**УДК 621.396.96: 551.501**

*С.С. ЖИЛА, канд. техн. наук, А.А. МЕРЗЛИКИН, А.В. ОДОКИЕНКО, канд. техн. наук,*
*В.В. ПАВЛИКОВ, д-р техн. наук, Н.В. РУЖЕНЦЕВ, д-р техн. наук,*
*А.Д. СОБКОЛОВ, А.И. ЦОПА, д-р техн. наук*

# КУМУЛЯТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО АТМОСФЕРНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ РАДИОВОЛН НАД ХАРЬКОВОМ

## Введение

Развитие технологий в области мобильных сетей, интернета и наземно-космической связи повысило спрос на высокую скорость передачи данных. Поэтому в технологиях передачи данных акцент сместился на использование более высокочастотных диапазонов радиоволн, плоть до частот 100 ГГц. Применение этого относительно нового для широкомасштабно используемых коммуникационных приложений диапазона позволяет обеспечить рост объемов и скорости передаваемой информации выше 10 Гбит/сек при приемлемых уровнях готовности в сетях связи. Для выполнения требований к обеспечению надежности телекоммуникационных систем необходимо, чтобы в компонентах сети использовались элементы с высокими величинами интегральных коэффициентов готовности**.** Такими компонентами, например, являются центры формирования мультиплексов, радиорелейные и спутниковые системы передачи данных и наземные станции спутниковой связи в центрах регионов, обслуживающие населенные пункты с большим количеством населения. Требуемая величина интегрального коэффициента готовности в таких элементах сетей связи составляет 0.01% - 0.001%. Для рабочих частот более 10 ГГц для выполнения этих требований важна проблема адекватного прогнозирования поглощения и рассеяния радиоволн миллиметрового диапазона (ММ ДВ) в дожде и в некоторых типах облаков. [1-2]. Актуальность вопросов изучения статистических параметров полного вертикального и погонного приземного ослабления радиоволн ММ диапазона волн резко возросла в мире в последние годы, в частности, ввиду разработки перспективных сверхскоростных и информационно емких сетей наземно-космической и тропосферной связи пятого (5G) и последующего поколений. Получение этих дополнительных данных также необходимо для улучшения разработки локальной модели прогнозирования ослабления в атмосфере.

В работе впервые приводятся обоснованные с микроклиматической точки зрения оценки вероятностей превышения экстремально высоких значений ослабления сигналов на наклонных наземно-космических линиях для г. Харькова в течении года в 8 мм ДВ.

## 2. Состояние вопроса и постановка задачи

Климат в г. Харькове, с точки зрения рассматриваемой проблемы характеризуется тем, что годовая сумма осадков составляет в среднем 517 мм. С июля по август длится засушливый период, во время которого увлажнение происходит преимущественно грозами. Пик осадков приходится на грозовой июнь и июль (по 61 мм) и выпадают они в городе довольно равномерно. В июле осадки обычно бывают несколько раз, но эти грозовые дожди имеют ливневый характер и отличаются громадной силой. Это обстоятельство может являться наиболее деструктивным фактором, нарушающим работоспособность проектируемых тропосферных и наземно-космических линий связи. В августе, как правило, ливни наблюдаются еще реже.

Важнейшим параметром, определяющим надежность линии связи, является параметр готовности (неготовности) линии связи, который количественно характеризует вероятность нарушения связи [3-4]. Рассчитать значения параметра готовности/неготовности линии связи можно, используя рекомендации международного союза по телекоммуникациям *ITU* [5-6].

Из приведенных в [5-6] выражений следует, что в основе прогнозирования значений коэффициента готовности, помимо конкретизации задаваемых аппаратурных параметров

линии связи (чувствительность приемника, излучаемая мощность передатчика, коэффициент усиления антенны и др.) в ММ ДВ крайне важны данные о кумулятивной функции распределения атмосферного ослабления для каждого рассматриваемого региона. Ведь, ослабление, вызванное дождем и мощной кучевой облачностью, является основной причиной перебоев в работе систем связи, использующих СМ и ММ диапазоны волн (ДВ).

