы (jpeg), КТ, СКТ с 3D реконструкцией (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы и т.д.), заключения смежных специалистов;

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения

Опухоли и опухолеподобные заболевания:

- информация – цифровые фотографии locus morbi в 2-3 проекциях (jpeg), цифровые рентгенограммы (jpeg), КТ, МРТ (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы, данные ПГЗ, и т.д.), заключения смежных специалистов;

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения

Детская челюстно-лицевая хирургия:

- информация – цифровые фотографии locus morbi в 2-3 проекциях (jpeg), цифровые рентгенограммы (jpeg), КТ (jpeg/dicom), короткий эпикриз (только важная информация, анализы, сведения о родителях, перенесенные заболевания, прививки и т.д.), заключения смежных специалистов (педиатра, эндокринолога, невролога, ортодонта, логопеда и т.д.);

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения

Болезни зубов и слизистой полости рта:

- информация – цифровые рентгенограммы – прицельные снимки зубов, ортопантограмма (jpeg), цифровые фотографии locus morbi (jpeg), короткий эпикриз (только важная информация, анализы, и т.д.), заключения смежных специалистов (терапевта-стоматолога, ортопед-стоматолога, ортодонта и т.д.);

- технологии - SMS+MMS, e-mail+ICQ/MSN, web-приложения

Неургентные случаи для телеконсультирования (подтверждение тактики лечения, определение методов профилактики осложнений, сомнения пациента в правильности диагноза/лечения/результатов, разбор жалоб, поиск альтернативных путей решения клинической задачи) – web- или специальные приложения, листы рассылки (почтовые конференции), e-mail, «second-opinion».

При использовании открытых технологий (листы рассылки, форумы, ICQ, MSN и т.д.) необходимо уделять особое внимание конфиденциальности и анонимности медицинской информации (согласие пациента, анонимизация, шифрование, цифровая подпись и т.д.)

## **1.2. Основные проблемы применения сетей телемедицины**

При создании и эксплуатации сетей телемедицины можно выделить основные проблемы, которые представлены на рис.1.5. Рассмотрим каждую из них.

В первую очередь, рассмотрим проблемы, связанные с передачей аудио и видео-информации.

Одна из главных проблем состоит в том, что канал связи, по которому передается информация, должен быть достаточно скоростным, т.е. обладать

высокой пропускной способностью, Обычные телефонные линии вполне подходят для передачи аудио сигнала, но качественную передачу видео потока они не обеспечивают (здесь правда существуют обходные пути - системы уплотнения каналов, но они применимы далеко не всегда).

Обычно для проведения видеоконференций используются линии с полосой пропускания от 64 кбит/с до 512 кбит/с для каналов ISDN и до 1 - 1.5 мбит/с для IP - сетей. Но надо иметь в виду, что приемлемое качество видео получается при скорости порядка 200 кбит/с, а высококачественное изображение в хороших системах достигается при скорости около 300 кбит/с и выше [1].

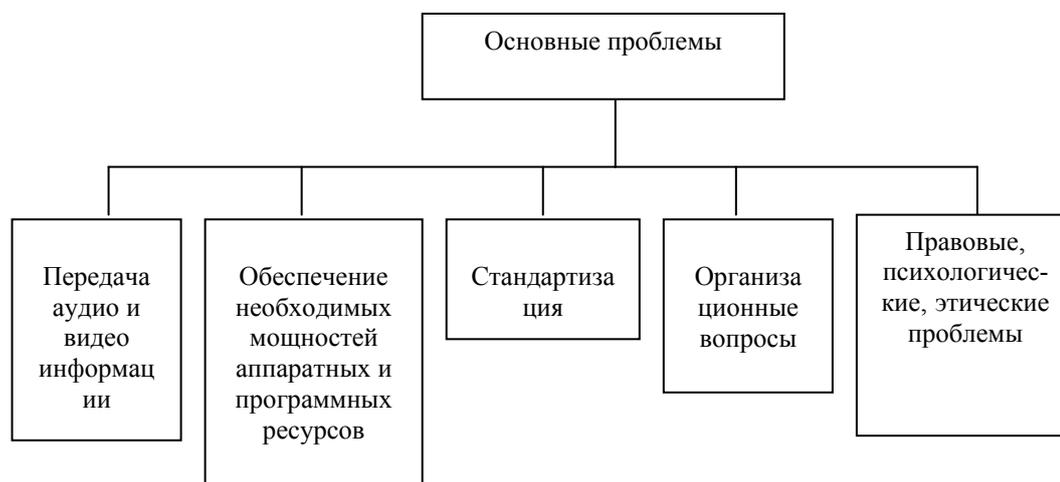


Рис.1.5. Основные проблемы применения компьютерных сетей в телемедицине

Вторая проблема - это проблема скорости обработки аудио и видео потока, т.е. кодирования переданных и декодирования получаемых данных. Дело в том, что в видео конференциях используются специальные и весьма эффективные алгоритмы сжатия потока в десятки а порой и в сотни раз. Можно сказать, что передаются не сами аудио и видео сигналы, а только их важнейшие параметры, которые позволяют восстанавливать сигнал на приемном конце с

приемлемым качеством. Если компьютер не успевает обрабатывать поток, то появляются пропущенные кадры, сбои в речевом канале и т.д. Алгоритмы обработки сигнала весьма требовательны к вычислительным ресурсам. Хотя и существуют их чисто программные реализации, однако они требуют значительных ресурсов от базовой платформы персонального компьютера. В результате, даже для самых современных персональных компьютеров сильно замедляется работа других приложений, да и приемлемое качество видеосвязи получить не удастся [4].

Одним из основных вопросов и проблемой является стандартизация. Помимо унификации (стандартизации) выпускаемой медицинской диагностической и терапевтической аппаратуры, телемедицина выдвигает требование стандартизации самой медицинской информации, протоколов ее передачи по сетям и линиям телекоммуникаций. Проблемами стандартизации медицинской информации занимаются многие фирмы в США и Европе. Существует несколько предложений, прежде всего – рекомендательный стандарт для обмена медицинской информацией "Health Level 7" (HL-7), который разработан и действует в США. Страны Европейского союза начали разработку стандартов на передачу и хранение медицинской информации с 1995г. "Good European Health Record project" (GENR). Следует отметить также стандарт в области передачи медицинских изображений DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) – индустриальный стандарт для передачи радиологических и других медицинских изображений между компьютерами и различными медицинскими устройствами (магниторезонансный медицинский томограф, микроскопы, рентгеновские установки и др.). Наибольшее распространение получила третья версия, допускающая использование стандартных протоколов TCP/IP не только на платформах UNIX, но и на персональных компьютерах. Работы в этой области активно продолжаются.

Определенную проблему представляют организационные вопросы телемедицины. Телемедицинские центры и пункты должны поддерживаться в состоянии постоянной технической и организационной готовности к немедленному (при необходимости) включению в систему и передаче телемедицинских данных. Центральные пункты телемедицины должны работать на всех существующих каналах, с тем, чтобы периферия могла использовать те каналы, которые для нее доступны (вообще или в данный момент). С той же

целью они должны также иметь различное оконечное видеоборудование. Центральные пункты должны находиться в постоянной технической и организационной готовности к реагированию на срочные запросы из регионов. Диспетчерский центр (в крупных городах целесообразно создание минимум одного – двух диспетчерских пунктов) – в режиме круглосуточного дежурства. Участвующие в системе научно-исследовательские институты, клинические центры и другие учреждения должны быть на дежурстве по графику.

Проблему представляет решение правовых, психологических и этических вопросов телемедицины.

Необходимо ввести ответственность за размещение в глобальных и корпоративных сетях недостоверной или искаженной информации медицинского характера, а также за преднамеренное искажение информации в ходе ее размещения в Интернете, регистрации, хранения, обработки и передачи. Необходимо установить ответственность консультанта (при условии идентификации консультанта как врача, проводившего консультацию и сделавшего заключение или давшего рекомендацию) за сделанное заключение при условии правильного понимания лечащим врачом полученных рекомендаций.

Система должна обеспечивать: а) персонификацию заключения (электронная подпись) и подтверждение идентичности копий, хранящихся у консультанта и консультируемого; б) подтверждение идентичности (включая оценку качества изображений) исходных материалов, отправленных медицинским учреждением или пациентом самостоятельно и полученных консультантом; в) возможность фиксации и долговременного хранения представленных материалов, высказанных в процессе обсуждения мнений и выданных заключений (решений, рекомендаций).

Ответственность за качество передачи медицинских данных и заключения по каналам связи несет компания-провайдер телекоммуникационных услуг (при условии соответствия стандартам оконечного оборудования телемедицинского центра (пункта).

Необходимым условием телеконсультации является соблюдение конфиденциальности всей информации личного характера (о состоянии здоровья пациента) и о переговорах врачей по поводу состояния его здоровья. Сохранение врачебной тайны в условиях телемедицины имеет свои

особенности. Это связано с передачей разнообразных медицинских данных персонального характера, получаемых в текстовой и графической форме и в виде изображений, а также с наличием аппаратно-программных средств преобразования передаваемой информации. К этой работе помимо врачей и других медицинских работников, знающих правила медицинской этики, привлекаются и многие технические специалисты. Важной особенностью является наличие закрытого информационного пространства (базы данных), которое объединяет информационные медицинские ресурсы медучреждений и предоставляет к ним контролируемый доступ.

Из всего вышесказанного можно заключить, что создание телемедицинской службы требует решения довольно таки серьезных проблем, от которых зависит качество оказания телемедицинских сервисов.

### **1.3. Постановка задач**

Современное состояние здоровья населения и реформы здравоохранения в Грузии выдвигают в число неотложных задачу повышения уровня и качества медико-санитарной помощи, уровня квалификации и эффективности деятельности врачей в условиях сокращения бюджетных ассигнований на здравоохранение и распространения страховой медицины. В этой связи становится необходимым переход на новый методологический уровень медицинской помощи с использованием быстро развивающихся высоких технологий. Большие перспективы в этом плане открывает использование телемедицинских технологий, включающих лечебно-диагностические консультации, управленческие, образовательные, научные и просветительские мероприятия в области здравоохранения, реализуемые с применением телекоммуникационных технологий. В связи с этим в настоящее время все более актуальным становится создание сети телемедицины в Грузии.

Как мы уже отметили в предыдущем параграфе построение сетей телемедицины связано с определенными проблемами. Еще раз можно отметить, что на эффективность работы сетей телемедицины большое воздействие оказывают скорости передачи аудио- и видео-информации, обеспечение необходимых мощностей аппаратных и программных ресурсов для обработки

информации, стандартизация передаваемой информации, организационные вопросы работы в сети, правовые, психологические, этические проблемы.

Здесь можно добавить еще одну к ранее сказанному - это проблема объединения уже существующих сетей, к которым подключено большое количество абонентов [5]. Можно, конечно пойти путем создания абсолютно новой сети телемедицины, но при этом возникают серьезные экономические проблемы. Тем более, что, как правило, в тех медицинских организациях, которые объединяются в сеть телемедицины, уже существуют свои локальные сети, в которых используются многочисленные протоколы. Разнообразие сетей, а, следовательно, и протоколов будет иметь место всегда. В качестве аргументов можно привести следующее [1].

Во-первых, установленная база существующих сетей уже достаточно велика и продолжает расти. В различных сетях используют различные протоколы – это TCP/IP, SNA, DECnet, NovellNCP/IPX, AppleTalk. В последнее время все более популярным становится ATM. Наконец, для спутниковых, сотовых и инфракрасных сетей все больше применяются специализированные протоколы. Такая тенденция будет сохраняться в ближайшее время благодаря наличию большого количества уже существующих сетей и поскольку производители сетевого оборудования и программного обеспечения стараются не терять свою клиентуру.

Во-вторых, по мере того, как компьютеры и сети становятся дешевле, уровень принятия решений становится все ниже. Поэтому, может оказаться, что в различных отделениях одной и той же организации, исходя из стоимостных соображений, будут использованы различные сетевые решения.

В-третьих, различные сети (ATM, беспроводные сети) основаны на абсолютно новых технологиях, поэтому нельзя удивляться тому, что с появлением нового оборудования появиться и новое программное обеспечение для него. Появление новых технологий конечно же повлечет за собой создание новых протоколов.

Рассмотрим следующие возможные взаимодействия сетей: 1. локальная сеть - локальная сеть, 2. локальная сеть – глобальная сеть, 3. глобальная сеть – глобальная сеть, 4. локальная сеть – глобальная сеть – локальная сеть. В случае объединения сетей в сеть телемедицины имеет место объединении множества

локальных сетей различного типа, глобальной сети с использованием спутниковой связи.

Сети могут отличаться различными параметрами [6]. В таблице 1.3. представлены различия, которые могут встретиться на сетевом уровне.

Именно сглаживание этих различий является самым трудным в объединении сетей. Когда пакетам приходится пересечь несколько сетей, отличных от исходной, может возникнуть множество проблем, связанных с интерфейсами между сетями.

Во-первых, когда пакеты из ориентированной на соединение сети должны пересечь не требующую соединения сеть, их порядок может быть нарушен, что может вызвать совершенно непредвиденные результаты.

Во-вторых, часто будет требоваться преобразование протоколов. Также понадобится преобразование адресов. Передача многоадресных пакетов через сеть, не поддерживающую многоадресную рассылку, потребует формирование отдельных пакетов для каждого адресата.

Различия в максимальном размере пакетов, можно сказать, представляют одну из основных проблем.

Вопрос разницы в качестве обслуживания возникает при передаче пакета с обязательствами доставки реального времени по сети, не предоставляющей гарантий реального времени.

Обработка ошибок, управление потоками и борьба с перегрузками часто различаются в различных сетях. Если отправитель и получатель ожидают, что все пакеты будут доставлены без ошибок и с сохранением последовательности, а сеть просто игнорирует пакеты, когда ей угрожает перегрузка, или пакеты, направляясь различными путями, приходят к получателю совсем не в том порядке, в каком они были отправлены, то многие приложения просто не смогут работать в таких условиях.

Различия в механизмах безопасности, установке параметров, правил тарификации и даже различные законы, охраняющие тайну переписки в различных странах, могут послужить причиной многих проблем.

Таблица 1.3. Отличия между сетями на сетевом уровне

Аспект	Возможные значения
Предлагаемый сервис	Ориентированные на соединение или не требующие соединения
Протоколы	IP, IPX, CLNP, AppleTalk, DECnet и др.
Адресация	Плоская или иерархическая
Многоадресная рассылка	Присутствует или отсутствует (а также широковещание)
Размер пакета	У каждой сети есть свой максимум
Качество обслуживания	Может присутствовать или отсутствовать. Много разновидностей
Обработка ошибок	Надежная, упорядоченная или неупорядоченная доставка
Управление потоком	Скользящее окно, управление скоростью, другое или никакого
Борьба с перегрузками	Дырявое ведро, сдерживающее пакеты и др.
Безопасность	Правила секретности, шифрование и т.д.
Параметры	различные тайм-ауты, спецификация потока и др.
Тариф	По времени соединения, за пакет, побайтно или никак

Кроме всего вышесказанного, необходимо отметить, что в объединенных сетях телемедицины, как правило, проводятся видеоконференции, поскольку видеоконференция – это основа телемедицины. Организация видеоконференции повышает нагрузку компьютерной сети, так как видеоконференция характеризуется большими информационными потоками.

Вместе с этим необходимо заметить, что видеоконференции часто проводятся через спутниковую связь, что накладывает свои требования на сеть.

Сравнение спутниковой связи с наземными видами связи может быть полезно. Не так давно казалось, что будущее абсолютно за спутниковой связью, но с появлением оптоволоконных кабелей ситуация радикально изменилась. Неожиданно оптоволоконные кабели стали победителями в конкурентной борьбе с другими средствами связи. Тем не менее, спутники занимают определенную позицию, предлагая услуги, недоступные для кабельной связи. Рассмотрим некоторые из них [7].

Во-первых, оптоволоконный кабель, безусловно, обладает большей пропускной способностью, чем все когда-либо запущенные спутники связи, но эта пропускная способность оказывается недоступной для большей части пользователей. Используемые в телефонии оптоволоконные кабели

обеспечивают одновременную междугороднюю связь для многих пользователей, но не высокую пропускную способность индивидуальным пользователям. Лишь небольшая часть пользователей имеет доступ к оптическому кабелю, поскольку на пути у них оказывается витая пара местной телефонной линии. При передаче данных по этой линии с помощью модема на скорости 28,8 кбит/с пропускная способность никогда не будет выше 28,9 кбит/с, независимо от того, как осуществляется промежуточная связь. Если же использовать спутниковую связь, то достаточно установить соответствующую антенну, как пользователь становится абсолютно независимым от телефонной линии. Пользователи, которым нужна пропускная способность около 40-50 мбит/с могут арендовать оптоволоконную линию, но это довольно дорого да и доступно далеко не всем и не везде.

Во-вторых, спутниковая связь в основном используется мобильными пользователями. Пользователи требуют телефонную связь в различных подвижных ситуациях. Наземные оптические кабели в такой ситуации ничем не могут помочь, тогда как спутниковые линии с этой задачей справляются без проблем. Оптимальным здесь может быть совместное использование сотового телефона и оптического кабеля.

В-третьих, спутники оказываются полезными там, где нужно обеспечить ширококовещание.

В-четвертых, спутниковая связь незаменима в труднодоступных местностях, а также местах с плохо развитой инфраструктурой.

В-пятых, использование спутниковой связи проще там, где трудно получить разрешение на прокладку кабеля.

В-шестых, спутниковая связь удобна там, где критическим фактором оказывается скорость установки связи (армия и флот во время боевых действий).

Таким образом, можно считать, что развитие связи средств связи заключается в совместном использовании оптоволоконной техники со спутниковой связью. В некоторых случаях спутниковой связи отдается предпочтение. Решающее значение будет иметь экономический вопрос. Хотя оптоволоконные кабели обеспечивают высокую пропускную способность, спутниковые средства связи оказывают им конкуренцию в области цен.

Таким образом, при построении и для получения высокопроизводительной сети телемедицины, необходимо учесть множество

факторов. Для того, чтобы обеспечить требуемый уровень функционирования объединенной компьютерной сети телемедицины, сперва необходимо решить вопрос оценки сети видеоконференции. В связи с этим становится необходимым выработать систему показателей, дающую возможность оценить качество функционирования сети. Затем необходимо провести моделирование компьютерной сети для максимально точной оценки параметров сети телемедицины. После получения значений показателей, не удовлетворяющих поставленным требованиям, становится необходимым проведение оптимизацию компьютерной сети с целью улучшения ее качества [8].

Поэтому в данной диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. разработка системы оценки эффективности компьютерной сети большого размера, функционирующей в условиях интенсивной нагрузки, которая дает возможность наиболее точно оценить производительность сети;

2. разработка моделей, которые будут построены на основе аппарата теории массового обслуживания, и которые дадут возможность наиболее точно оценить основные параметры функционирования компьютерной сети большой размерности, работающей в условиях повышенной нагрузки;

3. оптимизация структуры компьютерной сети с целью повышения ее производительности.

