

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ

DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-10-14-21

Пострыбайло Макар Витальевич,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия, m.postrybaylo@yandex.ru

Manuscript received 10 October 2024;
Accepted 14 November 2024

Татарникова Татьяна Михайловна,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения,
г. Санкт-Петербург, Россия, tm-tatarn@yandex.ru

Ключевые слова: грозовая активность, молниевый разряд, система мониторинга, ошибка геометрической величины, линия положения, точность определения координат

Обсуждается задача использования математического моделирования для обеспечения основных характеристик проектируемых систем мониторинга грозовой активности, таких как вероятность обнаружения и точность определения координат для выбранной рабочей зоны. Целью исследования является разработка модели, способной оценивать вероятность обнаружения и точность определения координат молниевых разрядов. Предложена комплексная модель позволяющая спроектировать конфигурацию системы, способной обеспечить заданные характеристики посредством получения модельных оценок и их последующего анализа. Созданная модель системы мониторинга грозовой активности состоит из двух основных компонентов: компонента оценки вероятности обнаружения разрядов и компонента оценки точности местоопределения. Модель применена для оценивания вероятности обнаружения и точности определения координат молниевых разрядов с учетом некоррелированности ошибок измерений экспериментальной сетью, развернутой в г. Санкт-Петербурге. Работа включает результаты моделирования различных конфигураций системы мониторинга, результаты которого представлены в виде графических материалов. Каждый рисунок демонстрирует результаты вычисления оценок для различных параметров системы и отдельных ее компонентов. На основе полученных данных выполнено формирование рабочих зон системы, где были соблюдены требования точности определения координат и вероятности обнаружения молниевых разрядов. Отмечаются перспективы развития предложенной модели, включая возможности дальнейшего совершенствования алгоритмов поиска оптимальных структур системы мониторинга. Предлагается дальнейшее исследование зависимости получаемых оценок от входных параметров комплексной модели. Область применения модели охватывает задачи, связанные с прогнозированием и анализом грозовой активности, а также может быть использована для разработки новых систем мониторинга или оптимизации существующих решений.

Информация об авторах:

Пострыбайло Макар Витальевич, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной информатики, аспирант, г. Санкт-Петербург, Россия

Татарникова Татьяна Михайловна, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра прикладной информатики, доктор технических наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:

Пострыбайло М.В., Татарникова Т.М. Метод моделирования систем мониторинга грозовой активности // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №11. С. 14-21.

For citation:

Postrybaylo M.V., Tatarnikova T.M. (2024) Modeling of thunderstorm activity monitoring systems: method and results. *T-Comm*, vol. 18, no.11, pp. 14-21. (in Russian)

Введение

Грозовая активность (ГА) часто сопровождается молниевыми разрядами (МР), удары которых представляют опасность жизнедеятельности человека и инфраструктуре, а также могут поражать не только открытые пространства, такие как лес или степь, вызывая таким образом природные пожары, но и проникать в здания через электропроводку, водопровод и телефонные линии. Так, от 40 до 70% аварийных отключений воздушных линий электропередач связано с ГА [1]. Особую опасность грозовая активность представляет для воздушных транспортных средств. Несмотря на применение всевозможных методов защиты от молниевых разрядов, воздушное судно по-прежнему подвержено нарушению работоспособности его отдельных частей. Также грозовая активность часто сопровождается опасными природными явлениями, такими как проливные дожди, способными вызывать быстрые наводнения особенно в низменных районах, град и сильные ветра, которые могут потенциально нанести ущерб городской инфраструктуре, автомобилям, сельскохозяйственным культурам.

Мониторинг грозовой активности позволяет прогнозировать возможные негативные события, предоставляя возможность избежать последствий, либо принять меры для снижения потенциального ущерба. Информация о грозовой активности применяется в различных сферах, например, связанных с обеспечением пожарной безопасности объектов, где оперативные и достоверные данные о молниевых разрядах позволяют заблаговременно предупредить надзорные службы о прохождении грозовых фронтов [2, 3]. Изучение и анализ грозовой активности, а также систем, обеспечивающих достоверный и оперативный мониторинг, могут быть полезны в том числе для исследования атмосферного электричества в рамках глобальной цепи.

