

Международный союз электросвязи

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R P.1144-5
(10/2009)

**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/publications/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, 2010 г.

© ITU 2010

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.1144-5

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

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

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, потеря 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.

% места: применяемый в Рекомендации диапазон процентной доли места; % места представляет собой процентную долю мест в пределах, скажем, 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	% места	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 700 МГц до 30 ГГц	Не уточняется, но до радиогоризонта и далее	От 0,001 до 50 Средний год и худший месяц	Не применяется	Пределы не уточняются	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 ГГц	От 0 до 1 800 км (для аэронавигационных применений 0 км расстояния по горизонтали не означает 0 км длины трассы)	5, 50, 95	Не применяется	H1: от 15 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 Выход из строя Ошибка в показателях	Примерно от 150 МГц до 40 ГГц	До 200 км при прямой видимости	Вся процентная доля времени в условиях чистого воздуха; от 1 до 0,001 в условиях осадков ⁽¹⁾	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	% места	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	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	От 1 до 55 ГГц	Любая практическая высота орбиты	0,001–5 для затухания; 0,001–1 для XPD	Не применяется	Предела нет	Метеорологические данные Частота Угол подъема Высота земной станции Разделение и угол между местами земных станций (для усиления разброса) Диаметр и эффективность антенны (для мерцания) Угол поляризации (для XPD)
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	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	Предела нет	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	Предела нет	Частота Угол подъема Процентная доля пройденного расстояния Примерный уровень оптического затенения

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% места	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	Предела нет 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 4 000 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	Предела нет; 0–300 м (типичная)	Частота Размер ячейки Высота терминала Статистические параметры высоты зданий

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Метод	Применение	Тип	Результат	Частота	Расстояние	% времени	% места	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 от 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 мест 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	Предела нет	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	Предела нет	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	Предела нет	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.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	Предела нет	Не применяется	Не применяется	Предела нет	Длина волны Видимость (в тумане) Протяженность трассы Параметры структуры турбулентности

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

ТАБЛИЦА 2

Цифровые карты геофизических параметров МСЭ-Р

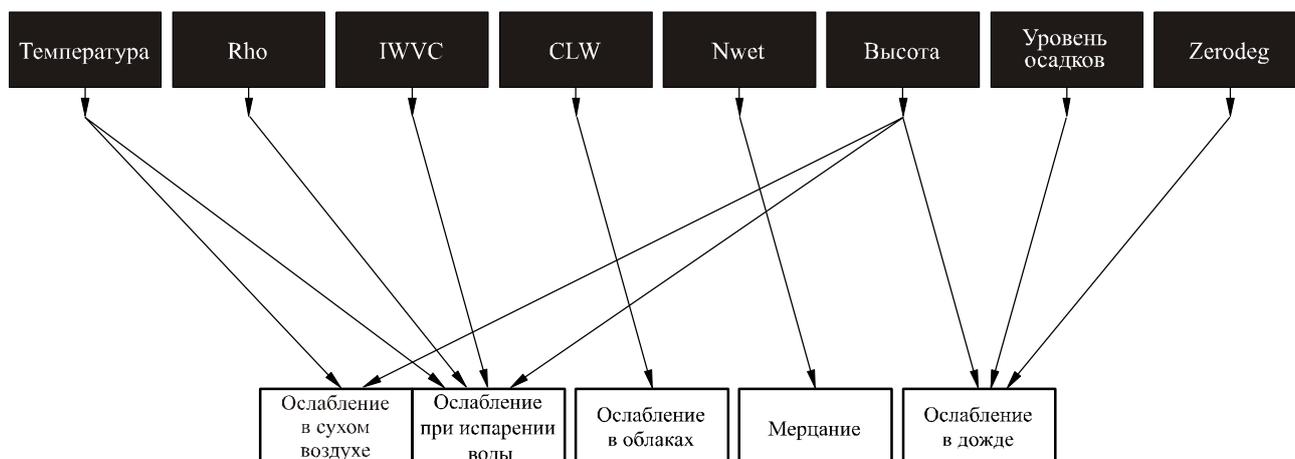
Рек. МСЭ-Р	Описание	Разрешенность координат	Требуемая пространственная интерполяция (см. Приложение 1)	Интерполяция в вероятности	Интерполяция переменной	Наименование файла
P.839	Среднегодовая высота изотермы 0° С (км) (zerodeg)	1,5° × 1,5°	Двухлинейная	Не применяется	Не применяется	ESA0HEIGHT.TXT
P.837	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.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

