

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ
 ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ
 В СТРАНАХ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ МЕСТНОСТИ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ МЕРЕЖ
 ПРИ ПЛАНУВАННІ ТЕЛЕВІЗІЙНОГО
 МОВЛЕННЯ В КРАЇНАХ ЗІ СКЛАДНИМ РЕЛЬЄФОМ МІСЦЕВОСТІ**

**EXPLORATION OF EFFICIENCY OF USE OF SYNCHRONOUS NETWORKS
 AT PLANNING BROADCASTING TV IN THE COUNTRIES
 WITH A DIFFICULT LAY OF LAND**

Аннотация. Рассмотрены вопросы планирования наземного цифрового телевизионного вещания. Исследована эффективность использования одночастотных синхронных сетей для стран со сложным рельефом местности.

Анотація. Розглянуті питання планування наземного цифрового телевізійного мовлення. Досліджена ефективність використання одночастотних синхронних мереж для країн зі складним рельєфом місцевості.

Summary. Questions of planning of a terrestrial digital broadcasting are considered. Efficiency of use of single frequency synchronous networks for the countries with a difficult lay of land is investigated

В 2006 году в Женеве 119 стран Международного Союза Электросвязи подписали Соглашение о переходе от аналогового на цифровое наземное вещание до 2015 года.

Одной из ключевых проблем, решаемых при переходе на цифровое телевизионное вещание, является частотно-территориальное планирование сетей. Основные принципы планирования сетей аналогового телевидения представлены в работах [1-2]. Новые подходы к планированию сетей наземного вещания представлены в [3-4]. Однако в данных работах не учтены задачи, возникающие при распространении радиоволн в условиях сложного рельефа местности. Кроме того, в настоящий момент не достаточно рассмотрены особенности использования одночастотных синхронных сетей при планировании цифрового наземного телевидения, поэтому исследования в данном направлении представляют большой научный и практический интерес.

Целью настоящей работы является исследование эффективности использования синхронных сетей при планировании вещания в странах со сложным рельефом местности.

Как известно [1], границей зоны обслуживания является территория, для которой справедливо условие:

$$E_{\text{пол}} \geq E_{\text{мин}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{мин}}$ – значение минимальной напряженности поля в месте приема, необходимое для обеспечения требуемого качества приема; $E_{\text{пол}}$ – напряженность поля полезного сигнала, создаваемая передатчиком.

Анализ выражения 1 показывает, что зону обслуживания можно увеличить либо снизив значение $E_{\text{мин}}$, либо увеличив значение $E_{\text{пол}}$. В случае аналогового телевидения считалось, что $E_{\text{мин}}$ является постоянной величиной для данного диапазона частот, и поэтому зону обслуживания возможно увеличить либо за счет применения более мощных передатчиков, либо увеличив высоту подвеса передающей антенны.

В цифровом наземном телевидении возможно не увеличивая напряженности поля полезного сигнала существенно увеличить зону обслуживания передатчика. Как указано в [5] $E_{\text{мин}}$ зависит от необходимой мощности сигнала на входе приемника $P_{s \text{ мин}}$, которая определяется как:

$$P_{s \text{ мин}} = C/N + P_n, \quad (2)$$

где P_n – мощность шума на входе приемника; C/N – требуемое отношение несущая/шум.

Значение C/N зависит от модуляции, скорости кодирования и модели радиоканала, используемой при планировании телевизионного вещания. Так, в случае приема сигнала на стационарный приемник предполагается 15 значений C/N . При определении значений C/N используется математическая модель канала Райса, которая описывает замирания сигнала для случая стационарного или портативного приема вне помещения:

$$y(t) = \frac{\rho_0 x(t) + \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j\theta_i} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^N \rho_i^2}}, \quad (3)$$

где $y(t)$, $x(t)$ – входной и выходной сигнал соответственно; N – количество отраженных сигналов; θ_i – отклонение фазы i -го отраженного сигнала; ρ_i – ослабление i -ого отраженного сигнала, относительно прямого луча; ρ_0 – мощность прямого луча; τ_i – относительная задержка i -ого отраженного сигнала.

