Приложение №1

к Решению№15/7

от 31 мая 2019 г.

**Технические основы   
проведения работ и критерии поиска   
дополнительных каналов к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц на двусторонней и многосторонней основе**

Данный документ предназначен для описания методов проведения расчетов и технических критериев, используемых для частотно-территориального планирования, а также двусторонней и многосторонней координации частотных присвоений сетей цифрового телевизионного вещания в странах – участниках РСС в рамках процесса по поиску дополнительных каналов к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц с целью компенсации потерь радиочастотного спектра, связанного с возможным высвобождением полосы радиочастот 694-790 МГц от РЭС радиовещательной службы в интересах внедрения РЭС сухопутной подвижной службы.

Процесс поиска дополнительных каналов к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц может включать в себя:

* Частотно-территориальное планирование с созданием одной или нескольких пробных версий плана, проводится по согласию участвующих АС в определенных районах;
* Двустороннюю и многостороннюю координацию отдельных дополнительных частотных присвоений и выделений, проводится с участием заинтересованных АС.

Частотно-территориальное планирование проводится для оценки результатов применения модифицированных критериев планирования в районах его проведения, выбора оптимального варианта плана. Планирование проводится с использованием конкретных параметров частотных присвоений сетей цифрового телевизионного вещания и предоставляет возможность оценить влияние электромагнитной обстановки в полосе 470-694 МГц на характеристики охвата и технико-экономические параметры создаваемых сетей передающих станций. Анализ результатов планирования проводится в комплексе, как для имеющихся, так и для новых частотных присвоений. За счет использования механизмов моделирования воздействия помех на реальные зоны обслуживания телевизионных станций, комплексное частотно-территориальное планирование позволяет обеспечить максимально возможное повышение эффективности использования спектра при заданных целевых параметрах помехозащищенности, допустимых пределах сокращения зон обслуживания новых и имеющихся станций, контроле со стороны Администраций за сокращением зон обслуживания передающих станций из-за воздействия внешних помех. В случае отсутствия данных о конкретных технических параметрах частотных присвоений, предназначенных для реализации частотных выделений Плана Соглашения «Женева-06», защита частотных выделений Плана проводится по критериям защиты частотных выделений, приведенных в разделе 1.

Частотно-территориальное планирование сетей цифрового телевизионного вещания проводится по согласию участвующих Администраций с использованием технических критериев, параметров и методов проведения частотно-территориального планирования для поиска дополнительных каналов к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц, изложенных в разделе 1. При необходимости участвующие Администрации могут модифицировать критерии и параметры, приведенные в данном документе на двусторонней основе. В отдельных случаях могут использоваться специфические параметры, а также двусторонние соглашения о допустимом уровне помех (декларации совместимости), которые могут быть заключены участниками.

В приграничных районах стран РСС как правило проводится двусторонняя и многосторонняя координация дополнительных частотных выделений и присвоений цифрового телевизионного вещания.

Координация дополнительных частотных выделений и присвоений цифрового телевизионного вещания проводится в соответствии с техническими критериями двусторонней координации дополнительных частотных выделений и присвоений цифрового телевизионного вещания, изложенными в разделе 2. Расчеты ЭМС при двусторонней координации дополнительных частотных выделений и присвоений цифрового телевизионного вещания рекомендуется проводить с учетом согласованных администрациями связи на двусторонней/многосторонней основе принципов и критериев координации.

Согласованные с затронутыми Администрациями частотно-территориальные планы и успешно скоординированные частотные присвоения и выделения должны включаться в План соглашения Женева-06. В результате распределения дополнительного частотного ресурса в рамках Соглашения Женева-06 участвующие администрации связи должны получить не менее 6-ти покрытий в полосе частот 470-694 МГц.

# Технические основы проведения частотно-территориального планирования дополнительных каналов к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц.

На основе договоренности между АС для проведения упражнений по планированию (генерации пробных вариантов Плана) применяются технические основы частотно-территориального планирования и критерии защиты, приведенные ниже.