## 2. Вопросы разработки и оценки компьютерных сетей

### 2.1. К вопросу оценки сетей видеоконференций

В целом, вопросы производительности являются очень важными в компьютерных сетях. Это особенно касается объединенных сетей. Когда множество компьютеров объединено вместе, их взаимодействие становится очень сложным и часто непредсказуемым. Часто эта сложность приводит к низкой производительности.

Охарактеризуем причины, влияющие на производительность компьютерных сетей в целом [1].

Одной из причин снижения производительности являются заторы, вызываемые временной перегрузкой ресурсов. Если на маршрутизатор вдруг прибудет больше трафика, чем он способен обрабатывать, создается затор и производительность резко падает.

Производительность резко падает, если возникает структурный дисбаланс, например, гигабитная линия связи присоединена к компьютеру с низкой производительностью, не способному достаточно быстро обрабатывать входящие пакеты, так что некоторые пакеты будут теряться. Эти пакеты будут передаваться повторно, что приведет к увеличению задержки, непроизводительному использованию пропускной способности и снижению общей производительности.

Перегрузка также может возникать синхронно. Например, если пакет содержит неверный адрес, то получатель вернет обратно сообщение об ошибке, в результате чего произойдет повторная передача. Если передача неверного пакета происходит широковещательно, то, соответственно, это вызовет лавинный эффект сообщений об ошибке и повторных передач. Такой же эффект происходит при отключении электроэнергии, когда при включении компьютеров каждый из них начинает обращение к серверу.

Даже при отсутствии синхронной нагрузки и наличии достаточных ресурсов, производительность сети снижается из-за неверных системных настроек. Например, компьютер может иметь мощный процессор и достаточную память, но если у него выделено мало памяти под буфер. Аналогично, если процессам

обработки поступающих пакетов присвоен недостаточно высокий приоритет, некоторые пакеты могут быть потеряны.

Также на производительность могут повлиять неправильно установленные значения таймеров.

С появлениями гигабитных сетей появились новые проблемы, касающиеся организации работы в каналах по старому, что не загружает высокопроизводительные каналы из-за устаревших протоколов. В таких случаях при анализе пропускной способности полезно обращать внимание на произведение пропускной способности и времени задержки. Пропускная способность канала ( в битах в секунду) умножается на время прохождения сигнала в оба конца (в секунда). В результате получается емкость канала в битах. Это можно использовать с целью оценки загрузки канала, обладающего высокой пропускной способностью. Как мы уже отметили, эта проблема имеет место при использовании старых протоколов в высокоскоростных каналах.

Еще одна проблема производительности связана с приложениями типа видео и аудио, для которых временные параметры являются критическими. Обеспечить короткое среднее время передачи здесь недостаточно. Требуется также обеспечить небольшое значение его среднеквадратического отклонения. Для достижение обеих целей требуется немало инженерных усилий.

В целом можно сказать, что качество функционирования описываемых сетей оценивается с помощью показателей эффективности, т.е. характеристик, определяющих степень приспособления системы к решению возложенных на нее задач [9].

Показатель эффективности должен учитывать все основные особенности, свойства системы и условия ее функционирования, а следовательно должен зависеть в общем случае от параметров входящих потоков заявок на выполнение работ, характеристик выполняемых работ, структуры и параметров аппаратных комплексов и сети передачи данных, а также параметров характеризующи воздействие внешней среды на систему. Тем самым показатель эффективности определяется процессом функционирования системы, т.е. является функционалом от процессов функционирования, так что множество процессов функционирования, различающихся условиями и режимами работы, отображается на множество значений показателя эффективности [10].

Таким образом, показатель эффективности функционирования сети в общем случае может быть представлен в виде некоторой зависимости типа

$$F = F(\Lambda, M, S, V) \quad (2.1)$$

где  $\Lambda$  - множество параметров входящего в систему потока заявок на выполнение работ (число и интенсивность составляющих поток заявок разных классов, типы и параметры законов распределения интервалов времени между моментами поступления различных заявок, допустимые времена ожидания ответа для разных абонентов и т.д.);  $M$  – множество параметров, характеризующих отдельные информационные работы, связанные с реализацией заявок соответствующих классов, и определяющих необходимые затраты ресурсов системы для выполнения этих работ (затраты памяти, времени процессора и внешних устройств, каналов передачи данных и т.д.);  $S$  – множество системных параметров, определяющих структуру сети, системы передачи данных, отдельных комплексов, характеристики технических и программных средств системы, алгоритмы управления информационными процессами в системе и т.д.,  $V$  – множество параметров, характеризующих воздействие внешней среды посредством задания потоков выхода из строя компонентов системы под воздействием внешних факторов.

В свою очередь функционирование сети связано с реализацией совокупности взаимодействующих процессов передачи и обработки информации. Т.е. определяется совокупность взаимодействующих информационных процессов. При этом элементы множества  $\Lambda$  и  $M$  из 2.1 позволяют определить для каждого заданного набора  $S$  параметры отдельных информационных процессов, рассматриваемых изолированно, а элементы  $S$  и  $V$  могут быть использованы для характеристики взаимодействия информационных процессов при их совместной реализации в реальной системе. Отсюда следует, что оценка качества функционирования сети может быть сведена к оценке качества организации информационных процессов в системе в целом.

При выборе показателей эффективности функционирования сложных систем, работающих в условиях воздействия случайных процессов, обычно пользуются средними значениями соответствующих функционалов либо вероятностями

некоторых случайных событий. Для сети такими величинами могут быть: среднее время реализации некоторого набора информационных работ, определяемого совокупностью процессов управления в системе; среднее время реакции системы на заявки некоторого класса, измеряемое, например, с момента поступления заявки в систему и до момента получения результата информационных работ абонентом (эту величину иногда еще называют временем доведения информации до абонента, особенно когда источник заявки и получатель результатов информационных работ не совпадают); вероятность доведения определенной информации за время, не превышающее заданного и т.п. Указанные показатели легко интерпретируются в понятиях информационных процессов. В самом деле, среднее время реакции системы есть не что иное, как среднее время реализации соответствующего информационного процесса, вычисленное с учетом помех, возникающих в результате взаимодействия с другими информационными процессами; аналогично среднее время выполнения заданного набора информационных работ определяется путем расчета среднего времени реализации соответствующего набора информационных процессов, в котором моменты поступления заявок в систему отражают потребности процессов управления; вероятность доведения информации за заданный интервал времени рассчитывается на основе некоторой статистики времени реализации соответствующих информационных процессов [11].

Часто при оценке качества функционирования сетей применяют показатели, не являющиеся показателями эффективности, а характеризующие степень использования элементов системы (например, отдельных комплексов, маршрутизаторов, каналов передачи данных) и другие свойства. Такой показатель может выражаться в виде вектора размерности  $N$  ( где  $N$  – число оцениваемых элементов системы), компоненты которых характеризуют загрузку отдельных элементов и вычисляются, например, как отношения суммарного времени занятости элементов в течение некоторого интервала времени к длительности этого интервала. Указанный показатель весьма удобен при анализе системы для выявления узких мест и изыскания возможностей для перераспределения рабочей нагрузки в системе. Исследование информационных процессов на уровне вычислительных комплексов связано с введением такого показателя, как пропускная способность комплекса, определяемого средним

числом заявок на информационные работы, которые вычислительный комплекс способен обслужить в единицу времени. В рамках общей концепции, связанной с определением и рассмотрением совокупности информационных процессов, подобные показатели рассчитываются по результатам анализа заданной совокупности информационных процессов и алгоритмов управления информационными процессами, что позволяет определить потоки запросов на использование каждого элемента сети, а следовательно, вычислить его нагрузку, пропускную способность и т.д.

Для сложных систем, к которым относятся сети телемедицины, практически невозможно выделить единственный показатель эффективности, позволяющий охарактеризовать интересующие пользователя аспекты функционирования системы. Поэтому рассматривают некоторую совокупность показателей эффективности, каждый из которых характеризует степень достижения системой некоторой частной цели. При этом частные цели и соответствующие показатели эффективности должны быть согласованы в системном плане, т.е. достижение частной цели должно способствовать выполнению основной задачи системы. По аналогии с вышеизложенным можно показать, что любой частный показатель, являющийся характеристикой некоторых аспектов функционирования сети, может быть рассчитан по результатам анализа совокупности взаимодействующих информационных процессов, отображающих процесс функционирования системы.

## **2.2. Проектирование высокопроизводительных сетей**

Здесь можно привести следующие общие рекомендации по проектированию производительных систем [7,12].

В первую очередь, необходимо отметить, что скорость центрального процессора играет немаловажную роль в повышении производительности сети. Скорость процессора даже важнее скорости сети. Можно отметить, что накладные расходы операционной системы и протокола составляют основное время задержки сетевой операции. Удвоение производительности процессора нередко может привести почти к удвоению пропускной способности канала [13].

Далее можно заметить, что обработка каждого пакета вызывает большие накладные расходы, которые связаны с обработкой заголовка и определенные затраты идут на обработку байтов. Помимо накладных расходов обработки заголовка пакет вызывает прерывание процессора, что в RISK-процессорах нарушает конвейер работы, снижает эффективность работы кэша, требует изменения контекста работы управления памятью и сохранения в стеке значительного числа регистров процессора. Отсюда можно сделать заключение, что для сокращения процессорных и программных расходов нужно сократить количество пакетов.

Большую роль в понижении производительности играют переключения контекста (из режима ядра в пользователя и наоборот), которые обладают рядом неприятных свойств, наподобие с прерываниями. Самое неприятное в них – потеря кэша. Количество переключений контекста может быть сокращено при помощи внутреннего буферирования данных вызываемой процедурой. Аналогично, на получающей стороне небольшие пакеты следует собирать вместе и передавать пользователю за один раз, минимизируя количество переключений контекста [14].

Сокращение количества операций копирования тоже положительно воздействует на производительность сети. Полученный пакет часто копируется три или четыре раза, прежде чем содержащийся в пакете модуль не будет доставлен в получателю. Сначала пакет принимается сетевым интерфейсом в специальный аппаратный буфер, расположенный на сетевой карте. Затем пакет копируется в системный буфер ядра, откуда он копируется в буфер сетевого уровня, а затем в буфер транспортного уровня, и наконец доставляется к получателю. В правильно построенной операционной системе данные копируются по одному машинному циклу.

Можно привести определенные правила, которые определяют положение относительно пропускной способности и задержки. Во-первых, высокую пропускную способность можно просто купить. Путем использования второго параллельного канала, пропускная способность удвоится, но время задержки от этого меньше не станет. Чтобы снизить задержку, следует улучшить программное обеспечение протокола, операционную систему или сетевой интерфейс.

Относительно нагрузки можно сказать, что в случае компьютерной сети лучше избегать перегрузки, чем бороться с уже возникшей перегрузкой. Когда в сети образуются заторы, пакеты теряются, пропускная способность растрчивается в пустую, увеличиваются задержки. Процесс восстановления от перегрузки требует времени и терпения. Гораздо более эффективной стратегией является предотвращение перегрузки [15].

Следует избегать тайм-аутов. Таймеры необходимы в сетях, но их следует применять умеренно и минимизировать количество тайм-аутов. Когда срабатывает таймер, обычно повторяется какое-то действие. Если повтор этого действия необходим, его следует повторить, но повторение действия без особой надобности – является расточительством. Чтобы избежать излишней работы таймер нужно установить в разумных пределах – с небольшим запасом, поскольку большой интервал таймера может вызвать потерю пакета. А раннее срабатывание таймера растрчивает время процессора.

При организации и проведении видеоконференции нужно учитывать следующее основное требование: по сети видеоконференции должна передаваться видеоинформация в реальном времени. При этом нужно учитывать сложность видеоинформации, которая включает в себя текстовую, звуковую информацию, изображение - подвижное и неподвижное. Из этого свойства вытекают большие размеры видеофайлов. Известны и другие требования передачи видеоинформации - главное из них частота кадров. Но большое значение имеет не только частота кадров, с которой передается изображение или фильм, но и размер экрана, на котором должна отображаться информация. Вместе с этим необходимо добавить, что объемы информации увеличиваются в зависимости от количества участников видеоконференции, поскольку потоки информации должны передаваться на аппаратуру всех участников видеоконференции.

Все указанные обстоятельства в свою очередь предъявляет определенные требования к сети. С этой целью становится важным определение тех параметров, которые наибольшим образом отражают качество и уровень проведения видеоконференции и те факторы, которые более всего воздействуют на них.

В первую очередь, необходимо определить основные параметры и характеристики сети видеоконференции, которые нужно учитывать при создании сетей видеоконференций для обеспечения определенного качества.

Существует множество параметров, которыми может быть оценено качество компьютерной сети. Здесь можно перечислить: производительность сети (характеризуется такими показателями, как время реакции, пропускная способность, задержка), надежность (характеризуется коэффициентом готовности и отказоустойчивостью), безопасность, совместимость, управляемость, расширяемость и масштабируемость [16].

Для оценки сетей видеоконференций можно выбрать следующие основные характеристики производительности, как пропускная способность, задержка и надежность. Необходимо отметить, что значение того или иного параметра может меняться для различных типов видеоконференций. Например, к пропускной способности различные требования предъявляют студийные, групповые и персональные видеоконференции. Максимальную пропускную способность требует студийная видеоконференция, персональные видеоконференции в это время не требуют широкую полосу пропускания, а в групповых видеоконференция нужно обеспечить такую пропускную способность, которая зависит от требуемого качества видеоконференции. Можно добавить, что в ряде случаев необходимой характеристикой становится безопасность, например, в случае проведения видеоконференций в телемедицине конфиденциальной должна быть информация о больном, его болезни, лечащем враче и т.д.

Для достижения требуемого уровня видеоконференции необходимым становится проводить определенные мероприятия с целью обеспечения необходимого уровня указанных показателей. Можно назвать множество факторов, воздействующих на качество видеоконференции (рис.2.1.). Приведем основные из них.

В первую очередь нужно отметить, что огромное значение для производительности сети видеоконференции имеет производительность видео-сервера, поскольку на него ложится ответственность по управлению потоками в сети, он должен решать задачу кодирования-декодирования информации и ее сжатия, управлять передачей кадров на аппаратуру клиентов [4]. Здесь решающими являются такие вопросы, как эффективность алгоритма работы

видео-сервера, работа с буферами, организация его дисковых и сетевых операций.

Большое значение имеет выбор структуры и форматов мультимедиа-файлов.

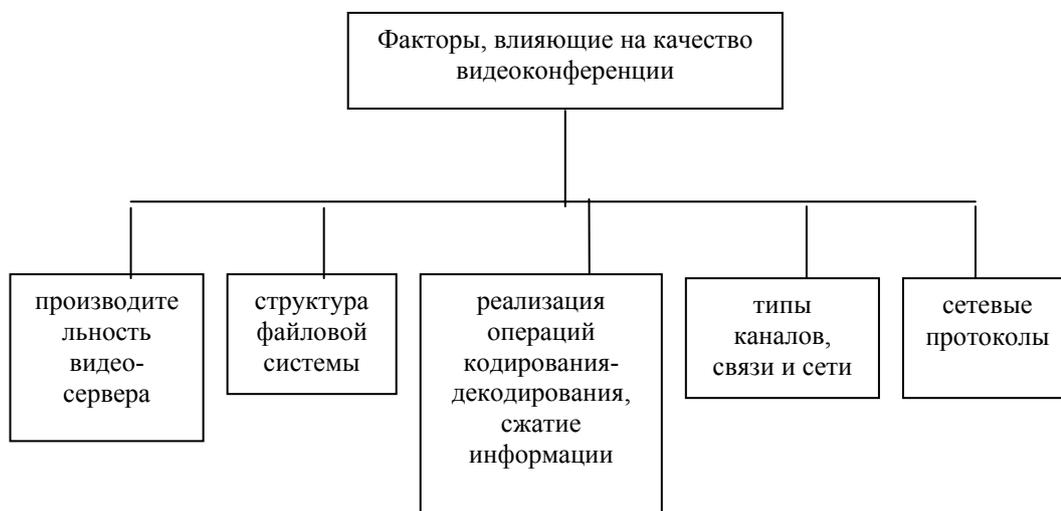


Рис.2.1. Основные факторы, влияющие на качество видеоконференции

Не меньшую важность имеет алгоритм кодирования-декодирования и то, каким образом эти операции реализованы - программным или программно-аппаратным путем [17]. Под программным решением понимается реализация процесса видео- и аудио-кодирования и декодирования с помощью программного обеспечения, использующего только центральный процессор компьютера. Программно-аппаратные решения основываются на использовании мощных специализированных процессоров кодирования/декодирования. Стоимость программных реализаций меньше, чем аппаратных, и они могут быть установлены практически на любом современном персональном компьютере, имеющем звуковую плату и обладающим возможностью видео-захвата. Но необходимого качества видео в них достигнуть не удастся. Дело в том, что кодирование видео-потока предъявляет высокие требования к вычислительным ресурсам терминала. Даже высокая мощность процессора не в состоянии обеспечить качественное кодирование и декодирование сигналов видеоконференции. Для выхода из этой ситуации приходится вводить определенные ограничения на процесс кодирования, что в общем, воздействует

на качество видеоконференции. Более высокий уровень обеспечивают аппаратно-программные реализации, которые называют кодеками.

Очень важным является сжатие информации, поскольку по сети передается видеoinформация, которая характеризуется огромными объемами информации и файлов. поэтому подбор метода сжатия очень сильно влияет на объем передаваемой информации. Известны различные стандарты для сжатия аудио-информации, изображений – подвижных и неподвижных, которые дают возможность обеспечить допустимый уровень пропускной способности [18].

В связи с большими объемами информации, передаваемыми по сети, немаловажным является подбор типа связи и каналов, которые обладают своей собственной пропускной способностью.

Обычно телефонные каналы прекрасно подходят для передачи аудио-сигналов, но качественную передачу видео-потока они не обеспечивают. Обычно для проведения видеоконференций используются линии с полосой пропускания от 128 кбит/с до 512кбит/с для ISDN видеоконференций и до 1-1,5 мбит/с для IP-сетей. Но надо иметь в виду, что приемлемое качество видео получается при скорости порядка 200 кбит/с, а высококачественное изображение в хороших системах достигается при скорости около 300кбит/с и более.

Что касается типа сети, здесь можно отметить следующее. ISDN – сети более дорогие, но дают высокую надежность, быстрое соединение и гарантированное качество. IP-сети характеризуется приемлемой ценой, но периодически может наблюдаться ухудшение качества изображения и требуется более высокая пропускная способность, поскольку здесь передается большое количество дополнительной служебной информации. Наиболее оптимальный уровень быстродействия предоставляют локальные сети, но для использования имеющегося у локальной сети быстродействия, она полностью должна быть выделена для видеоконференции. Все еще существует проблема корректного соединения разнородных сетей видеоконференций.

