

ЭЛЕКТРОНИКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИКА

ELECTRONICS, MEASURING EQUIPMENT AND RADIO ENGINEERING

УДК 551.501.815

doi: 10.21685/2072-3059-2023-3-7

Особенности применения метеорологической радиолокации для оценки опасных метеообразований

В. М. Чайковский

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

radiolokaci@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования является место наземного расположения антенного метеорадиолокатора (МРЛ) для цели заблаговременного, с максимально возможной дальностью, обнаружения приближающегося опасного метеообразования и формирования предупредительного сигнала, оповещающего соответствующие службы. Данная цель достигается путем использования обычной импульсной радиолокационной станции кругового обзора, обеспечивающей при соблюдении определенных условий максимальное значение дальности прямой видимости. *Материалы и методы.* Показан характер зависимости дальности прямой радиовидимости обнаружения метеообразования от уровня подъема антенны МРЛ над земной поверхностью. Описаны необходимые условия, обеспечивающие получение возможного максимального значения дальности прямой видимости обнаружения МРЛ опасного метеообразования. *Результаты.* Сформулированы требования, соблюдение которых обязательно при выборе места расположения антенны МРЛ. Сделан ориентировочный расчет значения дальности прямой радиовидимости для двух случаев стандартного нахождения приемопередающей антенны МРЛ. *Выводы.* Показано, что малое поднятие антенны МРЛ вызывает существенный рост значения дальности прямой радиовидимости. Обоснована недопустимость углового «затенения» того или иного сектора азимутального обзора, а также соблюдение фактического расположения антенны МРЛ от места проживания гражданского населения – не ближе, чем значение «рэлеевского расстояния».

Ключевые слова: метеорадиолокация, обнаружение, опасное метеообразование, дальность действия, прямая радиовидимость, угловое «затенение», расположение антенны, «рэлеевское расстояние»

Для цитирования: Чайковский В. М. Особенности применения метеорологической радиолокации для оценки опасных метеообразований // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 3. С. 94–100. doi: 10.21685/2072-3059-2023-3-7

© Чайковский В. М., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Features of using the meteorological radar for the assessment of hazardous weather formations

V.M. Tchaikovsky

Penza State University, Penza, Russia

radiolokaci@yandex.ru

Abstract. *Background.* The object of the study is the ground location of the MRL antenna device for the purpose of early, with the maximum possible range, detection of approaching dangerous weather formation and the formation of a warning signal notifying the relevant services. This goal is achieved by using a conventional circular-view pulse radar, which provides, under certain conditions, the maximum value of the line-of-sight range. *Materials and methods.* The nature of the dependence of the range of direct radio visibility of the detection of meteor formation on the level of elevation of the MRL antenna above the Earth's surface is shown. The necessary conditions are described to ensure that the maximum possible value of the line-of-sight range of the detection of the MRL of dangerous meteor formation is obtained. *Results.* Mandatory requirements are formulated, compliance with which is mandatory when choosing the location of the MRL antenna. An approximate calculation of the value of the range of direct radio visibility is made, for two cases of the standard location of the MRL transceiver antenna. *Conclusions.* It is shown that even a slight rise of the MRL antenna above the earth's surface causes a significant increase in the value of the range of direct radio visibility. The inadmissibility of angular "shading" of one or another sector of the azimuth survey is justified, as well as compliance with the actual location of the MRL antenna from the place of residence of the civilian population, no closer than the value of the "Rayleigh distance".

