

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R Р.368-10
(08/2022)

**Метод прогнозирования
распространения земной волны
для частот между 10 кГц и 30 МГц**

Серия Р
Распространение радиоволн



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/ru>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2023 г.

© ITU 2023

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R Р.368-10

**Метод прогнозирования распространения земной волны
для частот между 10 кГц и 30 МГц**

(1951-1959-1963-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2005-2007-2022)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлена информация о напряженности поля и ее зависимости от характеристик почвы, обусловленных распространением земной волны на частотах ниже 30 МГц.

Ключевые слова

Распространение земной волны, низкие частоты, высокие частоты.

Соответствующие Рекомендации и Справочник МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R Р.341

Рекомендация МСЭ-R Р.525

Рекомендация МСЭ-R Р.526

Рекомендация МСЭ-R Р.527

Рекомендация МСЭ-R Р.684

Рекомендация МСЭ-R Р.1321

Справочник по радиометеорологии (Издание 2013 г.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует использовать последний по времени пересмотр/издание Рекомендации/Справочника.

Перечень символов в Приложениях 1 и 2

ϵ_r	относительная диэлектрическая проницаемость
λ	длина волны
σ	проводимость
L_b, A_i	основные потери передачи
E	напряженность поля
k	волновое число
S_i	i -ый участок
d_i	длина i -го участка
σ_i	проводимость i -го участка
ϵ_i	диэлектрическая проницаемость i -го участка
E_R	напряженность поля, рассчитанная по приемнику
E_T	напряженность поля, рассчитанная по передатчику
E_X	напряженность поля на смешанной трассе

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

что ввиду сложности расчета напряженности поля земной волны полезно наличие метода прогнозирования распространения земной волны для диапазона частот между 10 кГц и 30 МГц и произвольно выбранных характеристик почвы,

рекомендует

1 чтобы для определения напряженности поля земной волны на частотах между 10 кГц и 30 МГц использовалась являющаяся неотъемлемой частью настоящей Рекомендации программная реализация метода прогнозирования, описанного в Приложении 1 и применимого при указанных ниже условиях;

2 чтобы эти методы, как правило, использовались для определения напряженности поля только в тех случаях, когда известно, что амплитуда отражений от ионосферы незначительна;

3 чтобы эти методы не использовались, когда приемная антенна расположена довольно высоко над поверхностью Земли;

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В случаях когда $\epsilon_r \ll 60 \lambda \sigma$, этот метод прогнозирования возможно применять до высоты $h = 1,2 \sigma^{1/2} \lambda^{3/2}$. Кривые распространения для случаев, когда оконечные устройства расположены на высотах до 3000 м, и для частот до 10 ГГц можно найти в опубликованном в виде отдельного издания Справочнике МСЭ по кривым распространения радиоволн над поверхностью Земли;

4 чтобы эти методы прогнозирования возможно было также использовать для определения напряженности поля на смешанных трассах, как это показано в Приложении 2.

Приложение 1

Напряженность поля земной волны на частотах между 10 кГц и 30 МГц

Метод прогнозирования, приведенный в настоящей Рекомендации, возможно применять при следующих условиях:

- гладкая однородная сферическая Земля;
- частоты между 10 кГц и 30 МГц;
- в тропосфере, предполагая, что индекс рефракции уменьшается с высотой линейно;
- передающая и приемная антенны расположены на поверхности и около поверхности Земли;
- излучающим элементом является короткий вертикальный несимметричный вибратор, который находится на поверхности Земли, уподобляемой идеально проводящей плоскости, и который излучает мощность 1 кВт, и напряженность поля на расстоянии 1 км составляет 300 мВ/м, что соответствует величине симмотивной силы 300 В (см. Рекомендацию МСЭ-R P.525), (см. таблицу 1 в Рекомендации МСЭ-R P.341, чтобы определить напряженность поля для других эталонных антенн);
- расстояние между передатчиком и приемником равно расстоянию по большому кругу;
- методы прогнозирования обеспечивают вертикальную составляющую напряженности излучаемого поля, которую будет измеряться в дальней зоне антенны.