И в заключение можно отметить, что при подборе сетевого программного обеспечения нужно учесть, что те протоколы, которые обычно используются в сетях, не обеспечивают проведение видеоконференций. В частности, это можно сказать о протоколе TCP.

Данный протокол не может быть использован для приложений реального времени по следующим причинам: 1) TCP протокол дает возможность установить соединение только между двумя конечными точками, следовательно он не подходит для многоадресной передачи; 2) TCP протокол предусматривает повторную передачу потерянных кадров, прибывающих когда приложение реального времени уже их не ждет; 3) данный протокол не имеет удобного механизма для привязки информации о синхронизации к кадрам – что является дополнительным требованием приложений реального времени. Другой широко используемый протокол – UDP – не имеет части ограничений TCP, но и он не предоставляет критической информации о синхронизации.

Поэтому возникает вопрос правильного подбора сетевого программного обеспечения. Эту задачу призван решить другой транспортный протокол реального времени – RTP (Real Time Transport Protocol). Данный протокол гарантирует доставку данных одному или нескольким адресатам с задержкой в заданных пределах, т.е. данные могут быть воспроизведены в реальном времени.

Протокол RTP используется только для передачи пользовательских данных. Совместно с RTP работает протокол RTCP (Real Time Transport Control Protocol), основная задача которого состоит в управлении передачей RTP. Указанный протокол выполняет несколько функций: 1) обеспечение и контроль качества услуг и обратная связь в случае перегрузки; 2) идентификация отправителя; 3) оценка размеров сеанса и масштабирование.

### **2.3. Проектирование сетей телемедицины**

При проектировании и создании телемедицинской службы необходимо решить ряд задач и проблем [19].

К основным вопросам, которые необходимо решить можно отнести следующие:

1. определить структуру службы, которая должна включать:

- телемедицинский центр (центр, который формируется непосредственно в составе ведущего медицинского центра),

- телемедицинский диспетчерский центр (круглосуточный диспетчерский пункт, в котором постоянно дежурят высококвалифицированные врачи, и персонал которого выполняет задачи по организации, подготовке и проведению

видеоконференций и консилиумов с участием специалистов, находящихся на телемедицинских пунктах лечебных учреждений),

- телемедицинский кабинет (телемедицинская рабочая станция с расширенным комплектом цифровых диагностических устройств и набором технических средств для проведения широкоформатных видеоконференций),

- телемедицинские пункты (упрощенный комплект оборудования для телескрининга - сбор, оцифровка, и отправка первичной диагностической информации в курьюрующее лечебное заведение),

- телемедицинские рабочие станции (комплекс аппаратного и программного обеспечения, представляющий собой многопрофильное и многозадачное рабочее место специалиста с возможностями ввода, обработки, преобразования, вывода, классификации и архивирования общепринятых видов клинической медицинской информации и проведения телемедицинских процедур, как правило, находящийся внутри центра)

- и удаленные телемедицинские рабочие станции (находящиеся вне центра);

2. определить какие телемедицинские услуги планируется оказывать и какие телемедицинские мероприятия планируется проводить в создаваемом телемедицинском центре;

3. далее необходимо определить список организаций, с которыми планируется проводить телемедицинские мероприятия;

4. разработать структуру сети;

5. решить вопрос, связанный с выбором необходимого оборудования (медицинского, компьютерного и сетевого);

6. следует решить вопрос каналов связи, какие каналы связи существуют и достаточно ли их пропускной способности для проведения планируемых телемедицинских мероприятий. Если окажется, что существующие каналы не обеспечивают требуемое качество передачи информации, тогда необходимо решить вопрос расширения существующих линий связи или подключения дополнительных.

С учетом вышесказанного о структуре службы сети, структуру сети телемедицины для стоматологии в Грузии в общем виде можно представить следующим образом (рис.2.2) [20].

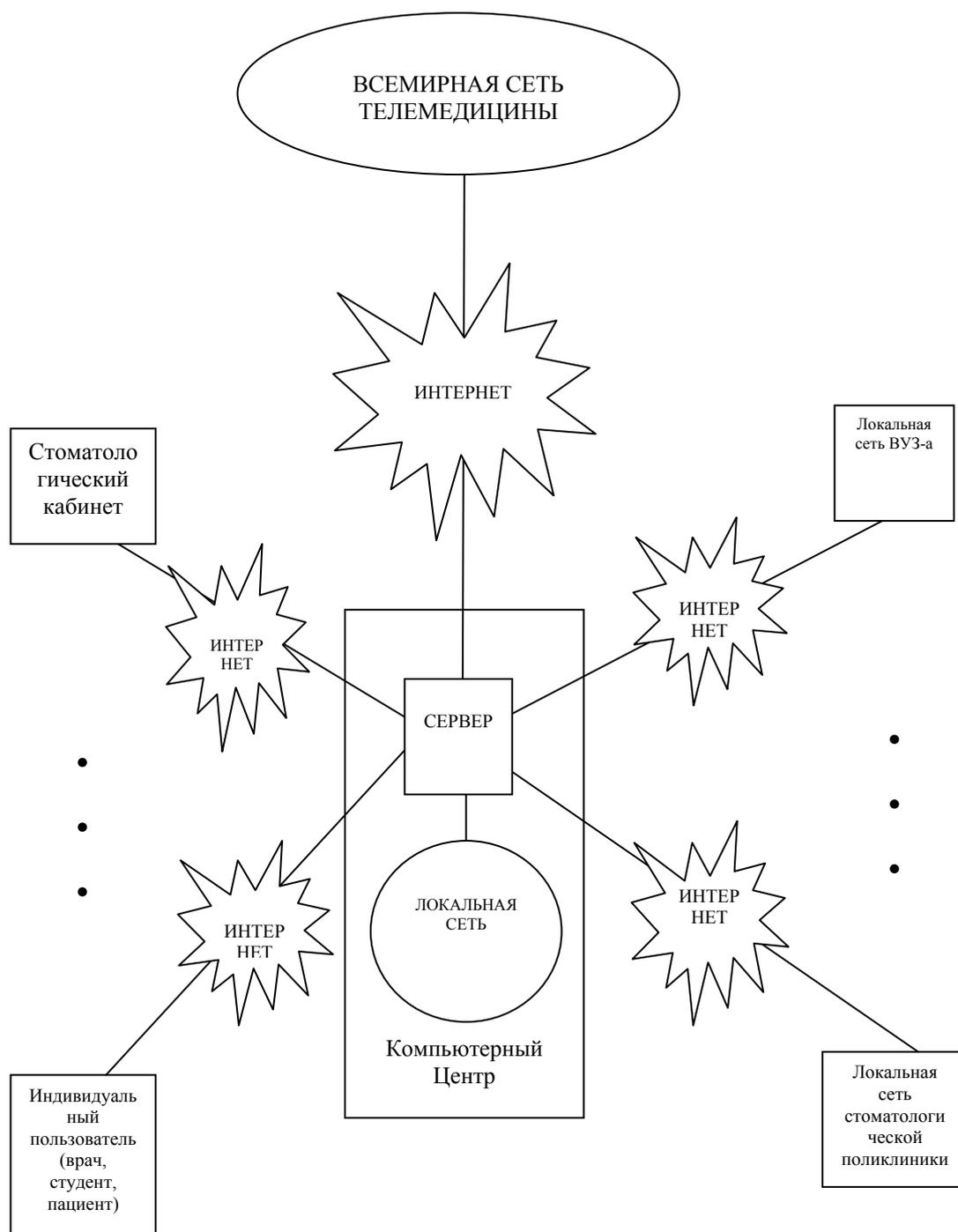


Рис.2.2. Структура сети телемедицины для стоматологии

С учетом всех необходимых служб она выглядит следующим образом (рис. 2.3.) Телемедицинский Центр включает в себя сервер и рабочие станции, которые отвечают за просмотр и диагностику накопленных на сервере

изображений. К центру при помощи каналов различного типа подсоединяются удаленные рабочие станции, которые выполняют функции рабочих станций, но за пределами Телемедицинского Центра. Удаленные рабочие станции собственно и представляют собой идею телемедицины. Телемедицинский Диспетчерский Центр в любое время суток обеспечивает обслуживание запросов от телемедицинских пунктов, расположенных в районах. Относительно телемедицинских кабинетов можно сказать, что в таком качестве могут быть подключены поликлиники, индивидуальные пользователи, учебные центры и т.д. [23].

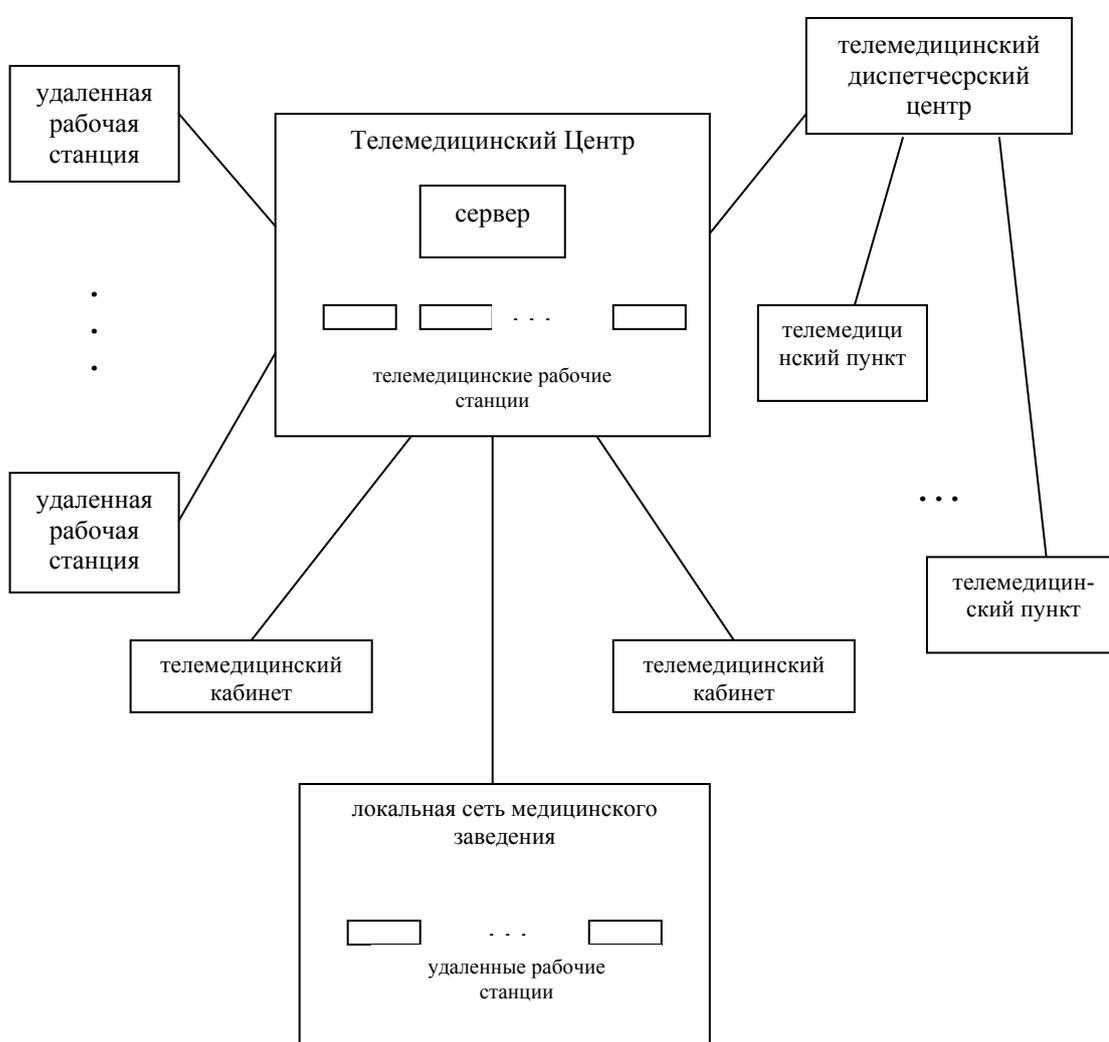


Рис.2.3. Структура сети телемедицины для стоматологии с учетом служб



Одним из наиболее оптимальных методов диагностики является клинический, который заключается в непосредственном опросе больного. Если учесть, что нашим объектом исследования является телемедицина, а именно, компьютерные сети телемедицины, то следовательно, речь должна идти о дистанционной диагностике, или иначе дистанционном опросе больного. Для консультирования больного также часто становится необходимым проведение консультации на расстоянии. Можно привести еще множество примеров, где необходим визуальный контакт врачей и больных на расстоянии в реальном времени. Для осуществления данного подхода необходимо проведение видеоконференции.

В общем можно сказать, что применение видеоконференций дает следующие преимущества: увеличивается производительность труда, экономится время руководства, становится возможным быстро и эффективно распределять ресурсы, ускоряется процесс принятия решений, появляется возможность принимать обоснованные решения за счет привлечения при необходимости дополнительных экспертов, сокращает время на переезды и связанные с ними расходы, устраняется усталость и стрессы.

Проведение видеоконференций нашло широкое применение практически во всех областях деятельности человека: в технике, науке, управлении, торговле, рекламе, бизнесе, образовании, политике, юриспруденции, военном деле, медицине.

Более того, мы уже выше отметили, что на сегодняшний день в медицине сформировалось новое направление - телемедицина, основой которой является видеоконференция. Возможность связи по видео между врачами и пациентами позволяет сэкономить значительные средства, необходимые для лечения людей из отдаленных районов. Повышается качество медицинского обслуживания, поскольку решающее значение здесь приобретает оперативность постановки диагноза и обеспечение высокоэффективного лечения больного, консультации в процессе лечения. На сегодняшний день возможным стало даже проведение удаленных операций с подключением медицинской аппаратуры к устройствам видеоконференцсвязи.

С помощью видеоконференций можно проводить совещания, конференции, семинары, лекции, обмен опытом, выставки и т.д. Все больше возрастает количество желающих организовать, провести и принять участие в

видеоконференции как организаций, так и частных лиц. В связи с этим все более актуальным становится объединение различных типов сетей - локальных, глобальной, телефонных и других с целью участия их клиентов в видеоконференциях. К этому можно добавить, что объединение сетей само по себе представляет весьма сложный вопрос, для успешного осуществления которого должен быть решен целый ряд проблем.

Рассмотрим вопрос организации видеоконференций [21]. Весь спектр многообразных решений видеоконференций можно свести к нескольким типовым: базовые, с расширенным функционалом и операторского класса (Рис.2.4).

Базовые решения обеспечивают проведение видеоконференцсвязи между любыми двумя удаленными офисами. Сюда же можно отнести обеспечение связи между несколькими офисами (но не более 10). Блок решений с расширенным функционалом обеспечивает проведение видеоконференций с практически неограниченным числом участников. К решениям операторского класса относят случаи проведения видеоконференций несколькими организациями сразу.

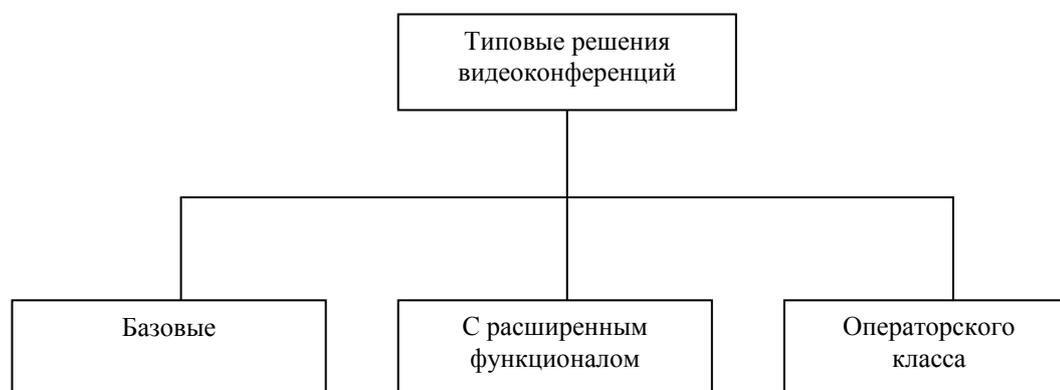


Рис.2.5. Типовые решения видеоконференций

Существуют различные типы видеоконференций с точки зрения их организации и стоимости (Рис.2.5). Здесь можно выделить такие основные типы видеоконференций, как: персональные (настольные), групповые и студийные.

Персональные видеоконференции поддерживают диалог двух участников, и они организуются как системы программно-аппаратного типа. Для организации видеоконференции такого типа достаточен персональный компьютер с мультимедийными возможностями и канал связи.

Групповые видеоконференции ориентированы на обеспечение связи между группами участников. Они реализуются, преимущественно, аппаратными средствами и базируются, в основном, на старших моделях видеотерминалов.

А студийные видеоконференции ориентированы на поддержку связи одного из участников видеоконференции с большой аудиторией, практически они применяются для проведения лекций. Видеоконференции данного типа представляют собой системы высшего класса и реализуются аппаратными средствами. Они требуют высокоскоростные линии и четкой регламентации сеансов.



Рис.2.6. Типы видеоконференций по организации

Вышеперечисленные типы видеоконференций можно охарактеризовать следующими основными параметрами: доступная аудитория и вариант общения; качественная характеристика связи; стиль общения; необходимые затраты; необходимое оборудование; оптимальное применение; характерные продукты. Исследования вышеуказанных типов видеоконференций показывают, что наибольшее распространение получили персональные и групповые видеоконференции.

Приведем основные сравнительные характеристики вышеуказанных типов видеоконференций. Студийные видеоконференции требуют студийное и специализированное оборудование, характеризуются жестким регламентом проведения и требуют максимальную пропускную способность. Вообще их используют для решения задач, требующих максимума возможностей.

Групповые конференции требуют специализированное оборудование, характеризуются регламентированным стилем общения и требуют обеспечение пропускной способности в зависимости от требуемого качества видеоконференции.

Что касается персональных конференций: они практически не требуют приобретения специализированного оборудования и программного обеспечения, стиль общения здесь неформальный, и нет необходимости в широкой полосе пропускания.

С точки зрения топологии также различают определенные типы видеоконференций. Здесь рассматривают видеоконференции типа «точка-точка», «точка-многоточка» и «многоточка» (рис. 2.6).



Рис.2.7. Типы видеоконференций по топологии

Базовое решение «точка-точка» обеспечивает видеоконференцсвязь между двумя пользователями или любыми двумя типовыми студиями, расположенными в удаленных офисах. Можно использовать данное решение для обеспечения видеоконференцсвязи в одном здании для обеспечения

видеосвязью двух кабинетов. Топология «точка-точка» применяется при организации групповых и персональных видеоконференций. Видеоконференции типа «многоточка» или многоточечные обеспечивают одновременную связь между большим количеством студий и участников. Ну а топология «точка-многоточка» характерна для проведения студийных конференций.