Keywords: meteorological radar, detection, dangerous meteorological formation, range, direct radio visibility, angular "shading", antenna location, "Rayleigh distance"

For citation: Tchaikovsky V.M. Features of using the meteorological radar for the assessment of hazardous weather formations. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* = University proceedings. Volga region. Engineering sciences. 2023;(3):94–100. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-3-7

Введение

Различные опасные метеообразования (МО), такие как сезонные грозовые ливни и снегопады, шквальные ураганы, ледяные дожди, крупный град, являются по своей сути неподвластными человеку явлениями природы, способными за счет своего неожиданного появления нанести не просто ущерб народному хозяйству, а ущерб на уровне катастрофического. Поэтому необходимо заблаговременное обнаружение приближающегося опасного метеообразования и формирование предупредительного сигнала, оповещающего соответствующие службы [1]. Решение данной задачи может быть обеспечено обычной импульсной радиолокационной станцией кругового обзора, которая в силу своего предназначения, заключающегося в обнаружении в основном только МО, получило название «метеорадиолокатор» (МРЛ) [2]. Данный МРЛ обнаруживает подобное МО на дальности 100–200 км и после соответствующей обработки полученной метеорадиолокационной информации, оперативной идентификации обнаруженного МО и оценки степени его угрозы выдает соответствующее предупреждение. В то же время несколько подобных МРЛ с перекрывающимися зонами обзора, объединенных в единую сеть и имеющих единый координатный центр, могут давать заблаговре-

менные сравнительно достоверные прогнозы о состоянии погоды над интересующим участком земной поверхности.

При этом дальность обнаружения опасного МО будет в основном определять надежность и соответствие реальности метеопрогноза, выдаваемого МРЛ [3].

Суть подхода

Своевременность обнаружения МО в значительной степени определяется как дальностью до МО, так и высотой его нахождения над земной поверхностью, данные условия продиктованы прямолинейностью распространения зондирующего сигнала МРЛ, т.е. дальностью прямой радиовидимости. Проявление свойства прямолинейности приводит к тому, что МО, находящееся ниже линии AD (рис. 1) фиксироваться МРЛ не будет.

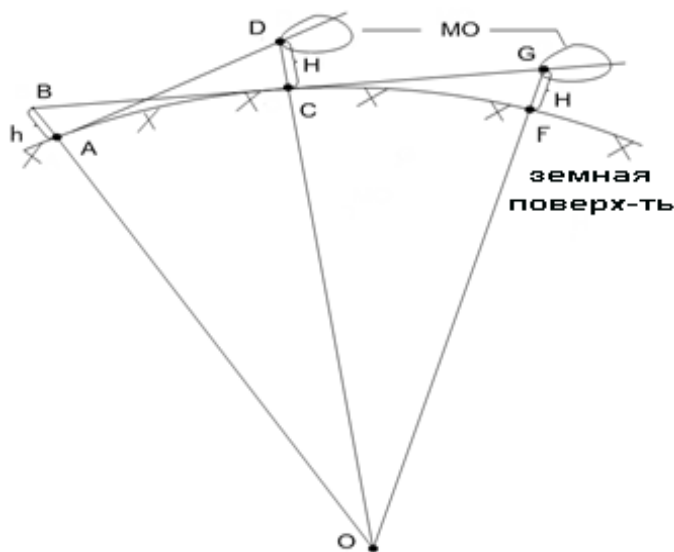


Рис. 1. Взаимное расположение МРЛ (точка A) и МО

Проведен ориентировочный расчет значения дальности прямой видимости, выполненный на основании рис. 1, отображающего взаимное расположение антенны МРЛ (точка A) и МО, для двух случаев стандартного нахождения приемопередающей антенны МРЛ:

- а) непосредственно на поверхности Земли (точка A);
- б) в приподнятом положении на некоторое значение высоты h относительно поверхности.

При этом значения всех координат, характеризующих место положения МО в пространстве, будут оцениваться относительно точки нахождения антенны МРЛ.

Результат расчета, выполненного согласно математическому приему [4], показал, что для ситуации (а), когда МО находится на традиционной для него высоте, ориентировочно имеющей значение $H = 2$ км, максимальное значение дальности обнаружения МО составит 100 км, причем если МО будет находиться ниже значения высоты $H = 2$ км, то оно обнаружено не будет.

так как МО попадет в область радиотени, т.е. будет находиться гораздо ниже линии прямой радиовидимости, обозначаемой на рис. 1 отрезком AD .