Для мониторинга грозовой активности используют специальные датчики молний. Существуют наземные датчики, анализирующие электрические и магнитные составляющие напряженности поля, излучаемого молниевым разрядом, а также орбитальные системы, реализующие обнаружение и определение координат молний в ближнем инфракрасном диапазоне. Оценка координат разрядов наземными датчиками молний может проводиться как из одной точки, так и из нескольких, образуя многопунктовую систему, включающую в себя пункт сбора и обработки данных. Одним из главных параметров, определяющих тип датчика, является измеряемый параметр положения, который впоследствии используется для определения координат молниевых разрядов соответствующим методом. Существуют датчики молний, которые способны предоставлять данные для реализации угломерного, разностно-дальномерного и других способов определения местоположения, а также универсальные, способные проводить измерение сразу нескольких параметров [4]. После сбора данных о грозовой активности проводится их обработка, позволяющая дать оценку важных для конечного пользователя параметров.

Система мониторинга грозовой активности (СМГА) состоит из датчиков молний и пункта сбора и обработки данных, благодаря которой производится анализ грозовой активности на основе данных о параметрах молниевых разрядов. К СМГА предъявляются требования, определяемые сферой

применения данных о грозах. Главной задачей системы мониторинга грозовой активности является факт обнаружения молниевых разрядов, а также определение места удара с требуемой точностью, поэтому основными параметрами являются вероятность обнаружения (ВО) и точность местоопределения (ТМ). При наличии требований к этим параметрам возникает необходимость в создании оптимальной структуры системы мониторинга. Разработчикам СМГА для построения наиболее эффективной системы необходимо учитывать разнообразие датчиков молний, их чувствительность, возможные методы определения координат, а также расположение датчиков относительно друг друга в случае использования конфигурации с несколькими пунктами наблюдений. Немаловажным является экономический фактор, учет которого позволит разработать оптимальную систему с точки зрения затрат.

При проектировании таких систем возникают трудности, связанные с необходимостью наличия эмпирических данных, а также с использованием опорной системы, относительно которой будет производиться непосредственно оценка главных параметров ВО и ТМ. Поэтому появляется необходимость в создании модели системы мониторинга грозовой активности, которая позволит решать проблемы поиска оптимального варианта использования существующих и построения новых систем за счет оценивания ВО и ТМ при заданных характеристиках датчиков и способе определения координат.

В данной работе предлагается модель системы мониторинга грозовой активности, приведены результаты моделирования для действующей сети, расположенной на территории г. Санкт-Петербурга.

Модель системы мониторинга грозовой активности

Целью моделирования работы СМГА является получение оценок вероятности обнаружения и точности определения координат. Исходными данными предлагаемой модели являются местоположение и технические характеристики датчиков, участвующих в сети, а также способ определения координат. Ранее уже была представлена модель, позволяющая проводить оценивание параметра вероятности обнаружения [5], входными данными которой являются значения чувствительности датчиков, параметры распределения амплитуд электрической составляющей атмосфериков и расстояние от датчика до молниевых разрядов. Таким образом, для дальнейшего формирования модели СМГА необходим дополнительный компонент для оценивания погрешности определения координат молниевых разрядов.

Известно [6], что задача определения местоположения молниевых разрядов сводится к измерению параметра, однозначно характеризующего искомое местоположение относительно заданной точки. Геометрическое место точек, для которых величина параметра положения постоянна, на плоскости называется линией положения, а в трехмерном случае поверхностью положения. При измерении величины, характеризующей местоположение объекта, неизбежны ошибки вследствие инструментальных неточностей, которые вызывают соответствующие ошибки в определении линии, либо поверхности положения. Связь ошибки линии положения и погрешности измеряемого параметра описывается соотношением [6, 7]:

ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

$$\sigma_{\text{лп}} = \frac{\sigma_U}{|\text{grad } U|},$$

где σ_U – ошибка геометрической величины; U – функция линии положения.

Градиент функции линии положения представляет собой вектор, длина которого определяет, насколько быстро изменится функция при изменении параметров. Модуль градиента функции линии положения в декартовой системе координат равен:

$$|\text{grad } U| = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2}. \quad (1)$$

Геометрическая величина, определяющая линию положения, зависит от используемого способа определения координат и, например, для угломерного метода соответствует выражению [6, 7]:

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{x}{y}\right).$$

Следовательно, модуль градиента данного семейства линий положения имеет вид:

$$|\text{grad } \alpha| = \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}}. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что с увеличением расстояния до указанной точки уменьшается модуль градиента, а значит, будет увеличиваться и ошибка линии положения, как это следует из выражения (1). И наоборот, в случае большего значения модуля градиента те же изменения координат в большей степени влияют на функцию, в следствии чего ошибка линии положения становится меньше.

