

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R Р.1144-6
(02/2012)

**Руководство по использованию методов
прогнозирования распространения
радиоволн, разработанных
3-й Исследовательской комиссией
по радиосвязи**

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-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. 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/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/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/en>.)

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	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая 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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2012 г.

© ITU 2012

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 P.1144-6

Руководство по использованию методов прогнозирования распространения радиоволн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи

(1995-1999-2001-2001-2007-2009-2012)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит руководство по использованию методов прогнозирования распространения волн, разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи. Она информирует пользователей о наиболее подходящих методах для конкретных применений, а также о пределах, требуемой входящей информации и о результатах для каждого из этих методов.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

а) что необходимо оказать помощь пользователям Рекомендаций МСЭ-R серии Р (разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи),

рекомендует,

1 чтобы информация, содержащаяся в таблице 1, использовалась для руководства по применению различных методов прогнозирования распространения радиоволн, содержащихся в Рекомендациях МСЭ-R серии Р (разработанных 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи);

2 чтобы информация, содержащаяся в таблице 2 и Приложении 1, использовалась для руководства по использованию различных цифровых карт геофизических параметров, необходимых для применения методов прогнозирования распространения радиоволн, упомянутых в пункте 1 раздела *рекомендует*, выше.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – По каждой Рекомендации МСЭ-R в таблице 1 представлена соответствующая информация в колонках, которая указывает:

Применение: служба(ы) или приложение, для которых предназначена Рекомендация.

Тип: ситуация, на которую распространяется Рекомендация, например "из пункта в пункт", "из пункта в зону", "прямая видимость" и т. п.

Результат: значение параметров результата, полученного за счет метода, предусмотренного в Рекомендации, например, потерь на трассе.

Частота: применяемый в Рекомендации диапазон частоты.

Расстояние: применяемая в Рекомендации дальность действия.

% времени: применяемые в Рекомендации значения процентной доли времени или диапазоны значений; % времени представляет собой процентную долю времени, которую превышает прогнозируемый сигнал в течение среднего года.

% местоположений: применяемый в Рекомендации диапазон процентной доли местоположений; % местоположений представляет собой процентную долю местоположений в пределах, предположим, квадрата со стороной в 100–200 м, которую превышает прогнозируемый сигнал.

Высота терминала: применяемый в Рекомендации диапазон высоты оконечной антенны.

Входные данные: список параметров, используемых на основе метода, содержащегося в Рекомендации; этот список составляется с учетом значения параметров и в некоторых случаях могут использоваться значения по умолчанию.

Информация, содержащаяся в таблице 1, уже представлена в самих Рекомендациях; однако таблица позволяет пользователям быстро определять возможности (и ограничения) Рекомендаций без необходимости вести поиск во всем тексте.

ТАБЛИЦА 1

Методы прогнозирования распространения радиоволн МСЭ-R

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Входные данные
Рек. МСЭ-R P.368	Все службы	Из пункта в пункт	Напряженность поля	От 10 кГц до 30 МГц	От 1 до 10 000 км	Не применяется	Не применяется	Земного базирования	Частота Проводимость земной поверхности
Рек. МСЭ-R P.452	Службы, использующие станции на поверхности Земли; помехи	Из пункта в пункт	Потери на трассе	От 100 МГц до 50 ГГц	Не уточняется, но до радиогоризонта и далее	От 0,001 до 50 Средний год и худший месяц	Не применяется	Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.)	Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны Tx Высота антенны Rx Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Метеорологические данные
Рек. МСЭ-R P.528	Аэронавигационная подвижная	Из пункта в зону	Потери на трассе	От 125 МГц до 15,5 ГГц	От 0 до 1 800 км (для применений воздушной службы 0 км расстояния по горизонтали не означает 0 км длины трассы)	1–95	Не применяется	H1: от 1,5 м до 20 км H2: от 1 до 20 км	Расстояние Высота Tx Частота Высота Rx Процент времени
Рек. МСЭ-R P.530	Фиксированные связи прямой видимости	Из пункта в пункт Прямая видимость	Потери на трассе Улучшение разнесения (условия чистого воздуха) XPD ⁽²⁾ Выход из строя Ошибка в показателях	Примерно от 150 МГц до 100 ГГц	До 200 км при прямой видимости	Вся процентная доля времени в условиях чистого воздуха; от 1 до 0,001 в условиях осадков ⁽¹⁾ . И худший месяц по ослаблению	Не применяется	Достаточно высокий для обеспечения установленного просвета трассы	Расстояние Высота Tx Частота Высота Rx Процентная доля времени Данные о препятствиях на трассе Данные о климате Информация о профиле местности
Рек. МСЭ-R P.533	Радиовещательная Фиксированная Подвижная	Из пункта в пункт	Основные MUF Напряженность поля ионосферной радиоволны Имеющаяся мощность приемника Отношение сигнал/шум LUF Надежность схемы	От 2 до 30 МГц	От 0 до 40 000 км	Все процентные доли	Не применяется	Не применяется	Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Число солнечных пятен Месяц Время дня Частоты Мощность Tx Тип антенны Tx Тип антенны Rx