Для случая (б) использование рассматриваемого подхода позволяет считать, что значение искомого расстояния r , являющегося прямой радиовидимостью до обнаруженного МО, будет равняться сумме оснований двух треугольников $\triangle OBC$ и $\triangle OCG$, а именно: $r = BG = BC + CG$.

В силу того, что линия OC фактически будет являться радиусом земной окружности, центр которой будет находиться в точке O , а линия CG будет являться касательной к ней, тогда $\triangle OCG$ будет считаться прямоугольным.

Используя известный постулат Пифагора, имеем: $CG = \sqrt{OG^2 - OC^2}$.

При этом значение отрезка OG будет определяться суммой отрезков OF и FG , значения которых соответственно будут равняться: радиусу Земли (a_3) и уровню подъема обнаруженного МО (H) над земной поверхностью.

Далее из $\triangle BOC$ следует, что $BC = \sqrt{BO^2 - OC^2}$, и, соответственно, будем иметь

$$BO = OA + AB, \text{ где } AO = a_3, AB = h.$$

Дальность r до обнаруженного МО находится следующим образом:

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{(a_3 + h)^2 - a_3^2} + \sqrt{(a_3 + H)^2 - a_3^2} = \\ &= \sqrt{a_3^2 + 2 \cdot a_3 \cdot h + h^2 - a_3^2} + \sqrt{a_3^2 + 2 \cdot a_3 \cdot H + H^2 - a_3^2} = \\ &= \sqrt{h^2 + 2 \cdot a_3 \cdot h} + \sqrt{H^2 + 2 \cdot a_3 \cdot H}. \end{aligned}$$

Из полученного выражения следует, что при отсутствии подъема приемопередающей антенны дальность r до зафиксированного на высоте H МО будет определяться выражением вида $AD = CG = \sqrt{(a_3 + H)^2 - a_3^2}$.

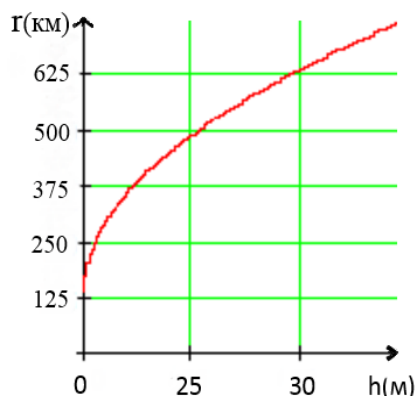
Руководствуясь рис. 1, можно записать следующие равенства отношений отрезков $AD/CG = DO/GO = AO/CO$, которые в соответствии с [4] будут свидетельствовать о равенстве между собой $\triangle COG$ и $\triangle ADO$. Из последнего условия можно найти дальность r прямой видимости до МО, находящегося на высоте H .

С учетом вышеизложенного значение расстояния r , равняющегося расстоянию прямой радиовидимости до МО, будет иметь следующий характер зависимости от высоты h подъема приемопередающей антенны МРЛ:

$$r = \sqrt{h^2 + 2 \cdot a_3 \cdot h} + \sqrt{H^2 + 2 \cdot a_3 \cdot H}.$$

Из полученного выражения очевидно, что при условии расположения приемопередающей антенны непосредственно на земной поверхности обнаруживаемое МРЛ МО не должно находиться ниже высоты $H = 2$ км, при этом существенный рост значения величины r достигается уже при незначительном увеличении значения величины h (рис. 2).

Дополнительно при выборе места расположения антенны МРЛ необходимо соблюсти ряд других требований, рассматриваемых ниже.

Рис. 2. График зависимости $r = f(h)$

Как правило, работающие в наших широтах МРЛ используют антенну с шириной диаграммы направленности в азимутальной плоскости, примерно равную от одного до трех градусов [5] и ориентированную к линии горизонта практически с нулевым значением угла места [6], что обеспечивает при этом значение прямой радиовидимости в диапазоне 100–125 км.

