

## ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ ДОСТУПА К ВАРИАЦИЯМ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

Светлана Сахарова

**Аннотация:** Рассмотрена связь между прогнозируемыми входными параметрами и характеристиками сети доступа. Предложен метод оценки чувствительности сети к вариациям прогнозируемых параметров с помощью моделей прямоугольной и секторной структуры сети доступа. Разработаны алгоритм и программный продукт реализации метода.

**Ключевые слова:** сеть доступа, узлы доступа, прямоугольная и радиальная модели сети доступа, прогнозируемые параметры сети доступа.

**Ключевые слова классификации АСМ:** C.2. Computer-communication networks, H. Information Systems - H.1 Models and Principles, K. Computing Milieux - K.6 Management of computing and information system

---

### Введение

При модернизации существующих или создании новых современных телекоммуникационных сетей (ТС), важнейшим этапом является этап проектирования. Изучение того, как вариации исходных параметров влияют на результаты сетевого планирования, является одной из основных задач проектировщика. Важность этой задачи определяется тем, что при проектировании ТС в качестве исходных параметров задаются некоторые прогнозируемые данные, характеризующиеся определенной неточностью. К прогнозируемым параметрам относятся распределение пользователей инфокоммуникационных услуг (ИКУ) по обслуживаемой территории, и удельная нагрузка, создаваемая различными группами пользователей. Оптимальная сетевая структура, а соответственно и ее стоимость, будут меняться в зависимости от вариации прогнозируемых параметров. Причем даже незначительное изменение величины исходных данных может существенно повлиять на выходные характеристики. Стоимостные параметры оборудования, которые также являются входными данными, меняются согласно технологическим новшествам и их возможное изменение также следует учесть при проектировании. Поэтому исследование вопроса, каким образом вариации исходных данных влияют на конфигурацию сети, и ее стоимость, является весьма важным.

Исследование, результаты которого приведены в данной работе, выполнены для перспективных сетей доступа (СД). Проектирование СД в настоящее время приобрело особую актуальность, поскольку именно СД является тем сегментом ТС, который тормозит внедрение широкополосных высококачественных услуг, за счет которых оператор может иметь значительный доход. Кроме того, модернизация абонентских линий и создания на их базе перспективных СД является третьим этапом преобразования ТС, первыми двумя этапами которого является замена аналоговых систем передачи и аналоговых узлов коммутации на цифровые. Первый и второй этапы модернизации ТС осуществляются возрастающими темпами, а сейчас пришло время третьего заключительного этапа, который непосредственно связан с темой данной статьи. Структура перспективных СД определена в ряде рекомендаций МСЭ, в частности в рэк. G 902, и подробно рассмотрена в [1].

---

### Постановка задачи

Представленная работа, направленная на оценку чувствительности характеристик СД на вариации прогнозируемых входных параметров и анализ влияния этих вариаций на технические и стоимостные

характеристики сети. Целью работы является повышение точности проектирования сетей доступа, выявление тех параметров, которые существенно влияют на результаты проектирования СД. В работе решается ряд задач, среди которых:

- определение набора параметров, которые влияют на структуру и стоимость сети доступа, представление этих параметров в форму, удобную для моделирования сети;
- на основе выбранных параметров построение математической модели СД;
- разработка методики исследования влияния изменений величины прогнозируемых параметров на характеристики моделируемой СД;
- разработка алгоритма и программного продукта, реализующего модель создания СД;
- путем моделирования процесса создания СД оценка чувствительности характеристик СД на вариации прогнозируемых параметров;
- анализ полученных результатов.

### Выбор и группировка параметров СД

При проектировании СД первоначальный этап отводится предпроектным изысканиям, цель которых максимально полный сбор исходных данных для проектирования сетей. На данном этапе рассматриваются всевозможные параметры сетей доступа, составляется характеристика и описание каждого из них, выявляется корреляция и анализируется взаимосвязь между ними. Проводится выбор тех параметров, которые являются наиболее значимыми при моделировании сетей доступа, значения которых существенно влияют на структуру СД. Также выделяются параметры, не являющиеся важными, и в рассмотрении которых при проектировании СД нет особой необходимости. Учитывая то, что при рассмотрении как проводных так и беспроводных систем доступа к ИКУ выделено достаточно большое количество параметров, для удобства выбранные параметры были разделены на группы.

