

- TA ANALYSIS, Spring 2005 [Electronic resource] - Mode of access: <http://www.cs.tut.fi/~harrila/teaching/>.
9. Microarray Technology and Data Analysis (November 28, 2007) / Dong-Guk Shin, J Peter Gogarten [Electronic resource] – Mode of access: <http://www.slidefinder.net/m/microarray/microarray/30220285> – Date of access: 26.05.2014.
10. User Manual MAIA 2.75 / E. Novikov, E. Barrilot - [Electronic source] - Mode of access: <http://bioinfo.curie.fr/projects/maia/doc/MAIA%20275%20UserManual.pdf> - Date of access: 25.05.14.
11. Экспрессия генов и микрочипы: проблемы количественного анализа / Свешникова А.Н., Иванов П.С. // Рос. Хим. Ж., – 2007. – № 1. – С. 127-135.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРАКТА ЦИФРОВОГО СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО СИГНАЛА

А. С. Чаплинская

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всём мире все шире используется цифровой формат передачи спутниковой информации. В частности, в Беларуси в 2015 году планируется повсеместный переход на цифровое спутниковое телевидение. Несмотря на плотное покрытие в городах абонентского Интернета и кабельного ТВ, в тех случаях, когда люди хотят смотреть каналы, которые не включены в пакет аналогового телевидения в данной местности или в отдалённых точках, где невыгодно прокладывать ТВ кабель, целесообразно и выгодно использовать цифровое спутниковое телевидение (ЦСТ). Поэтому разработка методов и средств повышенного качества приёма ЦСТ является актуальной задачей.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА ПРИЕМНОГО ТРАКТА ЦИФРОВОГО ВИДЕОСИГНАЛА

Линия спутниковой связи состоит из двух участков: Земля - спутник и спутник-Земля. Основной их особенностью является большая физическая протяжённость и, как следствие этого, возникновение значительных потерь сигнала, обусловленных затуханием его энергии в пространстве. На приёмное устройство спутника и земной станции кроме собственных флуктуационных шумов воздействуют разного рода помехи в виде излучения Космоса, Солнца, планет и атмосферных газов. Правильный учёт влияния всех факторов позволяет оптимально спроектировать систему, обеспечить её уверенную работу в наиболее трудных условиях и в то же время исключить излишние энергетические затраты, которые могут при-

вести к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

Отношение сигнал/шум на входе абонентского приемника задается выражением:

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right) = \frac{P_{исз} G_{пр} G_k G_{тр} \eta_{сп} \eta_{ап}}{L_0 L_{доп} k T_{пр} \Delta f_{ша} a_{са} L_3 L_{ф}}, \quad (1)$$

$\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right) \frac{P_{исз} G_{пр} G_k G_{тр} \eta}{L_0 L_{доп} k T_{пр} f_{ша} a_{са} G_3 G_{ф}}$ где $\Delta f_{ша} = \alpha \cdot 2\Delta f_{пик}$ – шумовая полоса частот абонентского приемника; $\alpha=1,1$ – коэффициент, определяемый избирательными свойствами приемника; $\Delta f_{пик} = m_f F_{max}$ – пиковая девиация частоты, F_{max} – верхняя частота видеосигнала (для отечественного стандарта $F_{max}=6$ МГц); $P_{исз}$ – мощность бортового передатчика ($P_{исз} \approx 63$ кВт); $S_p = q \pi D^2 / 4$ – геометрическая площадь раскрыва антенны; q – коэффициент использования поверхности ($q=0,5 \dots 0,75$); $G_{пр} = D_{кнд} \eta$ – коэффициент усиления антенны абонентского приемника; $D_{кнд} = 4\pi S_p / \lambda^2$ – коэффициент направленного действия антенны; η – КПД антенны; D – диаметр антенны; f – рабочая частота; $\eta_{сп} = \eta_{ап} = 0,7-0,9$ – КПД фидеров на спутнике и в абонентском приемнике; k – постоянная Больцмана; G_k – коэффициент усиления конвертера; $G_{тр}$ – коэффициент усиления транзисторных смесителей, выполненных на полевых транзисторах Шоттки; L_3 – затухание мощности сигнала в коаксиальном кабеле; $L_{ф}$ – потери полосового фильтра.

Коэффициент запаса на участке спутник-абонентский приемник:

$$a_{са} = \frac{a_{зс}}{a_{зс} - 1}, \quad (2)$$

Расстояние между земной станцией и спутником находится с использованием геометрических соотношений.

$$d = \sqrt{R_3^2 \sin^2 \gamma + H^2 + 2R_3 H} - R_3 \sin \gamma, \quad (3)$$

где R_3 – радиус Земли, км; $R_3=6371$ км; H – высота орбиты над экватором Земли, км (35800 км).

Угол места γ находится при допущении, что Земля является неидеальным шаром, а возвышение земной станции над уровнем моря нулевое:

$$\gamma \approx \arcsin \frac{H \cos \varphi_{зс} \cos \lambda_c - \lambda_{зс} - R_3}{\sqrt{H^2 + R_3^2 - 2HR_3 \cos \varphi_{зс} \cos \lambda_c - \lambda_{зс}}}, \quad (4)$$

где λ_c – точка стояния спутника на геостационарной орбите; $\varphi_{зс}$ и $\lambda_{зс}$ – координаты земной станции точки приема видеосигнала.