На основе формул, представленных в [5] для 20 отраженных сигналов на входе приемного устройства рассчитаны значения минимальной напряженности поля (табл. 1) для всех режимов работы системы DVB-T.

Таблица 1 – Зависимость значения минимальной напряженности поля и отношения несущая/шум от вида модуляции в стандарте DVB-T

Вариант системы	Модуляция	Кодовая скорость	C/N, дБ	E_{\min} , дБ (мкВ/м)
A1	4-ФМ	1/2	5,9	38,9
A2	4-ФМ	2/3	7,9	40,9
A3	4-ФМ	3/4	9,1	42,1
A5	4-ФМ	5/6	10,3	43,3
A7	4-ФМ	7/8	11,3	44,3
B1	16-КАМ	1/2	11,6	44,6
B2	16-КАМ	2/3	14,1	47,1
B3	16-КАМ	3/4	15,7	48,7
B5	16-КАМ	5/6	16,9	49,9
B7	16-КАМ	7/8	17,5	50,5
C1	64-КАМ	1/2	17,2	50,2
C2	64-КАМ	2/3	19,5	52,5
C3	64-КАМ	3/4	21,2	54,2
C5	64-КАМ	5/6	22,7	55,7
C7	64-КАМ	7/8	23,7	56,7

Полезная напряженность поля, создаваемая передатчиком определяется по формуле [1]:

$$E_{\text{пол}} = E(50, 50) + \text{ЭИМ} + K_0, \quad (4)$$

где $E(50,50)$ – медианное значение напряженности поля, определяемое по эмпирическим кривым распространения для 50% мест, 50 % времени, эффективной излучаемой мощности 1 кВт, высоты приемной антенны 10 м; K_0 – поправочный коэффициент просвета местности, учитывающий возможное экранирование приемной антенны в условиях сложного рельефа местности; ЭИМ – эффективная излучаемая мощность передающего устройства, дБ(Вт).

Для определения зоны обслуживания цифрового передатчика в г. Дамаск (Сирия) разработано программное обеспечение [6], учитывающее параметры передающего, приемного оборудования, а также рельеф и особенности распространения радиоволн в условиях сильно пересеченной местности.

Исходные данные для определения зоны обслуживания представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для определения зоны обслуживания цифрового наземного телевидения в стандарте DVB-T в г. Дамаск

Параметр	Значение
Город	Дамаск
Координаты	33 32 20 N 36 16 26 E
Высота места расположения над уровнем моря	1150 м
Система	С3
Значение C/N , дБ	21,2
Модуляция	64-КАМ 3/4
Значения чистой битовой скорости, Мбит/с	26,35
ТВ канал	25
Мощность на выходе передатчика	1000 Вт
Высота подвеса передающей антенны над уровнем поверхности земли	95 м
Коэффициент усиления антенны в максимальном направлении	11 дБ
Потери в фидере	0,008 дБ/м
Поляризация	Горизонтальная
Тип приема	Фиксированный
Расположение приемной антенны	Вне помещения, крыша здания
Высота приемной антенны	10 м
Направленность приемной антенны в горизонтальной плоскости, дБ	10
Потери в фидере приемной антенны на 1 м	0,2 дБ/м
Тип трассы	Сухопутная, умеренный климат

Используя указанное программное обеспечение найдена зона обслуживания цифрового передатчика в г. Дамаск, показанная на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что внутри зоны обслуживания существует значительное количество участков, для которых не выполняется условие, в выражении (1) (см. табл. 1) для системы С3. Наиболее эффективным способом, обеспечивающим равномерное покрытие сигналом, является использование одночастотных синхронных сетей в стандарте DVB-T. В системе DVB-T используется метод разделения последовательного цифрового потока на большое число параллельных потоков, каждый из которых передается на отдельной несущей – метод OFDM.

В общем виде в аналитической форме сигнал может быть представлен в виде [7]:

$$S(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos 2\pi kft + \sum_{k=1}^N B_k \sin 2\pi kft, \quad (5)$$

где A_k , B_k – информационные параметры, которые представляют собой координаты точек кодирования в пространстве сигналов КАМ; $k = 1, \dots, N$; N – общее число гармонических несущих; f – разнос по частоте между гармоническими несущими.

