

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНЕЛЬНЫХ АНТЕНН С УМЕНЬШЕННЫМИ РЕФЛЕКТОРАМИ И НАКЛОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ НА ОБЪЕКТАХ УКВ РАДИОВЕЩАНИЯ

DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-1-39-50

Manuscript received 03 November 2024;

Accepted 113 December 2024

Шустерман Феликс Давидович,Российская телевизионная и радиовещательная сеть,
Москва, Россия, FShusterman@rtrn.ru**Варламов Олег Витальевич,**Московский технический университет связи и
информатики, Москва, Россия, vov@mtuci.ru**Ключевые слова:** цифровое радиовещание,
FM-радиовещание, панельная антенна, диаграмма
направленности, уменьшенный рефлектор,
наклонная поляризация

При необходимости увеличения числа транслируемых каналов или перспективном переходе на цифровое радиовещание требуется размещение дополнительных антенных систем на существующей вещательной инфраструктуре (мачтах и башнях), которая изначально не была для этого предназначена. Места для установки дополнительных антенн в ряде случаев оказываются "не удобными" с электромагнитной точки зрения. Так, на призме большого сечения при использовании антенн с только вертикальной или только горизонтальной поляризацией при разумных затратах, глубокие многочисленные провалы в диаграмме направленности более 20 дБ становятся неизбежными. В настоящей статье на основании проводимого электромагнитного анализа рассматриваются причины возникновения проблемных ситуаций и предлагаются систематизированные решения по их преодолению для призм различного сечения с различными вариантами установки - на поясах и на гранях башни, в том числе с рефлекторами уменьшенного размера. Предлагаемое использование антенн с наклонной поляризацией и чередующимся направлением наклона позволяет снизить неравномерность диаграммы направленности до 4...5 дБ при использовании стандартных рефлекторов и до 6...7 дБ при использовании более технологичных и экономичных рефлекторов уменьшенного размера.

Информация об авторах:**Шустерман Феликс Давидович,** Начальник отдела Департамента радиовещания и радиосвязи РТРС, Москва, Россия**Варламов Олег Витальевич,** д.т.н., профессор кафедры "Радиооборудование и схемотехника", Московский технический университет связи и информатики, Москва, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3996-9156>**Для цитирования:**

Шустерман Ф.Д., Варламов О.В. Использование панельных антенн с уменьшенными рефлекторами и наклонной поляризацией на объектах УКВ радиовещания // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №1. С. 39-50.

For citation:

F. D. Shusterman, O. V. Varlamov, "Using panel antennas with reduced reflectors and slant polarization on VHF broadcasting objects," T-Comm, 2025, vol. 19, no.1, pp. 39-50. (in Russian)

Введение

Несмотря на все возрастающее потребление информационно-развлекательного контента с помощью абонентских устройств, подключенных к сотовым сетям подвижной связи, наземное радиовещание в диапазоне ультракоротких волн (УКВ) сохраняет повсеместное использование и стабильную долю в прослушивании для водителей и пассажиров автомобильного транспорта. Наземное радиовещание, как одно из самых первых применений использования радиотехнологий, в силу большого охвата населения и имеющегося парка бытовых приемников, достаточно консервативно. По этой причине переход к новым технологиям, в частности, к цифровому радиовещанию (DRM/DRM+ [1-5], DAB/DAB+ [6]) в большинстве крупных стран не происходит одновременно, а сопровождается достаточно длительным периодом совместного сосуществования различных систем [7-8]. При этом требуется установка дополнительных передатчиков и антенных систем на существующую вещательную инфраструктуру (мачты и башни), которая изначально не была для этого предназначена.

Аналогичная проблема может возникнуть и при увеличении числа транслируемых каналов. Места для установки дополнительных антенн в ряде случаев оказываются "не удобными" с электромагнитной точки зрения. Первые единичные примеры рассмотрения данной проблемы были изложены авторами в [9].

В настоящей статье на основании проводимого электромагнитного анализа рассматриваются причины возникновения проблемных ситуаций и предлагаются систематизированные решения по их преодолению для призм различного сечения с различными вариантами установки – на поясах и на гранях башни, в том числе с рефлекторами уменьшенного размера.

1 Причины возникновения значительных провалов в диаграмме направленности в горизонтальной плоскости при использовании антенн с линейной поляризацией

В настоящее время подавляющее большинство объектов радиовещания РФ в УКВ диапазоне используют антенны с вертикальной поляризацией. Для обеспечения покрытия заданной территории с заданным качеством передающие антенны должны иметь диаграммы направленности в горизонтальной плоскости (ДНГ) без существенных провалов. К сожалению, условия размещения антенн на существующих металлоконструкциях в ряде случаев не позволяют избежать появления глубоких провалов в ДНГ.

В частности, не удаётся добиться ДНГ, близкой к круговой, на призмах со стороной более 2,5 x 2,5 м, где стандартным решением является использования четырёх панелей в этаже с двумя вертикальными диполями в каждой панели.

Достаточно часто стандартной ситуацией является отсутствие достаточного места на участках верхней части призмы типовых башен 1,75 x 1,75 м и 2,5 x 2,5 м, а ниже этого участка башня имеет переменное расширяющееся сечение большого диаметра, что не позволяет получить слабонаправленную ДНГ.

Другой распространенной ситуацией, где возникают глубокие провалы в заданном для обслуживания секторе углов, является расположение двух вертикальных антенн типа

«Вертикаль» по двум противоположенным сторонам мачты (башни). В этом случае глубокие провалы в ДНГ обусловлены интерференцией двух источников, а также влиянием существующей металлоконструкции.

Условие для возникновения глубоких провалов в ДНГ возникает при суммировании сигналов с сопоставимыми амплитудами и противоположными фазами в заданном направлении:

$$\Delta\theta^\circ = 360^\circ * \frac{d}{\lambda} * \sin(\varphi), \quad (1)$$

где $\Delta\theta^\circ$ – разность фаз в направлении φ ; φ – отклонение от нормали к линии, соединяющей два источника; d – расстояние между двумя источниками сигнала; λ – длина волны.

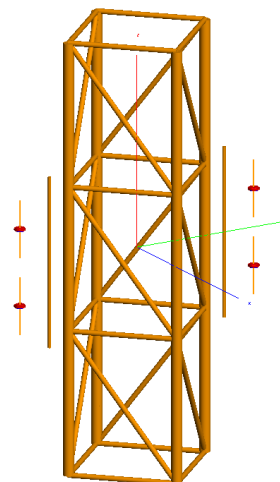
Из (1) видно, что начиная с полуволнового расстояния между двумя источниками сигнала, в некоторых азимутальных направлениях создаются условия для возникновения глубоких интерференционных провалов в ДНГ.

На объектах УКВ вещания существенных провалов удаётся избежать за счёт расположения панелей по четырём сторонам башни и формирования соответствующей ДН для каждой панели. При этом в направлениях, где разность фаз равна 180° , амплитуды сигнала от соседних панелей сильно отличаются, и условие для возникновения глубоких провалов не соблюдается. Это применимо и для вертикальной, и для горизонтальной поляризации.

При росте поперечных размеров башни и увеличении расстояния между антеннами, возникновение существенных провалов в ДНГ становится неизбежным, так как условие $\Delta\theta^\circ = 180^\circ$ возникает в направлениях, где уровни сигналов от соседних панелей уже соизмеримы.

Все приведенные ниже результаты получены с помощью специализированной программы для расчёта антенн FEKO (Altair Engineering, Inc.). Все расчёты произведены с учётом влияния существующих металлоконструкций, которые вошли в расчётную модель.

На рисунке 1 изображена антенная система, состоящая из двух антенн типа «Вертикаль», расположенная на двух противоположенных поясах мачты сечением 2,5 x 2,5 м. Расстояние трубостойки антенн до пояса мачты принята равной 0,3 м. Там же приведена её ДНГ в диапазоне частот, рассчитанная с учётом влияния мачты.