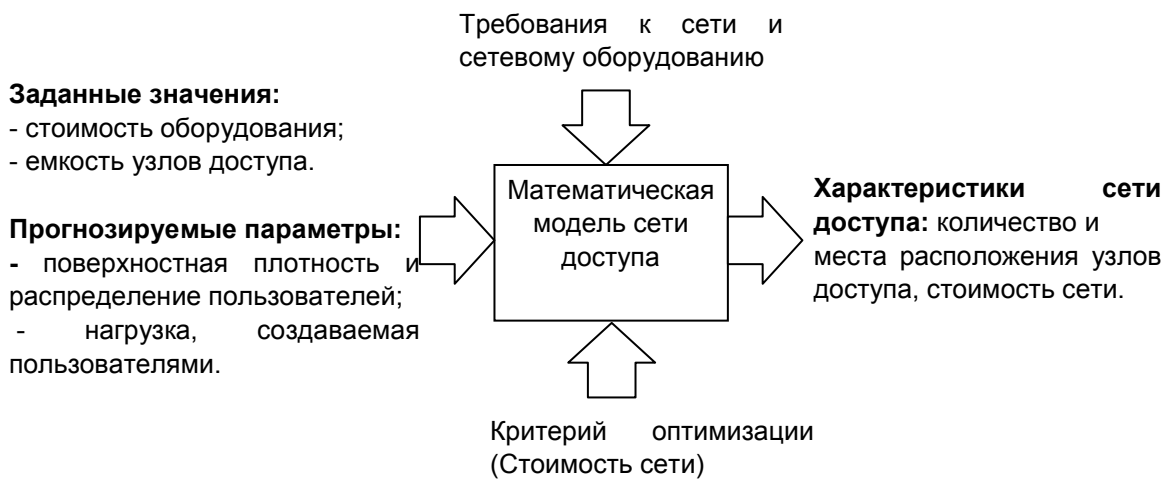


Рис.1. Выбор и группировка параметров СД

В работе предложен один из способов разделения параметров на группы.

1. Параметры, не являющиеся параметрами сети доступа, но влияющие на процесс моделирования. К ним относятся, например, финансовые возможности пользователей, тип местности, ее географическое положение и т.д.
2. Параметры сети доступа, являющиеся входными данными для моделирования. Среди них выделяются:

- требования пользователей, на которых ориентирована создаваемая СД, такие как скорость передачи информации, дальность связи, коэффициент ошибок, время задержки, вариация задержки и т.п.;
- параметры, основанные на требованиях пользователей, но не являющиеся важными для них, такие как метод модуляции в канале, применяемая технология доступа, метод разделения канала приема и передачи и т.п.

В зависимости от набора вышеперечисленных требований и параметров формируются такие параметры, как стоимость услуг, качество связи.

Выбранные параметры требуется представить в форме, удобной для моделирования. Весь набор параметров делится на две категории: качественные и количественные параметры. Для количественных определяются диапазоны принимаемых значений. Для качественных так же определена градация возможных значений.

Для распределения параметров по их важности в процессе проектирования выделяются признаки, по которым можно составить классификацию параметров. Как пример, можно провести классификацию параметров для СД по классу обслуживаемой местности, т.к. при проектировании сети необходимо учесть особенности той местности, для которой она строится. Учитываются такие параметры, как: географические особенности местности, плотность населения, поверхностная плотность пользователей, их финансовые возможности, тип местности.

В работе, при создании модели СД, основное внимание уделено параметрам, значения которых не являются точно заданными, а прогнозируются в процессе моделирования. Ошибки прогноза, в таком случае, могут существенно повлиять на характеристики проектируемой СД. В процессе моделирования оценивается влияние отклонения возможного значения параметра от предполагаемого значения.

В качестве прогнозируемых параметров в работе выбраны: поверхностная плотность пользователей на территории, обслуживаемой СД, распределение пользователей по территории, нагрузка, создаваемая различными группами пользователей.