При OFDM временной интервал символа каждого субпотока T_s делится на две части - защитный интервал T_g , в течение которого оценка значения символа в декодере не производится, и рабочий интервал символа T_p , время, за которое принимается решение о значении принятого символа. При этом для правильной работы системы эхо-подавления необходимо, чтобы защитные интервалы находились не в начале, а в конце символов, т. е. в защитном интервале продолжается модуляция несущей предшествующим символом. Это позволяет в декодере задержать оценку значений принятых символов на время, в течение которого изменения параметров радиоканала из-за действия эхо-сигналов прекратятся, и канал станет стабильным.

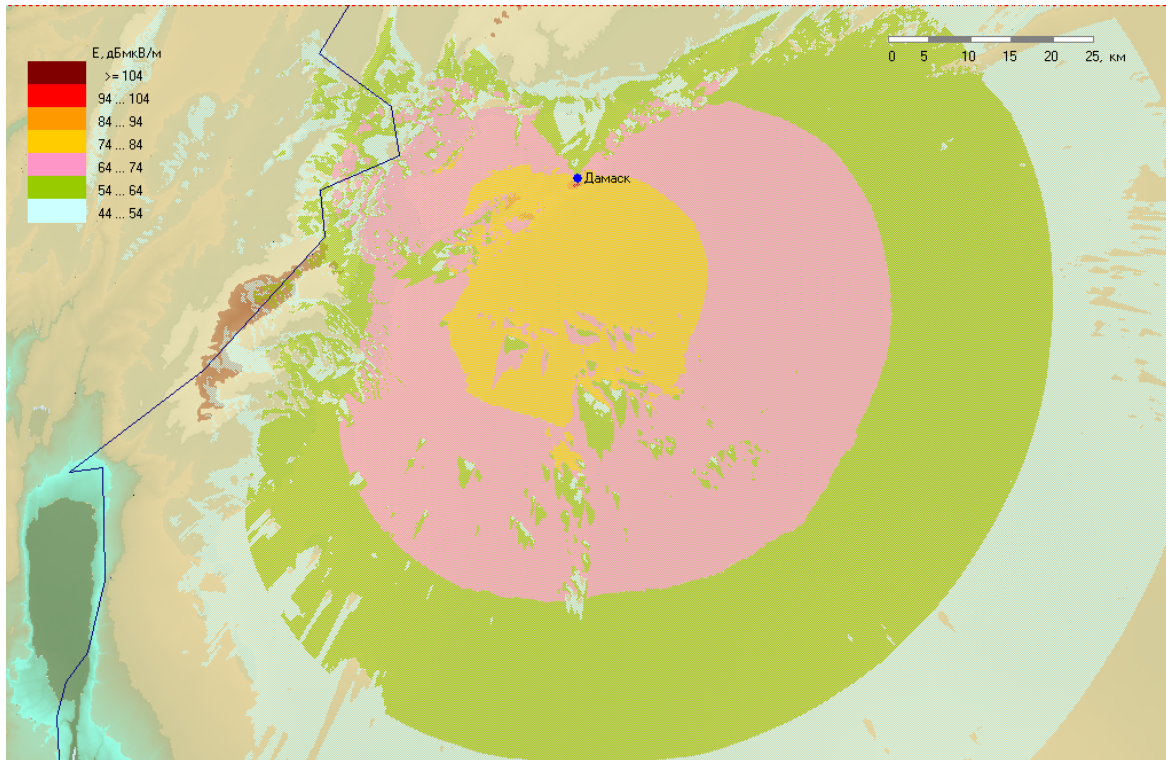


Рисунок 1 – Зона обслуговування цифрового передатчика, розположеного в г. Дамаск

Длительность защитного интервала T_3 выбирается от 1/4 до 1/32 длительности полезной части символа OFDM. Длительность защитного интервала необходимо выбирать исходя из максимального расстояния R между двумя наиболее отдаленными передатчиками, работающими в данной SFN сети:

$$T_3[\text{мкс}] = \frac{R[\text{км}]}{0,3}, \quad (6)$$

где 0,3 – коэффициент, имеющий размерность км/мкс.