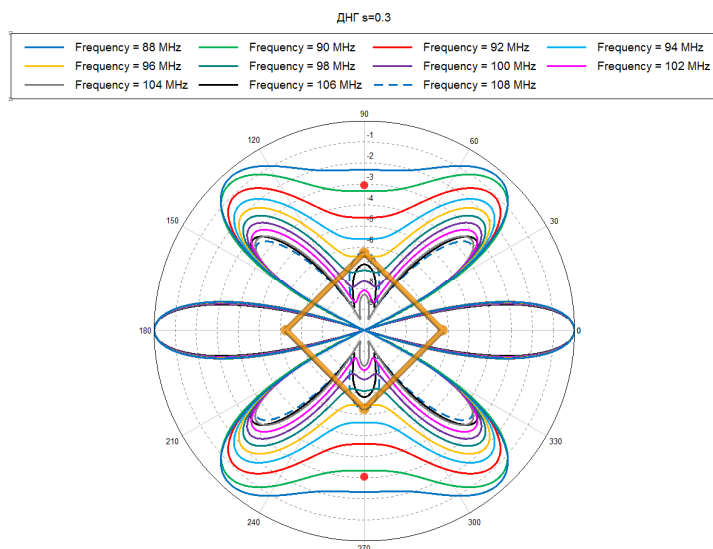


Рис. 1. Антенная система из двух антенн типа «Вертикаль» и её ДНГ

Подобное расположение антенн радиовещательные станции часто используют в расчёте на то, что в главных направлениях 0° и 270° , где расположены половины антенны в ДНГ будет получены два сектора углов без глубоких провалов, а в остальных направлениях глубокие провалы также будут отсутствовать. На рисунке 1 видно, что ДНГ имеет характерные частотнозависимые глубокие провалы, как в главных направлениях, так и в других. Как будет показано ниже, при установке подобной антенной системы на участке башни ещё большего сечения количество глубоких провалов увеличится. Также нужно иметь в виду, что на ДНГ подобных систем в значительной степени влияет существующая металлоконструкция, поскольку существующий рефлектор не обеспечивает достаточную экранировку.

2 Использование антенн с наклонной поляризацией

Наклонная поляризация [10] в последние годы стабильно, но относительно редко, привлекает внимание исследователей для применения в различных приложениях [11-14], включая ММО [15, 16], и в различных диапазонах частот [17-19]. На действующих объектах УКВ радиовещания наклонная поляризация используется редко. Как правило используется вертикальная или горизонтальная поляризация, а также круговая или эллиптическая.

Действительно, в ряде случаев имеется возможность избавиться от появления нежелательных глубоких интерференционных минимумов в ДНГ на башнях с большим поперечным сечением путём использования панелей с одиночными диполями, расположенными наклонно под углом 45° к оси максимального излучения панели. При этом панели расположены по сторонам четырёхугольной призмы, а наклон диполя в каждой панели относительно соседней изменяется на 90° .

На рисунке 2 показан пример такого расположения антенных панелей на башне вокруг металлического ограждения диаметром 12 м.

В этой антенной системе провалы в ДНГ устраняются из-за чередования направления наклона панелей. Действительно, наклонные панели излучают одновременно вертикаль-

ную и горизонтальную поляризацию. Начиная с определенного расстояния (относительно рабочей длины волны) между фазовыми центрами панелей в ДНГ образуются интерференционные минимумы и максимумы.

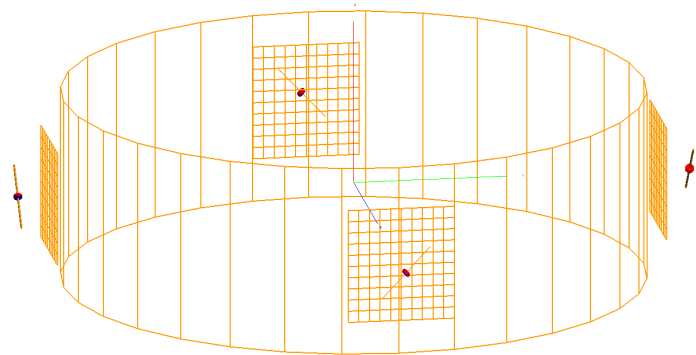


Рис. 2. Пример расположения антенных панелей на башне вокруг металлического ограждения диаметром 12 м

В общем случае, положения этих минимумов и максимумов для вертикальной и горизонтальной поляризации совпадают. Однако, при поочередном изменении наклона соседних панелей на 90° , направление тока вертикальной составляющей остаётся прежней, а направление тока горизонтальной составляющей меняется на противоположенное. В результате этого максимумы поля вертикальной составляющей совпадают с минимумами тока горизонтальной составляющей и наоборот. Рассчитанная на частоте 98 МГц для трёх составляющих электромагнитного поля: горизонтальной (красная), вертикальной (зелёная) и суммарной (синяя), ДНГ антенной системы приведена на рисунке 3.

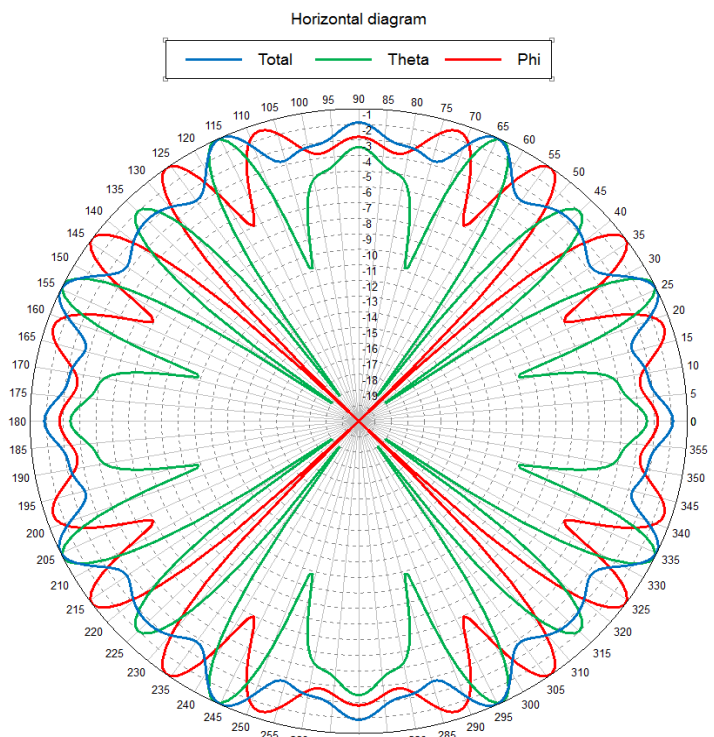


Рис. 3. ДНГ антенной системы на частоте 98 МГц для трёх составляющих электромагнитного поля: горизонтальной (красная), вертикальной (зелёная) и суммарной (синяя)

Рассчитанная результирующая ДНГ для двух крайних и центральной частот радиовещательного диапазона приведена на рисунке 4.

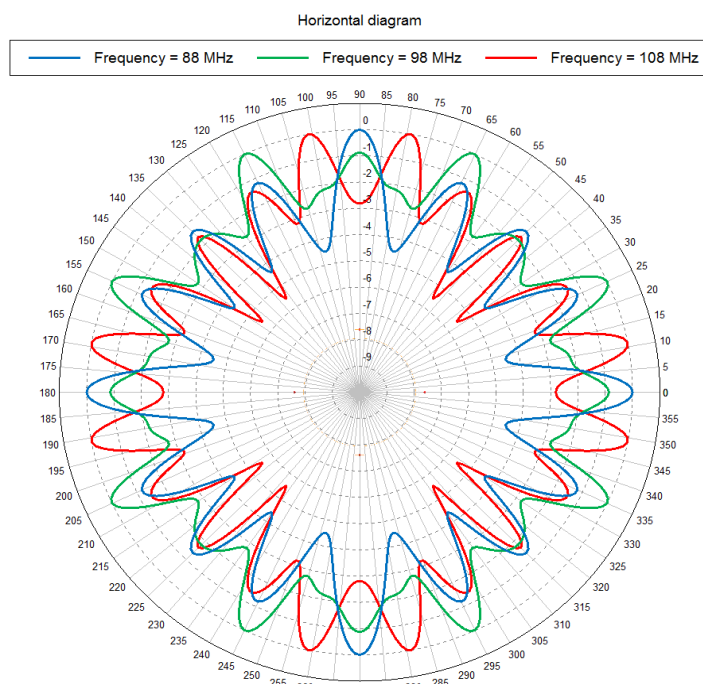


Рис. 4. Результирующая ДНГ для двух крайних и центральной частот радиовещательного диапазона

Рассматривая подобную антенную систему как компромиссный бюджетный вариант, достигнутую неравномерность ДНГ менее 5,5 дБ на крайней частоте можно считать приемлемой для радиовещания. При этом поляризация суммарного сигнала при изменении азимутального направления будет варьироваться между вертикальной, горизонтальной и наклонной - как показано на рисунке 3.