---

## Модель исследования

---

Моделирование процесса создания СД заключается в получении характеристик СД на основании заданных прогнозируемых параметров. Для этого необходимо разработать математическую модель СД. При проектировании СД возможны два подхода: модернизация существующей абонентской сети (АС) или синтез новой сети. В любом случае возникает необходимость в исследовании структуры и методов расчета АС. Математическая модель СД, предложенная в работе и подробно описанная автором в [2-4], построена с учетом особенностей сетей доступа, при этом были учтены и использованы принципы расчета АС. В связи с существенными различиями структур АС и СД методы, предложенные для расчета АС, подверглись переработке и коррекции, и ориентированы на определение мест расположения узлов доступа (УД). Формулы, предложенные в работе, адаптированы к структуре СД, отличающейся наличием УД, появлением двух сегментов линий доступа (ЛД): транспортного и локального, и изменением функций ЛД по сравнению с функциями абонентских линий телефонных сетей. Эти различия подробно проанализированы в [5].

Модель предусматривает различные варианты построения СД в зависимости от формы территории, которая будет ей обслуживаться, формы участков, обслуживаемых УД и способов прокладки ЛД. В статье рассматриваются прямоугольная и радиальная модели СД (рис. 2). Эти модели существенно отличаются математическими методами расчета характеристик сети.

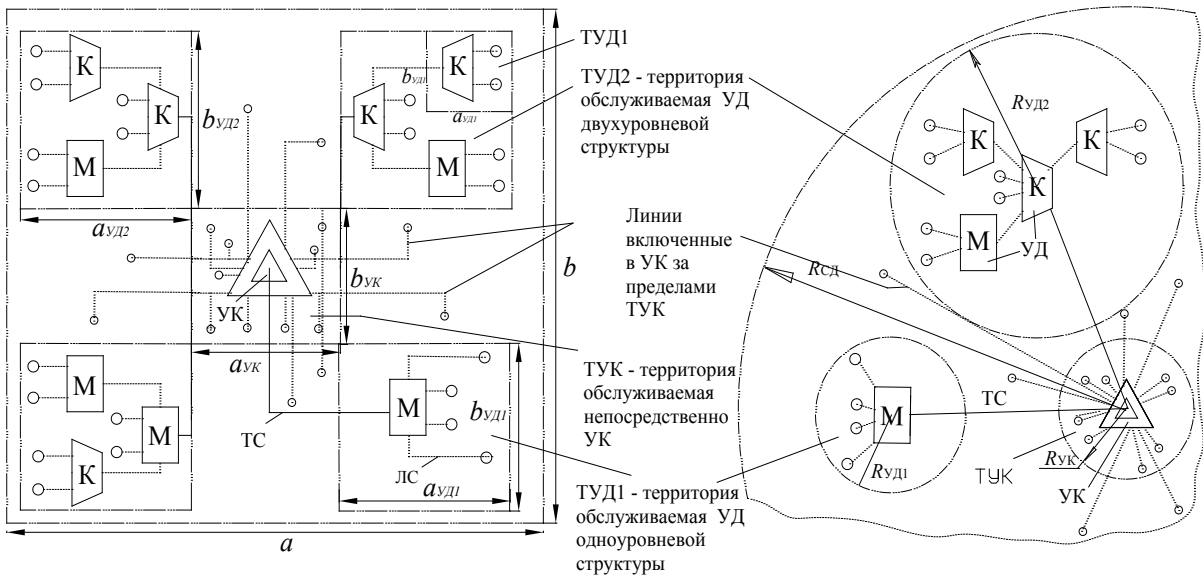


Рис. 2 Прямоугольная и радиальная модели сети доступа

Модель прямоугольной территории СД, учитывающая способы застройки принятые в крупных городах, характеризуется ортогональной прокладкой линий, однородной плотностью размещения пользователей и прямоугольными территориями, обслуживаемыми одним УД (ТУД). Модель секторной территории СД, разработанная при анализе АС в малых городах, характеризуется радиальной прокладкой линий, разнородной плотностью распределения пользователей и трапецеидальными формами ТУД. Предполагается, что узлы предоставления услуг (УПУ) располагаются за пределами территории СД, а СД подключается ко всем УПУ посредством узла коммутации (УК). Территория, в пределах которой пользователи подключаются непосредственно к УК (ТУК), имеет форму, соответствующую модели.

