**Вариант 03**

**Лабораторная работа №1**

**по дисциплине**

**«Сети и системы мобильной связи»**

**на тему: «Расчет зоны покрытия БС транкинговых систем радиосвязи»**

Пояснительная записка по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе, например, MS Word, и сдается на проверку преподавателю. Необходимые расчеты по лабораторной работе можно проводить с помощью дополнительного программного обеспечения, выбранного на усмотрение студента, например, в среде MathCad, MS Excel, SMath Studio, Octave. Отчет в электронном виде (архив) тогда должен включать файл с пояснительной запиской по лабораторной работе, а также файл с решением.

В пояснительной записке по лабораторной работе обязательно должны быть такие составляющие, как *титульный лист, основная часть*, *заключение, список использованной литературы*. Основная часть должна содержать:

1. цель работы;
2. исходные данные;
3. последовательное описание выполняемых действий с пояснениями;
4. выводы по результатам работы.

Все оформляется в соответствии с общепринятыми нормами и соблюдением требований ГОСТа. Номер варианта (N) определяется по двум последним цифрам студенческого билета.

***Задание на лабораторную работу***

***Цель работы*** – приобрести навыки предварительной оценки зоны покрытия базовой станции на примере ТСС TETRA для заданного типа местности.

На основании описания, приведенного в краткой теории и приложении, рассчитайте дальность связи для стандарта TETRA.

***Исходные данные для расчета:***

Тип местности: нечетные варианты – город, четные – город, с плотной застройкой;

Вариант абонентской радиостанции: нечетные варианты – мобильная станция (МС), четные – портативная станция (ПС).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Базовая станция** | **Мобильная станция** | **Носимая (портативная) станция** |
| Несущая частота, МГц | 460+0,25\*N | 450+0,25\*N | 450+0,25\*N |
| Высота установки антенны, м | 45+N | 1,5 | 1,5 |
| Мощность передатчика Вт | 25 | 10 | 3 |
| Коэффициент передачи фидера, дБм | -6 | -2 | 0 |
| Статическая чувствительность приемника, дБм | -115 | -112 | -112 |
| Коэффициент усиления антенны, дБи | 6 | 0 | 4,6 |

***Примечание:***

1. Дальность связи в основном ограничивает канал от мобильной станции к базовой, так как мощность передатчика мобильной станции значительно меньше. Рассчитайте и сравните дальность связи в **обоих** направлениях.
2. При расчетах необходимо учитывать размерности единиц измерения. Например, в формулах для расчета потерь несущая частота измеряется в МГц, расстояние – в км, а высота подвеса антенн – в м.

На первом этапе проектирования определяют мощность сигнала, излучаемую в эфир. На втором - среднюю мощность сигнала на приемной антенне, при которой обеспечивается заданная чувствительность приемника. По результатам этих этапов определяют допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала. На третьем этапе выбирают модель расчета потерь на трассе и на ее основе строят зависимость потерь от расстояния. По данному графику определяют среднюю дальность радиосвязи с учетом запаса на обеспеченность связью по месту и времени.

Рассмотрим эту процедуру более детально.

*Излучаемая мощность сигнала*



где PS - мощность передатчика;

GА - коэффициент усиления антенны;

BС - коэффициент передачи фидера и других цепей между передатчиком и антенной.

*Необходимая мощность сигнала на приемной антенне:*



где PПР - чувствительность приемника;

GПА - коэффициент усиления приемной антенны;

BПС - коэффициент передачи фидера и других цепей между антенной и приемником;

ΔС - коэффициент обеспеченности связью по месту и времени.

Данный коэффициент вносит поправку для обеспечения с заданной вероятностью превышения мощности сигнала на входе антенны относительно среднего значения. Значение коэффициента определяется многими факторами, в том числе, характером распространения радиоволн, плотностью застройки территории, требуемой обеспеченности связью. Например, при Δс=0 дБ мощность сигнала на входе приемника будет превышать заданный уровень в 50% случаев приема, при Δс=10 дБ - в 90%.

Таким образом, допустимый уровень потерь на трассе распространения радиосигнала:



Для оценки потерь на трассе можно обычно используют модели распространения сигнала, в основе которых лежат серии измерений. Разные модели корректны только для определенных диапазонов исходных параметров (частоте, высоте подвеса антенн и др.). Воспользуйтесь для решения задания эмпирической моделью Хата.