Программная реализация этого метода прогнозирования является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации и представлена в архивированном файле [R-REC-P.368-10-202208-I!!ZIP-E.zip](#).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Основные потери передачи, соответствующие тем же условиям, для которых были рассчитаны кривые, возможно получить из значений напряженности поля E (дБ(мкВ/м)) с помощью следующего уравнения:

$$L_b = A_i = 142,0 + 20 \log_{10} f_{\text{МГц}} - E \quad \text{дБ.}$$

Влияние окружающей среды как на передающую, так и на приемную антенны рассматривается в Рекомендации МСЭ-R P.341.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Даже в тех случаях, когда расстояние между местоположениями намного меньше расстояния до передатчика, реальные электрические характеристики почвы и условия приема не будут одинаковыми. Во многих случаях разница уровней сигнала в расположенных поблизости местоположениях соответствует логарифмически нормальному распределению со стандартным отклонением в пределах 3–4 дБ; усредненное значение составляет приблизительно 3,5 дБ.

Напряженность поля земной волны может меняться в зависимости от сезонных температур. Среднегодовая разность между зимними и летними месячными медианными уровнями напряженности поля на частотах 500–1000 кГц меняется в пределах от 5 дБ (когда средняя температура января для северного полушария составляет +4°) до 15 дБ (когда средняя температура января для северного полушария составляет –16°). Сезонные изменения также наблюдались на частотах между 150 и 280 кГц в континентальной Европе. Такие изменения на частотах между 150 и 280 кГц однообразно увеличиваются в зависимости от частоты и расстояния; они могут достигать 10–20 дБ на расстояниях 1000–2000 км (см. также Рекомендацию МСЭ-R P.1321).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Этот метод обеспечивает значение общей напряженности поля на расстоянии r с погрешностью менее 1 дБ, когда kr превышает величину, примерно равную 10, где $k = 2\pi/\lambda$. Влияние ближнего поля (то есть поля индукции и статического поля) можно учесть, если увеличить напряженность поля (в децибелах) на величину:

$$10 \log_{10} \left\{ 1 - \frac{1}{(kr)^2} + \frac{1}{(kr)^4} \right\}$$

При этом можно получить общее поле с точностью $\pm 0,1$ дБ для моря и влажной почвы и с точностью ± 1 дБ для почвы с любой проводимостью, превышающей 10^{-3} См/м.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Для любой антенны, если место ее расположения превышает по высоте среднее возвышение местности на трассе между антеннами, эффективной высотой антенны является высота антенны относительно среднего возвышения местности на трассе. Чтобы определить, действительны ли представленные кривые для данной трассы, это эффективное значение высоты антенны необходимо сравнить с расчетным предельным значением высоты антенны в пункте 3 раздела *рекомендует*.

На рисунках 1 и 2 представлены примеры результатов, полученных по кривым напряженности поля в зависимости от расстояния, для которых входным параметром является частота.