Одной из основных задач при построении модели СД является определение мест расположения УД. Оптимальное местоположение УД определяется исходя из экономических соображений. Узлы доступа, используемые в этой модели, реализованы в виде концентраторов (К) или мультиплексоров (М). Линии, на которых используются УД могут иметь разноуровневую структуру, при этом возможны различные комбинации УД. Территории, обслуживаемые УД одноуровневой структуры обозначаются как ТУД1, двухуровневой – соответственно ТУД2. Подключение УД к УК реализовано с помощью транспортного сегмента ЛД, обозначенного на рисунке ТС, соответственно локальный сегмент линий доступа расположенный между УД и оборудованием пользователя обозначен – ЛС. Предложены расчеты для следующих вариантов подключения пользователей:

- при создании СД не применяются УД и все пользователи подключены непосредственно к УК;
- одна часть пользователей, в пределах создаваемой СД, подключена к УК, а другая часть – к УД;
- пользователи, расположенные в пределах территории, обслуживаемой УК, подключены к УК, часть пользователей, расположенных в пределах ТУД, также подключены к УК, остальные пользователи ТУД включены в УД.

Для третьего варианта подключения пользователей к УК предложены формулы для расчета сегмента ЛД. Для модели прямоугольной структуры СД [3]:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{пр}} = & \frac{\int_{-b_{\text{УК}}/2}^{b_{\text{УК}}/2} \eta a_{\text{УК}} y dy + \int_{-a_{\text{УК}}/2}^{a_{\text{УК}}/2} \eta b_{\text{УК}} x dx}{\eta a_{\text{УК}} b_{\text{УК}}} \frac{N_{\text{УК}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} + \frac{\int_{-b_{\text{УД}}/2}^{b_{\text{УД}}/2} \eta a_{\text{УД}} y dy + \int_{-a_{\text{УД}}/2}^{a_{\text{УД}}/2} \eta b_{\text{УД}} x dx}{\eta a_{\text{УД}} b_{\text{УД}}} \frac{N_{\text{УД}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} \\
 & + \frac{\left( \int_{-b_{\text{ТУК}}/2}^{b_{\text{ТУК}}/2} a_{\text{ТУК}} y \eta dy + \int_{-a_{\text{ТУК}}/2}^{a_{\text{ТУК}}/2} b_{\text{ТУК}} x \eta dx \right) - \left( \int_{-b_{\text{УК}}/2}^{b_{\text{УК}}/2} a_{\text{УК}} y \eta dy + \int_{-a_{\text{УК}}/2}^{a_{\text{УК}}/2} b_{\text{УК}} x \eta dx \right)}{\eta (ab - a_{\text{УК}} b_{\text{УК}})} \frac{N_{\text{ТУК}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} \\
 & + \frac{\left( \int_{-b_{\text{ТУК}}/2}^{b_{\text{ТУК}}/2} a_{\text{ТУК}} y \eta_{\text{УД}} dy + \int_{-a_{\text{ТУК}}/2}^{a_{\text{ТУК}}/2} b_{\text{ТУК}} x \eta_{\text{УД}} dx \right) - \left( \int_{-b_{\text{УК}}/2}^{b_{\text{УК}}/2} a_{\text{УК}} y \eta_{\text{УД}} dy + \int_{-a_{\text{УК}}/2}^{a_{\text{УК}}/2} b_{\text{УК}} x \eta_{\text{УД}} dx \right)}{\eta_{\text{УД}} (ab - a_{\text{УК}} b_{\text{УК}})} \frac{N_{\text{УД}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

где:  $a_{\text{УК}}, b_{\text{УК}}$  – размеры сторон ТУК прямоугольной территории, где ЛД включены непосредственно в УК;

$a_{\text{УД}}, b_{\text{УД}}$  – размеры сторон ТУД;

$\eta$  – поверхностная плотность распределения пользователей;

$\eta_{\text{УД}}$  – поверхностная плотность распределения УД;

$N_{\text{УД}}$  – количество ЛД, включенных в УД;

$N_{\text{УК}}$  – количество ЛД, включенных в УК;

$N_{\text{ТУК}}$  – количество ЛД, расположенных на территории, обслуживаемой УД, но включенных непосредственно в УК.