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Входные данные
Рек. МСЭ-R P.534	Фиксированная Подвижная Радиовещательная	Из пункта в пункт через спорадическое E	Напряженность поля	От 30 до 100 МГц	От 0 до 4 000 км	От 0 до 50	Не применяется	Не применяется	Расстояние Частота
Рек. МСЭ-R P.617	Транс-горизонтальная с фиксированными связями	Из пункта в пункт	Потери на трассе	> 30 МГц	От 100 до 1 000 км	20, 50, 90, 99 и 99,9	Не применяется	Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.)	Частота Усиление антенны Tx Усиление антенны Rx Геометрия трассы
Рек. МСЭ-R P.618	Спутниковая	Из пункта в пункт	Потери на трассе Усиление разброса и (в условиях осадков) XPD ⁽²⁾	От 1 до 55 ГГц	Любая практическая высота орбиты	0,001–5 для ослабления в дожде; 0,001–50 для общего ослабления; 0,001–1 для XPD ⁽²⁾ Также худший месяц по ослаблению	Не применяется	Предел отсутствует	Метеорологические данные Частота Угол подъема Высота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса) Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) Угол поляризации (для XPD) ⁽²⁾
Рек. МСЭ-R P.620	Координация частот земных станций	Координация расстояний	Расстояние, при котором достигается требуемая потеря при распространении	От 100 МГц до 105 ГГц	До 1 200 км	От 0,001 до 50	Не применяется	Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.)	Минимальные базовые потери при передаче Частота Процент времени Угол подъема земной станции
Рек. МСЭ-R P.679	Спутниковое радиовещание	Из пункта в зону	Потери на трассе Эффект местной среды	От 0,5 до 5,1 ГГц	Любая практическая высота орбиты	Не применяется	Пределы не установлены	Пределы не установлены	Частота Угол подъема Особенности местной среды
Рек. МСЭ-R P.680	Морская подвижная спутниковая	Из пункта в пункт	Замирание на поверхности моря Продолжительность замирания Помехи (соседний спутник)	0,8–8 ГГц	Любая практическая высота орбиты	До 0,001% через распределение Райс-Накагами Предел в 0,01% для помех ⁽¹⁾	Не применяется	Предел отсутствует	Частота Угол подъема Максимальное усиление точки прицеливания антенны
Рек. МСЭ-R P.681	Сухопутная подвижная спутниковая	Из пункта в пункт	Замирание трассы Продолжительность замирания Продолжительность незамирания	От 0,8 до 20 ГГц	Любая практическая высота орбиты	Не применяется Процентная доля пройденного расстояния от 1 до 80% ⁽¹⁾	Не применяется	Предел отсутствует	Частота Угол подъема Процентная доля пройденного расстояния Примерный уровень оптического затенения