С точки зрения типа сети и связи, можно выделить следующие видеоконференции: в локальных сетях, в телефонных сетях, сетях ISDN, сетях IP и смешанные (Рис.2.7.) [22]. Охарактеризуем каждый тип в отдельности.

Относительно видеоконференции по аналоговым телефонным каналам можно сказать, что пропускная способность телефонных линий связи крайне низка даже для передачи сжатых видеоизображений (не более 33,6 Кбит/с). Поэтому, очень небольшое количество видеоконференций поддерживают этот вид подключения. Правда, разрабатываются стандарты, которые должны обеспечить более качественное и стабильное изображение при подобной низкой скорости.

В ISDN-сетях видеоконференции работают со скоростью передачи от 64 Кбит/с до 2000Кбит/с. К сетям подобного типа можно подключать видеотелефоны, видеотерминалы и персональные компьютеры.

Относительно конференций в локальных сетях можно сказать, что они работают в рамках протокола TCP/IP. Другие протоколы плохо поддерживают такие задачи видеоконференции как разделяемые приложения, электронная доска. Для студийных видеоконференций используют стандарт АТМ, главная особенность которого – поддержка классов обслуживания (QoS).

Что касается видеоконференций в глобальных сетях можно отметить, что здесь качество зависит от доступной полосы пропускания и используемого протокола транспортного уровня. Приемлемое качество видеоконференции в глобальной сети можно получить только при скорости передачи не менее 64 Кбит/с. Значительную роль здесь также играют используемые протоколы.

Необходимо отметить, что в настоящее время все больше появляются так называемые смешанные видеоконференции, в которых объединяются различные типы сетей.

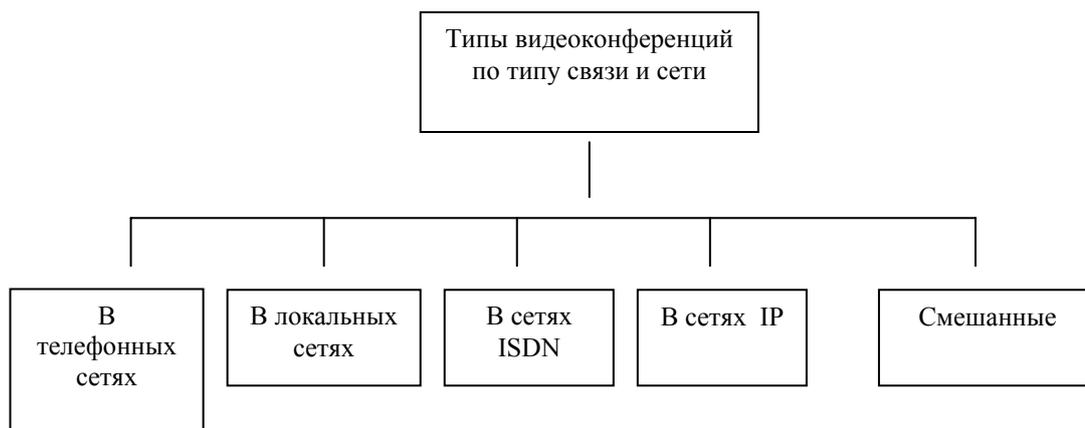


Рис.2.8. Типы видеоконференций по типу связи и сети

Следовательно, классификацию видеоконференций можно провести по следующим признакам [21]:

1. по типовым решениям,
2. по организации,
3. по топологии,
4. по типу связи.

## 2.5. Построение сетей видеоконференций

Рассмотрим основные вопросы и проблемы, связанные с проектированием сетей видеоконференций для телемедицины.

Одним из основополагающих компонентов телемедицины - является организация и проведение видеоконференций. Видеоконференция, как мы уже отметили, это компьютерная технология, которая позволяет людям видеть и слышать друг друга, обмениваться данными и совместно их обрабатывать в реальном режиме времени. Благодаря видеоконференциям в режиме реального времени становится возможным проведение консультаций, совещаний разного характера и демонстрация учебных программ с обучением в реальном времени.

Для проведения сеансов видеоконференцсвязи необходимо выполнение двух важнейших условий:

необходимо иметь соответствующее оборудование и программное обеспечение видеоконференцсвязи

нужно иметь возможность соединиться с другими участниками видеоконференции через любые каналы связи, отвечающие требованиям видеоконференцсвязи.

При проектировании сетей телемедицины, в которых должна быть реализована возможность проведения видеоконференций, возможны различные подходы к топологическому решению [24].

Это может быть: двухточечная видеоконференция, когда соединяются всего два абонента, и многоточечная видеоконференция с одновременным подсоединением нескольких участников.

В свою очередь, многоточечные конференции могут быть следующего типа: многоточечные видеоконференции в локальных сетях, многоточечные видеоконференции в территориально распределенных IP-сетях, многоточечные конференции в ISDN-сетях и многоточечные конференции в разнородных сетях [22].

При организации многоточечных видеоконференций с участием нескольких пользователей одновременно возможно реализовать следующие два принципа:

1. аудио-потoki от различных участников в сети смешиваются таким образом, что все участники видеоконференции могут слышать друг друга, а видео-потoki переключаются таким образом, что все видят только одного участника связи, причем выбор может быть сделан председателем видеоконференции, оператором или автоматически, по активности участника;

2. в передаваемом по сети видео-потокe возможно комбинировать изображения нескольких участников.

К сети видеоконференции в качестве видеотерминалов могут быть подключены компьютеры любого типа, которые оборудованы специальной сетевой платой. Кроме того, в сеть могут быть подключены специализированные законченные устройства для видеоконференции с видеокамерой, микрофоном и возможностью подключения к телекоммуникационным сетям.

Исходя из всего сказанного проектируемую сеть телемедицины для стоматологии, с учетом структуры службы, можно представить следующим образом (рис.2.8) [25].



В данной сети предусмотрено подключение к Интернету, к цифровым и аналоговым телефонным линиям. Кроме того, возможно использование спутниковой связи.

Для организации и проведения видеоконференций нужно иметь соответствующее специализированное программное и аппаратное обеспечение. Среди аппаратного обеспечения можно выделить видеосерверы, шлюзы, кодеки [26].

Видеосерверы (MCU - устройство управления многоточечной конференцией) используются для организации сеансов видеоконференции. При участии нескольких участников в сети видеоконференции циркулируют огромные потоки информации, поэтому нагрузка на каждое рабочее место участника возрастает пропорционально числу участников конференции. Именно для того, чтобы обрабатывать эти огромные потоки информации и освободить видеотерминалы участников от большой работы, применяют видеосерверы, которые снимают эту нагрузку, поскольку сами обрабатывают все потоки и на терминалы участников посылают только полагающиеся им потоки.

Одна из самых трудоемких задач сервера - перекодирование видео- и аудиосигналов. Для успешного решения этой задачи используются мощные процессоры. Но даже их мощности недостаточно для решения проблемы. Кроме того необходимо отметить, что указанная проблема относится не только к серверу, но и остальным видеотерминалам, участникам видеоконференции. Поэтому, для решения этой проблемы используют программно-аппаратные решения.

Стоимость программных реализаций меньше, чем аппаратных и они могут установлены практически на любом современном компьютере, имеющем звуковую плату и обладающим возможностью видеозахвата [27]. Тем не менее необходимого качества видео в них достигнуть не удастся. Дело в том, что кодирование видео потока предъявляет высокие требования к вычислительным ресурсам терминала. В соответствии с принятым в рамках рекомендаций H.320 и H.323 стандартом кодирования видео H.261 необходимо обеспечить сжатие в реальном времени исходного сигнала с коэффициентом от 100 до 1000. Даже стремительное увеличение мощностей процессоров общего назначения не в состоянии обеспечить качественное кодирование и декодирование сигнала видеоконференции.

Чтобы как-то реализовать эти функции в программным путем, становится необходимым устанавливать определенные ограничения для процесса кодирования: использовать низкую частоту кадров, упрощенные алгоритмы преобразования видео, ведущие к уменьшению размера изображения, снижению четкости и ухудшению цветопередачи. Можно, конечно, передавать изображение черно-белым и использовать нестандартные алгоритмы, но при этом нужно учесть, что если следующий кадр поступает на программный декодер до окончания обработки текущего, он игнорируется. Видеоинформация теряется, изображение распадается на части и картинка становится неудовлетворительной. Поэтому при кодировании необходимо учитывать не только собственные вычислительные возможности, но и производительность декодера на противоположной стороне. В результате приемлемого качества можно достичь лишь при маленьком размере видеокadra (QCIF) и сравнительно низкой частоте кадров (около 10).

Преимущество программных решений проявляется при использовании узкополосных каналов, например, при модемной связи со скоростью до 56 Кбит/с. Поскольку полоса канала маленькая, объем информации, обрабатываемый кодеком, тоже невелик и программный терминал с ним успешно справляется. Но о качестве видеоконференции здесь говорить не приходится: звук глухой, скорость передачи от нескольких видеокadров в секунду до одного в несколько секунд, что скорее напоминает показ слайдов. Следует также отметить, что программные решения являются очень упрощенными аналогами полноценных аппаратных решений и по функциональным возможностям. В целом, чисто программные реализации видеотерминалов из-за ограниченности их функциональности и невысокого качества не в состоянии обеспечить профессиональные решения в области видеоконференций.

Исходя из всего вышесказанного, как правило, применяют аппаратные решения - кодеки, которые реализуются в различном виде: как платы, вставляющиеся в свободные слоты PC, так и функционально законченные решения. Кодеки сжимают сигнал и кодируют его для канала связи и, соответственно, разжимают и декодируют на принимающей стороне [28].

Другое специализированное устройство, которое применяют в сетях видеоконференций - шлюзы, которые обеспечивают передачу информации на

стыке разнородных сетей. Мы уже отметили, что видеоконференция может проводиться в так называемых смешанных сетях (например, сетях телефонии с коммутацией каналов и компьютерных сетях с коммутацией пакетов). В таких сетях информация передается в разных форматах. Именно для стыка разнородных сетей используют шлюзы.

Еще одно устройство это привратник - устройство, которое применяется для обеспечения поиска станций, шлюзов и подключения к многоточечным конференциям, которое также включает в себя соответствующее программное обеспечение.

Вернемся к вопросу организации работы сервера [29]. Как мы уже отметили сервер выполняет большую работу по управлению потоками информации в сети при организации видеоконференции. Кроме этого на сервер ложится большая нагрузка из-за необходимости кодирования аудио-видео информации. Вместе с этим необходимо отметить, что в режиме видеоконференции может осуществляться обучение при помощи демонстрации учебных фильмов одновременно на рабочие места всех участников сеанса. В таком случае обучение должно производиться в реальном времени. Поэтому сервер выполняет большую работу по передаче большого потока видео кадров на все станции, подключенные в сеть видеоконференции. В связи с этим возникают проблемы, поскольку сервер должен своевременно обеспечить одновременную передачу кадров на множество абонентов. С целью решения поставленной перед сервером задачи здесь возможны ряд мероприятий.

Во первых, нужно подобрать такой алгоритм планирования работ процессора, когда он наиболее успешно решит задачу одновременного обслуживания нескольких участников видеоконференции и своевременно поставит им кадры фильма. Здесь успешно можно использовать алгоритм планирования работы процессора, основанный на принципе равномерности обслуживания. В данном алгоритме внесена функция штрафа, которая дает возможность определить последовательность обслуживания абонентов.

Вторая проблема - подбор такой организации мультимедийного файла (фильма, который нужно демонстрировать в течении видеоконференции в реальном времени), которая позволит наиболее эффективно решать поставленные перед сервером задачи [30]. Мультимедийные файлы

характеризуются большим объемом, поскольку содержат видео, аудио и текстовую составляющие [31].

Они могут быть организованы по двум стратегиям: использование блоков небольших размеров и использование блоков больших размеров (Рис. 2.9.).

В первом случае, если считать, что средняя длина кадра 16 Кб, а максимальная 255 Кб, то размер блока удобно принять равным 1-2 Кб, и основная задача - получить индекс кадров, где имеется указатель каждого кадра и его размера. В таком случае, если нужно прочесть  $i$ -ый кадр, который содержит всю видео, аудио и текстовую информацию, нужно найти соответствующий элемент в индексе кадров, а затем считать весь кадр за одну дисковую операцию. Этот метод характеризуется большими расходами ОЗУ и меньшими потерями дискового пространства [1].

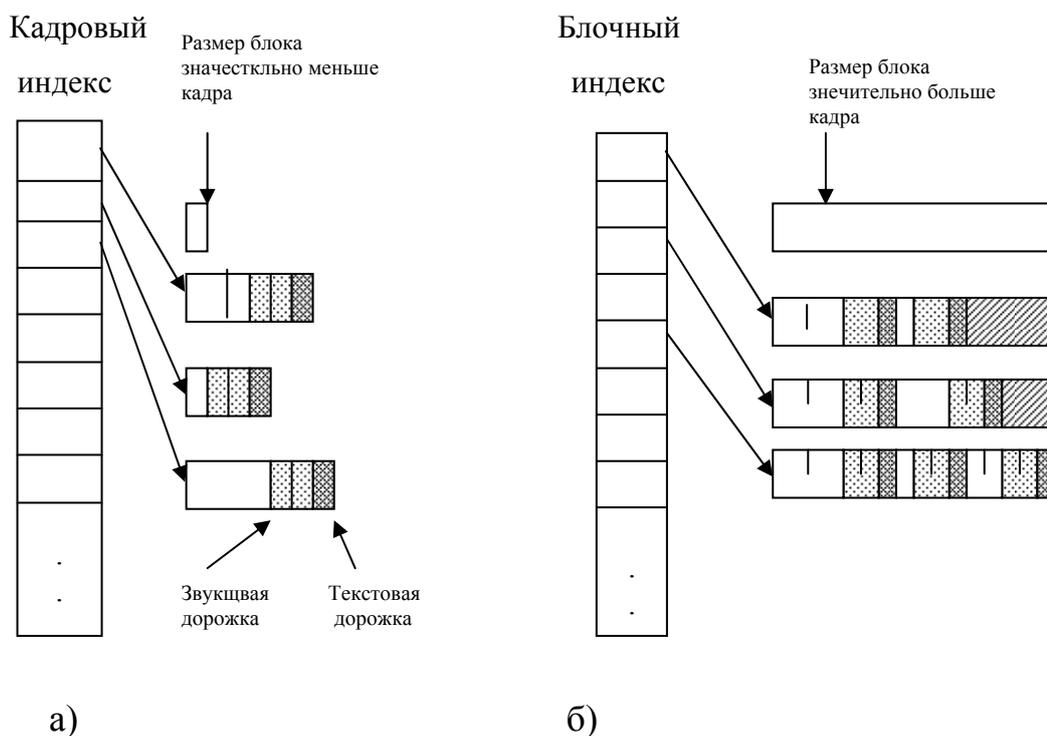


Рис. 2.10. Два типа организации видео-файлов

Во втором случае, используются блоки больших размеров, в которых могут располагаться несколько кадров. Индекс блоков также используется, но добавляется информация о номере кадра, с которого начинается блок. Здесь имеет место меньшее потребление ОЗУ, но большие потери дискового пространства, поскольку блоки не заполняются полностью кадрами.

Для повышения производительности системы в целом большое значение имеет правильная организация дисковой памяти. В случае видео-сервера используют несколько дисков – это могут быть RAID - диски (обеспечивают большую надежность, но низкую производительность) или просто дисковая ферма (с меньшей надежностью, но большей производительностью). Здесь большое значение имеет подход к расположению файлов на дисках.

В повышении производительности мультимедийных систем видеоконференции огромную роль играет буферирование [32]. В случае рассматриваемой системы буферы активно применяются в процессе работы с различными устройствами (диски, ленты). Кроме того, буферирование должно быть применено в процессе выдачи данных в сеть и приема данных из сети.

Буферизация в видео-сервере должна быть применена в процессе подготовки данных фреймов различных потоков, которые передаются абонентам. Необходимость буферизации заключается в том, что процессы видео-сервера не должны блокироваться, когда данные передаются в сеть.

Буферизация должна быть реализована следующим образом - один буфер должен быть создан в оперативной памяти в области пользователя для пользовательского процесса сервера, а второй - в области ядра операционной системы. Это необходимо, чтобы не произошло блокирование процессов сервера во время ожидания освобождения буфера сервера [33].



Рис.2.11. Буферизация потоков фреймов

Для буферирования может быть применена схема, предложенная на рис.2.10. Предварительно, информация, которую нужно передать при помощи сети, в результате осуществления дисковой операции должна быть размещена в буфере сервера. Затем процесс сервера обращается к операционной системе, чтобы данные были переданы в сеть. В результате этого обращения операционная система создаст копию данных в своем буфере - буфере ядра. Поэтому процесс сервера может незамедлительно продолжить свою работу. Во время вызова сетевого драйвера данные из буфера ядра переписываются в буфер сетевого контроллера для непосредственной передачи в сеть. И уже из буфера сетевого контроллера производится передача данных в сеть. На стороне приемника (клиента) информация проходит тот же путь, но в обратном направлении.

С целью оптимального использования оперативной памяти должен быть использован динамический буфер. В этом случае для каждого мультимедийного потока, который соответствует отдельному абоненту, из буферного пула временно формируется свой буфер.

Как видно из всего вышесказанного проектирование сетей телемедицины сопровождается целым рядом проблем [2]. И, тем не менее, современный подход к здравоохранению, можно сказать, невозможен без современных информационных, компьютерных и телекоммуникационных технологий.

## 3. Моделирование компьютерных сетей телемедицины

### 3.1. Определение проблемы

В предыдущей главе для проведения видеоконференций нами предложена структура сети, которая объединяет множество уже существующих различных по природе своей сетей (рис 3.1). Удовлетворяя требованиям организации сетей для видеоконференций все локальные сети подсоединяются через маршрутизаторы.

Еще раз затронем вопрос функционирования сети в режиме видеоконференции. Здесь необходимо отметить, что в сети обеспечивается передача всех потоков, генерируемых на каждом компьютере, всем остальным компьютерам с целью получения изображения всех участников видеоконференции на всех мониторах. Следовательно, в данной сети имеет место весьма значительный поток информации (включающей аудио и видео информацию).

Следующий момент, который также необходимо отметить, является передача информации в реальном времени.

Отсюда можно заключить, что на маршрутизаторы ложится большая нагрузка, поскольку они должны обеспечить приемлемую скорость доставки информации на компьютеры сети. То же самое можно сказать насчет каналов сети.

Из всего вышесказанного следует, что процесс функционирования данного типа сетей отличается высокой степенью сложности, а характеризующие их показатели, такие, например, как средние значения времени доставки пакетов абонентам различных категорий, зависят от весьма большого числа факторов. Вместе с тем значительные материальные затраты на создание и эксплуатацию подобных систем побуждают к получению количественных оценок различных аспектов функционирования рассматриваемых сетей с целью выбора рациональных инженерных решений на различных этапах их проектирования, эксплуатации, модернизации и развития [34].