Кумулятивное распределение полного вертикального ослабления в атмосфере (дБ) показывает вероятность превышения того или иного значения атмосферного ослабления. Ввиду важности получения максимально адекватных оценок прогнозирования надежности связи, *ITU* рекомендует производить учет микроклиматических особенностей этого параметра для рассматриваемых регионов путем экспериментального накопления сезонной и годовой статистики атмосферного ослабления с интервалом усреднения не превышающим одну минуту. В ряде стран мира долговременные циклы такого рода экспериментальных исследований уже проведены либо проводятся, главным образом, на приземных трассах.

Для территории Украины такие экспериментальные данные о кумулятивных функциях полного вертикального и погонного горизонтального атмосферного ослабления в ММ ДВ отсутствуют. Также отсутствуют такие многолетние метеорологические данные, как временное распределение водозапаса облаков и одноминутной интенсивности дождей, которые необходимы для адекватного расчета статистики ослабления радиоволн,

Исходные данные для построения экспериментально обоснованных кумулятивных функций распределения полного вертикального ослабления радиоволн СМ и ММ ДВ можно получить тремя путями:

1. Расчетным путем, на основе экспериментальных данных о временном распределении дождя с применением радиофизических моделей адекватно связывающих интенсивность дождя с величиной погонного ослабления в том или ином диапазоне волн [7-8];
2. Методом бекон-зондирования атмосферы путем ее просвечивания с помощью передатчиков геостационарных спутников, работающих в интересующем нас ДВ.
3. Путем определения значений полного атмосферного ослабления на наклонных трассах методами радиометрии на отдельных частотах [9-11].

К достоинствам довольно широко используемого в мире первого подхода можно отнести возможность использования многолетних баз данных, содержащих интенсивности выпавших осадков в разветвленной сети метеостанций, а также наличие радиофизических моделей, которые достаточно точно описывают величину погонного ослабления для различных интенсивностей дождя в различных диапазонах радиоволн (как правило, от 5% в районе 10 ГГц до 30% на частотах около 1000 ГГц). К недостаткам этого подхода стоит отнести то, что в подавляющем большинстве баз многолетних данных значения интенсивности дождя представлены с временем усреднения (Т) от 20 до 60 минут. В то время, как для расчетов затухания на трассе признаны наиболее подходящими одноминутные периоды усреднения интенсивности дождя. Это обстоятельство вызывает необходимость пересчетов Т-минутных в 1 минутные данные, путем использования дополнительных моделей, которые также имеют микроклиматические особенности, что может приводить к дополнительным погрешностям. Расчет поглощения на наклонной трассе требует также применения моделей учета коэффициента уменьшения, эффективной длины пути, размеров дождевой ячейки, высоты изотерм и др., что отражено в рекомендациях *ITU*. Но каждая из описывающих это множество метеорологических параметров модель вносит свои дополнительные погрешности и при этом не учитывает микроклиматические особенности многих регионов мира.

Отсутствие подходящего для реализации второго подхода геостационарного спутника с лучом облучения территории Украины делает третий путь получения интересующих данных более предпочтительным. Однако, здесь необходимо иметь ввиду, что, как правило, подходящий для практического использования период непрерывного накопления таких данных составляет от 3-х до 7-ми лет [12-13].

## 2. Аппаратурно-методическое обеспечение и условия наблюдения

**Определение характеристик полного вертикального ослабления в атмосфере.**

При разработке и реализации методов уменьшения замираний, таких как управление мощностью, разнесение, кодирование и совместное использование ресурсов в ММ ДВ особую важность имеет знание статистических параметров осадков и кучевых типов облачности. Их необходимо учитывать при определении производительности цифровых сетей, использующих спутниковые линии связи. Длительность замирания или интервал времени, в течение которого ослабление сигнала превышает заданный порог, интервалы между эпизодами замирания, интервалы между событиями замирания и скорость изменения затухания являются наиболее важными динамическими характеристиками, относящимися к моделированию спутниковой системы.

В этой работе мы использовали экспериментальный подход, который основан на определении значений полного вертикального ослабления по данным непрерывного радиометрического мониторинга интенсивности нисходящего радиотеплового излучения атмосферы в 8-ми ММ ДВ.