Для рассмотренной антенной системы в расчётной модели использовались рефлекторы стандартных панелей с двумя поляризациями размерами 2,2 x 2,2 м. Однако на использование такого рефлектора могут накладываться ограничения со стороны допустимых механических нагрузок - ветровых и гололедных, особенно при установке на больших высотах, а в отдельных случаях и по стоимости и сложности монтажа. Далее рассмотрены варианты использования рефлектора с уменьшенным размером и его наклонного расположения.

Ниже рассмотрены ряд вариантов, когда использование наклонной поляризации позволяет решить задачи с меньшими затратами по сравнению с традиционными решениями. Рассмотрены два варианта панелей для нескольких типовых сечений призмы: первый с тремя проводами (серийно производится АО «Прима Телеком») и второй несколько большего размера с четырьмя проводами.

На рисунке 5 показаны два варианта панели с одиночным диполем и уменьшенным рефлектором. В варианте 1 рефлектор имеет размеры 0,6 x 2 м и состоит из трёх проводов, а варианте 2 рефлектор имеет размеры 1 x 2 м и состоит из пяти проводов.

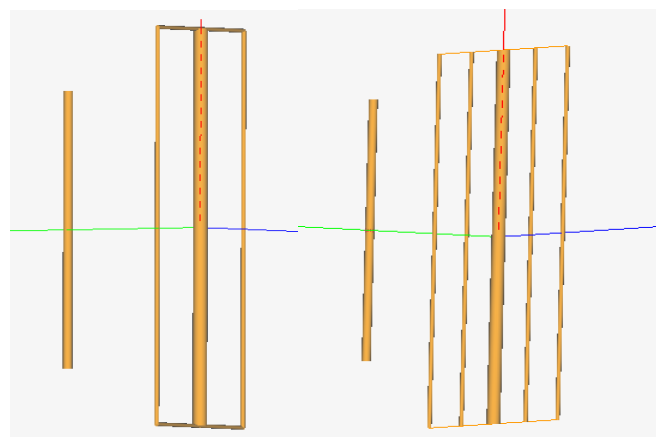


Рис. 5. Два варианта панелей с уменьшенным рефлектором

2.1 Призма 1750x1750 мм

2.1.1 Панель вариант 1. Панели установлены на поясах башины. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,8$ м. На рисунке 6 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 7 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

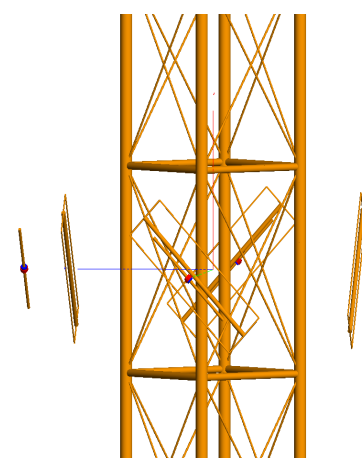


Рис. 6. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1. Панели установлены на поясе

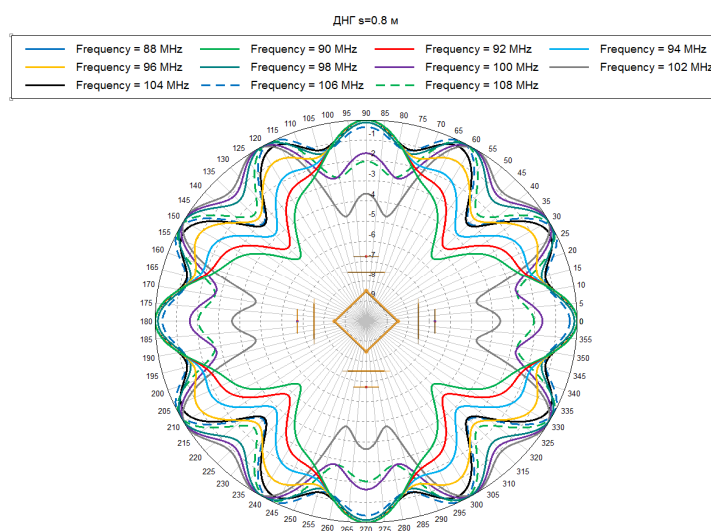


Рис. 7. ДНГ. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1. Панели установлены на поясе

2.1.2 Панель вариант 2. Панели установлены на поясах башни. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,8$ м

На рисунке 8 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 9 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

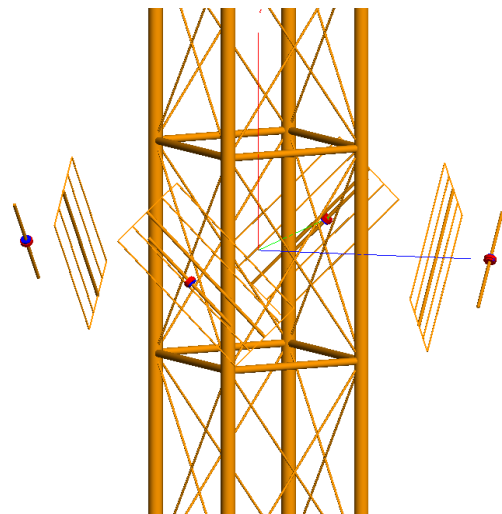


Рис. 8. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 2. Панели установлены на поясе

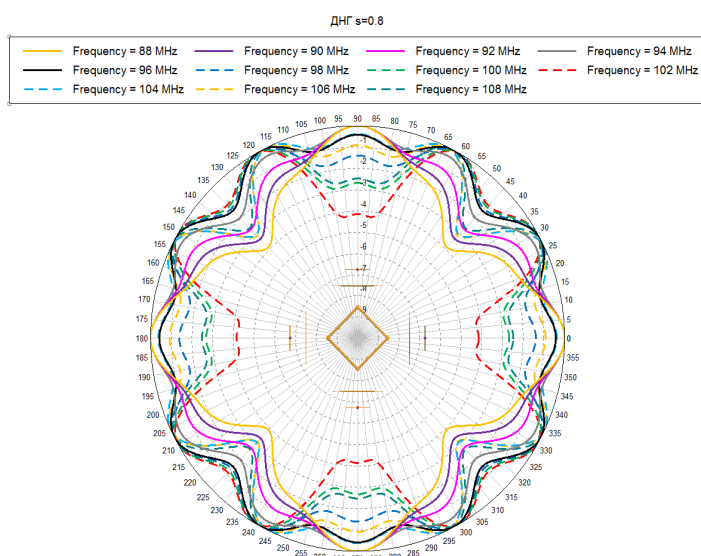


Рис. 9. ДНГ. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 2. Панели установлены на поясе

2.1.3 Панель вариант 2. Панели установлены на гранях башни. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=1,0$ м

На рисунке 10 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 11 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

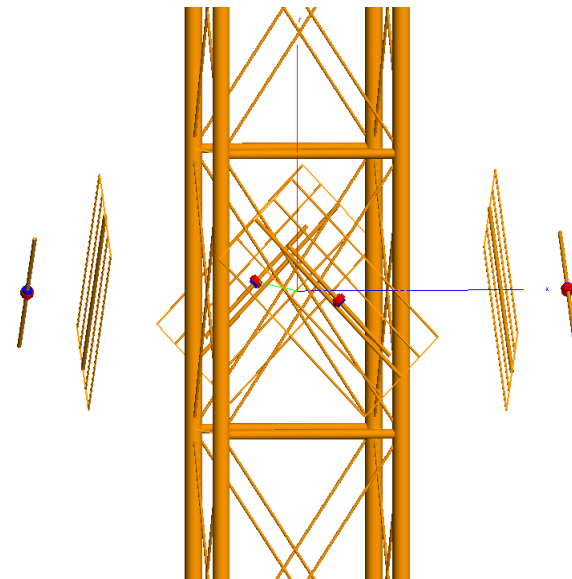


Рис. 10. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 2. Панели установлены на грани