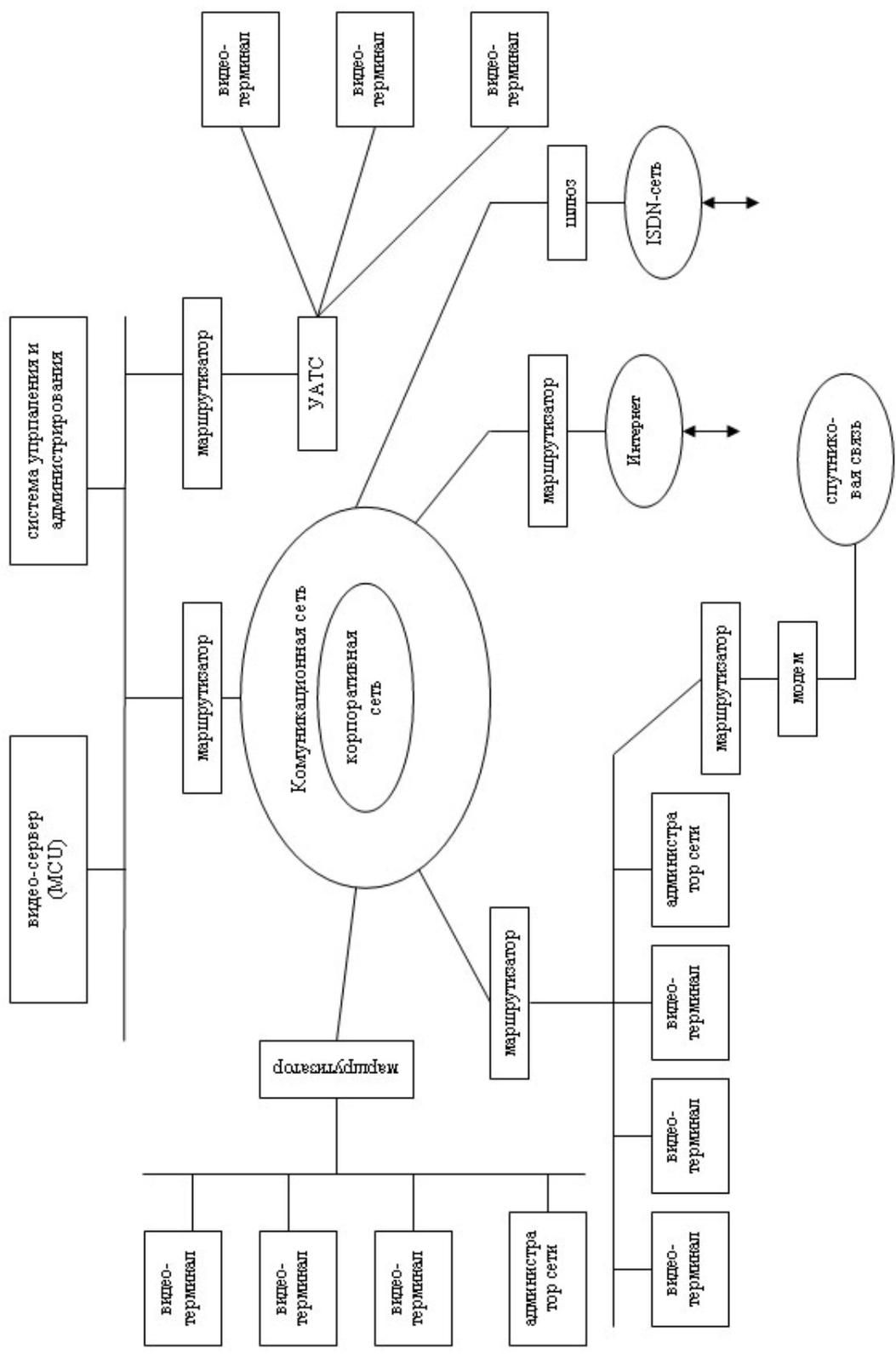


Рис 3.1. Структура сети для видеоконференций телемедицины

В этой связи особенно большое значение приобретает проблема решения комплекса задач, связанных с анализом и оптимальным синтезом вычислительных сетей [35].

К числу указанных относятся задачи расчета показателей, характеризующих качество функционирования рассматриваемых сетей при известной конфигурации системы и заданных параметрах ее компонентов, а также известных параметрах потоков заявок и характеристиках системы. Задачи подобного рода рассматривают как задачи анализа. К их числу, например, относятся задачи расчета вероятностно-временных характеристик передачи и обработки различных типов заявок, оценки времени решения определенных задач. Типичные задачи синтеза связаны с определением в некотором смысле оптимальной конфигурации сети, числа ее абонентов и размещения, территориальной привязки, определения топологии и пропускной способности каналов и т.д [36].

Перечисленные и многие другие задачи могут быть сформулированы и решены с использованием достаточно удобного методического подхода, основанного на выделении и рассмотрении совокупности информационных процессов, характеризующих требования пользователей к ресурсам сети – вычислительных средств и системы передачи данных. Подобный подход позволяет абстрагировать многие частные аспекты, связанные с особенностями реализации конкретной сети. В результате возникает основа для обобщения с единых позиций изложения комплекса математических моделей и методов, позволяющих решать широкий круг задач анализа и синтеза компьютерных сетей [37].

### **3.2. Анализ пропускной способности сети телемедицины**

В общем виде задача анализа пропускной способности сети телемедицины может быть представлена в следующем виде.

Будем считать, что известны:

топология сети (расположение маршрутизаторов и соединения между ними),

схема организации и объем накопителя каждого маршрутизатора,  
емкости соединительных линий,  
алгоритм распределения потоков сообщений,  
допустимые значения среднего времени доставки сообщений по сети.

Необходимо определить максимально возможные интенсивности потоков, поступающих на маршрутизаторы и обеспечивающие заданные значения среднего времени доставки. При этом нужно отметить, что время доставки сообщения определяется временем обслуживания в маршрутизаторе и временем передачи по линиям связи.

Для решения поставленной задачи для сети телемедицины можно рассмотреть две следующие задачи [38].

Одну задачу определим таким образом: определить вероятность блокировок и среднее время задержки в маршрутизаторе, если известны значения потоков, поступающих на обслуживание в каждый маршрутизатор.

Вторую задачу сформируем следующим образом: определить максимально возможные значения потоков, при обслуживании которых в рассматриваемой сети обеспечивается требуемое допустимое среднее время доставки пакетов.

#### Решение первой задачи

Как мы уже отметили, для оценки пропускной способности сети, в первую очередь, нужно получить ответ на следующую задачу: определить вероятность блокировки и среднее время задержки в маршрутизаторе.

Для решения данной задачи каждый маршрутизатор и линии связи, исходящие из него, представим объединением систем массового обслуживания определенного типа. При этом в маршрутизаторе может быть использована любая из структур организации буферного накопителя. Для упрощения модели предположим, что в каждом маршрутизаторе используется полнодоступная структура. Накопитель содержит ограниченное число буферов, каждый буфер накопителя рассчитан на хранение одного сообщения [39].

В маршрутизатор поступают так называемые внешние потоки сообщений (потоки, генерируемые абонентами данного узла), которые смешиваются с

транзитными (внутренними) потоками сети. Предположим, что потоки, поступающие на различные маршрутизаторы, независимы, а также что по каждой соединительной линии сети может проходить  $(1, 2, \dots, i, \dots, n)$  каналов; при этом все  $n$  потоков являются пуассоновскими с интенсивностью поступлений  $\lambda_i$ . План распределения потоков определен заранее и задается соответствующей матрицей маршрутов (фиксированная маршрутизация).

Время передачи по  $j$ -ой исходящей линии распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu_j$  и не зависит от времени передачи по другим линиям связи.

Таким образом, в  $i$ -ый маршрутизатор поступает  $L$  независимых пуассоновских потоков ( $L$  – число исходящих линий связи из  $i$ -го маршрутизатора) с постоянной интенсивностью  $\lambda_l^i$  ( $l=1, \dots, L$ ). Сообщения  $l$ -го потока обслуживаются соответствующей  $l$ -ой исходящей линией в порядке поступления с длительностью обслуживания  $1/\mu_j$ . При этом поступающее сообщение принимается на обслуживание, если хотя бы один из буферов накопителя  $i$ -го маршрутизатора свободен. Если все буферы заняты, то маршрутизатор считается заблокированным. В этом случае интенсивность суммарного потока, принятого на обслуживание, или пропускная способность маршрутизатора определяется как

$$\lambda_i^{\text{исх}} = \lambda_i^{\text{вх}} (1 - P_{N_i}) \text{ сообщ./с} \quad (1)$$

где  $\lambda_i^{\text{исх}} = \sum_{l=1}^L \lambda_l^i$  – интенсивность суммарного потока, поступающего на

обслуживание в  $i$ -ый маршрутизатор;  $P_{N_i}$  – вероятность блокировки  $i$ -ого маршрутизатора, емкость накопителя которого составляет  $N_i$ .

Вероятность блокировки маршрутизатора для рассматриваемых допущений и полнодоступной схемы организации буферного накопителя определим выражением:

$$P_{N_i} = P_0 G(N_i), \quad (2)$$

где  $P_0$  – вероятность того, что система пуста:

$$P_0^{-1} = \sum_{l=1}^L A_l \frac{1 - \rho_l^{N_l+1}}{1 - \rho_l} ; \quad G(N_i) = \sum_{l=1}^L A_l \rho_l^{N_i} ;$$

$$A_l = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^L \frac{1}{(1 - \rho_k / \rho_l)}$$

$$\rho_l - \text{загрузка } l\text{-й исходящей линии: } \rho_l = \frac{\lambda_l^i}{\mu_i} .$$

При определении пропускной способности каждого маршрутизатора и сети в целом, будем предполагать, что в процессе обслуживания сообщения  $l$ -й исходящей линией (соответствующей СМО) его копия сохраняется в накопителе до тех пор, пока не будет получено подтверждение (квитанция) по истечении времени  $T^{ack}$  или пока не истечет время  $T^{out}$ . Если квитанция на переданное сообщение поступит до истечения времени  $T^{out}$ , то буфер освобождается, если квитанция не поступит, а время  $T^{out}$  истекло, то передача сообщения повторяется. Повторная передача происходит до тех пор, пока не будет получена квитанция. Допустимые значения величин  $T^{ack}$  и  $T^{out}$  будут считаться заданными.

Учитывая сделанные выше допущения и вероятность того, что передаваемое по  $l$ -ой линии связи сообщение может иметь одну или несколько ошибок (вероятность этого события определяется величиной  $\rho_{out}$ ), среднее время  $T_l^i$  пребывания сообщения  $l$ -го направления в  $i$ -м маршрутизаторе может быть определено, как:

$$T_l^i = \frac{1}{\mu_l \{1 - (f_l + \rho_{out}) + f_l \rho_{out}\}} + \frac{T^{out} \{f_l + \rho_{out} - \rho_{out} f_l\}}{\{1 - (f_l + \rho_{out}) + f_l \rho_{out}\}} + T^{ack} \quad (3)$$

В выражении (3)  $f_l$  – вероятность блокировки соседнего маршрутизатора, соединенного с рассматриваемым  $l$ -исходящей линией. В этих условиях интенсивность обслуживания потока на  $l$ -й исходящей линии будет

определяться величиной  $\mu_l^i = 1/T_l^i$ , а загрузка  $l$ -ой линии – величиной

$$\rho_l = \lambda_l^i / \mu_l^i = \lambda_l^i T_l^i$$

Таким образом, будем предполагать, что маршрутизаторы сети представляют объединение СМО типа М/М/1 с общим полнодоступным накопителем емкости  $N_i$ , вероятность блокировки которого определяется выражением (2).

Среднее число  $\bar{n}_l$  и среднее время задержки  $D_l^i$  сообщений  $l$ -го направления  $i$ -го маршрутизатора определяется как:

$$\bar{n}_l = \frac{\rho_l}{1 - \rho_l} \frac{\sum_{k=0}^{N_i-1} (1 - \rho_l^{N_i-k}) G(k)}{\sum_{k=0}^{N_i} G(k)} \quad (4)$$

где

$$G(k) = \sum_{l=1}^L A_l \rho_l^k$$

$$D_l^i = \bar{n}_l / \lambda_l^{ucx} = \frac{\bar{n}_l}{\lambda_l^i (1 - P_{N_i})} \quad (5)$$

Таким образом, используя выражения (3.2) – (3.5), можно определить вероятность блокировки  $P_N$  и среднее значение задержки сообщений  $D_l$  на исходящих направлениях каждого маршрутизатора сети при условии, что: все маршрутизаторы независимы; известны маршруты для каналов передачи сообщений; пропускная способность маршрутизатора определяется в соответствии с выражением (1).

Алгоритм расчета в этом случае является итерационным и включает следующие операции:

1. Определить значения  $P_{N_i}$  и  $D^i_l$  для всех  $i=1, \dots, M$ , где  $M$  – число маршрутизаторов в рассматриваемой сети, в предположении, что в каждый маршрутизатор поступают только внешние потоки от абонентов маршрутизатора.

2. Определить значения  $P_{N_i}$  и  $D^i_l$  ( $i=1, \dots, M$ ) в предположении, что в каждый маршрутизатор поступают как внешние, так и транзитные потоки сообщений, полученные в соответствии с заданным фиксированным планом распределения потоков. При определении интенсивностей транзитных потоков, поступающих в соответствующий маршрутизатор, используются значения, полученные в предыдущей итерации.

3. Сравнить значения  $D^i_l$  для всех  $i=1, \dots, M$ , полученные в данной итерации, с соответствующими значениями, полученными в предыдущей итерации. Если эти значения отличаются не более чем на заранее заданную величину  $\varepsilon$ , то прекратить вычисления; в противном случае повторить операцию 2.

#### Решение второй задачи

При решении задачи определения максимально возможных значений внешних потоков, насыщающих рассматриваемую сеть и обеспечивающих заданные средние величины задержки по линиям связи при передаче от исходного до маршрутизатора назначения, представим каждый маршрутизатор сети объединением СМО типа М/М/1 с общим накопителем неограниченной емкости [40]. При этом будем предполагать, что длины сообщений имеют экспоненциальное распределение со средним значением  $b$  бит; пропускная способность  $l$ -й линии связи определяется величиной  $\mu(l) = C(l)/b$  сообщ./с, где  $C(l)$  – емкость  $l$ -й линии связи; среднее время задержки сообщения определяется временем передачи по линии связи; по каждой линии связи может проходить  $(1, \dots, n)$  каналов передачи сообщения, при этом поступление пакетов в  $i$  канал передачи сообщения является пуассоновским процессом с интенсивностью  $\gamma_i$ ; система рассматривается в статическом состоянии. При

этих предположениях, если по  $l$  линии связи проходит  $(1, \dots, n)$  канал передачи сообщения с интенсивностями поступления  $(\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n)$ , то средняя задержка сообщений, проходящих по этой линии связи будет равна

$$B_l = \frac{1}{\mu(l) - \sum_{i=1}^n \gamma_i}$$

Средняя общая задержка сообщений на всем  $j$ -ом канале передачи сообщений, включающем линии связи  $(k_1, k_2, \dots, k_m)$ , в этом случае равна

$$Z_j = \sum_{i=1}^m B_{k_i}$$

Далее задача сводится к определению максимально возможных интенсивностей поступления сообщений  $\gamma_i$  для всех каналов передачи сообщений сети, обеспечивающих требуемое среднее значение задержки сообщений по сети при заданных емкостях линий связи и плане распределения потоков, т.е. к получению оптимального соотношения между пропускной способностью сети и допустимыми значениями задержки.

При этом интенсивность потока, поступающего в  $l$  линию связи  $\gamma(l)$ , равна сумме интенсивности потоков  $\gamma_i$  каналов передачи сообщений  $(1, \dots, n)$ , использующих данную линию связи:

$$\gamma(l) = \sum_{i=1}^n \gamma_i$$

Для решения рассматриваемой задачи воспользуемся методом оптимального распределения емкостей линий связи между корреспондирующими парами маршрутизаторов сети при фиксированном плане распределения потоков.

Пусть  $\gamma_i$  – интенсивность потока между  $i$ -й парой маршрутизаторов, использующей  $l$ -ю линию связи. Тогда  $i$ - пара “насыщает”  $l$ -ю линию связи, если  $\gamma_i = x_i(r(l))$ , где  $r(l) = \mu(l) - \bar{\gamma}(l)$  – оставшаяся неиспользуемой емкость линии связи,  $\bar{\gamma}(l)$  суммарная интенсивность потоков между другими парами

маршрутизаторов (кроме  $i$ -й), использующими  $l$ -ю линию связи;  $x_i$  - некоторый коэффициент, определяющий использование емкости данной линии связи  $i$ -й парой маршрутизаторов. Линия связи считается перегруженной, если  $\gamma_i > x_i(r(l))$ .

Таким образом,  $i$ -я пара маршрутизаторов «насыщена», если хотя бы одна из линий связи, по которым проходит канал передачи сообщений для обслуживания потока с интенсивностью  $\gamma_i$  насыщена и ни одна не перегружена. Распределение емкостей линий связи считается оптимальным, если все корреспондирующие пары маршрутизаторов насыщены.

Для того, чтобы избежать резкого возрастания величины  $B_l$ , когда значение  $(xr(l)) \rightarrow 0$ , вводим некоторый предел для использования емкости линии связи. Будем считать, что  $\gamma(l)$  не должна превышать  $0,8\mu(l)$ .

Таким образом, насыщение  $i$ -й пары маршрутизаторов определяется выражением

$$\gamma_i = \min_{l \in l(i)} x_i(r(l)),$$

где  $l(i) = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$  - множество линий связи, по которым проходит  $i$ -канал передачи сообщений (Для обслуживания потока между  $i$ -й парой маршрутизаторов).

Выражение (6) имеет также другую форму записи:

$$\gamma_i = \min \frac{x_i}{B_l^i}, \quad (7)$$

$$\text{так как } B_l^i = \frac{1}{\{\mu(l) - \tilde{\gamma}(l)\}} = \frac{1}{r(l)}$$

Очевидно, что выражение (7) определяет зависимость между средним значением задержки и пропускной способностью  $l$ -й линии связи.