Присутствие в непосредственной близости с местом расположения антенны МРЛ высоких объектов, таких как многоэтажные здания, горы, может вызывать эффект «затенения», т.е. создать радиотень для зондирующего сигнала. Данный эффект будет проявляться при совпадении азимутального положения оси диаграммы направленности приемопередающей антенны МРЛ с направлением, совпадающим с местом нахождения данных высотных предметов.

Наличие последних является основным и наиболее важным фактором, подлежащим учету при поиске места дислокации антенны МРЛ во время проведения так называемой рекогносцировки на местности.

В ходе выбора места расположения антенны МРЛ (с позиций удобства осуществления ею радиолокационного обзора) следует учитывать, что при этом обязательно нужно брать в расчет и географию выбранного места, а именно присутствие либо уже имеющихся, либо легко возводимых подъездных путей.

Следует брать во внимание также то, что радиолокационный обзор метеоролокатором требуется провести с максимально возможным радиусом действия, причем равномерно во всех направлениях азимутального обзора, при этом угловое «затенение» того или иного азимутального сектора допускается на значение, равное не более половины ширины диаграммы направленности антенны, т.е. половине градуса [4].

Последнее обусловлено тем, что при большем значении сектора «затенения», особенно в случае совпадения его с направлениями на опасное МО, оно не будет облучаться зондирующим сигналом, а это может не просто значительно снизить уровень, а даже свести к нулю в данном направлении метеорологическую эффективность МРЛ, вследствие чего обнаружение опасного МО будет осуществлено со значительным временным, можно сказать катастрофическим, опозданием.

Это связано с тем, что сектор «затенения» антенны МРЛ, возникающий в различных направлениях, в строгом соответствии с тем, где расположены

указанные предметы, вызывает эффект радиотени, исключаящий не только прием, а даже наличие самого радиолокационного сигнала в виде отраженного зондирующего от метеообразования; и несущего информацию о состоянии метеорологической обстановки над тем или иным районом земной поверхности, находящимся на «затененном» направлении.

Из ранее изложенного следует, что от места расположения антенны метеорадиолокатора в окружности как минимум 500 м должно быть исключено присутствие каких-либо высоких сооружений, причем как естественного происхождения – типа холмов, так и искусственно созданных человеком.

Место расположения антенны МРЛ должно быть выбрано с соблюдением действующих санитарных норм по напряженности высокочастотного электромагнитного поля в районе дислокации МРЛ, а в случае необходимости должна быть организована санитарно-защитная зона [7]. Границы зоны должны быть определены строго с учетом жилых построек около реального расположения МРЛ, чтобы работающая МРЛ не подвергала облучению гражданских лиц, проживающих рядом. Также следует брать во внимание, что размер границ защитной зоны должен быть не меньше размеров «рэлееской зоны» [8], в пределах которой заканчивается формирование диаграммы направленности приемопередающей антенны МРЛ.

С учетом практики широкого применения в составе тех или иных радиотехнических систем в качестве приемопередающей антенны параболической антенны, работающей в сантиметровом диапазоне волн, показывающей, что размер «рэлееской зоны» обычно составляет не более 400 м [8, 9], очевидно, что последнее будет распространяться и на антенну МРЛ.

На практике [10] фактическое расположение МРЛ, как правило, находится на более значительном расстоянии от места проживания гражданского населения, чем значение «рэлееского расстояния». Но при этом необходимо брать во внимание план генеральной застройки, показывающий перспективу дальнейшего как жилого, так и промышленного строительства, с недопущением появления в том или ином азимутальном направлении областей и зон «затенения» от различных возводимых конструкций, снижающих эффективное использование направленных свойств приемопередающей антенны МРЛ.

Заключение

В итоге необходимо особо подчеркнуть, что несоблюдение вышеописанных условий при выборе места расположения приемопередающей антенны МРЛ может вызвать катастрофическое уменьшение достоверности и экономической результативности метеопрогнозов [11] из-за их неисполнения и, как следствие, несвоевременности организации мер, направленных на снижение влияния опасных МО.