## Основные положения методики проведения расчетов ЭМС для частотно-территориального планирования.

Расчеты ЭМС проводятся на основе моделирования электромагнитной обстановки с оценкой реальной зоны обслуживания передающих станций (частотных присвоений) одночастотных и многочастотных сетей ТВ вещания. При появлении потенциального источника помехи сравниваются зоны обслуживания защищаемой станции/сети с учетом влияния потенциального источника помехи и без него. Если сравнение показывает существенное сокращение зоны обслуживания защищаемой станции/сети после ввода в расчет потенциального источника помехи, считается что ЭМС не обеспечивается. В этом случае должны быть предприняты необходимые меры по ограничению уровня помех или выбран другой частотный канал.

Существенным считается сокращение зоны обслуживания передающих станций, приводящее к потере охвата населения в местах его проживания при фиксированном приеме.

При расчете помех от частотных выделений вместо эталонного источника помехи вычисляется суммарная напряжённость мешающего поля от присвоений, уже включенных в План в результате преобразования выделения, входящего в запись в цифровом Плане. Если такие присвоения отсутствуют, их недостаточно или их зона обслуживания существенно уступает зоне частотного выделения, ответственная за выделение АС создает полную сеть присвоений для данного частотного выделения, которую направляет всем участвующим АС для использования в расчетах.

В случае невозможности создания полной сети для представления частотного выделения используется эталонный источник помехи в виде отдельного частотного присвоения. Параметры этого частотного присвоения определяются АС и могут корректироваться при необходимости для достижения лучших результатов.

Зона обслуживания передающих станций определяется с учетом помех. При сравнительном расчете эталонной является зона обслуживания передающей станции, которая существует в условиях эталонной ситуации (станции, входящие в план Женева-06 и скоординированные сторонами на двусторонней или многосторонней основе).

Зона обслуживания одночастотной сети определяется геометрическим объединением зон обслуживания входящих в нее станций по критерию наличия приема. При определении зоны обслуживания одночастотной синхронной сети (ОЧС) влияние внутрисетевой интерференции не учитывается (сеть считается оптимально настроенной).

Зона обслуживания многочастотной или несинхронной одночастотной сети определяется геометрическим объединением зон обслуживания, входящих в нее станций по критерию наличия приема, при этом учитываются взаимные помехи между станциями, работающими в совмещенном и соседних каналах.

Оценка помех на частотное выделение производится в контрольных точках на границе частотного выделения. Критерием отсутствия помех является превышение суммарной напряженности поля помех относительно эталонной напряженности поля помех на величину не более указанной в таблице 1. Приемная антенна считается направленной на место установки передающей станции, заявленной АС в качестве эталонного источника помех для данного частотного выделения.

Полная сеть частотных присвоений для реализации выделения затем будет включена в цифровой план. АС других участвующих стран могут возражать против отдельных присвоений сети реализации выделения или их параметров в случае, если такие присвоения не проходят проверку соответствия согласно процедуре Соглашения Женева-06.

## Критерии обеспечения защиты частотных выделений.

### Обеспечение защиты существующих выделений в Плане соглашения Женева-06.

Защита частотного выделения считается обеспеченной, если зоны обслуживания входящих в него частотных присвоений не претерпевают существенных изменений после введения в расчет потенциального источника помехи. Эталонная зона обслуживания присвоений существующего выделения Плана Женева-06 определяется с учетом помех только от выделений и присвоений Плана Женева-06, а также выделений и присвоений, ранее скоординированных участвующими АС на двусторонней и многосторонней основе. В случае отсутствия сети частотных присвоений для представления частотного выделения используется критерий защиты по предельно допустимому превышению суммарной напряженности поля помех над суммарной напряженностью поля помех в эталонной ситуации в контрольных точках на границе зоны частотного выделения.

### Обеспечение защиты дополнительных частотных выделений к Плану соглашения Женева-06.

В результате добавления нового частотного выделения создается зона обслуживания, определяемая зоной обслуживания присвоений, входящих в сеть реализации такого выделения. Эталонной зоной обслуживания такого выделения является (как и у существующих выделений Плана) зона обслуживания с учетом помех только от выделений и присвоений Плана Женева-06, а также выделений и присвоений, скоординированных участвующими АС на двусторонней и многосторонней основе.