РИСУНОК 1

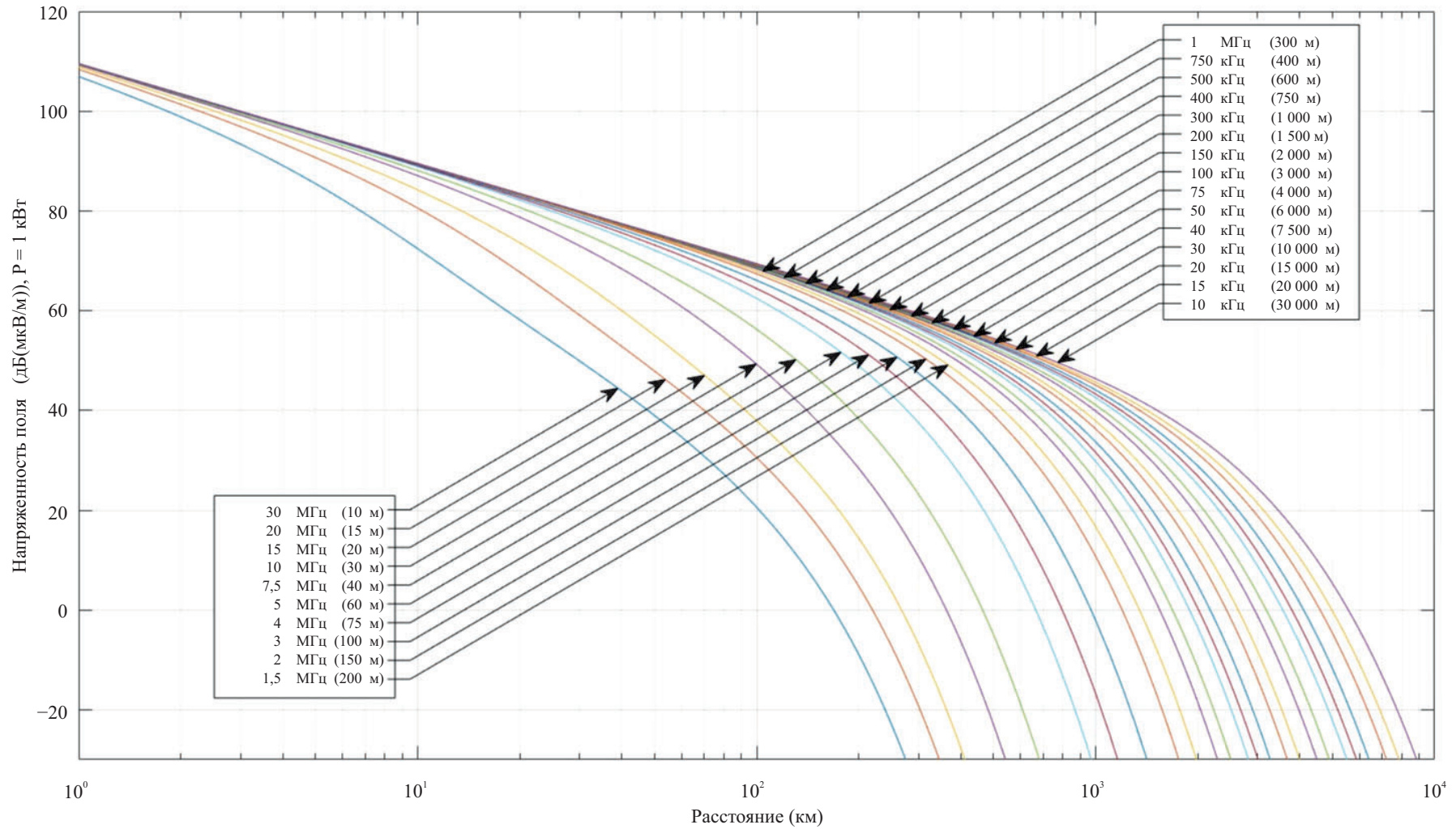
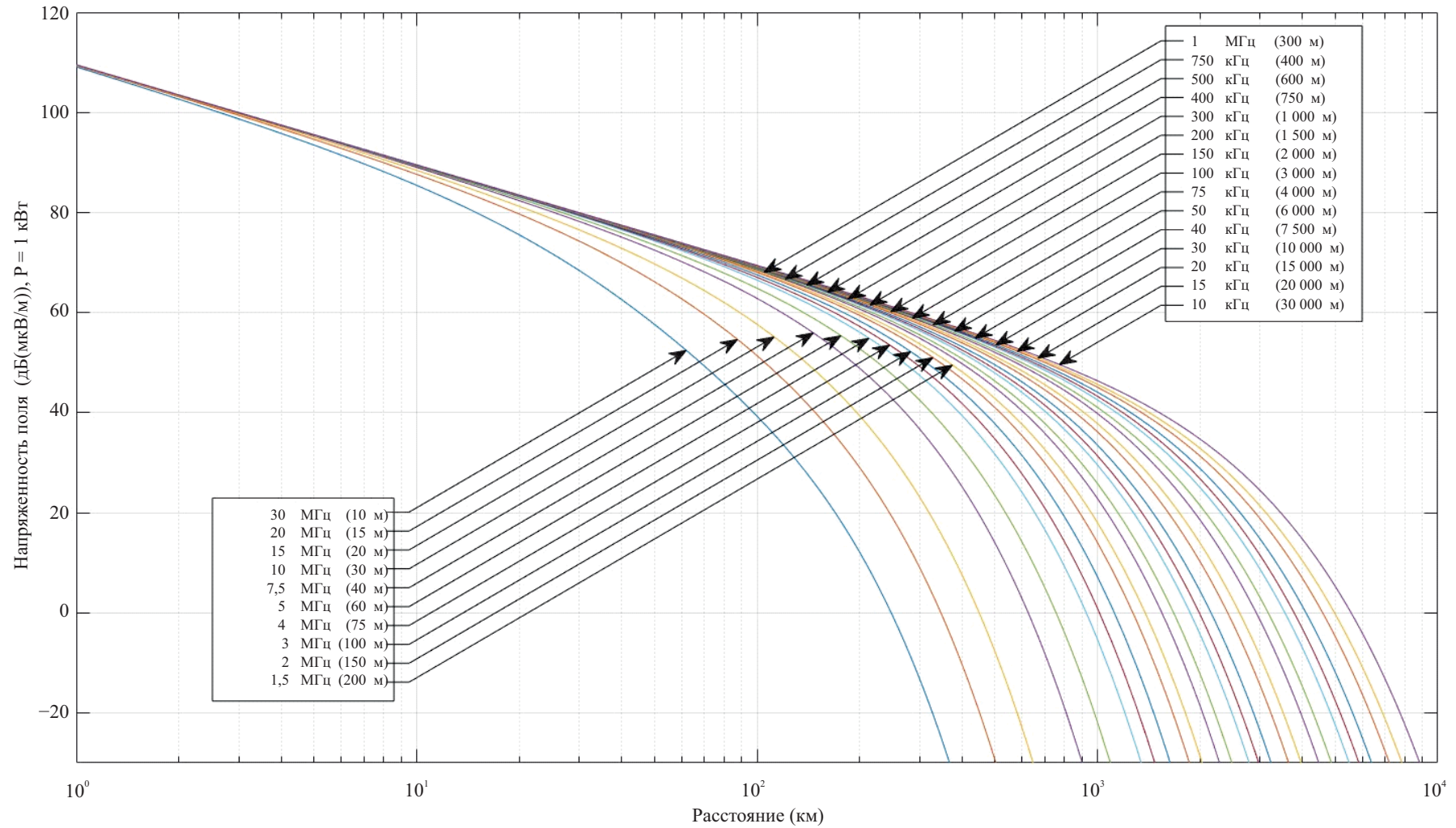
Кривые распространения земной волны для НЧ/СЧ; морская вода, низкая соленость, $\sigma = 1 \text{ См/м}$, $\epsilon_r = 80$ 