Исходными данными для оценки потерь на трассе распространения служат:

hb - высота установки антенны базовой станции;

hm - высота установки антенны мобильной станции;

fc - несущая частота сигнала.

***Модель Хата***

Модель Хата основана на обширных эмпирических измерениях в городских условиях. В логарифмической форме, обобщенная модель может быть записана как

*Lp = -K1–K2 log(f)+13.82 log(hb)+a(hm)-[44.9-6.55 log(hb)] log(d)-K0* (1),

 где

*f* - несущая частота (в мегагерц),

*hb* - высота антенны (в метрах) передатчика,

*hm* - высота антенны приемника (в метрах),

*d* - расстояние (в километрах) между базовой станцией и подвижным пользователем.

Для этих параметров, имеются только некоторые пределы, в которых модель справедлива: *hb* должна быть между 30 м и 200 м, *hm* – от 1 м до 10 м, и *d* – от 1 км до 20 км. Коэффициенты *a(hm)*и *K****0*** используются при распространении радиоволн в «городском» или «плотном городском» окружении. В частности

|  |  |
| --- | --- |
| *a(hm) = [1.1 log(f)-0.7]hm-[1.56 log(f)-0.8]* | для города |
| *a(hm) = 3.2[log(11.75hm)]2 – 4.97* | для города с плотной застройкой |
| *K0= 0* | для города |
| *K0= 3dB* | для города с плотной застройкой |

Коэффициенты K1 и K2 используются, чтобы учесть частотные диапазоны.

*K1= 69.55* для частотного диапазона *150 МГц ≤ f ≤ 1000 МГц*,

*K1= 46.3* для частотного диапазона *1500 МГц ≤ f ≤ 2000 МГц*

и

*K2= 26.16* для частотного диапазона *150 МГц ≤ f ≤ 1000 МГц,*

*K2= 33.9* для частотного диапазона *1500 МГц ≤ f ≤ 2000 МГц.*

Поскольку, как правило, энергетический потенциал радиолинии снизу вверх (от подвижного абонента к базовой станции) ниже, чем в обратном направлении, то оценку дальности связи целесообразно провести для данного направления при динамических условиях распространения сигнала.

С учетом условий распространения сигнала вычисляется допустимый уровень потерь на трассе (расстояние выбирается произвольно, например от 0,1 до 20 км), затем по графикам определяется дальности связи (проекция на ось абсцисс точки пересечения прямой допустимых потерь и графика зависимости потерь от расстояния).



Рисунок 1 – Пример определения расстояния

**Лабораторная работа №2**

**по дисциплине**

**«Сети и системы мобильной связи»**

**на тему: «Частотно-территориальное планирование сети сотовой связи 1G»**

Пояснительная записка по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе, например, MS Word, и сдается на проверку преподавателю. Необходимые расчеты по лабораторной работе можно проводить с помощью дополнительного программного обеспечения, выбранного на усмотрение студента, например, в среде MathCad, MS Excel, SMath Studio, Octave. Отчет в электронном виде (архив) тогда должен включать файл с пояснительной запиской по лабораторной работе, а также файл с решением.

В пояснительной записке по лабораторной работе обязательно должны быть такие составляющие, как *титульный лист, основная часть*, *заключение, список использованной литературы*. Основная часть должна содержать:

1. цель работы;
2. исходные данные;
3. последовательное описание выполняемых действий с пояснениями;
4. выводы по результатам работы.

Все оформляется в соответствии с общепринятыми нормами и соблюдением требований ГОСТа. Номер варианта (N) определяется по двум последним цифрам студенческого билета.