Измерения проводились круглосуточно в фиксированном направлении $35^{o}$ от зенита. Калибровка радиометра осуществлялась методом двух нагрузок с контролируемыми термодинамическими температурами окружающей среды и кипения жидкого азота [14-15]. Флуктуационная чувствительность радиометра диапазона 39 ГГц модуляционного типа составляла 0.2К. Интервал выборки данных – 10 сек. При анализе полученных данных в качестве критерия нарушения связи мы использовали пороговые значения общего затухания на наклонной трассе около **15 дБ** [1].

Расчет значений полного вертикального ослабления атмосферой в этой работе был проведен с помощью следующих выражений:

$$Ta = To - S\,\Delta Ua \qquad (1)$$

где Та – антенная температура неба; S – калибровочный коэффициент радиометра (К\В); ΔUa – разность выходных показаний радиометра, антенна которого направлена поочередно на согласованную нагрузку и в небо.

$$Ta = Tя(1-\beta) + T_{ф}\cdot\beta + 2{,}73\, e^{-\tau\,Sec\theta} \qquad (2)$$

где: радиояркостная температура $Tя = T_{эф}(1-e^{-\tau\,Sec\theta})$, $T_{ф}$ – усредненная величина радиояркости фонового излучения (для нашей антенны мы использовали в летних условиях значения около 170К), β – параметр характеризующий рассеяние антенны вне основного лепестка диаграммы направленности (измеренное значение для нашей антенны 0,045), 2,73 – реликтовое излучение космоса, $T_{эф}$ – усредненная величина эффективной температуры столба атмосферы (мы использовали для летних условий пасмурной погоды значения около 288К), θ – зенитный угол визирования ($35^{o}$).

Оптическая толщина атмосферы τ (непер) была определена, как:

$$\tau = \ln(T_{эф}-((T_{a}-T_{ф}\cdot\beta)/(T_{эф}-2{,}73)))/Sec\theta \qquad (3)$$

Величина полного вертикального атмосферного ослабления в дБ определялась как $\gamma$ (дБ)= 4.343τ.

В большинстве предыдущих исследований атмосферного ослабления на линиях связи приводятся данные в виде годовых вероятностей превышения значений этих параметров. Тем не менее, статистические данные за годичный период наблюдений могут вводить в заблуждение, поскольку в большинстве мест события экстремально высокого ослабления сигнала (величина которого может вызвать перебои в линии связи) сосредоточены только в отдельных месяцах года. Низкая среднегодовая частота возникновения перебоев связи (например, по причине дождя либо мощной кучевой облачности) может быть недопустимо

высокой в эти месяцы. Поэтому предпочтительны ежемесячные или сезонные статистические данные об интенсивности дождя.

**3. Результаты**

В общем случае, продолжительность чрезмерных замираний сигнала на наклонной трассе является функцией частоты, угла места и типа дождя или кучевой облачности. При заданном пороге ослабления сигнала продолжительность критического замирания будет увеличиваться с увеличением частоты и с уменьшением угла места на наклонной трассе. Одним из наиболее часто используемых статистических инструментов для прогнозирования уровня ослабления сигнала на трассе являются кумулятивные функции распределения (*cumulative distribution function*) для любого временного интервала [16-18].

На рис. 1(а-ж) приведены кумулятивные функции значений полного вертикального (в направлении зенита) ослабления $\gamma$ в атмосфере, полученные нами методом радиометрических наблюдений радиояркости собственного радиотеплового излучения атмосферы на частоте 39 ГГц для каждого из семи месяцев теплого периода года.

Полученные экспериментальным путем и представленные на рис. 1-3 зависимости дают возможность провести оценочный пересчет и для других частот и углов визирования. При пересчете значений ослабления с частоты 39 ГГц на другие частоты следует иметь в виду, что в большинстве случаев наблюдается комбинированный эффект различных механизмов ослабления (главным образом за счет дождя и облаков) с отличающейся частотной зависимостью для капельной влаги облаков и дождя. Следовательно, возникает необходимость проводить такие частотные сравнения, ограничиваясь только одним из ослабляющих эффектов. Так, при использовании систем с низким запасом на замирание, затухание из-за облаков на частотах ММ ДВ также может быть значительным. Водозапас больших кучевых облаков в средних широтах в течении года, по модельным оценкам *ITU-R* P.840-6 не превышает 2 кг\м$^2$ с вероятностью $p$= 99.9%.