РИСУНОК 2

Кривые распространения земной волны для НЧ/СЧ; морская вода, средняя соленость, $\sigma = 5$ См/м, $\epsilon_r = 70$ 

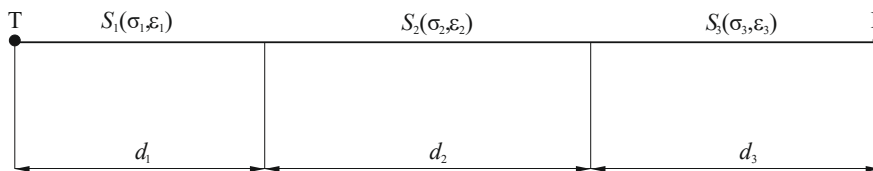
Приложение 2

Применение для смешанных трасс (неоднородные трассы)

1 Метод, приведенный в настоящем Приложении, возможно использовать для определения параметров распространения радиоволн на смешанных трассах (неоднородная гладкая поверхность Земли) следующим образом:

Такие трассы могут быть образованы из участков S_1, S_2, S_3 и т. д. длиной d_1, d_2, d_3 и т. д., имеющих проводимость и диэлектрическую проницаемость $\sigma_1, \varepsilon_1; \sigma_2, \varepsilon_2; \sigma_3, \varepsilon_3$ и т. д. для трех участков, как показано на рисунке 3:

РИСУНОК 3
Пример смешанных трасс



P.0368-03

Метод Миллингтона, используемый в настоящем Приложении для определения параметров распространения радиоволн на смешанных трассах, является наиболее точным из всех имеющихся и удовлетворяет условию взаимности. В этом методе предполагается, что значения напряженности поля E имеются для различных типов местности, соответствующих участкам S_1, S_2, S_3 и т. д., каждый из которых по отдельности считается однородным, для источника (T), определенного, например, с помощью указанной кривой, обратно пропорциональной расстоянию. Значения могут быть в конечном счете пересчитаны для любого другого источника.

Для данной частоты: значение напряженности поля $E_1(d_1)$ в дБ(мкВ/м) на расстоянии d_1 рассчитывается для участка S_1 . Аналогично, значения напряженности поля $E_2(d_1)$ и $E_2(d_1 + d_2)$ рассчитываются для участка S_2 , а значения напряженности поля $E_3(d_1 + d_2)$ и $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$ рассчитываются для участка S_3 .