***Задание на лабораторную работу***

***Цель работы*** – приобрести навыки предварительного планирования сети связи оператора для заданного типа местности.

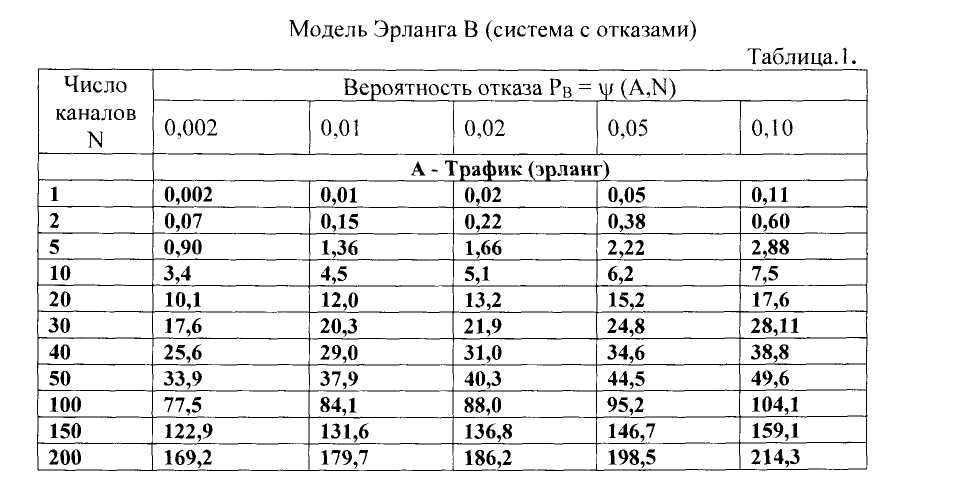
Городская территория занимает площадь 3000+100\*N км2 и ох­вачена системой сотовой связи. В системе используются кластеры из семи сот. Каждая coтa имеет радиус 6 км. Полоса шириной Lp=2x4,5 МГц выделена системе, работающей в режиме FDMA/FDD. Ширина одного канала составляет Lk=30 кГц. Предположим, что вероятность блокировки в сотовой системе составляет 0,02. Пусть средняя интенсивность трафика одного пользователя составляет Pi=0,03 Эрл. (т.е. среднестатистический пользователь каждые 100 мин. использует канал в течение 3 мин).

1. Определите:
   1. количество сот, необходимых для охвата связью всю область;
   2. количество каналов в каждой соте;
   3. количество абонентов, обслуживаемых сотой и системой в целом;
   4. количество пользователь на один канал;
   5. количество абонентов, которые могут быть одновременно обслужены;
   6. процент количества абонентов, которые могут быть одновременно обслужены по отношению к общему числу абонентов.
2. Составьте план распределения частот при заданных параметрах сети при использовании круговых антенн

Для четных вариантов – стандарт NMT-450.

Для нечетных вариантов – стандарт AMPS-800.

***Приложение***



**Лабораторная работа №3**

**по дисциплине**

**«Сети и системы мобильной связи»**

**на тему: «Начальное планирование сети 3G»**

Пояснительная записка по лабораторной работе оформляется в текстовом редакторе, например, MS Word, и сдается на проверку преподавателю. Необходимые расчеты по лабораторной работе можно проводить с помощью дополнительного программного обеспечения, выбранного на усмотрение студента, например, в среде MathCad, MS Excel, SMath Studio, Octave. Отчет в электронном виде (архив) тогда должен включать файл с пояснительной запиской по лабораторной работе, а также файл с решением.

В пояснительной записке по лабораторной работе обязательно должны быть такие составляющие, как *титульный лист, основная часть*, *заключение, список использованной литературы*. Основная часть должна содержать:

1. цель работы;
2. исходные данные;
3. последовательное описание выполняемых действий с пояснениями;
4. выводы по результатам работы.

Все оформляется в соответствии с общепринятыми нормами и соблюдением требований ГОСТа. Номер варианта (N) определяется по двум последним цифрам студенческого билета.

***Задание на лабораторную работу***

***Цель работы*** – приобрести навыки оценки максимального количества абонентов, обслуживаемых базовой станцией стандарта CDMA с учетом вида услуг.

Определите число абонентов, которые могут одновременно и бесконфликтно работать в зоне действия БС в заданном направлении передачи (четные варианты – в прямом канале, нечетные – в обратном канале) отдельно для каждого вида услуг.

На основании полученных результатов сделайте выводы и оформите отчет.

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Р излучения передатчика АС, дБm | Коэффициент усиления антенны БС, дБi | Модель потерь по трассе (город) | Вид услуг | Стандарт | Коэффициент нагрузки, КН | Пропорция между услугами |
| 1, 11 | 21,5 | 16 | Хата | Голос, Интернет | WCDMA | 50% | 60/40 |
| 2, 12 | 20 | 18 | Хата | Инф.услуги, Интернет | IMT-MC | 70% | 70/30 |
| 3, 13 | 21 | 15 | Хата | Интернет, голос | WCDMA | 50% | 20/80 |
| 4, 14 | 21,5 | 16 | Хата | Доступ к VPN, голос | IMT-MC | 30%, | 30/70 |
| 5, 15 | 21 | 15 | Хата | Видео,  Инф.услуги | WCDMA | 60% | 10/90 |
| 6, 16 | 20 | 17 | Хата | Интернет | IMT-MC | 70% | 30/70 |
| 7, 17 | 19,5 | 20 | Хата | Доступ к VPN, Интернет | IMT-MC | 70% | 60/40 |
| 8, 18 | 21,5 | 16 | Хата | Видео, Инф.услуги | WCDMA | 50% | 10/90 |
| 9, 19 | 20 | 18 | Хата | Голос, Доступ к VPN | IMT-MC | 60% | 60/40 |
| 10, 20 | 20 | 15 | Хата | Доступ к VPN, голос | WCDMA | КН=30%, | 50/50 |