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Входные данные
Рек. МСЭ-R P.682	Аэронавигационная подвижная спутниковая	Из пункта в пункт	Замирание на поверхности моря Множество трасс от земли и самолета во время посадки	1–2 ГГц (замирание на поверхности моря) 1–3 ГГц (множество трасс от земли)	Любая практическая высота орбиты	До 0,001% через распределение Райс-Накагами ⁽¹⁾	Не применяется	Предел отсутствует для замирания на поверхности моря До 1 км для земного отражения при посадке	Частота Угол подъема Поляризация Максимальное усиление точки прицеливания антенны Высота антенны
Рек. МСЭ-R P.684	Фиксированная Подвижная	Из пункта в пункт Из пункта в зону	Напряженность поля ионизирующей радиоволны	От 30 до 150 кГц	От 0 до 16 000 км	50	Не применяется	Не применяется	Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Расстояние Мощность Tx Частота Земные константы Время года Количество пятен на солнце Время дня
Рек. МСЭ-R P.843	Фиксированная Подвижная Радиовещательная	Из пункта в пункт через метеор-пакеты	Полученная мощность Скорость передачи пакетов	От 30 до 100 МГц	От 100 до 1 000 км	0 до 5	Не применяется	Не применяется	Частота Расстояние Мощность Tx Усиление антенны
Рек. МСЭ-R P.1147	Радиовещательная	Из пункта в зону	Напряженность поля ионизирующей радиоволны	От 0,15 до 1,7 МГц	От 50 до 12 000 км	1, 10, 50	Не применяется	Не применяется	Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Расстояние Количество пятен на солнце Мощность Tx Частота
Рек. МСЭ-R P.1238	Подвижная Локальная радиосеть (RLAN)	Встроенные методы распространения	Потери на трассе Разброс задержки	От 900 МГц до 100 ГГц	В зданиях	Не применяется	Не применяется	База: около 2–3 м Подвижная: около 0,5–3 м	Частота Расстояние Факторы пола и стен
Рек. МСЭ-R P.1410	Широкополосный радиодоступ	Из пункта в зону	Покрытие Временное сокращение покрытия из-за дождя	От 3 до 60 ГГц	0–5 км	От 0,001 до 1 (для расчета сокращения из-за дождя)	До 100	Предел отсутствует; 0–300 м (типичная)	Частота Размер ячейки Высота терминала Статистические параметры высоты зданий

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Входные данные
Рек. МСЭ-R P.1411	Подвижная	Методы распространения по короткой трассе	Потери на трассе Разброс задержки	От 300 МГц до 100 ГГц	< 1 км	Не применяется	Не применяется	База: около 4–50 м Подвижная: около 0,5–3 м	Частота Расстояние Размеры улиц Высота строений
Рек. МСЭ-R P.1546	Наземные службы	Из пункта в зону	Напряженность поля	От 30 до 3 000 МГц	от 1 до 1 000 км	от 1 до 50	от 1 до 99	База Tx: эффективная высота от менее 0 м до 3 000 м Подвижная Rx: ≥ 1 м	Высота рельефа местности и наземный охват (факультативно) Классификация трассы Расстояние Высота антенны Tx Частота Процент времени Высота антенны Rx Угол просвета местности Процентная доля местоположений Градиент преломляющей способности
Рек. МСЭ-R P.1622	Спутниковая оптическая связь	Из пункта в пункт	Потеря за счет поглощения Потеря за счет рассеяния Фоновый шум Амплитудное мерцание Угол падения Отклонение луча Рассеяние луча	От 20 до 375 ТГц	Дальняя оптическая связь Земля-космос	Не применяется	Не применяется	Предел отсутствует	Длина волны Высота терминала Угол подъема Параметры структуры турбулентности
Рек. МСЭ-R P.1623	Спутниковая	Из пункта в пункт	Продолжительность замирания, спад замирания	От 10 до 50 ГГц	Любая практическая высота орбиты	Не применяется	Не применяется	Предел отсутствует	Частота Угол подъема Порог ослабления Ширина полосы фильтра
Рек. МСЭ-R P.1812	Наземные службы	Из пункта в зону	Напряженность поля	От 30 до 3 000 МГц	Не уточняется, но до радиогоризонта и далее	От 1 до 50	От 1 до 99	Пределы не установлены, в приземном слое атмосферы. (Не предназначено для применений воздушной службы.)	Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны Tx Высота антенны Rx Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Метеорологические данные