Напряженность поля принимаемого сигнала, E_R , рассчитывается затем следующим образом:

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3) \quad (1)$$

и напряженность поля E_T рассчитывается следующим образом:

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1). \quad (2)$$

Требуемое значение поля для смешанной трассы, E_X , далее определяется как:

$$E_X = \frac{E_R + E_T}{2} \quad (3)$$

На рисунках 4 и 5 представлен пример результатов, содержащий кривые напряженности поля в зависимости от расстояния, для которых входным параметром являются электрические характеристики почвы.

РИСУНОК 4

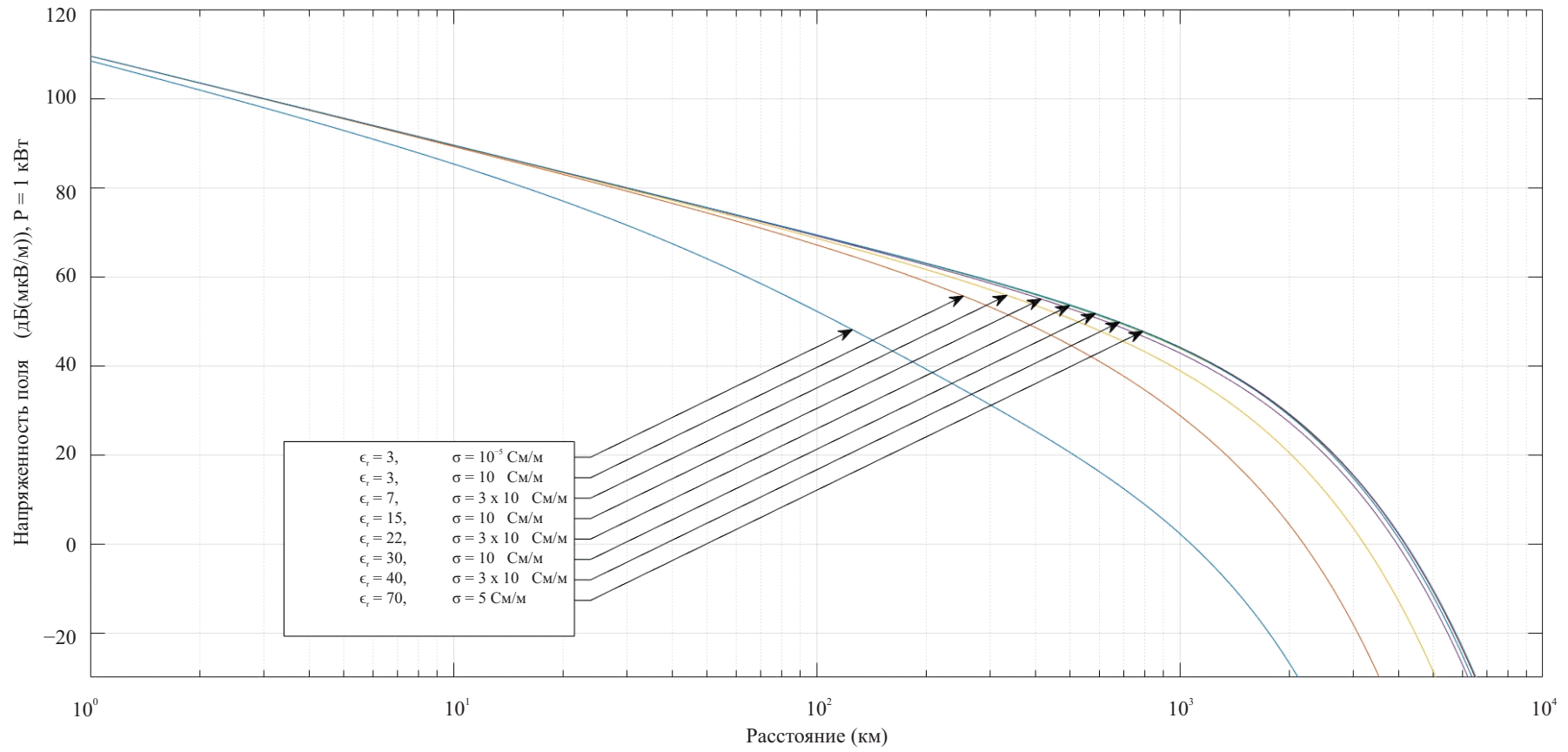
Кривые распространения земной волны для НЧ/СЧ для различных значений σ и ϵ_r , $f = 30$ кГц

РИСУНОК 5

Кривые распространения земной волны для НЧ/СЧ для различных значений σ и ϵ_r , $f = 60$ кГц