Наши расчеты показывают, что, например, на частотах около 12 ГГц такой водозапас вызывает вертикальное затухание не более 0.2 дБ. Однако, используя соотношения *MPM (Millimeter-wave Propagation Model)* модели [16] можно показать, что, например, для температур облачных капель +10 С на частотах 19 ГГц, 39 ГГц и на 94 ГГц значения ослабления вырастут в 2.5, 10 и 40 раз соответственно. По мере увеличения угла визирования до 85° от зенита, значения ослабления на каждой частоте могут увеличиться еще до 12 раз в соответствии с величиной Secθ.

Для аналогичных оценок частотной и угловой зависимости ослабления сигнала в дожде для рассматриваемого региона можно использовать предлагаемые *ITU-R* P.837-7 модели. В соответствии с ними с вероятностью 99.99% интенсивность дождя не должна превышать 35 мм\ч. Для такой интенсивности дождя рост выраженного в дБ ослабления сигнала на частотах 19 ГГц, 39 ГГц и 94 ГГц по сравнению с частотой 12 ГГц составит 2.6, 9.5 и 16 раз соответственно. Здесь полезно обратить внимание на близость коэффициентов частотного пересчета для облачных капель и капель дождя в частотном диапазоне ниже 40 ГГц. Это обстоятельство позволяет рассчитывать на адекватность проведения оценок ослабления путем такого пересчета. При пересчетах в более высокочастотные диапазоны точность оценок в общем случае может понизиться многократно из-за необходимости и трудности разделения вкладов дождя и облаков. Однако, в частном случае, в секторе экстремально высоких значений ослабления, которые характеризуются значениями вероятности $p$ менее 0.01% (в обоснованном предположении о превалирующем вкладе дождя в суммарном ослаблении) адекватный пересчет атмосферного ослабления на частоты выше 40 ГГц также возможен.

На рис. 2 приведена кумулятивная функция значений полного вертикального (в направлении зенита) ослабления $\gamma$ усредненная для теплого периода года (апрель – октябрь).

На рис. 3 показан сезонный ход превышения отмеченных значений атмосферного ослабления $\gamma$ для трёх значений вероятностей $p$ (0.1%, 0.01% и 0.001%).

По мере изменения угла визирования, оцениваемые значения ослабления в дожде на каждой частоте могут увеличиться, как и в случае облаков в соответствии с величиной близкой к значениям Sec θ.