В результате введения в проект плана других дополнительных выделений и присвоений эталонная зона обслуживания будет сокращаться. Критерием целесообразности использования дополнительного частотного выделения является сохранение зоны обслуживания не менее 50% от эталонной зоны обслуживания, при этом по своей конфигурации и охвату населения удовлетворяющей ответственную АС.

## Критерии обеспечения защиты частотных присвоений.

### 1.3.1. Обеспечение защиты существующих присвоений в Плане соглашения Женева-06.

Защита частотного присвоения или сети частотных присвоений считается обеспеченной, если зоны обслуживания частотных присвоений не претерпевают существенных изменений после введения в расчет потенциального источника помехи. Эталонная зона обслуживания присвоений Плана Женева-06 определяется с учетом помех только от выделений и присвоений Плана Женева-06, а также выделений и присвоений, скоординированных участвующими АС на двусторонней и многосторонней основе.

### 1.3.2. Обеспечение защиты дополнительных частотных присвоений к Плану соглашения Женева-06.

Критерием отсутствия помех дополнительному частотному присвоению считается сохранение зоны обслуживания не менее 50% от эталонной зоны обслуживания, при этом по своей конфигурации и охвату населения удовлетворяющей ответственную АС.

## Обеспечение защиты модифицированных частотных присвоений и выделений Плана соглашения Женева-06.

Если в результате планирования предлагается изменить частотный канал существующего присвоения или выделения Плана соглашения Женева-06, или ранее скоординированного с затронутыми АС, такое присвоение или выделение называется измененным (модифицированным).

Модифицированное частотное присвоение или выделение защищается аналогично входящему в план с тем отличием что эталонной зоной обслуживания считается зона обслуживания с учетом помех только от выделений и присвоений Плана Женева-06, а также выделений и присвоений, скоординированных участвующими АС на двусторонней и многосторонней основе, которая существовала на исходном радиочастотном канале.

## Технические параметры расчета

Приведенные ниже технические параметры разработаны на основе действующих Рекомендаций и Отчетов МСЭ-R, а также с учетом положений действующих международных соглашений, ссылки на которые приведены в соответствующих таблицах.