Для модели секторной структуры СД [4]:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{сект}} = & \frac{\int_0^{R_{\text{ТУК}}} 2\pi\eta r^2 \alpha_{k\_ТУК} dr}{\pi\eta R_{\text{УК}}^2} \frac{N_{\text{ТУК}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} + \frac{\int_{R_{\text{УК}}}^{R_{\text{ТУК}}} 2\pi\eta r^2 \alpha_{k\_ТУК} dr}{\eta(\pi R_{\text{ТУК}}^2 - \pi R_{\text{УК}}^2)} \frac{N_{\text{УК}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} + \\
 & + \frac{\int_{R_{\text{УК}}}^{R_{\text{ТУК}}} 2\pi\eta_{\text{УД}} r^2 \alpha_{k\_УД-УК} dr}{\eta_{\text{УД}}(\pi R_{\text{ТУК}}^2 - \pi R_{\text{УК}}^2)} \frac{N_{\text{УД}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}} + \frac{\int_0^{R_{\text{ТУД}}} 2\pi\eta r^2 \alpha_{k\_УД} dr}{\pi\eta R_{\text{УД}}^2} \frac{N_{\text{УД}}}{N_{\text{ТУК}} + N_{\text{УК}} + N_{\text{УД}}}
 \end{aligned} \tag{2}$$

где:  $\eta$  – поверхностная плотность распределения пользователей сети;

$\eta_{\text{УД}}$  – поверхностная плотность распределения УД;

$R_{\text{ТУК}}$  – радиус территории, обслуживаемой одним УК;

$R_{\text{УК}}$  – радиус территории, на которой ЛД включены непосредственно в УК;

$\alpha_{k\_ТУК}$  – коэффициенты кривизны прокладки ЛД, включенных непосредственно в УК;

$\alpha_{k\_УД-УК}$  – коэффициенты кривизны линий транспортного доступа между УД и УК;

$\alpha_{k\_УД}$  – коэффициенты кривизны прокладки ЛД, включенных в УД;

$N_{\text{УД}}$  – количество ЛД, включенных в УД;

$N_{\text{УК}}$  – количество ЛД, включенных в УК;

$M_{\text{тук}}$  – количество ЛД, расположенных на территории, обслуживаемой УД, но включенных непосредственно в УК.

Операция интегрирования в (1) и (2) (вместо суммирования) позволяет учесть реальные пространственные характеристики трассирования в конкретных условиях прокладки линий.

---

### Схема-алгоритм и программная реализация модели

---

На основе предложенной математической модели разработан алгоритм автоматизированного расчета характеристик СД, представленный на рисунке 3.

Главная проблема проектирования СД заключается в определении оптимального места расположения УК, мест расположения УД, в установлении границ территорий, обслуживаемых этими УД и оптимизации направлений прокладки ЛД. Проблема определения места расположения пользователей, т. е. вопрос, где и в каком количестве они появятся на территории СД, имеет существенно большее значение для выбора структуры СД, чем ответ на вопрос, в какой момент будут задействованы терминалы пользователей.

Информация о поверхностной плотности пользователей, их географическом размещении на рассматриваемой территории, интенсивности нагрузки загружается из внешнего файла. В зависимости от средней поверхностной плотности пользователей определяется место размещение УК. Территория, обслуживаемая СД, разбивается на сегменты, обслуживаемые УД, которые в свою очередь подключаются к УК. При моделировании используются арифметический и геометрический методы определения мест расположения УД, а так же итеративное определение мест расположения УД и границ ТУД. Применяя арифметический метод, расположение УД определяется путем оценки географического размещения пользователей и их количества. Этот метод выгодно применять, если между местами расположения пользователей и УД существуют однозначные линейные зависимости. При применении геометрического метода расположение УД определяется путем минимизации затрат на сегмент ЛД.