Расчеты параметров в прямом и обратном канале системы CDMA произвести для одной БС в конфигурации S1/1/1.

***Справочные материалы:***

Таблица 2 – Скорости передачи данных и требуемое отношение Сигнал/шум

|  |  |
| --- | --- |
| **Скорость передачи данных, кбит/с** | **Еb/N0, дБ** |
| WCDMA | |
| 9,6 | 7 |
| 64 | 4 |
| 144 | 3 |
| 384 | 2 |
| IMT-MC | |
| 9,6 | 6 |
| 38,4 | 3 |
| 76,8 | 2,5 |
| 153,6 | 2 |

Таблица 3 – Основные виды услуг и требуемая скорость передачи данных

|  |  |
| --- | --- |
| Вид услуг | Требуемая скорость передачи данных, кБит/с |
| Голосовые услуги | ≥ 9,6 |
| Информационные услуги | ≥ 20 |
| Мобильный Интернет | ≥ 70 |
| Доступ к VPN сетям | ≥ 30 |
| Мобильное видео | ≥ 300 |

Таблица 4 – Характеристики стандартов сотовой связи

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметры** | **AMPS-800** | **NMT-450i** | **DAMPS-800** | **GSM-900 (EGSM)** | **GSM-1800** | **CDMA** | **DECT** |
| Максимальная эффективно излучаемая мощность базовой станции (Вт) | 100 | 50 | 45 | 50 | 20 | 10-50 | 0.1 |
| Номинальная мощность мобильной станции (Вт) | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0.1 |
| Типичный радиус соты (км) | 2-20 | 1-40 | 20 | 35 | 0,5-10 | 0,5-30 | до 300м |
| Ширина полосы пропускания приемника (кГц) | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |

Внимательно изучите материалы приложения. На основании данных таблиц 2 и 3 справочных материалов (см. выше) и теоретических сведений, приведенных в приложении (см. формулы 9 и 14) определите число абонентов, которые могут одновременно и бесконфликтно работать в зоне действия БС в заданном направлении передачи.

***Приложение:***

Как Вам уже известно из теоретического раздела курса, в сети сухопутной подвижной радиосвязи стандарта CDMA, все абоненты работают на одной и той же частоте, что позволяет эффективно использовать частотный ресурс и значительно увеличить емкость системы по сравнению с другими технологиями многостанционного доступа. Однако это приводит к появлению дополнительной интерференции внутри системы и в результате именно это и ограничивает емкость системы. Кроме этого, так как данная система является дуплексной системой связи с частотным разносом, то емкость системы может ограничиваться как емкостью прямого, так и емкостью обратного канала. В свою очередь это ограничение обусловлено еще и тем, что трафик прямого и обратного канала складывается из голосового трафика и трафика данных. В связи с асимметрией трафика данных (объем передачи данных в прямом канале БС-АС как правило существенно превосходит объем передачи данных в обратном канале АС-БС) и возникает необходимость отдельно учитывать емкость системы в прямом и обратном канале, либо заведомо рассчитывать худший из случаев.

***Оценка влияния интерференции на емкость системы CDMA***

Как уже знаете, системы построенные на базе технологии CDMA, имеют широкую частотную полосу и относятся к системам с шумоподобными сигналами. В отличие от систем связи, основанных на системах множественного доступа с временным и частотным разделением каналов, в которых в основном рассматриваются помехи вне полосы сигнала, данная технология преимущественно рассматривает помехи внутри полосы. Такими помехами могут являться собственные шумы, фоновые шумы, различные шумы внешних источников помех, интермодуляционные шумы приемников. Снижение шума внутри полосы непосредственным образом влияет на улучшение производительности системы, и как следствие, на расширение зоны покрытия и емкости системы.