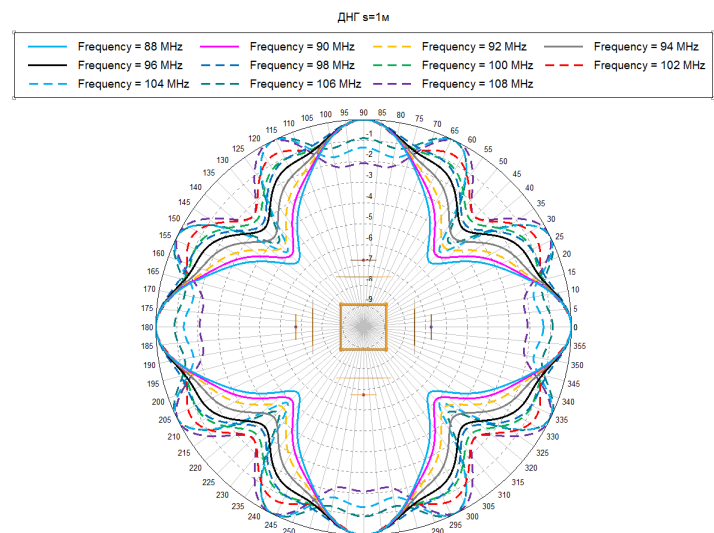


Рис. 11. ДНГ. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 2. Панели установлены на грани

2.1.4 Панель вариант 1. Две панели установлены на двух противоположных поясах. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,7$ м

На рисунке 12 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 13 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

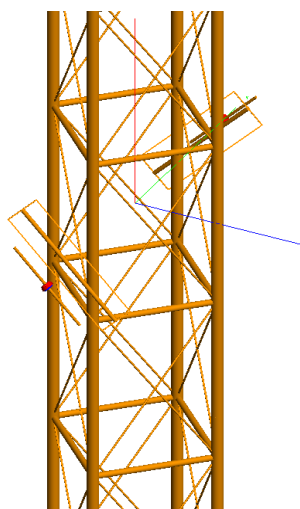


Рис. 12. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1.
Панели установлены на противоположные пояса

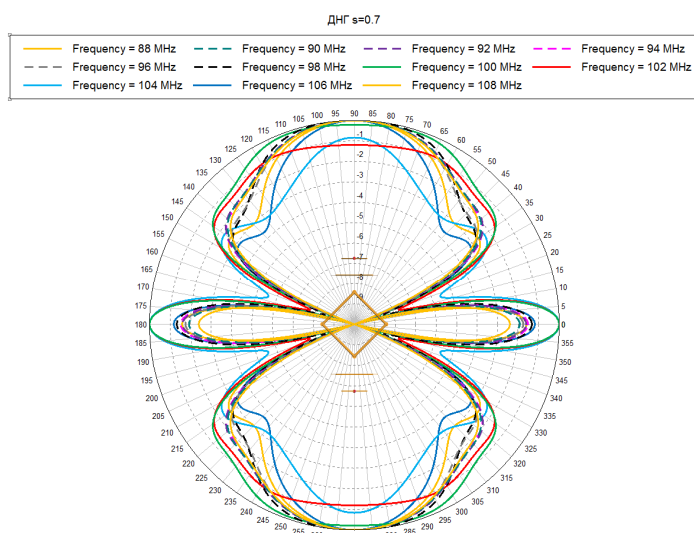


Рис. 13. ДНГ. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1.
Панели установлены на противоположные пояса

2.1.5 Панель вариант 1. Две панели установлены на двух противоположенных гранях. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=0,3$ м

На рисунке 14 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 15 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

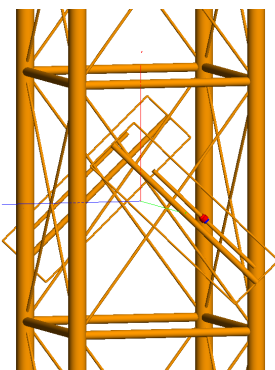


Рис. 14. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1.
Панели установлены на противоположные грани

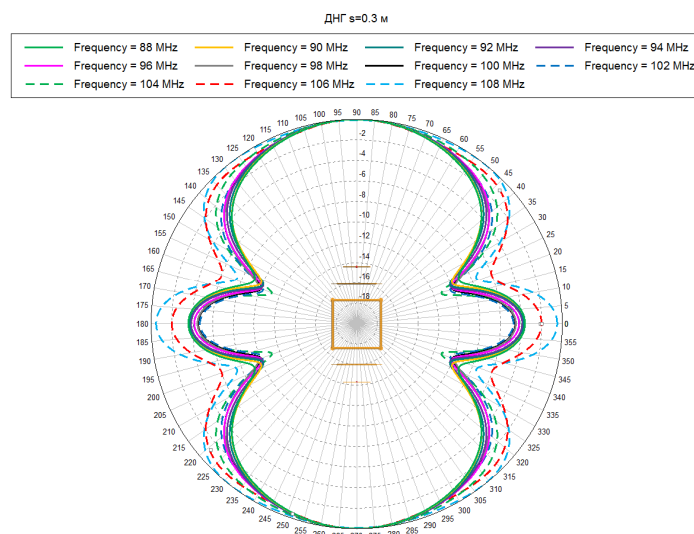


Рис. 15. ДНГ. Призма 1750 x 1750. Панели вариант 1.
Панели установлены на противоположные грани

2.2 Призма 2500 x 2500 мм

2.2.1 Панель вариант 1. Панели установлены на поясах башины. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,5$ м

На рисунке 16 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 17 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

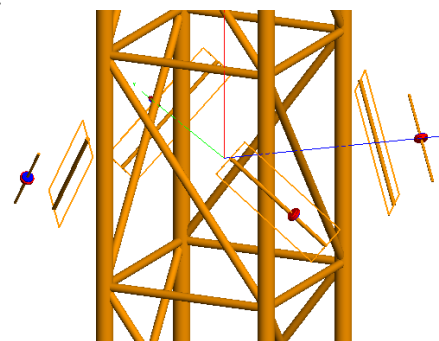


Рис. 16. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1.
Панели установлены на поясе

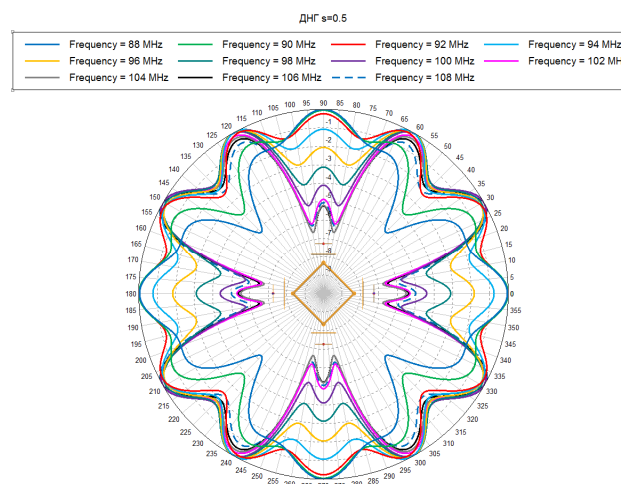


Рис. 17. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1.
Панели установлены на поясе

2.2.2 Панель вариант 1. Панели установлены на гранях башины. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=0,8$ м

На рисунке 18 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 19 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

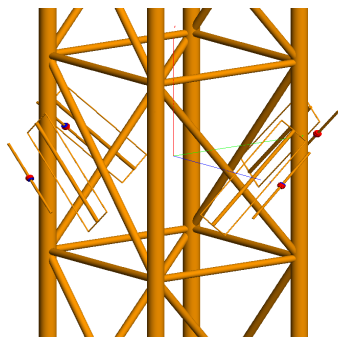


Рис. 18. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на гранях

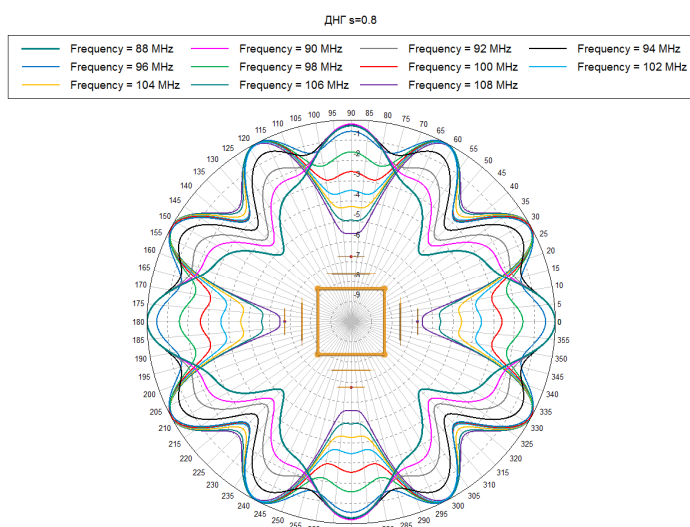


Рис. 19. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на гранях

2.2.3 Панель вариант 2. Панели установлены на поясах башины. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,3$ м