Итерационная процедура определения интенсивностей внешних потоков, обеспечивающих заданные средние значения задержки при передаче сообщений от исходного до маршрутизатора назначения включает следующие операции:

1. Определить максимально допустимое значение емкости линий связи  $\gamma(l, j)$ , которая может быть использована на  $j$ - итерации каждой ненасыщенной

парой маршрутизаторов для всех  $l=1, \dots, L_{общ}$ , где  $L_{общ}$  – общее число линий связи в сети :

$$\gamma(l, j) = x \left[ \frac{\mu(l) - \gamma_{нас}(l, j)}{1 + \xi x} \right]$$

где  $\gamma_{нас}(l, j)$  – суммарная интенсивность потоков между парами маршрутизаторов, которые использовали  $l$  линию связи и были насыщены до  $j$  итерации;  $\xi$  - число пар маршрутизаторов, использующих  $l$ -линию связи и еще ненасыщенных до  $j$  итерации;

2. Определить интенсивность внешних потоков  $\gamma_h$  для всех  $h=1, 2, \dots, N$  (где  $N$  – число ненасыщенных пар маршрутизаторов) как

$$\gamma_h = \min_{l \in l(h)} \gamma(l, j)$$

3. Определить, какие пары маршрутизаторов перешли в состояние насыщения после выполнения операции 2, т.е. пары, для которых

$$\gamma_q = \min x_q / B_l^q,$$

где  $q=1, \dots, Q$  - число тяготеющих пар маршрутизаторов в сети.

4. Сравнить значения интенсивностей потоков, полученных на  $j$ -итерации, со значениями, полученными на предыдущей,  $(j-1)$ -й итерации. т.е. проверить, все ли пары маршрутизаторов насыщены.

При этом:

а) если хотя бы одна пара маршрутизаторов ненасыщенна, то перейти к выполнению операции 1;

б) если все пары маршрутизаторов насыщены, то закончить работу.

В процессе работы описанного выше алгоритма каждая пара маршрутизаторов, насыщенная на  $j$ -й итерации, остается насыщенной и на

(j+1)-й итерации, поэтому после выполнения числа итераций  $U \leq Q$  будут насыщены все тяготеющие пары маршрутизаторов.

Каждая из рассмотренных задач имеет самостоятельное значение, а также может быть использована как один из этапов при решении задачи анализа пропускной способности сети, заключающейся в определении максимально возможных интенсивностей внешних потоков, насыщающих анализируемую сеть и обеспечивающих допустимые величины доставки сообщений при передаче от исходного до маршрутизатора назначения, определяемые временем обслуживания в маршрутизаторе и временем передачи по линиям связи. В этом случае алгоритм определения пропускной способности сети с фиксированной маршрутизацией будет включать следующие этапы расчета [41]:

I. Определение интенсивностей внешних потоков, насыщающих анализируемую сеть и обеспечивающих заданные средние значения задержек при передаче сообщений от исходного до маршрутизатора назначения при условии, что объем буферного накопителя в каждом маршрутизаторе неограничен, а среднее значение задержки определяется только временем передачи по линиям связи. На этом этапе анализа выполняются операции 1-4 алгоритма, используемого для решения второй задачи. После выполнения данного этапа получаем значения потоков, передаваемых между всеми тяготеющими парами маршрутизаторов в рассматриваемой сети.

II. Определение вероятностей блокировок маршрутизаторов и средних значений задержек, определяемых временем обслуживания в маршрутизаторе, возникающих при передаче потоков, полученных на I этапе анализа, при заданных ограничениях на объем буферных накопителей в  $N_i$  маршрутизаторах. Этот этап анализа выполняется в соответствии с алгоритмом, используемым при решении первой задачи.

III. Определение суммарного среднего значения задержки на каждом канале передачи сообщений -  $Z_r$  (для всех  $r=1, \dots, R$ , где  $R$  - число каналов передачи сообщений в сети), включающего средние времена обслуживания

сообщений в соответствующих маршрутизаторах и средние времена передачи по линиям связи, по которым проходит данный канал передачи сообщений.

IV. Сравнение полученных значений  $Z$  с допустимыми значением среднего времени доставки сообщений по сети -  $D_{\text{дон}}^{\Sigma}$ . Если  $Z_r \leq D_{\text{дон}}^{\Sigma}$  ( $r=1, \dots, R$ ), то закончить анализ сети; если хотя бы одно значение  $Z_r > D_{\text{дон}}^{\Sigma}$ , то возвратиться к I. этапу анализа, уменьшив соответствующие допустимые значения средней величины задержки при передаче по линиям связи -  $D_{\text{дон}}$ .

### 3.3. Моделирование спутниковой сети

Рис.3.2 Схема системы спутниковой связи

Рис 3.3. Модель распределения емкости спутникового ретранслятора

Таблица 3.1 Условия для и пространства состояний для системы спутниковой связи

## 4. Оптимизация компьютерной сети телемедицины

### 4.1. Постановка задачи

Рассмотрим сеть видеоконференций, в общем виде представленную на рис.4.1. Элементами физической структуры сети являются терминальные комплексы и абонентские каналы связи. Терминальные комплексы представляют собой некоторое количество терминалов, которые объединены в локальные сети. В свою очередь, локальные абонентские сети взаимодействуют между собой с помощью маршрутизаторов, объединенных магистральными каналами связи коммуникационной сети. Каждый терминальный комплекс подключается к одному маршрутизатору с помощью канала связи абонентской коммуникационной сети. В любой географической точке, в которой имеется терминальный комплекс, одновременно размещается и маршрутизатор.

Все терминальные комплексы, подключенные к одному маршрутизатору, образуют зону обслуживания этого маршрутизатора. Терминальные комплексы устанавливаются непосредственно в пунктах размещения пользователей сети, которые посылают запросы на информационное обслуживание и получают результаты обработки запросов. Частным случаем обработки запросов является транспортировка сообщений от одного абонента сети – источника к другому-получателю. Как и требуется при проведении видеоконференции, пакеты от каждого терминала передаются ко всем остальным терминалам.

Процессы передачи служебных сообщений здесь не рассматриваются.

Состав оборудования терминальных комплексов полагаем известным, равно как и их географическое местоположение. Маршрутизаторы могут размещаться только в тех пунктах, что и терминальные комплексы.

В коммуникационных сетях используются лишь некоммутируемые каналы связи, причем каждая пара маршрутизаторов, а также каждый терминальный комплекс с маршрутизатором своей зоны соединяются одним каналом по двухточечной схеме. Будем рассматривать случай, когда для передачи информации используются полудуплексные каналы связи. Однако не представляет большого труда обобщить описанные ниже постановки задач для дуплексных каналов.

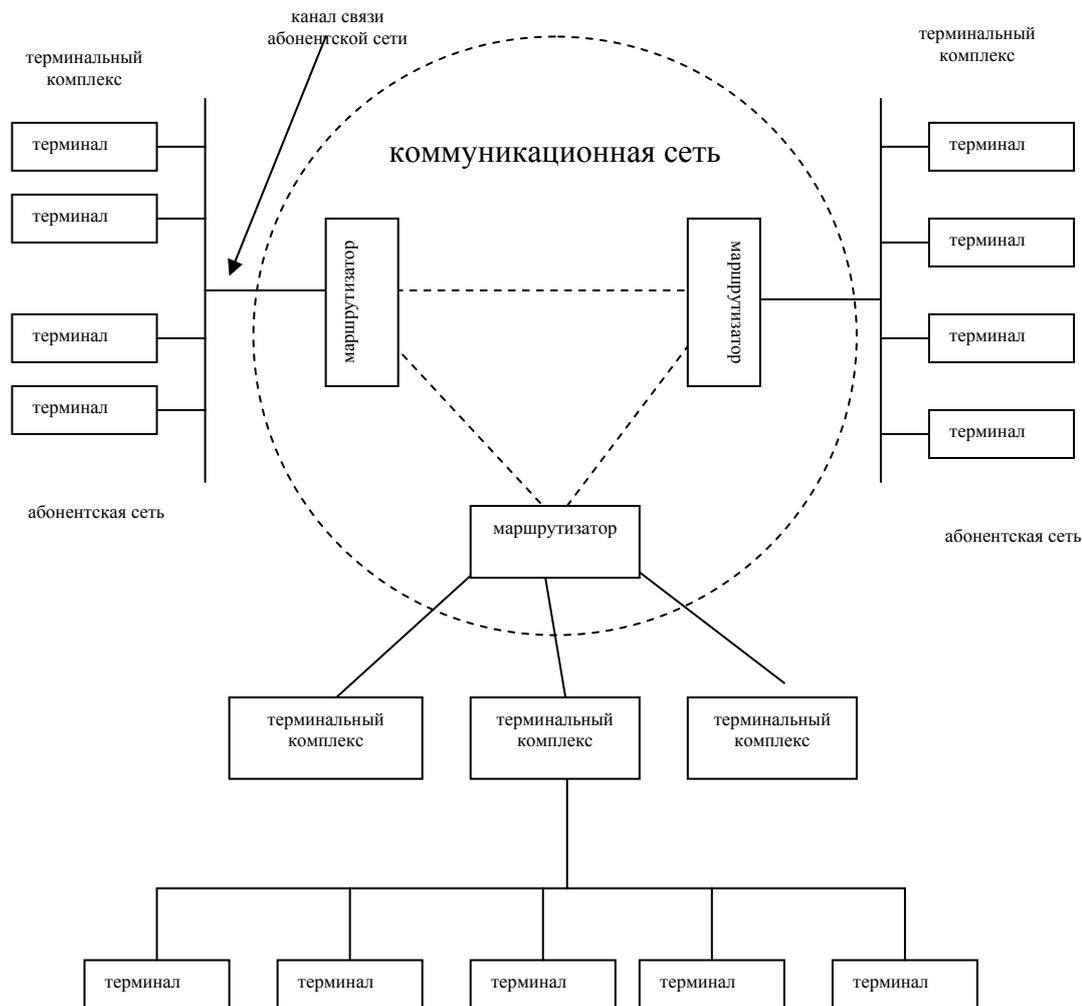


Рис 4.1. Структура сети видеоконференции в общем виде

Рассматривается сеть с коммутацией сообщений (пакетов), в которой принята фиксированная маршрутизация потоков сообщений. Сообщения направляются по кратчайшему пути между источником и получателем. В качестве меры длины любого участка пути используется географическое расстояние.

В состав одного терминального комплекса могут входить несколько терминалов.

Предполагается: а) номенклатура технических средств и каналов связи, которые могут быть использованы для построения сети, задана; б) все маршрутизаторы обладают определенной производительностью; в)

номенклатура используемых каналов связи обеспечивает максимально возможные требования к их пропускной способности; в) состав технических средств каждого терминального комплекса определен.

В соответствии с предположениями б) и в) имеются упорядоченные множества дискретных значений производительности маршрутизатора и пропускной способности каналов связи. При этом большему значению производительности соответствуют большие приведенные затраты на создание и эксплуатацию сети. Аналогично, для каналов связи одинаковой протяженности большему значению пропускной способности соответствуют большие привлеченные затраты на создание и эксплуатацию канала.

Для единообразия производительность маршрутизатора и пропускную способность каналов связи будем называть емкостью (быстродействием), а любой маршрутизатор или канал связи – элементом сети. В общем случае приведенные затраты на  $r$ -ый элемент сети описываются возрастающей ступенчатой функцией  $G_r = G_r(C_r)$ , где  $C_r$  - емкость  $r$ -ого элемента. Будем аппроксимировать функцию  $G_r(C_r)$  линейной функцией  $\hat{G}_r = d_{1r}C_r - d_{0r}$ , где  $C_r$  - емкость элемента,  $d_{0r}$  - постоянная составляющая приведенных затрат на  $r$ -ый элемент,  $d_{1r}$  - приведенные затраты на единицу емкости элемента. Значения  $d_{0r}$  и  $d_{1r}$  выбираются такими, что функция  $\hat{G}_r$  не превышает функцию  $G_r$  во всем диапазоне возможных значений  $C_r$ .

В каждом элементе сети используется дисциплина обслуживания FIFO.

Сделаем следующие допущения:

1. любой элемент сети (канал связи или маршрутизатор) описывается системой массового обслуживания типа M/M/1, на вход которой поступают заявки, распределенные по закону Пуассона. Время обслуживания в такой системе распределено по экспоненциальному закону, а длина очереди заявок на входе системы не ограничена;
2. длина сообщений, поступающих в канал связи из какого либо маршрутизатора не зависит от момента поступления в этот маршрутизатор других сообщений и является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону

(предположение о независимости потоков сообщений). В случае обычной передачи сообщений от одного абонента к другому (электронная почта) это означает, что каждый раз в транзитном маршрутизаторе случайным образом выбирается длина передаваемого сообщения для передачи в следующий исходящий канал связи.

Приведенные допущения широко применяются при исследовании вычислительных сетей, а их правомерность подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований, в особенности при не слишком больших значениях коэффициента загрузки каналов связи [42]. В некоторых существующих работах предлагается считать задержку сообщений (пакетов) в компьютере постоянной и даже пренебрегать этой величиной, так как она обычно значительно меньше задержки в канале связи [43].

На содержательном уровне задача оптимизации размещения маршрутизаторов формулируется следующим образом:

Исходя из заданных значений интенсивностей запросов пользователей к обслуживанию сетью с учетом описанных допущений и ограничений определить оптимальное по критерию минимума приведенных затрат структурные параметры сети: число и размещение маршрутизаторов в пунктах сети; перечень терминальных комплексов, подсоединенных к каждому маршрутизатору, емкость маршрутизаторов и каналов связи. При этом должно выполняться заданное ограничение на предельно допустимое значение среднего времени задержки сообщения (пакета).

#### 4.2. Математическая модель

Для формализованного описания задачи размещения маршрутизаторов дополнительно потребуются следующие обозначения:  $A = \{i : i = 1, \dots, N\}$  - множество пунктов размещения терминальных комплексов;  $Y = \{k : k \in A\}$  - неизвестное множество пунктов размещения маршрутизаторов;  $A_k$  - неизвестное подмножество пунктов размещения терминальных комплексов, которые подключены абонентскими каналами связи к маршрутизатору в  $k$ -м пункте ( $A_k \subseteq A$ );  $\lambda_i^{(1)}$  - интенсивность первичных запросов из  $i$ -го терминального

комплекса;  $\lambda_i^{(2)}$  - интенсивность ответов в  $i$ -ый терминальный комплекс;  $\lambda_i = \lambda_i^{(1)} + \lambda_i^{(2)}$ ;  $\lambda_{ij}^{(1)}$  - интенсивность вторичных запросов  $i$ -го терминального комплекса к файлам  $j$ -го терминального комплекса ( $i \neq j, j \in A$ );  $\lambda_{ij}^{(2)}$  - интенсивность ответов на вторичные запросы  $i$ -го терминального комплекса к файлам  $j$ -го терминального комплекса;  $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}^{(1)} + \lambda_{ij}^{(2)}$ ;  $\mu_{1i}^{-1}$  - средняя длина первичного запроса  $i$ -го терминального комплекса;  $\mu_{2i}^{-1}$  - средняя длина вторичного запроса  $i$ -го терминального комплекса к файлам  $j$ -го терминального комплекса;  $\mu_{2ij}^{-1}$  - средняя длина ответа на вторичные запросы  $i$ -го терминального комплекса к файлам  $j$ -го терминального комплекса;  $t^*$  - предельно допустимое время задержки сообщений в сети;  $L_{ij}$  - расстояние между пунктами сети ( $i, j \in A$ );  $\{0, C_1^{(1)}, C_1^{(2)}, \dots, C_1^{(s)}, \dots, C_1^{(S_1)}\}$  - упорядоченное множество дискретных значений емкостей абонентских каналов связи такое, что  $0 < C_1^{(s-1)} < C_1^{(s)}$  для  $s=2, \dots, S_1$ ;  $\{0, C_2^{(1)}, C_2^{(2)}, \dots, C_2^{(s)}, \dots, C_2^{(S_2)}\}$  - упорядоченное множество дискретных значений емкостей маршрутизаторов, такое что  $0 < C_2^{(s-1)} < C_2^{(s)}$  для  $s=2, \dots, S_2$ ;  $\{0, C_3^{(1)}, C_3^{(2)}, \dots, C_3^{(s)}, \dots, C_3^{(S_3)}\}$  - упорядоченное множество дискретных значений емкостей магистральных каналов связи такое, что  $0 < C_3^{(s-1)} < C_3^{(s)}$  для  $s=2, \dots, S_3$ ;  $\mu_r^{-1}$  - средняя длина запросов и ответов, поступающих в  $r$ -й элемент сети,  $r=1, \dots, R$ ;  $\Lambda_r$  - суммарная интенсивность запросов и ответов в  $r$ -й элемент сети;  $C_r$  - неизвестная емкость  $r$ -го элемента сети.

При использовании в сети полудуплексных каналов связи значение  $R$  определяется соотношением  $R=N+|Y|+1/2|Y|(|Y|-1)$ , в котором множество  $Y$  полагается известным. В общем случае  $Y \subseteq N$ , поэтому справедливо соотношение  $R \leq 2N + \frac{1}{2}N(N-1)$ .

В зависимости от типа  $r$ -го элемента величина  $\mu_r^{-1}$  трактуется как среднее количество операций для обработки запроса или ответа в маршрутизаторе или как среднее количество знаков или бат в запросах и ответах, передаваемым по каналам связи.

Среднее время задержки сообщений в  $r$ -м элементе, который описывается моделью системы массового обслуживания типа  $M/M/1$ , определяется соотношением

$$T_r = (M_r C_r - \Lambda_r)^{-1}$$

при  $(M_r C_r - \Lambda_r) > 0$ , а среднее время реакции сети на запрос – соотношением

$$T = \gamma^{-1} \sum_{r=1}^R T_r$$

где  $\gamma$  – суммарная интенсивность (трафик) первичных запросов, поступающих в сеть.

$$\gamma = \sum_{i=1}^{i=N} \lambda_i^{(1)}$$

Индекс  $r$  принимает значения согласно соотношениям:

$$r \in \begin{cases} \{ik\} & \text{для абонентских каналов связи между терминальными} \\ & \text{комплексами в пунктах } i \in A \text{ и маршрутизаторах в пунктах } k \in A \\ \{k\} & \text{для маршрутизаторов в пунктах } k \in A \\ \{kl\} & \text{для магистральных каналов связи между маршрутизаторами в} \\ & \text{пунктах } k, l \in A. \end{cases}$$

Очевидно, что в любом пункте  $k \in A$  размещается маршрутизатор, если к этому пункту прикрепляется хотя бы один терминальный комплекс, причем это может быть единственный терминальный комплекс, установленный в том же самом пункте.

Введем переменные:

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ый терминальный комплекс подключен} \\ & \text{абонентским каналом связи к } j\text{-му маршрутизатору} \\ 0, & \text{если иначе.} \end{cases}$$

Используя введенные обозначения при фиксированных значениях переменных  $X_{ik}$  легко рассчитать:  $\Lambda_k$  – суммарную интенсивность сообщений, поступающих в  $k$ - маршрутизатор;  $\sigma_k^{-1}$  – среднюю длину сообщений, поступающих в  $k$ - маршрутизатор;  $\Lambda_{kl}$  – суммарную интенсивность сообщений, поступающих в магистральный канал связи между маршрутизаторами в  $k$ -ом и

l-ом пунктах  $((k \neq l, k \in A, l \in A)), \pi_{kl}^{-1}$  - среднюю длину сообщений, поступающих в канал связи между k-ым и l-ым маршрутизаторами.