Показатель помехоустойчивости канала связи  (отношение энергии сигнала приходящейся на один бит к спектральной плотности шума) для обратного канала (АС-БС) для системы на основе CDMA определяется следующим выражением:

 (1)

где:

 - эквивалентная излучаемая мощность (ЭИМ) абонентского терминала. Принимается что диаграмма направленности антенны абонентского терминала, всенаправленная.

 – потери на трассе от исследуемого абонентского терминала в направлении  к домашней базовой станции, находящейся на расстоянии .

 – коэффициент усиления приемной антенны базовой станции в направлении .

 – база сигнала. Показатель, который характеризует выигрыш сигнал шум при обработке сигналов с расширенным спектром.

*N* – тепловой шум. Собственный шум приемника который характеризуется непрерывным спектром обусловленным тепловым движением электронов. , где *k* - постоянная Больцмана, *T* – температура в Кельвинах, *W* - ширина полосы частот сигнала.

 – эффективная суммарная мощность помехи, обусловленная всеми рабочими каналами абонентских устройств обслуживаемых данным сектором. Данная помеха определяется по следующей формуле , где  - эквивалентная излучаемая мощность (ЭИМ) в рабочем канале *j-*того терминала находящегося в направлении  и на расстоянии  к заданной базовой станции. Так как базовая станция осуществляет постоянное регулирование мощности абонентского терминала в обратном канале, величина  изменяется в течение времени и значительно влияет на данную помеху, таким образом, она зависит в основном от алгоритмов контроля мощности применяемых производителями.

 – эффективная суммарная мощность помехи, обусловленная всеми рабочими каналами абонентских устройств, не обслуживаемых данным сектором (т.е находящимися вне данного сектора БС). Данная помеха определяется по следующей формуле , где: *K –* общее количество секторов всех других базовых станций в системе, а  - эквивалентная излучаемая мощность в обратном канале абонентских устройств обслуживаемых *k-*той базовой станцией. . Величина данной помехи зависит от расстояния до *k-*той базовой станции и количества рабочих каналов (количества активных абонентов) данной станции.

 – мощность помехи возникающей на входе приемника базовых станций от других источников помех не связанных CDMA.

***Анализ помех в обратном канале***

На практике делитель выражения (1) (суммарная мощность помехи) можно представить следующим образом:

 (2)

где  основной шум системы, включающий в себя тепловой шум, шум приемника и прочие шумы. Данная величина в первом приближении постоянна и может быть определена следующим образом:

, (3)

где  коэффициент шума приемника базовой станции, сюда можно так же и отнести прочие шумы появляющиеся на входе приемника базовой станции (*для систем IMT-MC NF=5 дБ, для систем WCDMA NF=4 дБ*).

Поскольку рассчитать в текущий момент времени эффективную мощность помехи создаваемую каждым конкретным терминалом достаточно сложно, то на практике, как правило, прибегают к вычислению  при помощи следующего выражения:

 (4)

где *n* – количество абонентов в секторе, а  мощность сигнала *j*-го абонента на входе приемника базовой станции. В тоже время  (отношение энергии сигнала приходящейся на один бит к спектральной плотности шума) от *j*-го абонента на входе приемника БС  может быть представлено как:





На основании этого,

,

где величина в данном выражении коэффициент активности *j*-го абонента (*принимается равной* *0,6 для речи и 1,0 для передачи данных*)

На основе данного выражения получим следующее значение величины :

 (5)

Введем понятие коэффициента интерференции по соседней соте, для оценки интерференции от соседних сот:

 (6)

Данный коэффициент показывает помехи, возникающие в приемнике базовой станции под влиянием мобильных станций находящихся в соседних секторах. Если принять, что абоненты по всей сети распределены равномерно, получим следующие значения данного коэффициента:

* Типовое значение коэффициента интерференции по соседней соте для сектора со всенаправленной антенной (omni) составляет *fomni=0,55*;
* Типовое значение коэффициента интерференции по соседней соте для сектора трехсекторной базовой станции составляет *fS111=0,65*.

Из выражений (3.1 – 3.5) получим следующее значение суммарной мощности помехи:



Предполагая что:



получаем:

 (7)

Определим коэффициент нарастания шума следующим образом:

 (8)

Где величина  определяется как коэффициент нагрузки обратного канала. Несмотря на общие допущения, данная формула достаточно точно отражает реальную ситуацию. На ее основе можно сделать следующие выводы

* интерференция в обратном канале целиком и полностью зависит от загрузки системы;
* при коэффициенте предельной загрузки системы суммарная мощность помехи очень велика, а значение емкости является предельной емкостью.