Ослабление сигнала в свободном пространстве:

$$L_0 = 20 \lg(4,189 \cdot 10^4 d f), \text{ дБ}, \quad (5)$$

В наиболее общем случае величину дополнительных потерь $L_{\text{доп}}$ в реальных условиях можно представить следующим образом:

$$L_{\text{доп}} = L_a + L_d + L_n + L_{\pi}, \quad (6)$$

где L_a – потери в спокойной атмосфере; L_d – потери в осадках; L_n – потери из-за рефракции и неточности наведения антенн; L_{π} – поляризационные потери.

Шумовая температура земного приемника определяется: 1) мощностью собственных шумов приемного устройства и мощностью шумов антенно-волноводного тракта; 2) мощностью шумов антенны, определяемая воздействием на нее теплового излучения Земли от атмосферы; 3) мощностью шумов радиоизлучения Солнца и других космических источников; 4) шумовой температурой конвертера и определяется выражением:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{ус}} + T_{\text{АФТ}} + \left(\frac{T_{\text{атм}} + T_{\text{кос}}}{\eta_{\text{ап}}} \right) + T_{\text{к}} = T_{\text{пр}} + T_{\text{АФТ}} + \left(\frac{T_{\text{атм}} + T_{\text{кос}}}{\eta} \right) + T_{\text{к}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{ус}}$ – определяется входными цепями и типом малошумящего усилителя высокой частоты; $T_{\text{к}}$ – шумовая температура конвертера; $T_{\text{АФТ}} = T_0(1 - \eta_{\text{ап}})$, где: $T_0 = 290 \text{ К}$ – абсолютная температура; $T_{\text{атм}}$ – является функцией угла места и частоты; $T_{\text{кос}}$ – определяется яркостной температурой источника $T_{\text{я}}$.

С помощью разработанной математической модели (1)–(7) получены графики зависимости отношения с/ш от диаметра приемной антенны при разных углах места (рис.1). Из графиков видно, что угол места и соответствующий ему диаметр приёмной антенны, обеспечивающий устойчивый приём сигнала, являются существенными параметрами.

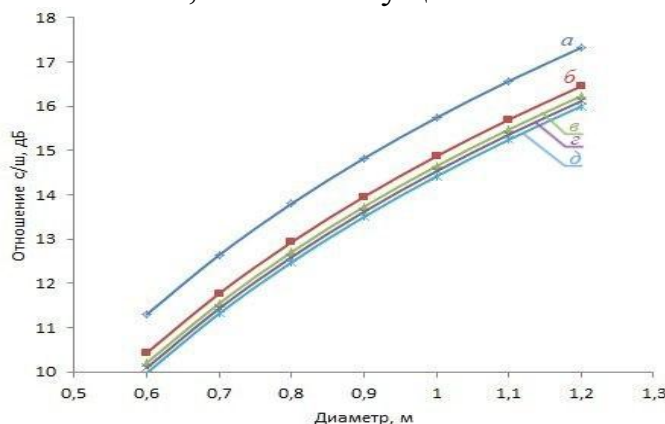


Рис. 1. График зависимости отношения с/ш от диаметра приёмной антенны при различных углах места ($a - 90^\circ$, $b - 20^\circ$, $c - 10^\circ$, $d - 5^\circ$, $e - 0^\circ$)

При уменьшении диаметра антенны отношение сигнал/шум уменьшается, а, следовательно, уменьшается и величина сигнала, который может быть принят приёмным устройством. С возрастанием угла места, который можно рассчитать по формуле (4), следует выбирать антенну с большим диаметром с учётом того, что минимальное отношение сигнал/шум для устойчивого приёма соответствует 12 дБ. В качестве примера были проанализированы характеристики антенны для г. Минска. Угол места $\sim 23^\circ$ (расчёт проводился с координатами аэропорта Минск $53^\circ 52' 58''$ с.ш. $28^\circ 01' 51''$ в.д.). Следовательно, исходя из графика, для устойчивого приёма рекомендуется брать антенну диаметром не менее 0,75 м.

На рисунке 2 представлены графики зависимости отношения с/ш от угла места при различных погодных условиях: в сухую погоду (кривая 1) и в дождь (кривая 2) для диаметра приемной антенны 0,8 м. Данные зависимости позволяют оценить ухудшение качества приема видеосигнала при неблагоприятных погодных условиях, что также надо учитывать при выборе параметров приемной аппаратуры.

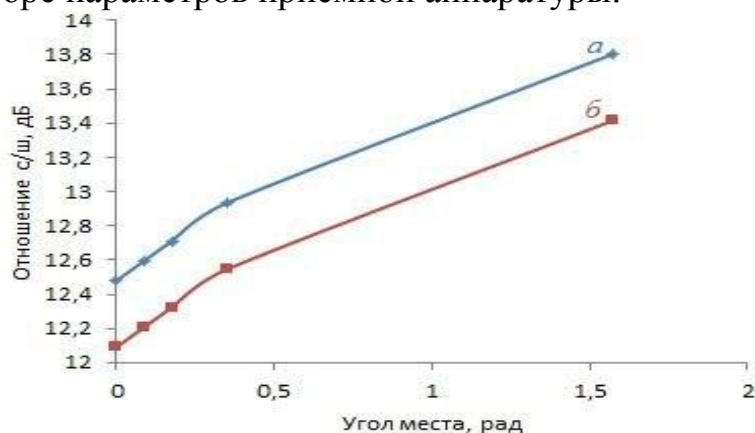


Рис. 2. График зависимости отношения с/ш от угла места в ясную погоду (а) и с учётом дождя (б)

Таким образом, разработанная математическая модель для энергетического расчета приемного тракта на трассе спутник-Земля позволяет рассчитать отношение сигнал/шум на выходе демодулятора приемного устройства и определить параметры устойчивого приема цифрового телевизионного сигнала при различных погодных условиях и географических координатах.