Запишем соотношения для расчета указанных величин:

$$\Lambda_k = \Lambda_k^{(1)} + \Lambda_k^{(2)} + \Lambda_k^{(3)}$$

где  $\Lambda_k^{(1)} = \sum_{i=1}^{i=N} \lambda_i^{(1)} X_{ik}$  - суммарная интенсивность первичных запросов абонентов k-го маршрутизатора;

$$\Lambda_k^{(2)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(2)} X_{ik} (1 - X_{jk})$$

- суммарная интенсивность ответов на вторичные запросы, поступающие в k-ый маршрутизатор из других маршрутизаторов;

$$\Lambda_k^{(3)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(1)} X_{iR} (1 - X_{jR})$$

- суммарная интенсивность вторичных запросов в k-ый маршрутизатор, поступающих из других маршрутизаторов.

Интенсивность потока сообщений в канал связи между k-м и l-м маршрутизаторами ( $k \neq l$ ) определяется соотношением

$$\Lambda_{kl} = \Lambda_{kl}^{(1)} + \Lambda_{kl}^{(2)} + \Lambda_{kl}^{(3)} + \Lambda_{kl}^{(4)},$$

где  $\Lambda_{kl}^{(s)}, S = 1, \dots, 4$  - соответственно суммарные интенсивности потока запросов из k-го маршрутизатора в l-й, ответов из l-го маршрутизатора на запросы k-го, запросов l-го маршрутизаторов в k-й и ответов последнего на запросы.

Аналитические выражения для  $\Lambda_{kl}^{(s)}$  имеют следующий вид:

$$\Lambda_{kl}^{(1)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{i=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(1)} X_{ik} X_{jl}, k, l \in A, k \neq l;$$

$$\Lambda_{kl}^{(2)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{i=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(2)} X_{ik} X_{jl}, k, l \in A, k \neq l;$$

$$\Lambda_{kl}^{(3)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(1)} X_{ij} X_{kj}, k, l \in A, k \neq l;$$

$$\Lambda_{kl}^{(4)} = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \lambda_{ij}^{(2)} X_{ij} X_{kj}, k, l \in A, k \neq l;$$

Запишем выражения для средней длины сообщений, поступающих соответственно в абонентский канал связи между l-м терминальным комплексом и маршрутизатором, в k-й маршрутизатор и в магистральный канал связи между k- и l-м маршрутизаторами:

$$\mu_i^{-1} = \lambda_i^{-1} (\lambda_i^{(1)} \mu_{1i}^{-1} + \lambda_i^{(2)} \mu_{2i}^{-1});$$

$$\sigma_k^{-1} = \Lambda_k^{-1} \left( \sum_{i=1}^{i=N} \mu_{1i}^{-1} \lambda_i^{(1)} X_{ik} + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \mu_{2ij}^{-1} X_{ik} (1 - X_{jk}) + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \mu_{1ij}^{-1} X_{ik} (1 - X_{jk}) \right);$$

$$\pi_{kl}^{-1} = \Lambda_{kl}^{-1} \left( \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \mu_{1ij}^{-1} \lambda_{ij}^{(1)} X_{ik} X_{jl} + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \mu_{2ij}^{-1} \lambda_{ij}^{(2)} X_{ik} X_{jl} + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1}^{j=N} \mu_{1ij}^{-1} \lambda_{ij}^{(1)} X_{il} X_{kj} + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j=1, j \neq i}^{j=N} \mu_{2ij}^{-1} \lambda_{ij}^{(2)} X_{il} X_{kl} \right), k, l \in A, k \neq l.$$

Математическая формулировка задачи оптимального размещения маршрутизаторов записывается следующим образом:

- 1) каждый терминальный комплекс подключается абонентским каналом связи только к одному маршрутизатору:

$$\sum_{i=1}^{i=N} X_{ik} = 1, k = 1, \dots, N;$$

- 2) загрузка элементов сети не должна превышать предельно допустимую

$$M_r C_r - \Lambda_r > 0, r \in \{r\};$$

- 3) среднее время задержки сообщений в сети не должно превышать предельно допустимое значение

$$T \leq t^*;$$

- 4) емкости элементов сети могут принимать только дискретные неотрицательные значения из заданных множеств:

$$C_{ik} \in \{C_1^{(S)}\}, i \in A; k \in Y \subseteq A,$$

$$C_k \in \{C_2^{(S)}\}, k \in Y \subseteq A,$$

$$C_{kl} \in \{C_3^{(S)}\}, k, l \in Y \subseteq A;$$

- 5) переменные  $X_{ik}$  могут принимать только значения 0 или 1,  $i, k \subseteq A$ .

Суммарные приведенные затраты на создание и эксплуатацию сети должны быть минимальными:

$$G = \min \left\{ \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{k=1}^{k=N} G_{ik}(C_{ik}) + \sum_{k=1}^{k=N} G_k(C_k) + \sum_{k=1}^{k=N} \sum_{i=1}^{i=N} G_{kl}(C_{kl}) \right\}$$

Первое слагаемое учитывает затраты на абонентские каналы связи, второе – затраты на маршрутизаторы, третье – затраты на магистральные каналы связи. Функция  $G_{ik}(C_{ik}) = G^{(1)}(C_{ik}, L_{ik})$  приведенных затрат на канал связи имеет ступенчатый характер и зависит от двух аргументов: емкости  $G_{ik}$  и длины канала  $L_{ik}$ .

Качественный характер функции  $G(C, L)$  для двух значений  $C$  показан на рис.4.2. Форма функции  $G^{(1)}(C, L)$  при фиксированном  $C$  определяется существующими тарифами на аренду каналов связи.

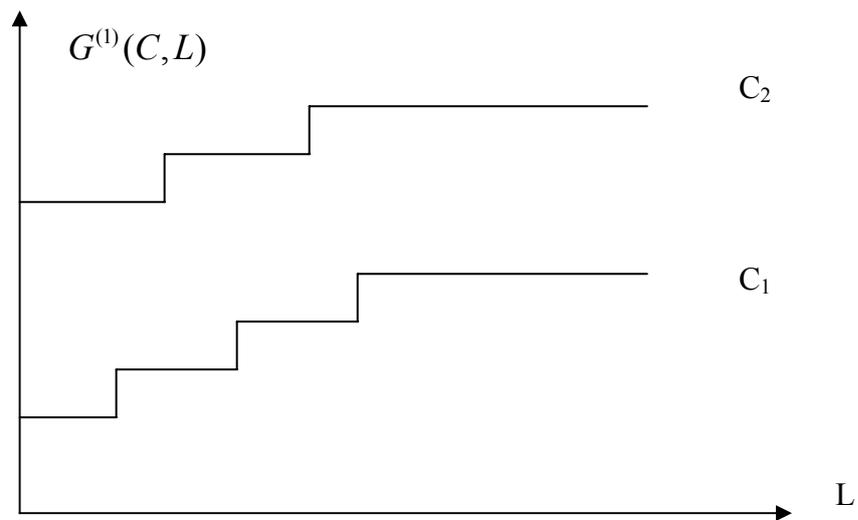


Рис.4.2.Зависимость приведенных затрат на канал связи от расстояния L и C емкости

Функция  $G_k(C_k)$  также имеет ступенчатый характер. рассчитывается она следующим образом. Весь диапазон возможных значений  $\Lambda_k$  разбивается на ряд одинаковых интервалов. В одном интервале значение  $\Lambda_k$  принимается постоянным. Для каждого интервала с учетом характера решаемых в сети задач определяются состав, объемы и вероятности обращения к прикладным программам и файлам, после чего рассчитывается комплектация и приведенные затраты на маршрутизатор.

Если для нескольких смежных интервалов рассматриваемого диапазона значений  $\Lambda_k$  стоимости маршрутизатора оказываются равными, то в множество  $\{C_2^{(S)}\}$  включается наибольшее значение  $C_2^{(S)}$ . В результате проведения описанных расчетов определяется множество значений  $\{C_2^{(S)}\}$  соответствующие значения  $G_k(C_2^{(S)})$ .

Среднее время задержки сообщений в сети определяется соотношением

$$T = \gamma^{-1}(T_1 + T_2 + T_3),$$

где  $T_1$  - суммарная задержка сообщений в абонентских каналах связи;  
 $T_2$  - суммарная задержка сообщений в маршрутизаторах;  $T_3$  - суммарная  
задержка сообщений в магистральных каналах связи;  $\gamma$  - суммарная  
интенсивность первичных запросов, поступающих в сеть.

Приведем выражения для  $T_\nu, \nu = 1, \dots, 3$ :

$$T_1 = \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{R=1}^{R=N} (\mu_i C_{iR} X_{iR} - \lambda_i)^{-1},$$

$$T_2 = \sum_{R=1}^{R=N} (\sigma_R C_R - \Lambda_R)^{-1},$$

$$T_3 = \sum_{R=1}^{R=N} \sum_{l=1}^{l=N} (\pi_{Rl} C_{Rl} - \Lambda_{Rl})^{-1}.$$

### 4.3. Распределение емкостей

Для заданного размещения маршрутизаторов и разбиения терминальных комплексов на зоны можно получить оценку оптимальных дискретных значений емкостей элементов сети  $C_r$ . На основании оценки емкостей  $r$ -го элемента легко получить оценку приведенных затрат на этот элемент.

Множество значений оценок емкостей элементов вычисляется в предположении о том, что значения емкостей могут выражаться любыми действительными неотрицательными числами, а также о линейной зависимости оценки приведенных затрат на элемент сети от его емкости согласно соотношению  $\hat{G}_r = d_{1r}C_r - d_{0r}$ .

Для заданной структуры сети задача определения оптимальных значений оценок  $C_r$  формулируется в виде:

$$T \leq t^*, C_r \geq 0, G = \min \sum_{r=1}^{r=R} (d_{0r} + d_{1r} C_r)$$

Решение этой задачи методом множителей Лагранжа позволяет получить выражение для оптимального значения  $C_r = C_{r\text{opt}}$ :

$$C_{r\text{opt}} = \lambda_r \mu_r^{-1} + (\gamma t^* d_{1r})^{-1} \sqrt{\lambda_r d_{1r} \mu_r^{-1} \sum_{r=1}^{r=R} \sqrt{\lambda_r d_{1r} \mu_r^{-1}}}$$

Если  $C_{r\text{opt}} > 0$  и не совпадает с одним из допустимых дискретных значений для  $r$ -го элемента сети, то емкость этого элемента принимается равной ближайшему большему дискретному значению. Если не существует ближайшего большего дискретного значения, то рассматриваемая структура сети исключается из множества допустимых решений.

### 4.4. Метод решения

Сформулированная задача оптимального размещения маршрутизаторов представляет собой нелинейную задачу дискретного математического программирования большой размерности. На практике количество пунктов сети может достигать  $10^2$ - $10^4$ . Для решения задач приведенного типа нет

эффективных алгоритмов поиска глобального экстремума. В связи с этим для поиска приближенного значения предлагаем алгоритм локальной оптимизации. Алгоритм производит направленный перебор вариантов структуры сети. Для каждого варианта определяются оптимальные оценки емкостей элементов сети, значения которых обеспечивают выполнение ограничений на среднее время задержки первичного запроса при минимальном значении оценки приведенных затрат на сеть в целом [44]. Емкости элементов сети принимаются равными соответствующим ближайшим большим дискретным значениям (по отношению к оценке). Из всех рассмотренных структур в качестве субоптимальной выбирается структура, удовлетворяющая заданным ограничениям и доставляющая минимум оптимизируемому функционалу  $G$ .

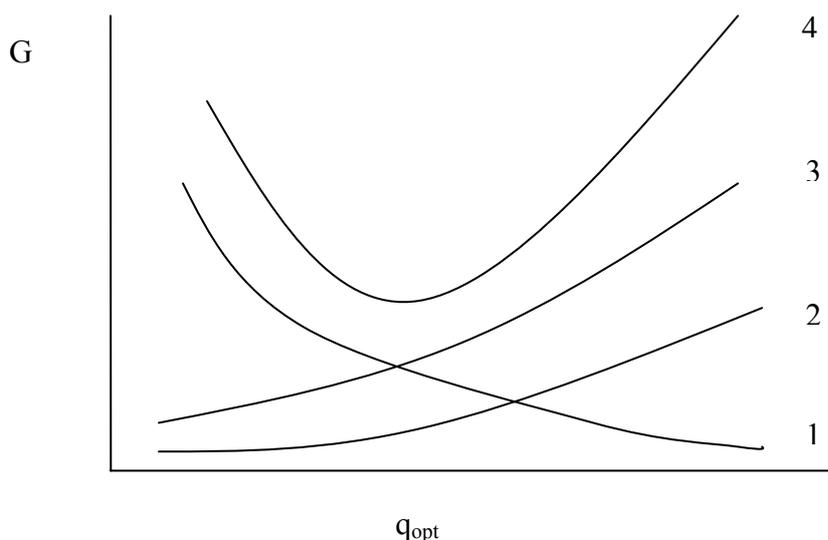
Допустим, что имеется метод оптимального размещения заданного количества  $q$  маршрутизаторов,  $q=1, \dots, q_{\max}$ . В результате решения задачи определяется  $q$  зон, на которые разбивается множество терминальных комплексов, а также приведенные затраты на каналы связи и маршрутизаторы. Характер зависимостей приведенных затрат на различные составляющие сети и суммарных затрат от числа маршрутизаторов иллюстрируется на рис.4.3.

Как показывают исследования, зависимость суммарных затрат на сеть имеет один экстремум (минимум) во всем диапазоне значений  $q$ .

В процессе работы алгоритма количество маршрутизаторов изменяется от минимального (например, равного единице) до заданного максимального значения  $q_{\max}$  или до  $q_{\text{опт}} + 1$ . Для каждого значения  $q = q_{\min}, \dots, q_{\max}$  ищется локально оптимальное размещение маршрутизаторов, запоминаются структура сети и приведенные затраты на сеть.

Начальное размещение  $q$  маршрутизаторов производится в некотором заданном из эвристических соображений подмножестве пунктов  $Y_0 \subseteq A$ , терминальные комплексы присоединяются к ближайшим по расстоянию маршрутизаторам. Далее поочередно выбирается наилучшее местоположение каждого маршрутизатора в пределах своей зоны. Для оценки получаемых при таком переборе структур с использованием метода множителей Лагранжа решается задача определения оптимальных непрерывных значений емкостей  $C_r$  для всех элементов сети (расчет оценок). Затем каждое значение  $C_r$  заменяется ближайшим большим дискретным значением. При фиксированном количестве

маршрутизаторов решение задачи заканчивается, когда изменение дислокации всех маршрутизаторов не приводит к улучшению оптимизируемого функционала. Оптимальная структура сети соответствует минимальному значению функционала среди значений, полученных при различном количестве маршрутизаторов.



1- затраты на абонентские каналы связи; 2 – затраты на маршрутизаторы; 3- затраты на магистральные каналы связи; 4 – суммарные затраты

Рис. 4.3. Зависимости приведенных затрат  $G$  на сеть от количества маршрутизаторов  $q$

Укрупненная схема алгоритма выбора субоптимального размещения маршрутизаторов показана на рис.4.4, схема алгоритма зонирования терминальных комплексов и размещения  $q$  маршрутизаторов - на рис.4.5, схема алгоритма выбора размещения маршрутизаторов в  $q$  фиксированных зонах – на рис.4.6. Выбор наилучшего размещения маршрутизатора в своей зоне осуществляется с учетом затрат на обмен информацией с терминальными комплексами своей зоны по абонентским каналам связи и затрат на обмен информацией с маршрутизаторами других зон по магистральным каналам связи

(при фиксированном расположении ВК в других зонах и фиксированном закреплении терминальных комплексов всех зон).