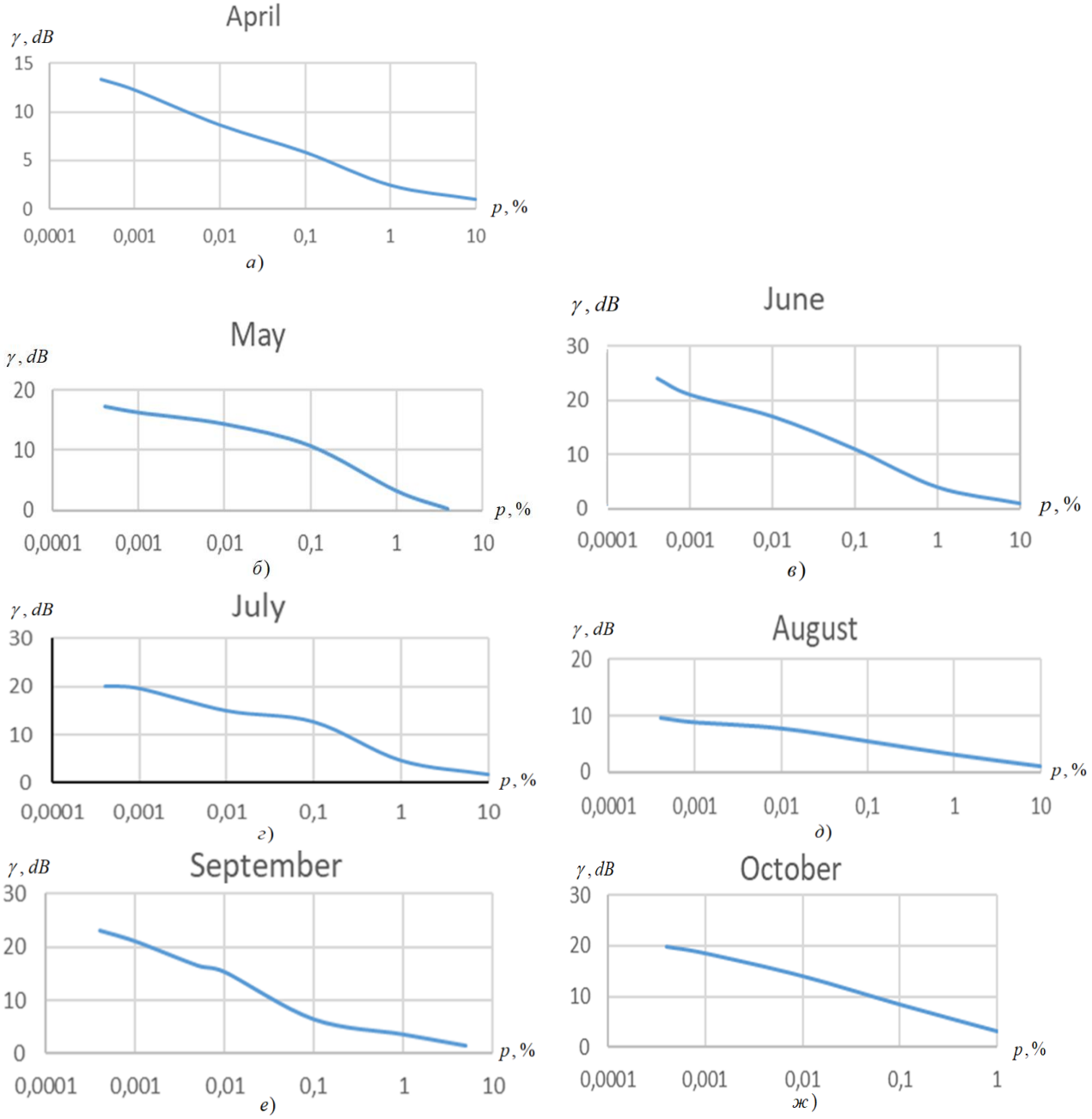


Рис. 1. Помесячное кумулятивное распределение значений полного вертикального ослабления $\gamma$ (дБ) в атмосфере для частоты 39 ГГц (г. Харьков)

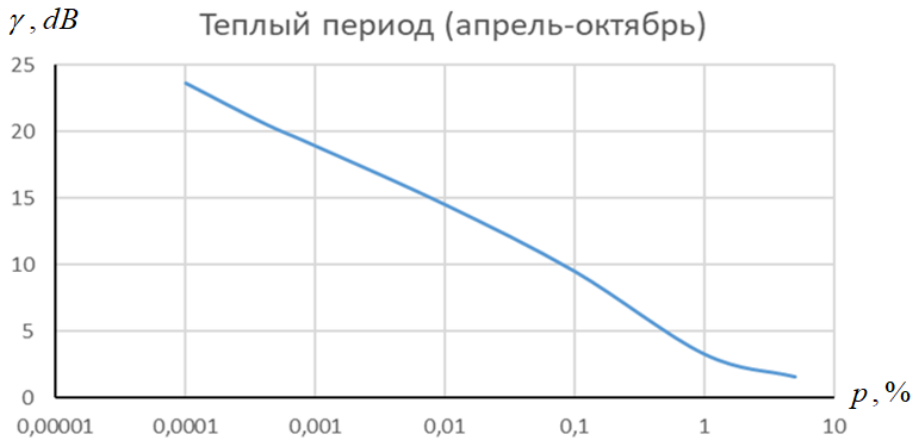


Рис. 2. Кумулятивное распределение полного вертикального ослабления $\gamma$ (дБ) в атмосфере за теплый период года для частоты 39 ГГц