### Общие параметры

Таблица 1 – Общие параметры

| **Технический параметр** | **Значение или описание** | **Примечание** |
| --- | --- | --- |
| Полоса частот, система | 470-694 МГц | DVB-T, DVB-T2 |
| Тип данных планирования | Частотное  присвоение | В рамках данной работы рассматриваются частотные присвоения с заданными реалистичными параметрами |
| Организация работ | На основе исходных данных от АС | АС предоставляют данные для планирования |
| Тип исходных данных заявки | Частотное  присвоение | Дополнительные / новые заявки должны основываться только на отдельных присвоениях, которые могут составлять ОЧС (SFN) |
| Формат представления исходных данных | Формат GT1[[1]](#footnote-1) | Предисловие к Международному Информационному Циркуляру по частотам БР (наземные службы) и Руководство по заявкам GE06 (<https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/tpr/Documents/GE06_BS/BS-GE06_Guide.pdf>) |
| Дополнительные исходные данные | Частотные присвоения и частотные выделения действующих частотных планов | Должны быть включены в частотный план Соглашения Женева-06 или скоординированы всеми затронутыми АС |
| Результирующее число слоёв покрытия | не менее 6-и  в полосе частот  470-694 МГц | Минимальное количество уровней в слоях на страну в сложных приграничных районах. Это число может быть увеличено (при наличии возможности) на паритетной основе для сопредельных стран. |
| Вид приёма | Прием на фиксированные антенны для НЦТВ (DVB-T/T2) | Фиксированная антенна на высоте 10 м, канал Райса |
| Режим модуляции DVB-T/DVB-T2 | 64 КАМ, 256 КАМ | Уточняется заявляющей АС |
| Вероятность местоположения в месте приема цифрового телевизионного сигнала | 95% местоположений в населённых пунктах с плотной застройкой (городах), 75% мест для открытых трасс в малонаселенной местности |  |
| Основа для анализа воздействия помех при исследовании ЭМС между заявленными частотными присвоениями и записями действующего плана | Зона обслуживания станции или суммарная напряженность поля помех в контрольных точках на границе зоны выделения с учётом помех от РЭС, вошедших в эталонную ситуацию | Зона обслуживания или суммарная напряженность поля помех в контрольных точках на границе зоны выделения рассчитывается с учетом помех от РЭС, вошедших в план Женева-06 или скоординированных со всеми сопредельными странами |
| Базовый критерий отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС между заявленными и имеющимися частотными присвоениями | Превышение суммарной напряженности поля помех над полем полезного сигала на краю зоны обслуживания или превышение суммарной напряженности поля помех над суммарной напряженностью поля помех в эталонной ситуации в контрольных точках на границе зоны выделения. |  |
| Величина базового критерия отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС от заявленных имеющимся частотным присвоениям | 1.25 дБ[[2]](#footnote-2) | Превышение суммарной напряженности поля помех над полезной. |
| Величина базового критерия отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС от заявленных имеющимся частотным выделениям | 1.25 дБ[[3]](#footnote-3) | Превышение суммарной напряженности поля помех над полезной. |
| Альтернативный критерий отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС при помехах заявленным частотным присвоениям | По допустимому обужению целевой зоны обслуживания | Определяется на ЦММ с учетом суммарного влияния помех от всех заявленных станций и станций эталонной ситуации |
| Основа для анализа воздействия помех при исследовании ЭМС заявленным частотным присвоениям | Зона обслуживания станции с учётом помех от РЭС, вошедших в эталонную ситуацию | Зона обслуживания рассчитывается с учетом помех от РЭС, вошедших в план Женева-06 или скоординированных со всеми сопредельными странами |
| Базовый критерий отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС между заявленными частотными присвоениями | Превышение суммарной напряженности поля помех над полем полезного сигнала на краю зоны обслуживания. |  |
| Величина базового критерия отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС между заявленными частотными присвоениями | 4 дБ[[4]](#footnote-4) | Превышение суммарной напряженности поля помех на краю зоны покрытия над полезной. |
| Альтернативный критерий отсутствия помех при проведении расчетов ЭМС между заявленными частотными присвоениями | По допустимому обужению целевой зоны обслуживания | Определяется на ЦММ с учетом суммарного влияния помех от всех заявленных станций и станций эталонной ситуации |
| Направленность фиксированной приемной антенны в ОЧС | На полезную станцию с наибольшим уровнем сигнала |  |

### Защищаемая минимальная напряженность поля и защитные отношения.

В расчетах применяется минимальная медианная защищаемая напряженность поля и защитные отношения согласно Рекомендациям МСЭ-R BT.1368 для системы DVB-T или BT.2033 если АС указала для своих частотных присвоений систему DVB-T2.

### Расчет зоны обслуживания отдельного частотного присвоения.

Зона обслуживания частотного присвоения представляет собой геометрическое множество элементарных площадок на местности, для каждой из которых выполняется условие:

*Eпол* >= *Eисп*

Где:

*Eпол* - Напряженность поля полезной станции

*Eисп* - Используемая напряженность поля (дБ(мкВ/м)) – минимальное значение напряженности поля, необходимое для обеспечения желаемого качества приема для заданных условий приема при наличии естественных/индустриальных шумов и помех от других передающих станций.

Размер элементарной площадки на местности выбирается таким образом, чтобы представлять соответствующий участок территории, который может иметь специфические условия приема сигналов, отличающие его от других соседних участков. Для целей планирования размер элементарной площадки предлагается выбирать таким образом, чтобы достаточно адекватно представлять отдельные участки населенных пунктов и промышленных объектов, в пределах которых могут находиться приемники сигнала.

Используемая напряженность поля рассчитывается по следующей формуле



где

*Емин исп –* минимальная используемая напряженность поля для целевого процента времени и мест в пределах элементарной площадки;

*Емешi* – напряженность мешающего поля *i-ой* помехи для заданного процента времени и мест;

*n* – число источников помех.