Для осуществления анализа влияния вариаций параметров сети на ее характеристики разработано программное обеспечение, которое реализует модель сети доступа. Программа позволяет загрузить карту распределения абонентов на местности из внешнего файла и изменять параметры сети для осуществления дальнейшего анализа. Программа представляет собой совокупность модулей и открыта для доработки и модернизации.

---

### Заключение

---

Задачи проектирования и планирования сетей доступа вытекают из необходимости заблаговременного выбора технических средств, обеспечивающих удовлетворение потребностей пользователей в доступе к ИКУ и в обмене информацией. При внедрении научных методов в область проектирования в первую очередь возникает потребность в достоверных прогнозах. Правильный прогноз позволяет изначально выбрать соответствующую структуру сети, так как любые позднейшие изменения связаны с дополнительными расходами. Так как ошибка прогнозирования может привести к существенным незапланированным затратам, определение влияния таких ошибок на характеристики сети является важной задачей и заслуживает рассмотрения. В работе был предложен метод оценки чувствительности сетей доступа к вариации прогнозируемых входных параметров при использовании прямоугольной и радиальной моделей СД. В настоящее время, на базе предложенного подхода, ведется работа по имитационному и статистическому моделированию процесса создания СД и анализируются полученные результаты, которые планируется представить в следующей работе.



Рис. 3. Схема-алгоритм процедуры расчета характеристик СД

## Литература

Гайворонская Г.С. Основные задачи модернизации сетей пользовательского доступа / Гайворонская Г.С., Котова А.И. // Зв'язок. – 2010. – №1 (89). –С. 18-24;

Гайворонская Г.С. Дослідження впливу помилок прогнозу вихідних даних на процес планування мереж доступу / Гайворонська Г.С., Сахарова С.В. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2010. – № 2., с 23-29.

- Гайворонская Г.С. Метод определения местоположения узлов при использовании прямоугольной модели сети доступа / Г. С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Холодильная техника и технология. – Одесса : ВЦ ОГАХ, 2011. (в печати)
- Гайворонская Г.С. Особенности определения местоположения узлов доступа при использовании радиальной модели обслуживаемой территории / Г. С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк, 2011 (в печати)
- Гайворонская Г.С. Концепция пользовательского доступа: Учебник для ВУЗов. – Одесса: ОГАХ, 2008. – 408 с.
- Соколов Н. А. Сети абонентского доступа. – Пермь: ИПК Звезда, 1999. – 154 с.
- Гайворонская Г.С. Оценка влияния некоторых факторов на процесс развития телекоммуникационных сетей // Холодильна техніка і технологія. – 2006. – №2 (100). – С. 95-100.
- Сахарова С.В. Задача выбора параметров сети доступа / С.В. Сахарова // Сборник тезисов Третьей международной конференции «Проблеми телекомунікацій», КПІ, Київ, 21-24 апреля 2009;
- Гайворонская Г.С. Классификация параметров сетей доступа / Г.С. Гайворонская, С.В. Сахарова // Сборник тезисов Пятой международной НТК «Современные информационно-коммуникационные технологии», Крым, Ялта, Ливадия, 05-09 октября 2009;
- Гайворонская Г.С. Анализ влияния вариации исходных параметров на результаты сетевого планирования // Тр. УНИИРТ. – 2006. – №3 (47). – С. 102-106;

---

### Благодарности

---

Настоящая работа была выполнена при поддержке интернационального проекта ITHEA XXI Института информационных теорий и их приложений FOI ITHEA и Ассоциации ADUIS Украина (Ассоциация разработчиков и пользователей интеллектуальных систем)., в связи с чем автор и выражает свою искреннюю благодарность.

The paper is partially financed by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine ([www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)). [www.ithea.org](http://www.ithea.org) , [www.aduis.com.ua](http://www.aduis.com.ua)

---

### Информация об авторах

---

**Светлана Сахарова** – *Институт информационных технологий Одесской государственной Академии холода, аспирант кафедры информационно-коммуникационных технологий; ул. Дворянская, 1/3, Одесса-26, 65026, Украина; тел. (048)-7209148; моб. (38067)-483-39-47; E – m: switchonline@rambler.ru*

*Главные области научного исследования: Проблемы создания перспективных сетей доступа*