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% местоположений	Высота терминала	Входные данные
Рек. МСЭ-R P.1814	Наземная оптическая связь	Из пункта в пункт	Потеря за счет поглощения Потеря за счет рассеяния Фоновый шум Амплитудное мерцание Рассеяние луча	От 20 до 375 ТГц	Предел отсутствует	Не применяется	Не применяется	Предел отсутствует	Длина волны Видимость (в тумане) Протяженность трассы Параметры структуры турбулентности
Рек. МСЭ-R P.1853	Наземная спутниковая	Из пункта в пункт	Ослабление в дожде для наземных трасс. Общее ослабление и тропосферное мерцание для трасс Земля-космос	4–40 ГГц для наземных трасс 4–55 ГГц для трасс Земля-космос	От 2 до 60 км для наземных трасс Геостационарный спутник	Не применяется	Не применяется	Предел отсутствует	Метеорологические данные Частота Угол подъема Высота земной станции Разделение и угол между местоположениями земных станций (для усиления разброса) Диаметр и эффективность антенны (для мерцания)
Рек. МСЭ-R P.2001	Наземные службы	Из пункта в пункт	Потери на трассе	От 30 МГц до 50 ГГц	3–1 000 км	0–100	Не применяется	Пределы не определены, в тропосфере	Данные о характере трассы Частота Процентная доля времени Высота антенны, усиление и азимутальное направление Высота антенны Rx, усиление и азимутальное направление Широта и долгота Tx Широта и долгота Rx Поляризация

⁽¹⁾ Процентная доля времени сбоя; для определения доступности службы следует вычесть это значение из 100.

⁽²⁾ XPD: Избирательность по кросс-поляризации.

ТАБЛИЦА 2

Цифровые карты геофизических параметров МСЭ-R

Рекомендация МСЭ-R	Описание	Разрешенность координат	Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1)	Интерполяция в вероятности	Интерполяция переменной	Наименование файла
P.839	Среднегодовая высота изотермы 0° С (км) (zerodeg)	1,5° × 1,5°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	ESA0HEIGHT.TXT
P.837	Вероятность превышения уровня осадков (%) (уровень осадков)	1,125° × 1,125°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	ESARAIN_xxx_v5.TXT; xxx = PR6, BETA, MT
P.1511	Топографическая высота (a.m.s.l.) (км) (высота)	0,5° × 0,5°	Двухкубическая	Не применяется	Не применяется	TOPO0DOT5.TXT
P.836	Вероятность превышения уровня испарения столба воды (%) (IWVC)	1,125° × 1,125°	Двухлинейная ⁽¹⁾	Логарифмическая	Линейная	ESAWVC_xx_v4.TXT; xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99
P.836	Вероятность превышения уровня испарения поверхности воды (%) (Rho)	1,125° × 1,125°	Двухлинейная ⁽¹⁾	Логарифмическая	Линейная	SURF_WV_xx_v4.TXT; xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99
P.836	Приведенная высота водяных паров	1,125° × 1,125°	Двухлинейная	Логарифмическая	Линейная	VSCH_xx_v4.TXT; xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99
P.1510	Среднегодовая температура поверхности (температура)	1,5° × 1,5°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	ESATEMP.TXT
P.453	Медианное значение условий влажности преломляемости (Nwet)	1,5° × 1,5°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	ESANWET.TXT
P.453	Градиент преломления в нижних 65 м атмосферы (N-единиц/км)	1,5° × 1,5°	Двухлинейная	Не определена	Не применяется	DNDZ_xx.TXT; xx = 01, 10, 50, 90, 99
P.840	Вероятность превышения столба воды жидкостных облаков (%) (CLW)	1,125° × 1,125°	Двухлинейная	Логарифмическая	Линейная	ESAWREDP_xx_v4.TXT; xx = 01, 02, 03, 05, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 95, 99
P.840	Статистическое распределение общего содержания воды в жидкостных облаках	1,125° × 1,125°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	WRED_LOGNORMAL_MEAN_v4.TXT, WRED_LOGNORMAL_STDEV_v4.TXT, и WRED_LOGNORMAL_PCLW_v4.TXT