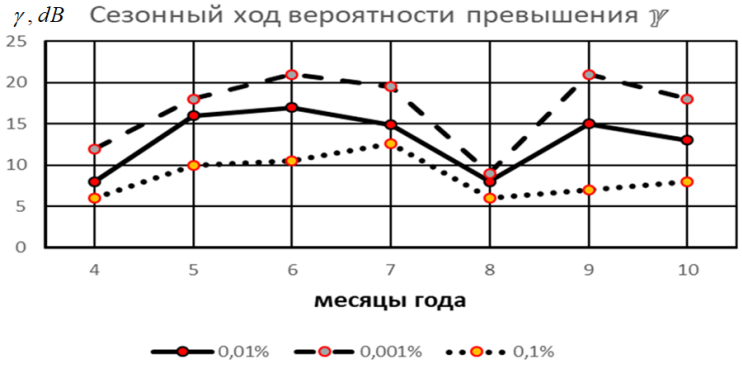


Рис. 3. Сезонный ход превышения значений полного вертикального ослабления в атмосфере $\gamma$ в диапазоне 39 ГГц для значений помесячных вероятностей $p$ 0.1%, 0.01% и 0.001%.

На рис. 4 в качестве примера, приведены аналогичные рисунку 1в (для июня) зависимости при различных углах визирования от зенитного направления. Процедура пересчета полученных в 8-ми ММ ДВ экспериментальных данных была проведена на основе выражения (2).

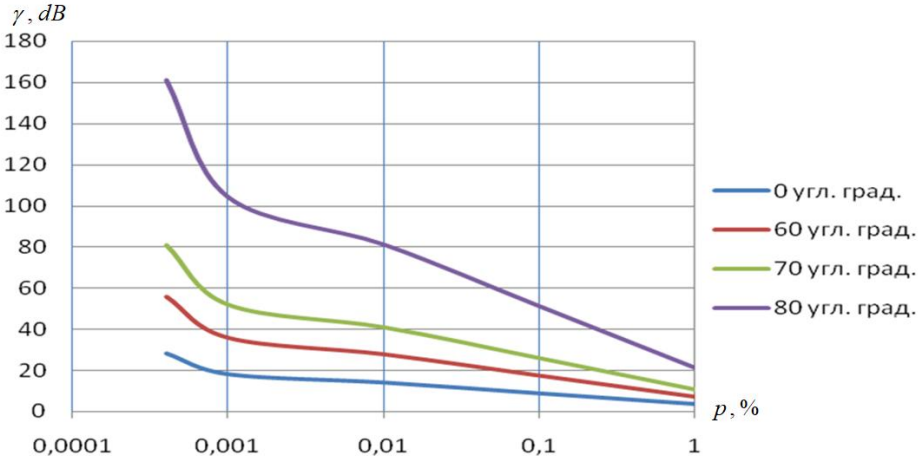


Рис. 4. Кумулятивное распределение полного вертикального ослабления $\gamma$ (дБ) в атмосфере для частоты 39 ГГц (Июнь, Харьков) для углов $0^0$, $60^0$,$70^0$ и $80^0$ от зенита

Проведенный выше анализ полученной в 8-ми ММ ДВ зависимости и обсуждение результатов оценочных расчетов показывают, что в погодных условиях июня в зенитном

направлении для вероятностей $p$ до 0.01% полное вертикальное ослабление в атмосфере не должно превышать 15 дБ значение на частотах ниже 40 ГГц. Однако, при использовании углов визирования существенно отстоящих от зенита, превышение этого условно выбранного порога будет быстро нарастать по мере увеличения угла θ на наклонных трассах, а также по мере увеличения рабочих частот. В отличии от результатов, полученных в теплый период года, для одногодичного периода рассмотрения в секторе значений вероятностей ниже 1%, следует ожидать почти двукратное уменьшение значений вероятности превышения дБ порогов, которые выбраны для оценок нарушения связи. Это связано с тем, что в ноябрь – мартовский период максимальные значения полного вертикального ослабления с вероятностью $p$ = 0.001% не превышали 3,5 дБ (в ноябре < 2 дБ, в декабре, в январе и в феврале < 3,5дБ, в марте < 2дБ).

Вопросы меж-годичной изменчивости продолжительности событий осадков, вызывающих перебои связи, а также вопросы адекватности ITU формул перевода Т-минутных данных об интенсивности дождя в 1-минутные [17-18] для конкретно рассматриваемых регионов Украины требуют проведения дополнительных исследований в интересах развития сетей тропосферной и спутниковой связи в ММ ДВ.