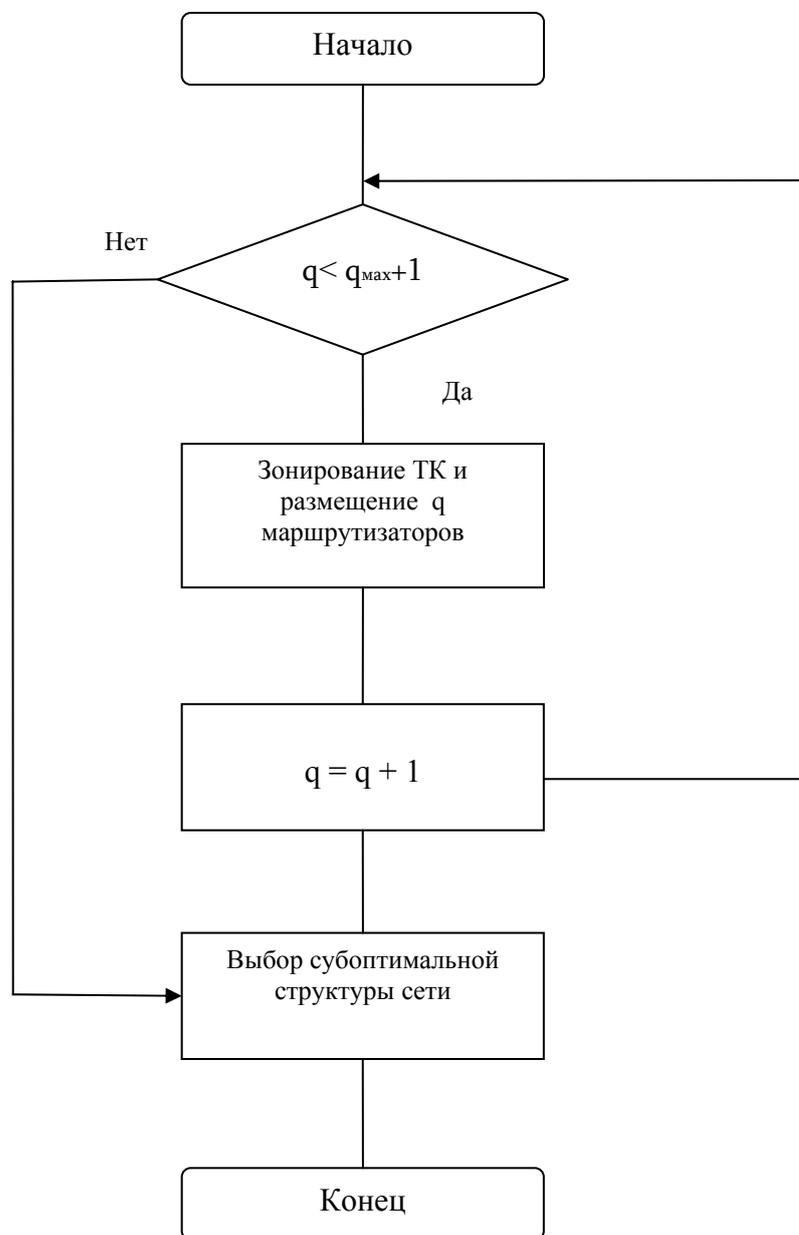


Рис. 4.4. Схема алгоритма размещения маршрутизатора

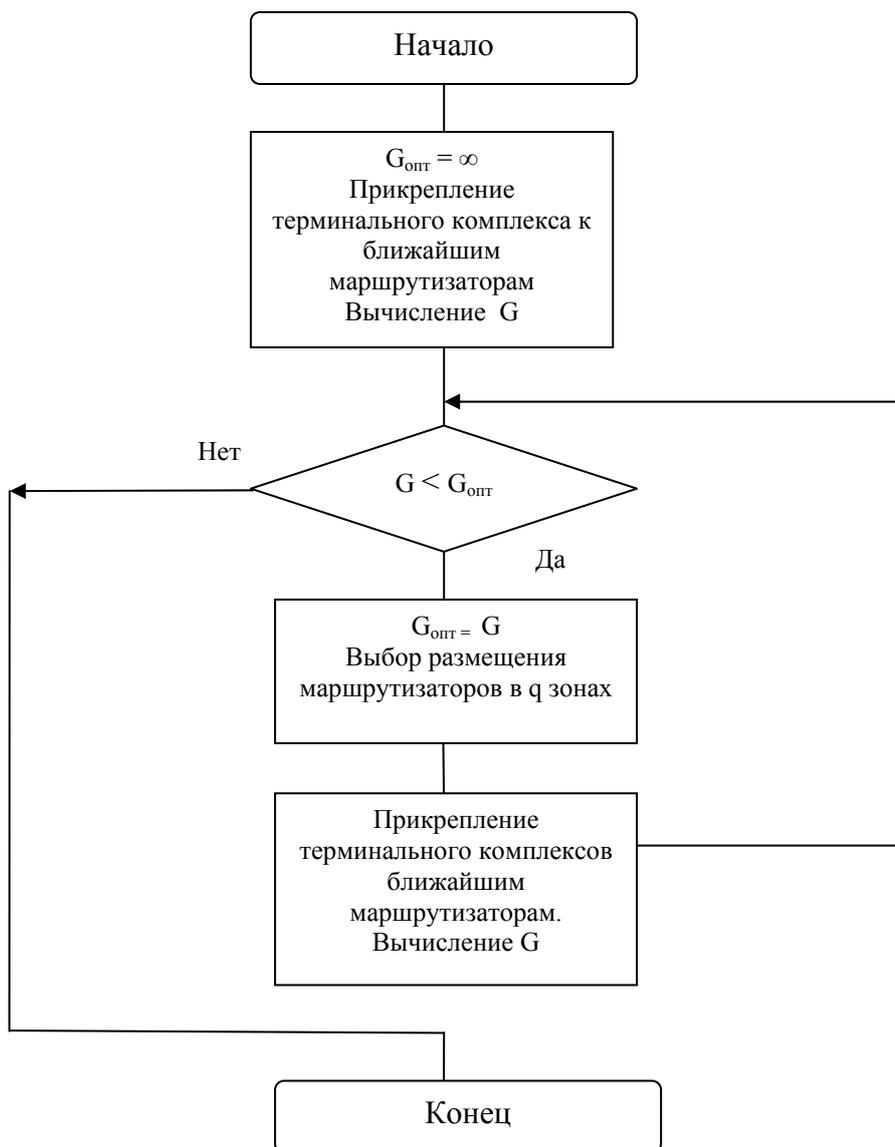


Рис. 4.5. Схема алгоритма зонирования абонентов и размещения маршрутизаторов

$G$  – текущее значение функционала;  $G_{\text{опт}}$  – оптимальное значение функционала

Наилучший пункт для размещения маршрутизатора в пределах своей зоны выбирается путем полного перебора. Перебор может быть сокращен двумя способами. Во-первых, размещение маршрутизатора разрешают только в

некотором собственном подмножестве  $A^*$  множества  $A(A^* \subset A)$ . Количество элементов подмножества  $A^*$  обычно существенно меньше по сравнению с множеством  $A$ . Во-вторых, до решения задачи из эвристических соображений для каждого возможного пункта размещения маршрутизатора  $y \in A$  задают некоторую «окрестность»  $B_y \subset A$  пунктов, в которые разрешается перемещать маршрутизатор в процессе локальной оптимизации. Обычно количество пунктов в такой «окрестности» выбирается равным 4-5. Поиск наилучшего пункта для размещения маршрутизатора, находящегося в пункте  $y$ , осуществляется среди пунктов подмножества

$$B_y \cap X_y \setminus y$$

где  $X_y$  – множество абонентов зоны рассматриваемого маршрутизатора.

Алгоритм выбора размещения маршрутизатора в фиксированных зонах поочередно предпринимает попытки улучшить местоположение каждого маршрутизатора в своей зоне. При этом новое размещение маршрутизатора выбирается таким образом, чтобы были минимальными суммарные приведенные затраты на передачу сообщений между маршрутизатором и абонентами своей зоны, а также между рассматриваемыми маршрутизаторами и остальными маршрутизаторами.

После маршрутизатора  $q$ -й зоны процесс повторяется с маршрутизатора первой зоны. Если, начиная с любого маршрутизатора,  $q$  раз не удалось улучшить значение оптимизируемого функционала, то процесс выбора размещения  $q$  маршрутизаторов в фиксированных зонах прекращается, так как достигнут локальный экстремум. При этом может оказаться, что некоторые терминальные комплексы прикреплены не к ближайшему маршрутизатору. Дальнейшее улучшение функционала может быть достигнуто путем прикрепления всех терминальных комплексов к ближайшим по расстоянию маршрутизаторам (рис.4.5.). Если после изменения прикрепления терминальных комплексов функционал улучшился, то имеет смысл повторно выполнить алгоритм выбора размещения маршрутизаторов в  $q$  фиксированных зонах (рис.4.6). Процесс вычислений заканчивается, когда изменением указанным

способом прикрепления терминальных комплексов к маршрутизаторам не удастся улучшить оптимизируемый функционал. На этом поиск локального экстремума для  $q$  маршрутизаторов заканчивается, значение  $q$  увеличивается на единицу, и расчеты повторяются.

Важным моментом в работе алгоритма является выбор пунктов начального размещения  $q$  маршрутизаторов ( $1 < q < N$ ). Перед началом работы алгоритма  $q$  маршрутизаторов целесообразно разместить по возможности «равномерно» на всей территории, где имеются терминальные комплексы в пунктах, характеризующихся относительно большими значениями интенсивностей первичных запросов.

Для выбора начального размещения  $q$  маршрутизаторов можно использовать подмножество пунктов субоптимального размещения  $q-1$  маршрутизаторов, полученного на предыдущей итерации алгоритма, к которому добавляется новый маршрутизатор одним из следующих способов: а) в произвольном пункте; б) в пункте с наибольшей интенсивностью первичных запросов; в) в наилучшем пункте, который определяется полным перебором.

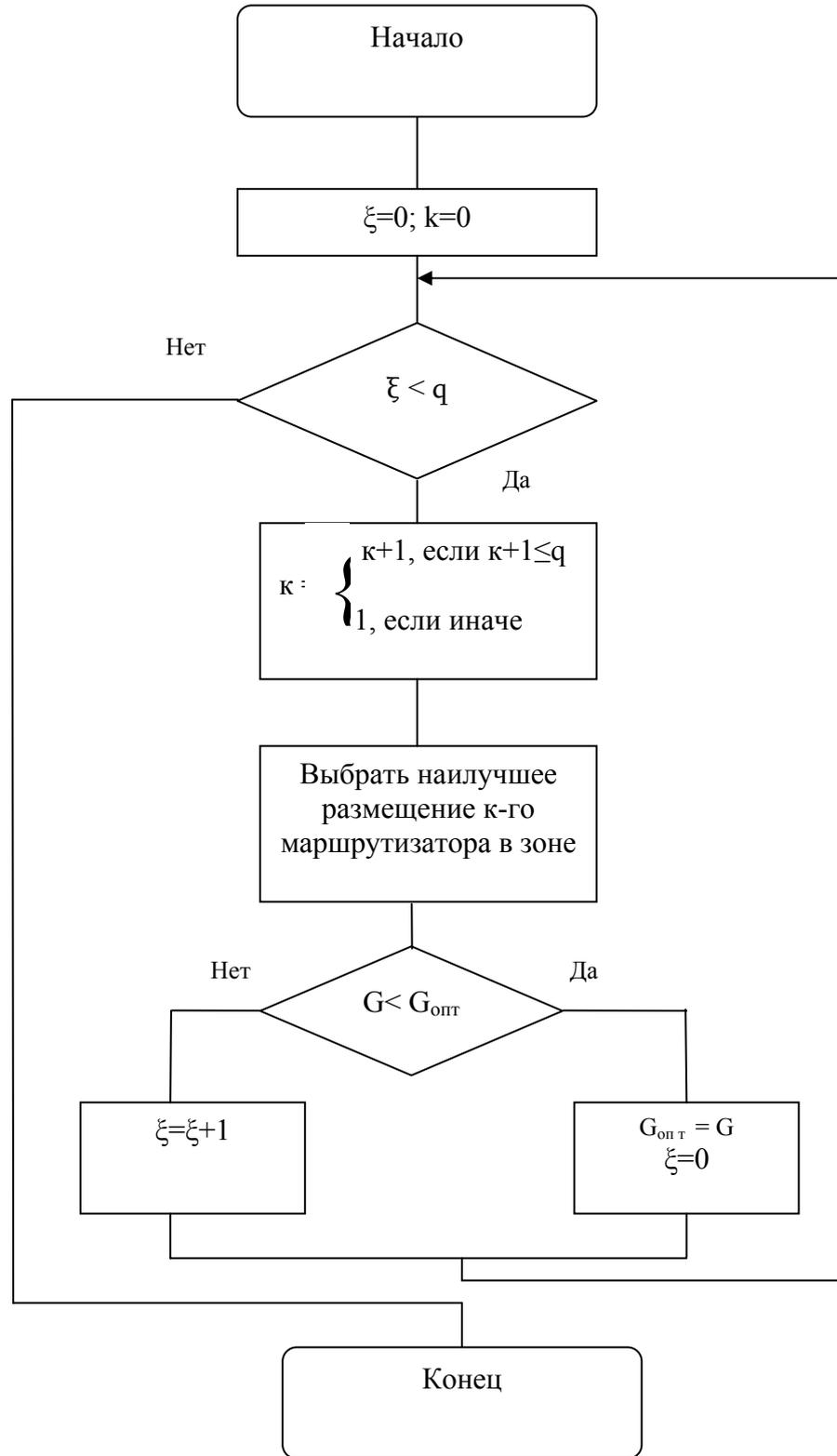


Рис. 4.6. Схема алгоритма выбора размещения  $q$  маршрутизаторов в фиксированных зонах

$\xi$  - индикатор;  $k$  - текущий номер маршрутизатора;  $G$  - текущее значение функционала;  
 $G_{\text{опт}}$  - оптимальное значение функционала

## 5. Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Проанализировано использование компьютерных сетей в телемедицине, выявлены проблематичные стороны.
2. Исследованы проблемы объединения компьютерных сетей в одну.
3. Проанализированы методы оценки эффективности функционирования компьютерных сетей. В результате анализа предложен общий показатель, который учитывает не только нагрузку компьютерной сети и аппаратные средства, используемые в ней, но и информационные процессы, протекающие в сети, и внешние воздействия на сеть.
4. Приведены факторы, влияющие на качество функционирования, а также рекомендации по созданию высокоэффективных сетей телемедицины.
5. Предложена последовательность вопросов, которые необходимо решить при создании сети телемедицины.
6. Разработана структура компьютерной сети телемедицины для стоматологии.
7. Разработана структура сети для видеоконференции телемедицины.
8. Поставлена задача оценки пропускной способности сети телемедицины, которая заключается в следующем: определить максимально возможные интенсивности потоков, поступающих на маршрутизаторы и обеспечивающих заданные значения среднего времени доставки пакетов. При этом считается известными: топология сети, параметры сетевой аппаратуры (маршрутизаторов и каналов связи), схемы распределения потоков информации в сети, допустимые средние значения времени доставки сообщений по сети.
9. Для решения задачи оценки пропускной способности сети поставлены две задачи:
  - а) определить вероятность блокировок и среднее время задержки в маршрутизаторе, если известны значения потоков каждого маршрутизатора,

- б) определить максимально возможные значения потока, при обслуживании которых в рассматриваемой сети обеспечивается требуемое допустимое среднее время доставки пакетов.
10. Разработаны модели массового обслуживания, которые дают возможность оценить пропускную способность сети телемедицины.
  11. Поставлена задача оптимизации структуры сети, которая заключается в следующем:  
Исходя из заданных значений интенсивностей запросов пользователей к обслуживанию сетью с учетом описанных допущений и ограничений определить оптимальное по критерию минимума приведенных затрат структурные параметры сети: число и размещение маршрутизаторов в пунктах сети; перечень терминальных комплексов, подсоединенных к каждому маршрутизатору, емкость маршрутизаторов и каналов связи. При этом должно выполняться заданное ограничение на предельно допустимое значение среднего времени задержки сообщения (пакета).
  12. Разработаны алгоритмы для решения поставленной задачи оптимизации сети телемедицины
  13. Определены основные зависимости стоимости сети от показателей каналов и маршрутизаторов.

## Используемая литература

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. Санкт-Петербург, "Питер". 2002
2. Хорошевский В.Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем. Москва, "Радио и Связь", 1987
3. Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. Москва, "Радио", 1969
4. Планирование сети и выбор сервера. Очерк от card-xp. 2005. <http://card-xp.io.com.ua/story.php?ids=561>
5. Дмитриев Ю.К., Хорошевский В.Г. Вычислительные системы из мини ЭВМ. Москва, "Радио и Связь", 1982
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Санкт-Петербург, "Питер", 2002
7. Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks. Third Edition. Vrije University. Amsterdam. The Netherlands. Prentice-Hall International Inc. 2000
8. Модели информационных и коммутационных систем. Под редакцией Харкевича А.Д. и Гармаша В.А. Москва, "Мир", 1982
9. Селезнев М.Л. Информационно-вычислительные системы и их производительность. Москва, "Радио и Связь", 1986
10. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем. Москва, "Мир", 1981
11. Морозов В.К., Долганов А.В. Основы теории информационных сетей. Москва, Высшая школа, 1987
12. W. Stallings. Computer Architecture and Organization. Prentice Hall. 2000
13. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. Санкт-Петербург, "Питер", 2002
14. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Сетевые операционные системы. Санкт-Петербург, "Питер", 2002
15. Методы управления трафиком. 2002. [www.5ballov.ru](http://www.5ballov.ru). 21412
16. Там Б.Г., Пуусеп М.Э., Таваст Р.Г. Анализ и моделирование производственных систем. Москва, "Финансы и Статистика", 1987
17. Мультимедиа. [www.5ballov.ru](http://www.5ballov.ru), 15320. 2001.
18. Таненбаум Э. Современные операционные системы. Санкт-Петербург, "Питер", 2002

19. Хетагуров Я.А., Древис Ю.Г. Проектирование информационно-вычислительных комплексов. Москва, "Высшая школа", 1987
20. Камкамидзе К., Мануков М., Тевдорадзе М., Салдадзе М., Саникидзе Р. Разработка архитектуры компьютерной сети стоматологической службы Грузии. სტუ, "მართვის ავტომატიზებული სისტემები", შრომები, № 2(3), 2007
21. Камкамидзе К., Мануков М., Тевдорадзе М., Салдадзе М. Оценка эффективности сетей видеоконференции. Грузинский Технический Университет. Юбилейная международная конференция «Информационные Технологии». 2008
22. Видеоконференция в Internet. www.5ballov.ru. 21364. 2002
23. Камкамидзе К., Мануков М., Тевдорадзе М., Салдадзе М. Основные проблемы применения компьютерных сетей в стоматологической телемедицине. პერიოდული სამეცნიერო ჟურნალი "ინტელექტი", №1 (30), 2008
24. Вещательные применения современных технологий передачи аудиоинформации через интернет. www.5ballov.ru. 21312.2005
25. Камкамидзе К., Мануков М., Тевдорадзе М., Салдадзе М. К вопросу проектирования компьютерной сети телемедицины. სტუ, "მართვის ავტომატიზებული სისტემები", შრომები, № 1(4), 2008
26. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей. Санкт-Петербург, «Питер», 2002
27. Мартынов Ю.М., Крюков А.М., Разгон В.П. Математическое обеспечение сетей передачи данных. Москва, "Радио и Связь", 1986
28. Овчинников В.В., Рыбкин Н.Н. Техническая база интерфейсов локальных вычислительных систем. Москва, "Радио и Связь", 1989
29. Рудометов Евгений, Рудометов Виктор.Серверные чипсет. Экспресс-электроника, № 22, 2003, <http://citforum.ru>
30. Костин А.Е., Шаньгин В.Ф. Организация и обработка структур данных в вычислительных системах. Москва, Высшая школа, 1987
31. Алексеев М.Б., Балан С.Н. Технология использования систем мультимедиа. Санкт-Петербург, "Бизнес-пресса", 2002

32. Киндсфатер О.Я., Минина Е.А. Мультимедиа.  
<http://internet.referat.ws/load.php?id=010031>, 1995
33. Структура и функционирование локальной вычислительной сети.  
[www.5ballov.ru](http://www.5ballov.ru) . 22024. 2002
34. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания.  
Теория и применение к сетям ЭВМ. Москва, "Радио и связь", 1988
35. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва, "Наука", 1968
36. Арипов М.Н, Захаров Г.П., Малиновский С.Т., Яновский Г.Г. Под.ред.  
Захарова Г.П. Проектирование и техническая эксплуатация сетей  
передачи дискретных сообщений. Москва, "Радио и Связь", 1988
37. Крайников А.В., Курдников Б.А., Лебедев А.Н., Недосекин, Д.Д.  
Подобед, М.В., Полинская Т.И., Чернявский Е.А. Вероятностные методы  
в вычислительной технике. Москва, "Высшая школа", 1986
38. Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В., Калашников В.В.,  
Немчишев Б.В., Ривес Н.Я., Фомин Б.Ф., Франк М., Явер А. Технология  
системного моделирования. Москва, "Машиностроение", 1988
39. Яшков С.Ф. Анализ очередей в ЭВМ. Москва, "Радио и Связь", 1989
40. Волковинский М.И., Кабалевский А.Н. Анализ приоритетных очередей с  
учетом времени переключения. Москва, "Энергоатомиздат", 1981
41. Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем. Москва,  
"Машиностроение", 1988
42. Авен О.И., Гурин Н.Н., Коган Я.А. Оценка качества и оптимизация  
вычислительных систем. Москва, "Наука", 1982
43. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. Москва, "Радио и  
Связь", 1981
44. Хохлюк В.И. Параллельные алгоритмы целочисленной оптимизации.  
Москва, "Радио и Связь", 1987