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

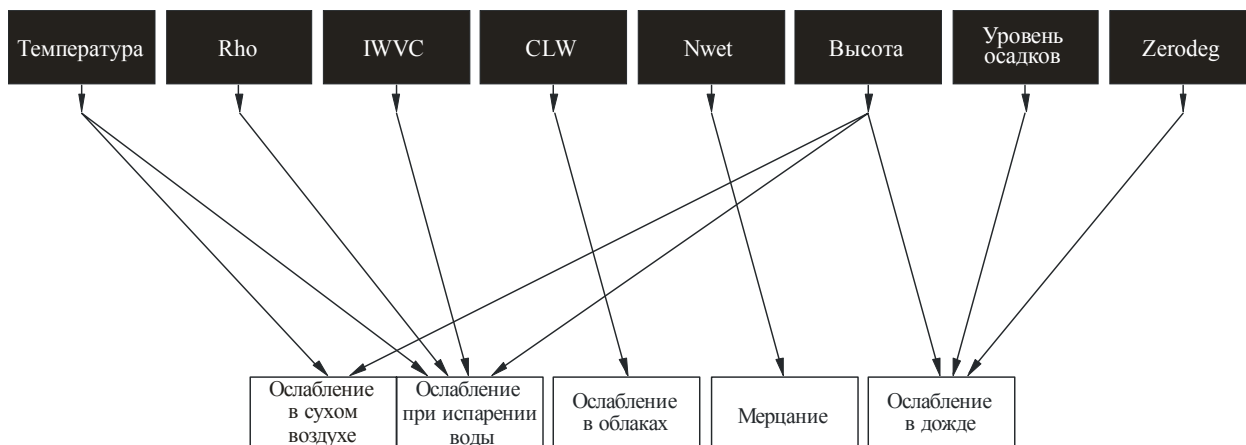
Рекомендация МСЭ-R	Описание	Разрешенность координат	Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1)	Интерполяция в вероятности	Интерполяция переменной	Наименование файла
P.617	Тропосферные климатические зоны	$0,5^\circ \times 0,5^\circ$	Не применяется	Не применяется	Не применяется	TropoClim.txt
P.2001	Преломление и градиент приземного уровня в нижнем 1 км атмосферы	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Двухлинейная	Не применяется	Линейная	DN_Median.txt DN_SupSlope.txt DN_SubSlope.txt
P.2001 и P.534	Критическая частота для спорадического слоя E (F_0E_s)	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Двухлинейная	Линейная	Линейная	FoEs50.txt FoEs10.txt FoEs01.txt FoEs0.1.txt

IWVC: интегрированное содержание водяных паров.

- ⁽¹⁾ Перед пространственной интерполяцией переменные в окружающих узловых точках приводятся к желаемой высоте в соответствии с процедурой масштабирования, изложенной в применяемой Рекомендации.

Для справки, на рис. 1 показаны взаимосвязи между геофизическими картами (черный цвет) и эффектом распространения (белый цвет).

РИСУНОК 1

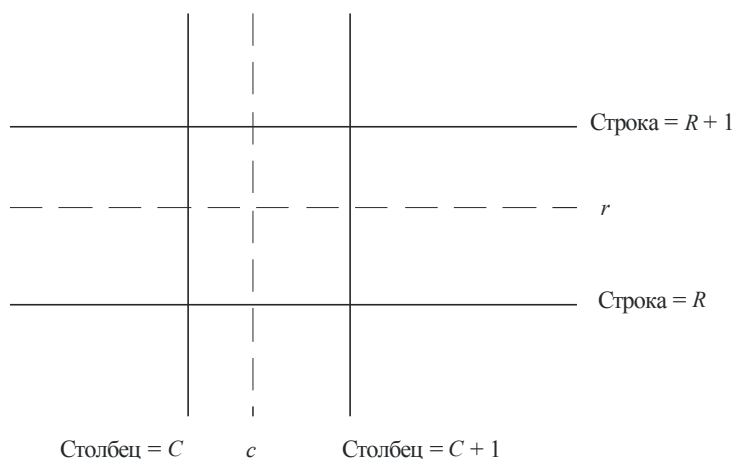


P.1144-01

Приложение 1

1 Двухлинейная интерполяция

РИСУНОК 2



P.1144-02

Дано: Значения в четырех точках координат: $I(R,C)$, $I(R,C+1)$, $I(R+1,C)$ и $I(R+1,C+1)$.