На рисунке 20 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 21 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

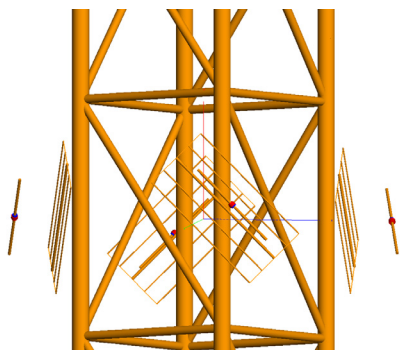


Рис. 20. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 2. Панели установлены на поясах

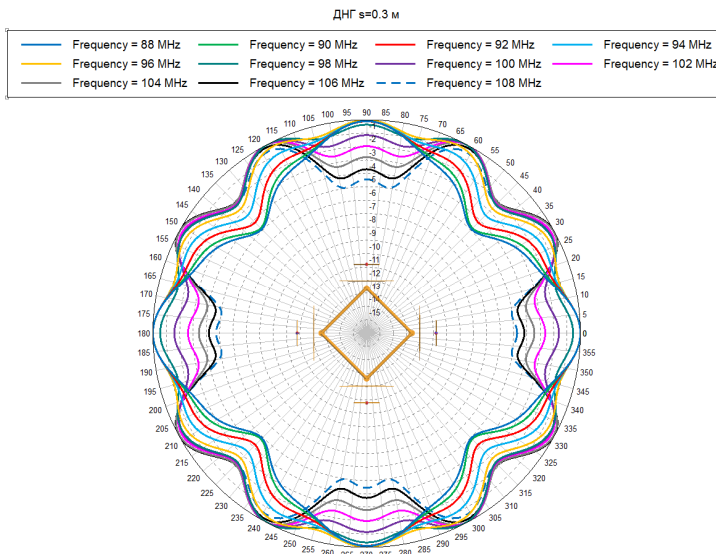


Рис. 21. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 2. Панели установлены на поясах

2.2.4 Панель вариант 2. Панели установлены на гранях башины. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=0,8$ м

На рисунке 22 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 23 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

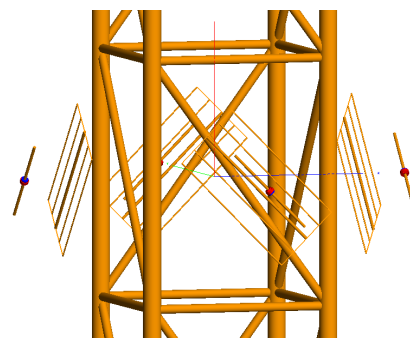


Рис. 22. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 2. Панели установлены на гранях

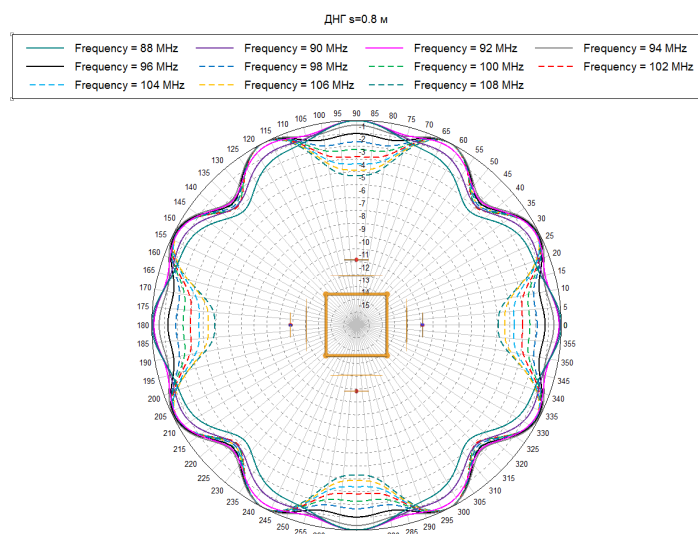


Рис. 23. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 2. Панели установлены на гранях

2.2.5 Панель вариант 1. Две панели установлены на двух противоположенных поясах. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,3$ м

На рисунке 24 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 25 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

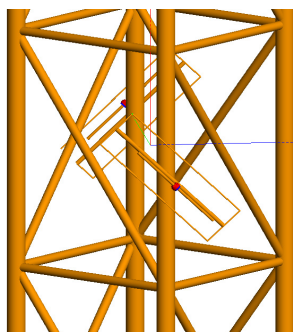


Рис. 24. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на противоположные пояса

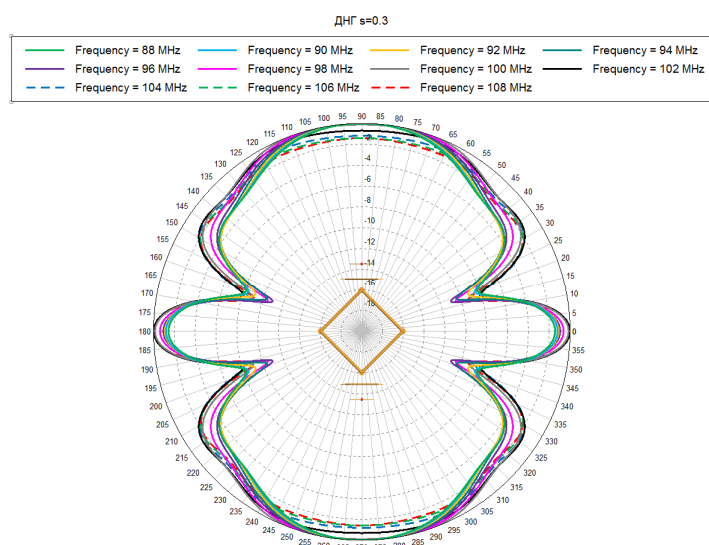


Рис. 25. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на противоположенные пояса

2.2.6 Панель вариант 1. Две панели установлены на двух противоположенных гранях. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=0,6$ м

На рисунке 26 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 27 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

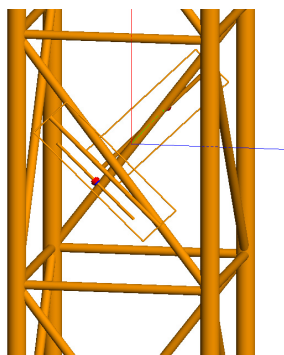


Рис. 26. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на противоположенные грани

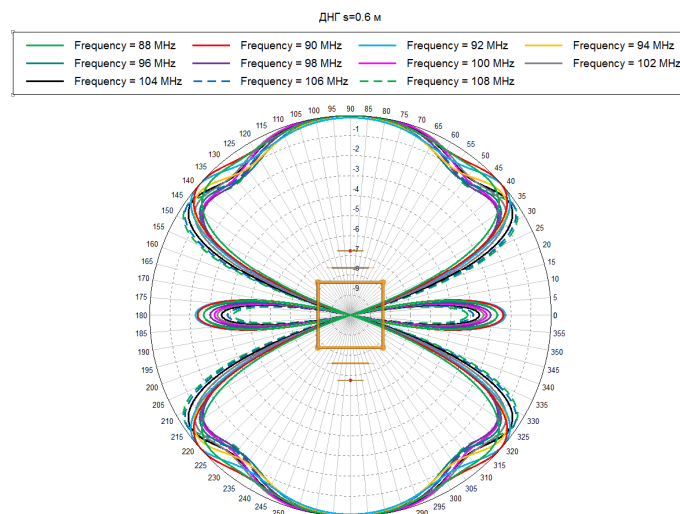


Рис. 27. ДНГ. Призма 2500 x 2500. Панели вариант 1. Панели установлены на противоположенные грани

2.3 Призма большого сечения 9x9 м

2.3.1 Призма 9000x9000. Панель с полноразмерным рефлектором 2200x2200 мм от антенны с двумя поляризациями

На рисунке 28 показано расположение панелей на башне, а на рисунке 29 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

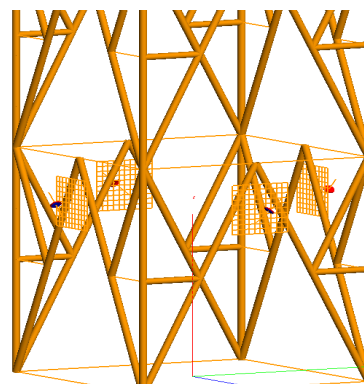


Рис. 28. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2200 x 2200. Панели установлены на гранях