**Выводы**

В работе представлены данные о кумулятивных функциях распределения полного вертикального атмосферного ослабления за год и в наихудшие месяцы года в 8-ми ММ ДВ. Эти данные были получены на основании цикла непрерывных радиометрических наблюдений нисходящего радиотеплового излучения атмосферы. При анализе полученных данных в качестве критерия сбоя связи использовалось пороговое значение ослабления в 15 дБ.

Полученные результаты говорят о возможности обеспечения надежной связи в рассмотренных диапазонах частот в течение периодов года, не относящихся к теплому времени (с сентября по апрель). Однако, в «наихудшие месяцы» теплого периода года в Харьковском регионе имела место близость значений ослабления к упомянутому выше ограничительному порогу. (Надо отметить, что эта закономерность основана на статистике лишь **одного** года экспериментальных наблюдений.)

Обращено внимание на то, что годичные статистические данные, которые включают зимние месяцы с очень низкой вероятностью перебоев, могут заметно отличаться в сторону занижения от аналогичных данных для работы в теплый период года. Поэтому проектирование коммуникаций в ММ ДВ также должно учитывать условия в течение месяцев, когда вероятность и продолжительность отключений максимальны.

Приведенные кумулятивные функции атмосферного ослабления, проанализированные в работе, позволяют впервые для одного из регионов Украины дать обоснованную количественную оценку вероятности и длительности перерывов в работе КВЧ-связи из-за метеорологических условий. Эти результаты также могут обеспечить разумное проведение аналогий для учета влияния капельной влаги атмосферы в других регионах со сходными климатическими режимами.

Данные, представленные в этом исследовании, и приведенные выше выводы также могут быть полезны для формирования общей стратегии минимизации влияния ослабления сигнала в дождях. Например, в летние месяцы, когда ослабление из-за дождя, как правило, является наибольшим, может потребоваться переключение на более низкие частоты, изменение маршрутов передачи данных и (или) использование более высоких уровней мощности для повышения доступности систем связи. В сетях приземной тропосферной связи к таким мерам относят оптимизацию размеров сетевых ячеек либо размеров антенных апертур.

Дальнейшее изучение статистики ослабления радиоволн в атмосфере радиоволн ММ диапазона планируется провести в течении нескольких годичных циклов непрерывных радиометрических измерений с интервалом времени интегрирования данных радиофизических и метеорологических наблюдений не превышающем 1 минуту.