В табл. 3 приведены рассчитанные на основе выражения (5) значения расстояний R , в зависимости от длительности защитного интервала.

Таблица 3 – Зависимость расстояния между передатчиками от длительности защитного интервала

Длительность рабочего символа T_p , мкс	896			
Относительная длительность защитного интервала T_3/T_p	1/4	1/8	1/16	1/32
Длительность защитного интервала T_3 , мкс	224	112	56	28
Максимальное расстояние между передатчиками в синхронной сети, км	67,2	33,6	16,8	8,4

Планирование одночастотных синхронных сетей предполагает два типа используемых ретрансляторов:

– ретрансляторы, синхронизированные приемниками GPS. При этом максимальное расстояние между передатчиками должно быть выбрано таким образом, чтобы разница в задержке сигналов не превышала защитного интервала;

– маломощные устройства (gap fillers), работающие на той частоте, что и основные передатчики. Их излучение не создает помех для приема от других передатчиков, так как мощность таких станций не превышает 5 Вт. В то же время, они устойчивы к отраженным сигналам, что обусловлено наличием защитного интервала. Применение таких ретрансляторов дает наибольший

эффект в условиях сложного рельефа.

Анализ демографической ситуации Дамасской области показывает существенное заселение в районах юго-западной части от г. Дамаск. В этих регионах достаточно сложный рельеф. Для планирования синхронной сети предлагается установка основного передатчика, расположенного в г. Дамаск и дополнительно четырех ретрансляторов:

1. Передатчик, расположенный в г. Кунейтра, мощностью 200 Вт и высотой подвеса антенны 70 м. Расстояние от данного передатчика от основной станции составляет 60 км. Так как этот передатчик расположен наиболее удаленно от основной станции, поэтому защитный интервал в планируемой синхронной сети должен составлять 1/4. Данный передатчик имеет среднюю мощность и может создавать потенциальные помеху приему основной станции, а поэтому обязательна синхронизация данного передатчика.

2. Передатчик, расположенный недалеко от города Катаны, мощностью 20 Вт и высотой подвеса антенны 60 м. Данный передатчик имеет малую мощность, однако может создавать потенциальную помеху приему основной станции, поэтому обязательна синхронизация данного передатчика.

3. Передатчик, расположенный недалеко от города Хбахеб, мощностью 10 Вт и высотой подвеса антенны 50 м. Данный передатчик имеет малую мощность, расположен в низине и потенциально не будет создавать помеху приему основной станции, поэтому возможно использование данного передатчика в режиме gap filler.

4. Передатчик, расположенный недалеко от г. Белей, мощностью 5 Вт и высотой подвеса антенны 50 м. Данный передатчик имеет малую мощность, расположен в низине, недалеко от границы зоны уверенного приема основного и потенциально не будет создавать помеху приему основной станции, поэтому возможно использование данного передатчика в режиме gap filler.

С помощью разработанного программного [6] обеспечения определена зона обслуживания в случае 5 передатчиков (см. рис. 2), работающих в режиме одночастотной синхронной сети. Анализ зоны обслуживания в случае использования 5 передатчиков показывает, что внутри зоны обслуживания распределение напряженности поля имеет более равномерный характер, что существенно уменьшает теневые зоны в районах компактного проживания населения на юго-западной части Дамасской области.