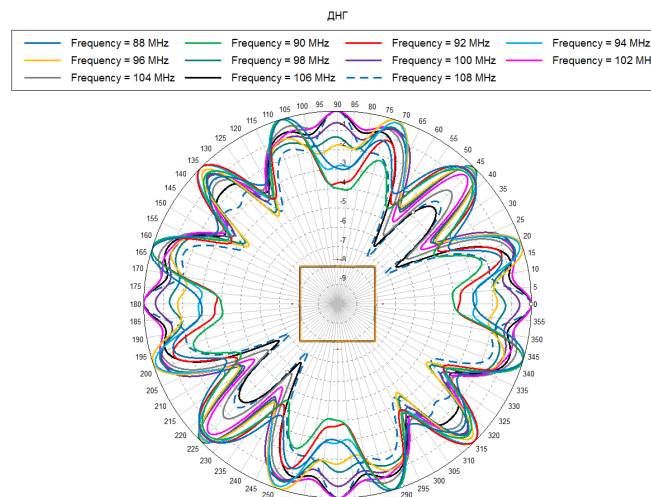


Рис. 29. ДНГ. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2200 x 2200. Панели установлены на гранях

2.3.2 Призма 9000 x 9000. Панель с полноразмерным рефлектором 2400 x 1750, расположенным наклонно

На рисунке 30 показано расположение панелей на башне, а на рисунке 31 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

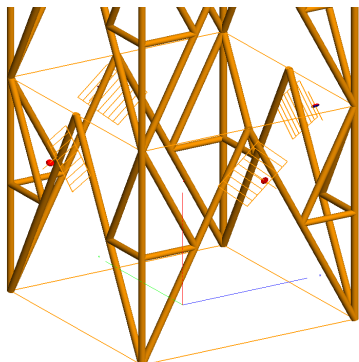


Рис. 30. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2400 x 1750.
Панели установлены на гранях

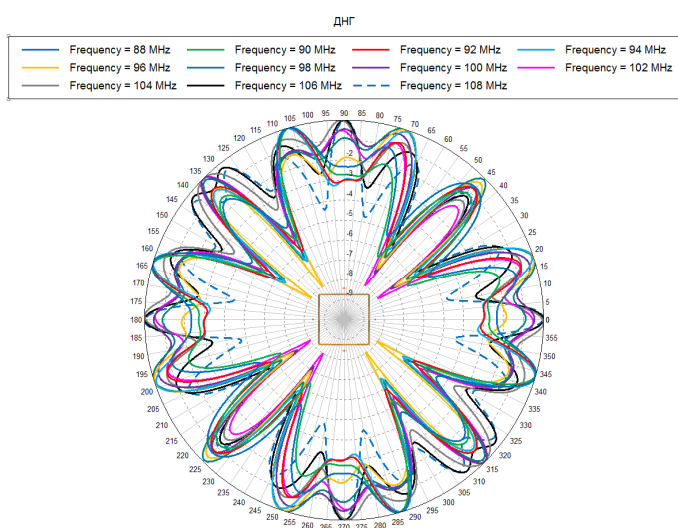


Рис. 31. ДНГ. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2400 x 1750.
Панели установлены на гранях

2.3.3 Панель вариант 2. Панели установлены на гранях призмы 9000x9000. Расстояние от плоскости грани до рефлектора (по центрам труб) $s=0,3$ м

На рисунке 32 показано расположение панелей на башне, а на рисунке 33 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

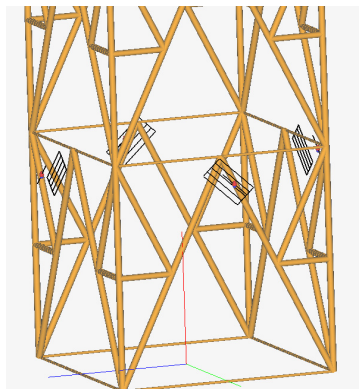


Рис. 33. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2.
Панели установлены на гранях

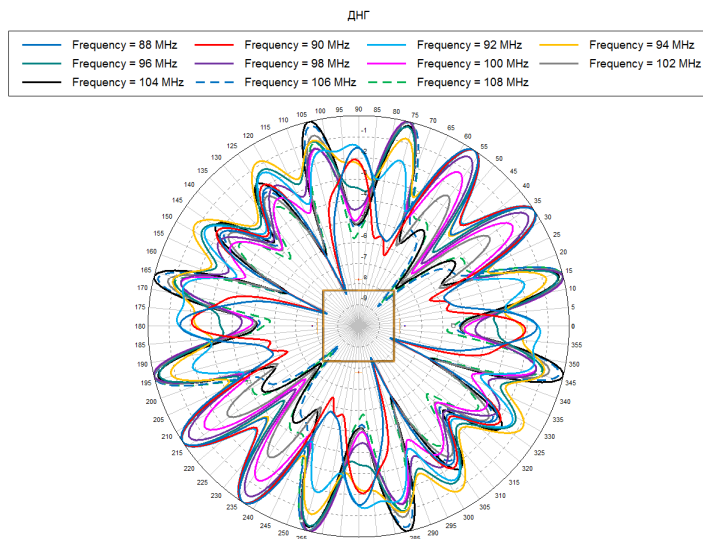


Рис. 33. ДНГ. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 2.
Панели установлены на гранях

2.3.4 Панель вариант 1. Две панели установлены на двух противоположных поясах. Расстояние от пояса до рефлектора (по центрам труб) $s=0,5$ м

На рисунке 34 показано расположение панелей на мачте, а на рисунке 35 приведена ДНГ всей антенной системы в FM диапазоне.

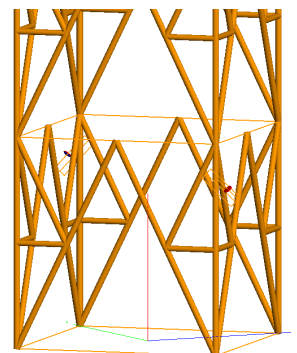


Рис. 34. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 1.
Панели установлены на поясах

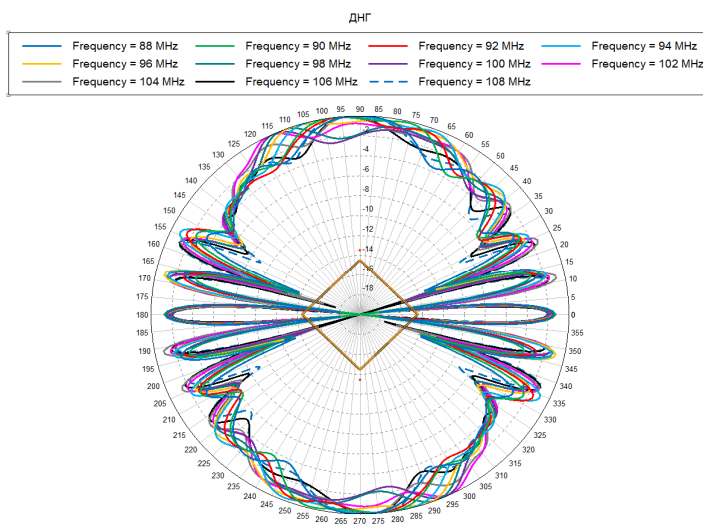


Рис. 35. ДНГ. Призма 9000 x 9000. Панели вариант 1.
Панели установлены на поясах

Для сравнения на рисунках 36 и 37 показан аналогичный вариант расположения двух антенн типа «Вертикаль» на той же башне.