**Список литературы**


1. Paul Tattelman, Kevin P. Larson Effects of Rain Attenuation on Satellite EHF Communications in the United States \ AFGL-TR-89-0012N Environmental Research Papers, NO. 1017 Atmospheric sciences division project 6670 Air force geophysics laboratory Hanscom AFB, MA 01731, 1989, 179 pp.
2. ITU-R: Attenuation due to clouds and fog - ITU, Recommendation R. 840-6. ITU-R Recommendations, P Series, International Telecommunications Union, Geneva, 2013.
3. Crane, R. K., Electromagnetic Wave Propagation Through Rain, Wiley Interscience, New York, 1996.
4. Recommendation ITU-R P.530-12 Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.
5. International Telecommunications Union, Radiocommunications Sector. Recommendation 618-9: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. Geneva. 2007. pp. 23.
6. ITU-R: Characteristics of Precipitation for Propagation Modeling, Recommendation P.837-4. ITU-R Recommendations, P Series, International Telecommunications Union, Geneva, 2003.
7. Boncho G. Bonev, Kliment N. Angelov and Emil S. Altimirski Study on Radio Link Availability in Millimeter Wave Range // World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol:5 2011, p.626-629.
8. Ivanov V.K., Leonidov V.I., Maleshenko Yu.I., Pavlikov V.V., Ruzhentsev N.V., Tsopa A.I., Zarudniy A.A. The project of joint investigations of mm waves propagations for Ukrainian advanced 5G communication lines // Proc. of Int. Kharkov Symposium - Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW), June 21-24, Kharkov, Ukrain, 2016, 4pp.
9. Ruzhentsev N.V. "Compact 3mm wave band transceivers for technologucal radars and radiotelephone communication systems", Turkish Journal of Physics, vol.20, N4, 1996, pp.356-358.
10. Pavlikov V.V., Ruzhentsev N.V., Sobkolov A.D., Tsopa A.I. and Sal'nikov D.S. "Millimeter-range radiometric system for perspective problems of meteorology and telecommunication" // XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT), Kiev, 2017, pp. 46-51. doi: 10.1109/ICATT.2017.7972583
11. Ruzhentsev N.V. and Churilov V.P. Terrain radiation - measurement investigation at 3-mm wave band //International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 1996,v.17, N 2, p. 433-449.
12. ITU-R: Characteristics of Precipitation for Propagation Modeling, Recommendation P.837-5. ITU-R Recommendations, P Series, International Telecommunications Union, Geneva, 2007.
13. Salous S. et al., "Millimeter-Wave Propagation: Characterization and modeling toward fifth-generation systems. [Wireless Corner]" // IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 58, no. 6, pp. 115-127, Dec. 2016. doi: 10.1109/MAP.2016.2609815.
14. Pavlikov V., Ruzhentsev N., Salnykov D., Tsopa A., Merzlikin A. Methodical maintenance of radiometric measurements of atmosphere at millimeter waves range // Proceedings of the 14-th International Conference Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science (TCSET'2018), Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 27, 2018, 4pp.
15. Stepanenko V.D., Schukin G.G., Bobeliov L.P., Matrosov S.Yu Radio-heat location and meteorology\ Leningrad, Gidrometizdat, 1987, 284 pp. (in Russian).
16. Liebe H.J. "MPM − an atmospheric millimeter waves propagation model" // International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 1989, vol.10, no 6, pp. 631-650.
17. Luis Emiliani1, Lorenzo Luini Evaluation of models for the conversion of T-min rainfall distributions to an equivalent one-minutedistributionto be used in Colombia // Rev. Fac. Ing. Univ.Antioquia N 56, pp. 99-119, Diciembre, 2010.
18. The Handbook on Radiometeorology / edited by Harvey Berger and Marlene Pontes\ International Telecommunication Union, Radiocommunication Bureau, Switzerland, 2013, 236 pp.



*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*



*Поступила в редколлегию*

УДК 621.396.96: 551.501

**Кумулятивные функции вертикального атмосферного ослабления миллиметровых радиоволн над Харьковом /** С.С.Жила, А.А. Мерзликин, А.В. Одокиенко, В.В. Павликов, Н.В. Руженцев, А.Д. Собколов, А.И. Цопа // Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2019. Вып. ___. С. 00-00.

Впервые на территории Украины на основании экспериментальных данных годичного цикла радиометрических наблюдений радиотеплового излучения атмосферы на частоте 39 ГГц сделаны, обоснованные с микроклиматической точки зрения, оценки вероятностей нарушения связи на наклонных наземно-космических линиях.

Ил. 4. Библиогр.: 18 назв.

УДК 621.396.96: 551.501

**Кумулятивні функції вертикального атмосферного ослаблення міліметрових радіохвиль над Харковом /** С.С.Жила, А.О. Мерзлікін, А.В. Одокієнко, В.В. Павліков, М.В. Руженцев, А.Д. Собколов, О.І. Цопа // Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2019. Вип. ___. С. 00—00.

Вперше на території України на підставі експериментальних даних річного циклу радіометричних спостережень радіотеплового випромінювання атмосфери на частоті 39 ГГц зроблені, обгрунтовані з мікрокліматичної точки зору, оцінки ймовірностей порушення зв'язку на похилих наземно-космічних лініях.

Іл. 4. Бібліогр.: 18 назв.

UDC 621.396.96: 551.501

**Cumulative functions of vertical atmospheric attenuation of millimeter radio waves over Kharkov /** S.S. Zhyla, A.O. Merzlikin, A.V. Odokiyenko, V.V. Pavlikov, N.V. Ruzhentsev, A.D. Sobkolov, O.I. Tsopa, // All-Urk. Sci. Interdep. Mag. 2019. N ___. P. 00—00.

For the first time on the territory of Ukraine, based on the experimental data of the annual cycle of radiometric observations of the radio-thermal radiation of the atmosphere at a frequency of 39 GHz, estimates from the microclimatic point of view, estimates of the probability of communication failure on inclined ground-space lines are made.

4 fig. Ref.: 18 items.