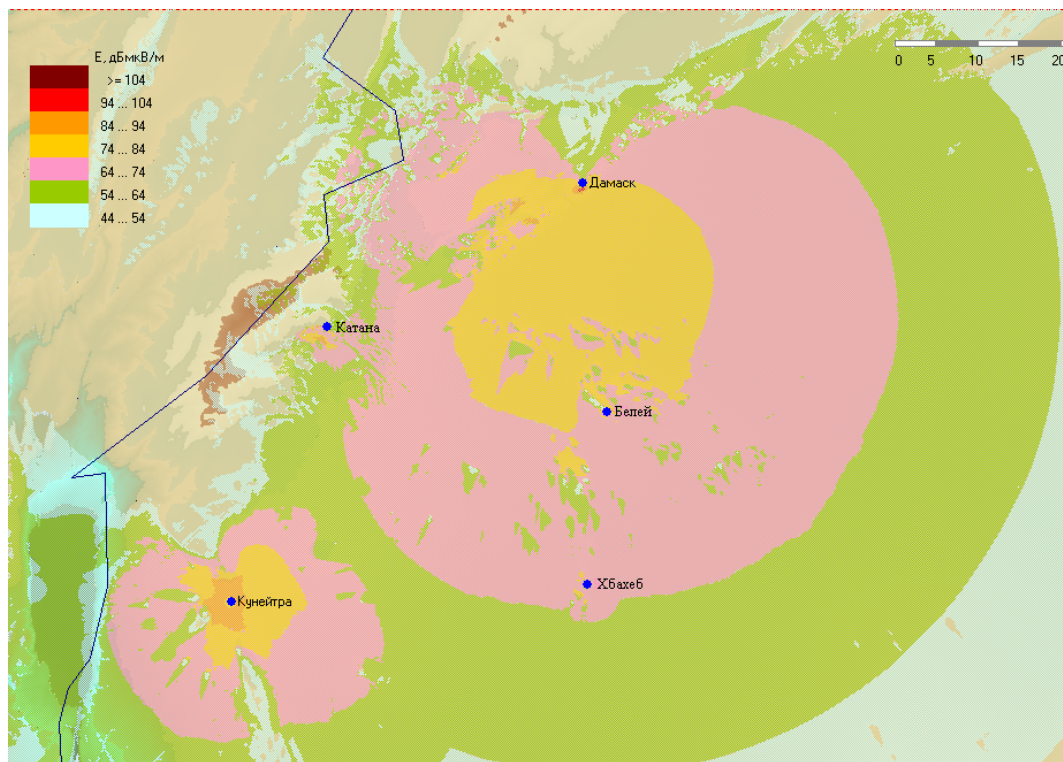


Рисунок 2 – Зона обслуживания цифрового наземного телевидения в стандарте DVB-T для 5 передатчиков, работающих в режиме синхронной сети

При этом точная конфигурация сети, которую можно вводить в эксплуатацию, будет определена после проведения полевых испытаний в проблемных зонах. Однако точное планирование сети на предварительном этапе позволяет существенно сократить расходы на полевые испытания, и возможные расходы, связанные с неправильным расположением передатчиков в зоне приема цифрового наземного телевидения DVB-T.

В заключении отметим, что использование одночастотных синхронных ретрансляторов является наиболее эффективным способом обеспечения покрытия наземным телевизионным вещанием в условиях сложного рельефа. В реальных условиях внедрения цифрового телевизионного вещания необходимо также рассматривать возможность использования режима иерархической модуляции совместно с применением синхронных сетей. Эффективность использования такого подхода будет рассмотрена в дальнейшем.

Литература

1. *Сети* телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания / [Локшин М.Г., Шур А.А., Кокорев А.В., Краснощеков Р.А.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 144 с.
2. *Арно Ж.Ф.* Планирование частот для радиовещательных служб в Европе / Ж. Ф. Арно // ТИИР. –1980. – Т.68. – № 12. – С.77–85.
3. *Песков С.Н.* Рекомендации по внедрению DVB эфирного вещания / С. Н. Песков, И. А. Колпаков // Телеспутник. – 2007. – № 2. – С. 32 – 35.
4. *Локшин М.Г.* Проблемы построения наземных сетей цифрового телевидения / М.Г. Локшин // Электросвязь. – 2007 – № 3. – С. 27 – 29.
5. *Заключительные акты* Региональной конференции радиосвязи по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в частях Районов 1 и 3 в полосах частот 174–230 МГц и 470–862 МГц. – Женева, – 2006. – 301 с.
6. *Маковеевко Д.А.* Оптимизация планирования внедрения радиотехнологий в Украине / Д.А. Маковеевко // Праці УНДІРТ. – 2008. – № 2(54). – С. 18–19.
7. *Лапин В.А.* Оптимизация модели планирования внедрения одночастотной синхронной сети системы DVB-T для режима подвижного приема / В. А. Лапин, Д. А. Маковеевко // Цифровые технологии. – 2008. – № 3. – С. 22 – 30.