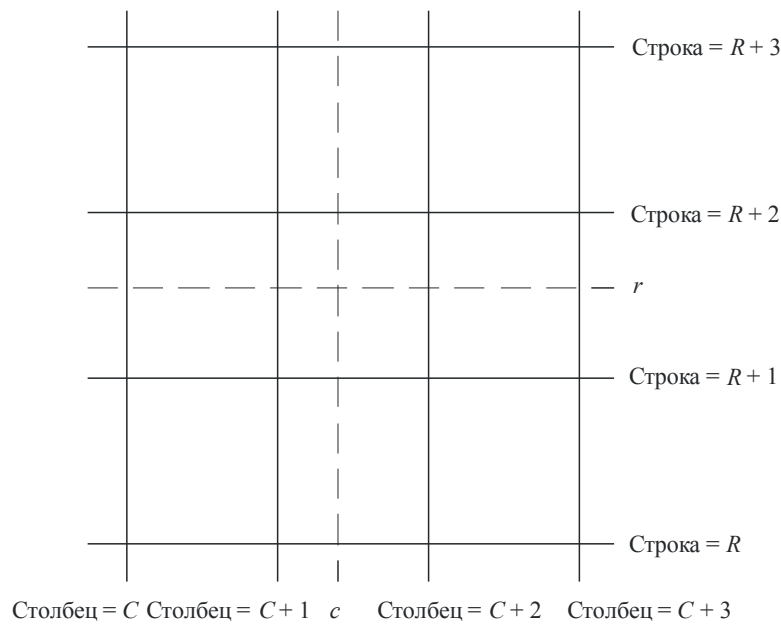
Задача: Определить $I(r,c)$, где r является долевым номером строки, а c – долевым номером столбца, используя двухлинейную интерполяцию.

Решение: Рассчитываем:

$$\begin{aligned}
 I(r,c) = & I(R,C) [(R+1-r)(C+1-c)] \\
 & + I(R+1,C) [(r-R)(C+1-c)] \\
 & + I(R,C+1) [(R+1-r)(c-C)] \\
 & + I(R+1,C+1) [(r-R)(c-C)].
 \end{aligned}$$

2 Двухкубическая интерполяция

РИСУНОК 3



P.1144-03

Дано: Значения в 16 окружающих точках координат:

$$\begin{aligned}
 & I(R,C), I(R,C+1), I(R,C+2), I(R,C+3), \\
 & I(R+1,C), I(R+1,C+1), I(R+1,C+2), I(R+1,C+3), \\
 & I(R+2,C), I(R+2,C+1), I(R+2,C+2), I(R+2,C+3), \\
 & I(R+3,C), I(R+3,C+1), I(R+3,C+2), I(R+3,C+3).
 \end{aligned}$$

Задача: Рассчитать $I(r,c)$, где r является долевым номером строки, а c – долевым номером столбца, используя двухкубическую интерполяцию.

Решение:

Шаг 1: Для каждой строки x , где $x = \{r, r+1, r+2, r+3\}$, рассчитываем интерполяционное значение в желаемом долевым столбце c как:

$$RI(X,c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X,j) K(c-j),$$

где:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a+2)|\delta|^3 - (a+3)|\delta|^2 + 1 & \text{при } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{при } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{при } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

и

$$a = -0,5.$$

Шаг 2: Рассчитываем $I(r,c)$, интерполируя одномерные интерполяции $RI(R,c)$, $RI(R+1,c)$, $RI(R+2,c)$ и $RI(R+3,c)$ таким же образом, как и интерполяции строк.