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

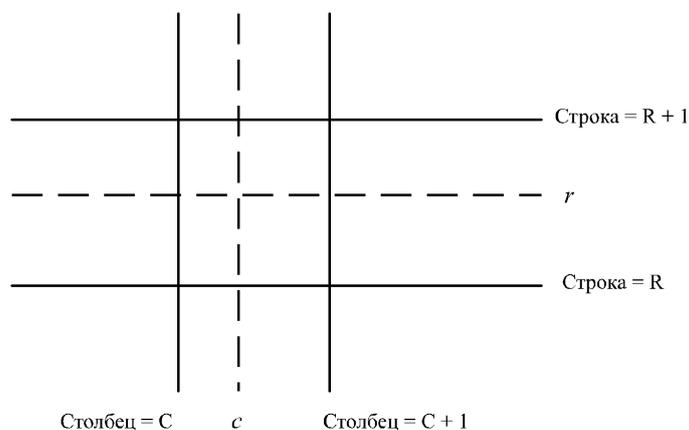


1144-01

Приложение 1

1 Двухлинейная интерполяция

РИСУНОК 2



1144-02

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

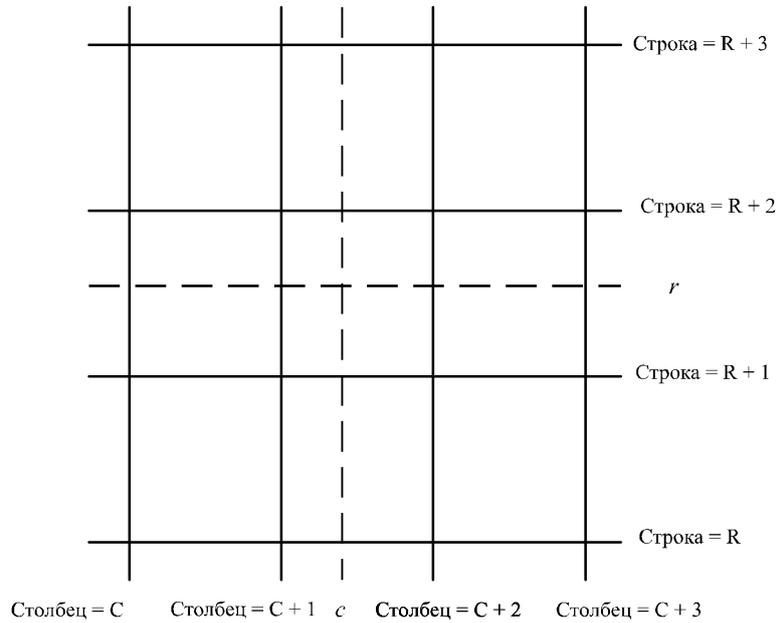
Задача: Определить $I(r,c)$, где r является долевым номером строки, а c – долевым номером столбца, используя двухлинейную интерполяцию.

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



1144-03

Дано: Значения в 16 окружающих точках координат:

$$I(R, C), I(R, C + 1), I(R, C + 2), I(R, C + 3),$$

$$I(R + 1, C), I(R + 1, C + 1), I(R + 1, C + 2), I(R + 1, C + 3),$$

$$I(R + 2, C), I(R + 2, C + 1), I(R + 2, C + 2), I(R + 2, C + 3),$$

$$I(R + 3, C), I(R + 3, C + 1), I(R + 3, C + 2), I(R + 3, C + 3).$$

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:

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

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.