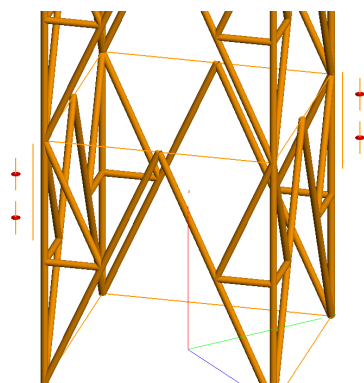


Рис. 36. Призма 9000 x 9000. Две антенны «Вертикаль». Панели установлены на поясах

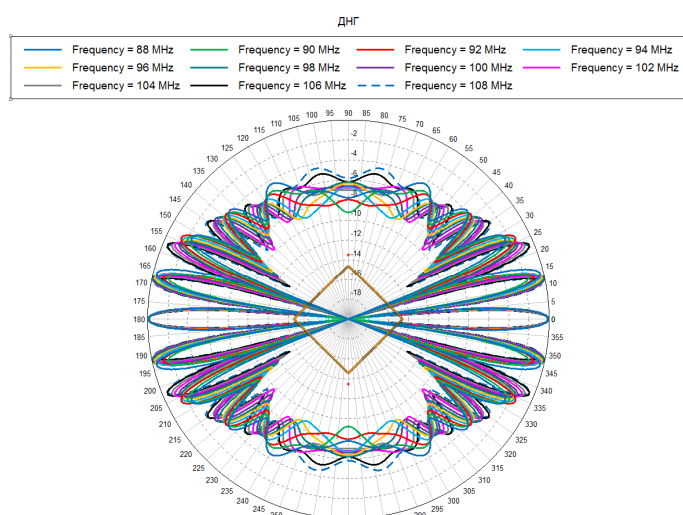


Рис. 37. ДНГ. Призма 9000 x 9000. Две антенны «Вертикаль». Панели установлены на поясах

3 Анализ результатов исследований

3.1 Типовые металлоконструкции с призмами сечением 1750 x 1750 мм и 2500 x 2500 мм

3.1.1 Призма 1750 x 1750

Панель вариант 1 (рис. 6, 7) на поясах призмы даёт приемлемый для радиовещания результат с провалами ДНГ не более 5,5 дБ.

Панель вариант 2 (рис. 10, 11) при расположении на гранях также даёт результат с провалами ДНГ не более 5,5 дБ, что также приемлемо для радиовещания.

Панель вариант 2 (рис. 8, 9) при расположении на поясе даёт лучший результат с провалами ДНГ не более 4 дБ, однако, с точки зрения монтажа этот вариант может быть более трудоёмким.

3.1.2 Призма 2500 x 2500

Панель вариант 1 даёт лучший вариант при расположении на гранях (рис. 18, 19), на большинстве частот провалы не превышают 6 дБ.

Панель вариант 2 даёт лучший вариант при расположении на гранях (рис. 22, 23), на большинстве частот провалы не превышают 4 дБ.

3.1.3 Расположение панелей на противоположенных поясах призмы

Для обоих вариантов призмы расположение панелей вариант 1 (рис. 12-15, 24-27) дают хорошие ДНГ без провалов в главных направлениях по сравнению с традиционным вариантом (рис. 1).

В целом, полученные результаты для рассмотренных типовых металлоконструкций радиовещания можно считать приемлемыми.

3.2 Призма большого сечения

Для примера рассмотрена существующая конструкция башни в виде призмы сечением 9 x 9 м.

Как и ожидалось, наилучшие результаты получены при использовании самого большого рефлектора 2200 x 2200 от типовой антенны с двумя поляризациями (рис. 28, 29), где на большинстве частот провалы не превышают 5 дБ, а на одной частоте имеется провал 6,5 дБ. В данном случае провалы в основном обусловлены переизлучением окружающих элементов металлоконструкции.

Использование стандартного рефлектора 2400 x 1750 (рис. 30, 31), установленного наклонно, даёт несколько худший результат с провалами на отдельных частотах 7-8 дБ, а на большинстве частот провалы менее 6 дБ.

Использование уменьшенного рефлектора вариант 2 (рис. 32, 33) даёт провалы на отдельных частотах 7-9 дБ, а на большинстве частот провалы менее 6,5 дБ.

Сравнение ДНГ для двухстороннего расположения антенн (рис. 34-37) наклонной и вертикальной поляризации очевидно показывает преимущество использования наклонной поляризации.

3.3 Обобщение результатов исследований

Результаты проведенных исследований в обобщенном виде представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Обобщенные результаты исследований

Панель	Расположение	Рисунок, ДНГ	Провалы в ДНГ, дБ, не более
Призма 1,75 x 1,75 м			
Вариант 1, рефлектор 0,6 x 2 м	на 4-х поясах	Рис. 6, 7	5.5
Вариант 2, рефлектор 1 x 2 м	на 4-х поясах	Рис. 8, 9	4 ¹
Вариант 2, рефлектор 1 x 2 м	на 4-х гранях	Рис. 10, 11	5.5
Вариант 1, рефлектор 0,6 x 2 м	на 2-х противоположенных поясах	Рис. 12, 13	4 ^{1,2}
Вариант 2, рефлектор 1 x 2 м	на 2-х противоположенных гранях	Рис. 14, 15	4 ^{1,2}
Призма 2,5 x 2,5 м			
Вариант 1, рефлектор 0,6 x 2 м	на 4-х гранях	Рис. 18, 19	6

Вариант 2 рефлектор 1 x 2 м	на 4-х поясах	Рис. 20, 21	6 ¹
Вариант 2 рефлектор 1 x 2 м	на 4-х гранях	Рис. 22, 23	4
Вариант 1, рефлектор 0,6 x 2 м	на 2-х противоположенных поясах	Рис. 24, 25	4 ^{1,2}
Вариант 1, рефлектор 0,6 x 2 м	на 2-х противоположенных гранях	Рис. 26, 27	4 ²
Референсный вариант антенны с вертикальной поляризацией	на 2-х противоположенных поясах	Рис. 1	10 ²
Призма 9x9 м			
Типовой двухполяризационный рефлектор, 2,2 x 2,2 м	на 4-х гранях	Рис. 28, 29	5 (6,5 ³)
Стандартный, 2,4 x 1,75 м, наклонно	на 4-х гранях	Рис. 30, 31	6 (7...8 ³)
Вариант 2 рефлектор 1 x 2 м	на 4-х гранях	Рис. 32, 33	6,5 (7...9 ³)
Референсный вариант с только вертикальной или горизонтальной поляризацией			>20 дБ

¹ – вариант более трудоёмкий с точки зрения монтажа;

² – в главных направлениях;

³ – на отдельных частотах.

4 Выводы

Показано, что на призме большого сечения при использовании антенн с только вертикальной или горизонтальной поляризацией при разумных затратах глубокие многочисленные провалы в ДНГ более 20 дБ становятся неизбежными.

Учитывая относительную малозатратность предложенных решений, и при наличии некоторого запаса в энергетике в направлении максимальных провалов, подобное использование антенн с наклонной поляризацией является практически безальтернативным.

Полученные результаты также позволяют сделать вывод о целесообразности применения наклонных панелей с уменьшенным рефлектором в качестве альтернативного варианта для получения ДНГ с приемлемой для радиовещания неравномерностью в том случае, когда смешанная поляризация не является существенным препятствием для вещателя.