Напряженность мешающего поля (Eмеш, дБ(мкВ/м)) в заданной расчетной точке определяется по формуле

|  |  |
| --- | --- |
| Емеш = Е (50, 1) + P + А + ΔА+ С, дБ мкВ/м |  |

где

Е (50, 1) – напряженность поля для 50% мест и 1% времени приема, определяемая в соответствии с моделью распространения в расчетной точке для высоты приемной антенны 10 м, условий приема на открытой местности и для эталонного передатчика с ЭИМ=1 кВт, дБ(мкВ/м);

P – эффективная излучаемая мощность мешающей станции, дБ/кВт;

А – защитное отношение, дБ;

ΔА – поправка к защитному отношению, дБ, учитывающая пространственную и поляризационную помехозащищенность приемной антенны (применяется только для фиксированного приема);

С – объединенный поправочный коэффициент местоположений, рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| C = μ дБ, |  |

где

σ*w*  - стандартное отклонение изменения местоположения для полезного сигнала (дБ);

σ*n*  - стандартное отклонение изменения местоположения для мешающего сигнала (дБ);

μ - коэффициент распределения.

### Методы и математические модели для оценки распространения радиоволн

Таблица 2- Параметры моделирования распространения радиоволн

| Технический параметр | Значение или описание | Примечание |
| --- | --- | --- |
| Модель распространения (Рекомендация МСЭ, учитываемые параметры) | P.1812 (P.2001) и/или P.1546 | Учитывается профиль трассы, гидрография, растительность |
| Цифровая модель рельефа местности | Цифровая матрица высот HCM |  |
| Разрешение цифровой модели рельефа местности | Не хуже 100 м |  |
| Цифровая модель гидрографии | Гидрография на основе ЦММ | Карта водной поверхности с высоким разрешением. Включает только крупные водоемы и моря |
| Разрешение цифровой модели рельефа местности | Не хуже 100 м |  |
| Цифровая модель растительности | GlobalCover для модели P.1812 | Для учета местных условий распространения используются цифровая модель  клаттеров местности |
| Разрешение цифровой модели растительности | Не хуже 300 м |  |
| Точность расчётов зон обслуживания, плотность контрольных точек / контрольных площадок расчета | С разрешением не более 500 м × 500 м | На границе зоны обслуживания и по площади зоны обслуживания |

# Технические основы проведения двусторонней и многосторонней координации дополнительных частотных присвоений и выделений к Плану цифрового наземного телевизионного вещания Женева-06 в полосе радиочастот 470-694 МГц

На основе договоренности между АС для проведения двусторонней и многосторонней координации дополнительных частотных присвоений/выделений к Плану соглашения Женева-06 применяются технические основы и критерии защиты, приведенные ниже.

## Критерии обеспечения защиты частотных выделений.

### Обеспечение защиты существующих выделений в Плане соглашения Женева-06.

В результате добавления нового частотного выделения/присвоения напряженность поля помехи в любой контрольной точке контура выделения другой Стороны, внесенного в цифровой План GE06D или взаимно скоординированного, не должна превышать значения минимальной медианной напряженности поля, соответствующего каналу вещания и фиксированному приему, как указано в Приложении 3.5 Соглашения GE06, за вычетом запаса, составляющего 0-3 дБ. О конкретных значениях запаса на защиту администрации связи могут договориться на двустороннем уровне.

### Обеспечение защиты дополнительных частотных выделений к Плану соглашения Женева-06.

В результате добавления нового частотного выделения/присвоения напряженность поля помехи в любой контрольной точке контура частотного выделения другой Стороны, дополнительного к Плану GE06D, не должна превышать большего из значений:

а) соответствующего каналу вещания и фиксированному приему значения минимальной медианной напряженности поля, как указано в Приложении 3.5 Соглашения GE06, за вычетом запаса, составляющего 0-3 дБ. О конкретных значениях запаса на защиту администрации связи могут договориться на двустороннем уровне;

б) суммарного уровня помех, который создается уже внесенными в План GE06Dзаписями.

В случае невыполнения критериев, приведённых выше, при рассмотрении дополнительных частотных выделений, Сторона, которой необходимо добавить новое частотное выделение, должна указать в графе “t\_remarks” заявительной формы GT2 следующее: “implementation must be coordinated with ХХХ” (“ХХХ” – аббревиатура МСЭ для соответствующей затронутой администрации связи). Данная информация означает, что реализация добавленного частотного выделения должна быть согласована с затронутой администрацией.