Таким образом, из выражения (3.7) соответственно имеем:

 (9)

С учетом изложенного выше, окончательно выражение (2.1) может быть представлено в следующем виде:

 (10)

В данном выражении  – потери на трассе от исследуемого абонентского терминала в направлении  к домашней базовой станции, находящейся на расстоянии , которые в свою очередь определяются как:

 (11)

где:

- потери на трассе, вычисляемые с помощью той или иной модели (например, Ли или Хаты);

- потери в кабеле между антенной БС и приемником БС, зависит от длины кабеля, в расчетах принимается равной (-2 ÷-3,5) дБ;

- потери, зависящие от места нахождения АС, при расчетах обычно принимается: на улице (0 ÷-1,5) дБ, в автомобиле (–4 ÷-6,5) дБ, в здании (–10 ÷-15) дБ;

- выигрыш за счет хэндовера, при расчетах принимается равным (3÷4,5) дБ;

 - выигрыш за счет разнесенного приема, при расчетах принимается равным (3 ÷4,5) дБ

- запас на замирания, дБ

- запас на внутрисистемные помехи, дБ

***Анализ помех в прямом канале***

В прямом канале (БС → АС) емкость системы так же зависит от интерференции в секторе базовой станции. Но в данном случае основная интерференция в секторе обусловлена следующими процессами:

* Не абсолютная ортогональность PN последовательностей и кодов Уолша.
* Задержки и многолучевое распространение сигнала.
* Погрешность контроля мощности, передатчика базовой станции.

Принцип расчета для прямого канала такой же, как и для обратного канала, однако имеется ряд отличий, в частности уровень помех от соседних сот будет зависеть от местоположения абонента. Таким образом, ограничения по уровню сигнал/помеха для конкретного пользователя можно записать:

 (12)

где:

 - эквивалентная излучаемая мощность (ЭИМ) передатчика БС.

 - потери на трассе от домашней базовой станции по направлению  к исследуемому абонентскому терминалу, находящемуся на расстоянии .

 - коэффициент усиления передающей антенны базовой станции в направлении .

 - база сигнала.

 - мощность шума в приемнике АС, включающая в себя тепловой шум, шум приемника и прочие шумы. Данная величина в первом приближении постоянна и может быть определена следующим образом:

 (13)

где: *NF* – коэффициент шума приемника АС, сюда можно так же и отнести прочие шумы появляющиеся на входе приемника АС (для систем IMT-MC NF=5 дБ, тогда как для систем WCDMA NF=4 дБ).

*Iint* – мощность помехи, возникающей из-за некогерентности приема сигнала собственной БС (из-за многолучевого распространения и других причин).

Рассчитать в общем виде уровень интерференции в прямом канале, возникающей из-за некогерентности приема сигнала практически невозможно, поэтому на практике для оценки интерференции применяют имитационное моделирование, принимая, что уровень помехи от собственной БС составляет, *Iint=μ\*Pj*, где *Pj*- мощность сигнала на входе приемника АС j-го абонента, μ– коэффициент ортогональности кода j-го абонента. В расчетах *μ принимают равным 0,6 при соединении с подвижной АС и равный 0,9 при соединении со стационарной АС*.

*Iout* – мощность помехи создаваемая базовыми станциями соседних сот. На практике для оценки уровень помехи создаваемая базовыми станциями соседних сот также применяют имитационное моделирование, принимая, что *Iout=γ\*Pj*, где *Pj* – мощность сигнала на входе приемника АС j-го абонента, γ– коэффициент влияния помех. *γ принимается равным 0,55 для макросоты с ненаправленной антенной*.

Далее основываясь на тех же принципах, что и для обратного канала, можно получить следующее выражение для коэффициента нагрузки прямого канала *ηDL*:  (14)

Аналогично выражению (3.9) с учетом коэффициента нагрузки прямого канала выражение (4.1) может быть представлено как:

 (15)

В данном выражении  - потери на трассе от домашней базовой станции в направлении  к исследуемой АС, находящейся на расстоянии , которые в свою очередь определяются как:

 (16)

где: - запас на внутрисистемные помехи, дБ. Остальные обозначения соответствуют формуле (11).