Список литературы

1. Мещеряков В. С., Чайковский В. М. Метеорологический радиолокатор // Международный симпозиум «Надежность и качество». Пенза, 2012. Т. 2. 506 с.
2. Барбанец Т. В. Метеорология : учеб. пособие. Одесса : Фенікс, 2008. 228 с.
3. Баландин Р. Аномалии погоды и будущее России. М. : Издательский дом Вече, 2011. 162 с.
4. Понарин Я. П. Элементарная геометрия. М. : МЦНМО, 2004. Т. 1. 312 с.
5. Бин Б., Даттон Е. Радиометеорология. Л. : Гидрометеиздат, 1971. 363 с.

6. Радиолокационные измерения осадков / под ред. А. М. Боровикова. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 141 с.
7. Атлас Д. Успехи радарной метеорологии. Л. : Гидрометеиздат, 1967. 193 с.
8. Галимов Г. К. Зеркальные антенны. М. : Адвансел Солюшн, 2010. Т. 1. 204 с.
9. Радиолокационная метеорология и активные воздействия : сб. ст. / под ред. А. А. Сенкевича [и др.]. СПб., 2011. 200 с.
10. Рыбакова Ж. В., Блинкова В. Г. Общая физика и некоторые аспекты физической метеорологии : учеб. пособие. Томск : Изд. Дом Том. гос. ун-та, 2015. 186 с.
11. Калинин Н. А. Радиометеорология. Пермь, 2002. 102 с.

References

1. Meshcheryakov V.S., Chaykovskiy V.M. Weather radar. *Mezhdunarodnyy simpozium "Nadezhnost' i kachestvo" = International Symposium "Reliability and Quality"*. Penza, 2012;2:506. (In Russ.)
2. Barbanets T.V. *Meteorologiya: ucheb. posobie = Meteorology: textbook*. Odessa: Feniks, 2008:228. (In Russ.)
3. Balandin R. *Anomalii pogody i budushchee Rossii = Weather anomalies and the future of Russia*. Moscow: Izdatel'skiy dom Veche, 2011:162. (In Russ.)
4. Ponarin Ya.P. *Elementarnaya geometriya = Elementary geometry*. Moscow: MTsNMO, 2004;1:312. (In Russ.)
5. Bin B., Datton E. *Radiometeorologiya = Radio meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971:363. (In Russ.)
6. Borovikov A.M. (ed.). *Radiolokatsionnye izmereniya osadkov = Radar measurements of precipitation*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967:141. (In Russ.)
7. Atlas D. *Uspekhi radarnoy meteorologii = Advances in radar meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967:193. (In Russ.)
8. Galimov G.K. *Zerkal'nye anteny = Mirror antennas*. Moscow: Advansel Solyushn, 2010;1:204. (In Russ.)
9. Senkevich A.A. et al. (eds.). *Radiolokatsionnaya meteorologiya i aktivnye vozdeystviya: sb. st. = Radar meteorology and active influences: collected articles*. Saint Petersburg, 2011:200. (In Russ.)
10. Rybakova Zh.V., Blinkova V.G. *Obshchaya fizika i nekotorye aspekty fizicheskoy meteorologii: ucheb. posobie = General physics and some aspects of physical meteorology: textbook*. Tomsk: Izd. Dom Tom. gos. un-ta, 2015:186. (In Russ.)
11. Kalinin N.A. *Radiometeorologiya = Radio meteorology*. Perm', 2002:102. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Михайлович Чайковский

кандидат технических наук, доцент
кафедры радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: radiolokaci@yandex.ru

Viktor M. Tchaikovsky

Candidate of engineering sciences,
associate professor of the sub-department
of radio engineering and radioelectronic
systems, Penza State University (
40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 27.07.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 30.11.2022

Принята к публикации / Accepted 30.05.2023