## Критерии обеспечения защиты частотных присвоений.

### Обеспечение защиты существующих присвоений в цифровом Плане соглашения Женева-06.

В результате добавления нового частотного выделения/присвоения результирующее увеличение используемой напряженности поля в любой контрольной точке на границе зоны обслуживания частотного присвоения другой Стороны, внесенного в цифровой План GE06D или взаимно скоординированного, не должно превышать 0,3 дБ.

Используемая напряженность поля до добавления нового частотного выделения/присвоения рассчитывается с использованием всех существующих записей в Плане GE06D и взаимно скоординированных частотных присвоений/выделений, не содержащих соответствующие примечания в отношении затронутой администрации. В случае наличия примечания R2, необходимо учитывать модификацию частотного присвоения или реализацию выделения, удовлетворяющие критериям координации записей Плана Женева-06.

### Обеспечение защиты дополнительных присвоений к цифровому Плану соглашения Женева-06.

В результате добавления нового частотного выделения/присвоения результирующее увеличение используемой напряженности поля в любой контрольной точке на границе зоны обслуживания нового частотного присвоения другой Стороны не должно превышать 0,5 дБ. Используемая напряженность поля до добавления нового частотного выделения/присвоения рассчитывается с использованием всех существующих записей в Плане GE06D и взаимно скоординированных частотных присвоений/выделений.

## Методы проведения расчетов ЭМС и математические модели для оценки распространения радиоволн.

2.3.1. В расчетах ЭМС применяются минимальная медианная защищаемая напряженность поля и защитные отношения согласно Рекомендациям МСЭ-R BT.1368 для системы цифрового вещания DVB-T или BT.2033, если АС указала для своих частотных присвоений систему DVB-T2;

2.3.2. При расчетах ЭМС используется модель распространения радиоволн Рекомендаций МСЭ-P P.526, P.1546, P.1812 в зависимости от характера рельефа подстилающей поверхности;

2.3.3. Планирование проводится для приема на фиксированные антенны для НЦТВ систем DVB-T/T2;

2.3.4 Вероятность местоположений при проведении расчетов ЭМС: 95% местоположений в населённых пунктах с плотной застройкой (городах), 75% мест для открытых трасс в малонаселенной местности.

## Расчет зоны обслуживания отдельного частотного присвоения.

Расчет зоны обслуживания отдельного частотного присвоения осуществляется по методу, изложенному в разделе 1.5.3.

# Приложение

# Обозначения параметров системы DVB-T2 для использования при направлении предложений по планированию в формате данных GT1

Обозначение параметров приводится в поле данных «комментарий» (t\_remarks) представляет собой строку символов, состоящую из элементов, приведенных в таблице П1, указанных в такой же последовательности и разделенных пробелом.

Таблица П1. Обозначения технических параметров системы DVB-T2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | Режим  модуляции | Скорость проверочного кода | Шаблон  пилот-сигнала | Спектр базовый (B)/ расширенный (E) |
| Возможные значения | QPSK | 1/2 | PP1 | B |
| 16-QAM | 3/5 | PP2 | E |
| 64-QAM | 2/3 | PP3 |
| 256-QAM | 3/4 | PP4 |
| 4/5 | PP5 |
| 5/6 | PP6 |
| PP7 |
| PP8 |

Примеры: 64-QAM 4/5 PP5 B

256-QAM 2/3 PP7 E

1. Для системы DVB-T используются обозначения, соответствующие формату GT1. При этом поле ремарки сохраняется пустым. Для системы DVB-T2 система указывается как RPC1, а режим модуляции и другие параметры приводятся в поле ремарки в формате GT1, согласно таблицы приведенной в Приложении. [↑](#footnote-ref-1)
2. 2,3,4Данный параметр может быть изменен по результатам пробного планирования по договоренности АС при необходимости. [↑](#footnote-ref-2)
3. [↑](#footnote-ref-3)
4. 4Данный параметр может быть изменен по результатам пробного планирования по договоренности АС при необходимости. [↑](#footnote-ref-4)