Литература

1. Варламов О.В. Организация одночастотных сетей цифрового радиовещания стандарта DRM. Особенности и результаты практических испытаний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Т. 12. № 11. С. 4-20.
2. Варламов О.В., Варламов В.О., Долгопятова А.В. Международная сеть DRM вещания для создания информационного поля в Арктике // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Т. 13. № 9. С. 9-16.
3. Varlamov O.V., Bychkova A.A. Basis of Technical Design and Development a Single-Frequency DRM Digital Broadcasting Network for Venezuela // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488396.
4. Varlamov O.V. DRM digital broadcasting system audio path qualitative characteristics // Synchroinfo Journal, vol. 8, no. 4, pp. 2-8, 2022. DOI: 10.36724/2664-066X-2022-8-4-2-8.
5. Varlamov O.V. DRM Digital Radio Receivers Sensitivity // 2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/EMCTECH58502.2023.10296930.
6. Santos V.M.J.D. The current state and trends of the development of digital tele-radio broadcasting systems in the world // Synchroinfo Journal, vol. 7, no. 1, pp. 17-23, 2021. DOI: 10.36724/2664-066X-2021-7-1-17-23
7. Dolgopyatova A.V., Varlamov O.V. Analysis of Long-Range VHF Radio Waves Propagation to Specify Protection Ratios between Coexisting DRM+, RAVIS and IBOC Systems // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488392.
8. Waal A. Coexistence of television broadcasting, FM broadcasting, digital broadcasting in DAB and DRM+ standards calculation methodology // Synchroinfo Journal 2024, vol. 10, no. 1, pp. 18-23. DOI: 10.36724/2664-066X-2024-10-1-18-23.
9. Shusterman F.D., Varlamov O.V. Use of Panel Antennas with Reduced Reflectors and Slant Polarization at VHF Broadcast Sites // 2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), Vyborg, Russian Federation, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617559.
10. Quan X., Li R., Fan Y., Anagnostou D.E. Analysis and Design of a 45° Slant-Polarized Omnidirectional Antenna // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 62, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2014, doi: 10.1109/TAP.2013.2288367.
11. Yang Q. et al. Cavity-Backed Slot-Coupled Patch Antenna Array with Dual Slant Polarization for Millimeter-Wave Base Station Applications // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 3, pp. 1404-1413, March 2021, doi: 10.1109/TAP.2020.3017388.
12. Chen F.-C., Liang Y.-Z., Zeng W.-F., Xiang K.-R. A Series-Fed Slant-Polarized Microstrip Patch Antenna Array // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 72, no. 6, pp. 5367-5372, June 2024, doi: 10.1109/TAP.2024.3394215.
13. Sadiq M.S., Ruan C. Dual Slant Polarized Omnidirectional Antenna // 2020 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), Shanghai, China, 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/IWS49314.2020.9360160.
14. Pastukh A., Tikhvinskiy V., Dymkova S., Varlamov O. Challenges of Using the L-Band and S-Band for Direct-to-Cellular Satellite 5G-6G NTN Systems // Technologies, vol. 11, no. 4, p. 110, Aug. 2023, doi: 10.3390/technologies11040110.
15. Keshavarz R., Winson D., Lipman J., Abolhasan M., Shariati N. Dual-Band, Slant-Polarized MIMO Antenna Set for Vehicular Communication // 2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Florence, Italy, 2023, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133527.
16. Shen L.-P., Jamali H., Wu X. Compact Slant 45° Dual-Polarized Butler-based Omni-Directional MIMO Antennas // 2021 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (APS/URSI), Singapore, Singapore, 2021, pp. 979-980, doi: 10.1109/APS/URSI47566.2021.9704781.
17. Gu C., Zhang Z., Cheng F. D-band ±45° Slant Polarized All-Metal Antenna // 2022 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), Guangzhou, China, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/IMWS-AMP54652.2022.10106907.
18. Sun Z., Jiang X., Liu Y., Cheng L., He T. Millimeter-Wave ±45° Dual Slant Polarization Wide-Beam Antenna // 2022 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), Harbin, China, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICMMT55580.2022.10023215.
19. Mangubat F.N. Design of an Optimized Space Diversified Antenna Arrays for Extended FM-RF Propagation // 2020 Asia Conference on Computers and Communications (ACCC), Singapore, Singapore, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ACCC51160.2020.9347928.

USING PANEL ANTENNAS WITH REDUCED REFLECTORS AND SLANT POLARIZATION ON VHF BROADCASTING OBJECTS

Felix D. Shusterman, Russian Television and Radio Broadcasting Network, Moscow, Russia, FShusterman@trn.ru

Oleg V. Varlamov, Moscow Technical University of communications and Informatics, Moscow, Russia, vov@mtuci.ru

Abstract

When it is necessary to increase the number of broadcast channels or when switching to digital radio broadcasting is in prospect, it is necessary to place additional antenna systems on the existing broadcasting infrastructure (masts and towers), which was not originally intended for this. In some cases, the places for installing additional antennas turn out to be "inconvenient" from the electromagnetic point of view. Thus, on a prism of a large cross-section, when using antennas with only vertical or only horizontal polarization at reasonable costs, deep multiple dips in the radiation pattern of more than 20 dB become inevitable. In this article, based on the electromagnetic analysis, the causes of problematic situations are considered and systematized solutions are proposed to overcome them for prisms of different cross-sections with different installation options - on belts and on tower faces, including with reflectors of reduced size. The proposed use of alternating antennas with slant polarization allows to reduce the unevenness of the radiation pattern to 4...5 dB when using standard reflectors and to 6...7 dB when using more technologically advanced and economical reflectors of reduced size.

Keywords: digital radio broadcasting, FM radio broadcasting, panel antenna, radiation pattern, reduced reflector, slant polarization.

References

- [1] O. V. Varlamov, "Organization of single frequency DRM digital radio broadcasting networks. Features and results of practical tests," *T-Comm*, 2018, vol. 12, no. 11, pp. 4-20.
- [2] O. V. Varlamov, V. O. Varlamov, A. V. Dolgopyatova, "DRM broadcasting international network to create an information field in the Arctic region," *T-Comm*, 2019, vol. 13, no. 9, pp. 9-16.
- [3] O. V. Varlamov, A. A. Bychkova, "Basis of Technical Design and Development a Single-Frequency DRM Digital Broadcasting Network for Venezuela," *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2021, pp. 1-7, doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488396
- [4] O. V. Varlamov, "DRM digital broadcasting system audio path qualitative characteristics," *Synchroinfo Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 2-8, 2022. DOI: 10.36724/2664-066X-2022-8-4-2-8
- [5] O. V. Varlamov, "DRM Digital Radio Receivers Sensitivity," *2023 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH)*, Vienna, Austria, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/EMCTECH58502.2023.10296930
- [6] V. M. J. D. Santos, "The current state and trends of the development of digital tele-radio broadcasting systems in the world," *Synchroinfo Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 17-23, 2021. DOI: 10.36724/2664-066X-2021-7-1-17-23
- [7] A. V. Dolgopyatova, O. V. Varlamov, "Analysis of Long-Range VHF Radio Waves Propagation to Specify Protection Ratios Between Coexisting DRM+, RAVIS and IBOC Systems," *2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488392
- [8] A. Waal, "Coexistence of television broadcasting, FM broadcasting, digital broadcasting in DAB and DRM+ standards calculation methodology," *Synchroinfo Journal*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 18-23. DOI: 10.36724/2664-066X-2024-10-1-18-23
- [9] F. D. Shusterman, O. V. Varlamov, "Use of Panel Antennas with Reduced Reflectors and Slant Polarization at VHF Broadcast Sites," *2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, Vyborg, Russian Federation, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617559
- [10] X. Quan, R. Li, Y. Fan, D. E. Anagnostou, "Analysis and Design of a 45 Slant-Polarized Omnidirectional Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2014, doi: 10.1109/TAP.2013.2288367
- [11] Q. Yang, et al., "Cavity-Backed Slot-Coupled Patch Antenna Array With Dual Slant Polarization for Millimeter-Wave Base Station Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 3, pp. 1404-1413, March 2021, doi: 10.1109/TAP.2020.3017388
- [12] F. -C. Chen, Y. -Z. Liang, W. -F. Zeng, K. -R. Xiang, "A Series-Fed Slant-Polarized Microstrip Patch Antenna Array," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 72, no. 6, pp. 5367-5372, June 2024, doi: 10.1109/TAP.2024.3394215
- [13] M. S. Sadiq, C. Ruan, "Dual Slant Polarized Omnidirectional Antenna," *2020 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Shanghai, China, 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/IWS49314.2020.9360160
- [14] A. Pastukh, V. Tikhvinskiy, S. Dymkova, O. Varlamov, "Challenges of Using the L-Band and S-Band for Direct-to-Cellular Satellite 5G-6G NTN Systems," *Technologies*, vol. 11, no. 4, p. 110, Aug. 2023, doi: 10.3390/technologies11040110
- [15] R. Keshavarz, D. Winson, J. Lipman, M. Abolhasan, N. Shariati, "Dual-Band, Slant-Polarized MIMO Antenna Set for Vehicular Communication," *2023 17th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Florence, Italy, 2023, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP57121.2023.10133527
- [16] L. -P. Shen, H. Jamali, X. Wu, "Compact Slant 45° Dual-Polarized Butler-based Omni-Directional MIMO Antennas," *2021 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (APS/URSI)*, Singapore, Singapore, 2021, pp. 979-980, doi: 10.1109/APS/URSI47566.2021.9704781
- [17] C. Gu, Z. Zhang, F. Cheng, "D-band $\pm 45^\circ$ Slant Polarized All-Metal Antenna," *2022 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)*, Guangzhou, China, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/IMWS-AMP54652.2022.10106907
- [18] Z. Sun, X. Jiang, Y. Liu, L. Cheng, T. He, "Millimeter-Wave $\pm 45^\circ$ Dual Slant Polarization Wide-Beam Antenna," *2022 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, Harbin, China, 2022, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICMMT55580.2022.10023215
- [19] F. N. Mangubat, "Design of an Optimized Space Diversified Antenna Arrays for Extended FM-RF Propagation," *2020 Asia Conference on Computers and Communications (ACCC)*, Singapore, Singapore, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ACCC51160.2020.9347928.

Information about authors:

Felix D. Shusterman, Head of Department, "Department of Radio Broadcasting and Radio Communications", Russian Television and Radio Broadcasting Network, Moscow, Russia

Oleg V. Varlamov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Radio Equipment and Circuitry", Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russia