Для оценки точности местоопределения СМГА необходимо рассчитать ошибку координат при пересечении минимум двух линий положения, однако на практике для однозначного определения координат используют три линии положения, чтобы избежать неопределенности при пересечении линий в двух точках. Итоговое значение ошибки ТМ рассчитывается по формуле [8]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\sigma_i)^{-2}}{\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N \frac{\sin(\theta_i - \theta_k)^2}{\sigma_i^2 \sigma_k^2}}, \quad (3)$$

где σ – ошибка оценки координат; θ_i – угол, характеризующий касательную к i -й линии положения; σ_i – среднеквадратичное отклонение линии положения, соответствующей измеряемому параметру; N – количество линий положения, формируемых системой.

Из выражения (3) следует, что чем ближе разность углов пересечения касательных линий положения к 90 градусам, тем точнее будет определено место. Выражение также подразумевает, что оценка точности производится в предположении некоррелированности ошибок измерений, получаемых датчиками.

Благодаря информации о методе, используемом при определении координат молниевых разрядов, среднеквадратичной ошибке определения параметра положения для используемого метода, углах пересечения касательных к линиям положения и их количестве становится возможным оценить точность местоопределения.

Таким образом входными данными модели системы мониторинга грозовой активности являются координаты, погрешности определения параметров положения, чувствительность, количество датчиков, участвующих в оценивании, и распределение амплитуд электрической составляющей атмосфериков.

Исходя из данных о чувствительности датчиков СМГА, рассчитывается автоматически, либо задается произвольно область, для которой проводится оценивание, а также определяется разрешающая способность, исходя из критериев, предъявляемых к точности, для снижения вычислительной сложности. Указание разрешающей способности подразумевает формирование сетки путем деления ограниченной области на ячейки фиксированного размера, в узлах которой производятся оценки ВО и ТМ.

Алгоритм, реализующий модель СМГА, включает в себя вычисление значений погрешностей определения координат и вероятности обнаружения с использованием моделей в качестве компонентов, позволяющих проводить оценивание ТМ и ВО, для каждой сформированной конфигурации системы для заданной области в узлах сетки, между которыми различие значений ВО и ТМ незначительно. Координаты узлов сетки используются для получения необходимых данных, таких как информация о расстоянии или углах пересечения касательных к линиям положения, для вычисления оценок ВО и ТМ.

Итоговой оценкой для каждого узла сетки принимается минимальная оценка ТМ и максимальная оценка ВО среди участвующих в оценивании комбинаций датчиков. Результатами моделирования являются оценки ВО и ТМ, представляющие собой предельно достижимые характеристики системы мониторинга грозовой активности в выбранной области для заданной комбинации датчиков.

В данной работе модель системы мониторинга грозовой активности реализована с помощью языка программирования python и библиотеки для геодезических расчетов. Стоит отметить, что выбор языка программирования опирался на простоту реализации компонентов модели. Расчеты проводятся в эллиптических координатах на эллипсоиде с параметрами, используемыми в всемирной системе геодезических расчетов WGS84.

Для углубленного анализа работы действующей системы мониторинга грозовой активности, развернутой в г. Санкт-Петербурге, были получены результаты моделирования с использованием представленной модели СМГА.

Исходные данные

Моделирование проводилось для системы, состоящей из пяти универсальных датчиков молний, измеряющих параметры положения, на основе которых реализуются угломерный и разностно-дальномерный методы определения координат молниевых разрядов [9]. Используемые системой приемники расположены в следующих местах:

- 1) НОЦ ВКА имени А.Ф. Можайского (59.956, 30.288);
- 2) Кафедра радиофизики СПбГУ (Петергоф) (59.881, 29.825);
- 3) Центр детско-юношеского технического творчества и информационных технологий (Пушкинский район) (59.7156, 30.413);
- 4) Деревня Вартемяги (Всеволожский район) (60.171, 30.319);
- 5) Поселок Воейково (Всеволожский район) (59.950, 30.709).

В качестве исходных данных моделирования были использованы местоположение датчиков, значения чувствительности 14 В/м, погрешность определения параметра положения датчиком молний для угломерного метода в 1 градус и разностно-дальномерного метода в 100 нс. Стоит отметить, что для каждого датчика сети погрешности определения параметров положения и чувствительность одинаковы. Возможные конфигурации сети ограничены тройками и четверками датчиков. На момент написания работы не реализован метод, обеспечивающий автоматическое определение зоны оценивания, поэтому для получения оценок на вход модели переданы данные об ограниченной пространственной области, левый нижний и правый верхний углы которой соответствуют координатам (29.3, 31.2) и (59.3, 60.4), также указана разрешающая способность 100 на 100 точек.

Результаты моделирования

Для представления результатов моделирования были построены графики, на которых разными цветами обозначены датчики, используемые сетью. Для графиков с результатами оценивания справа от основного блока отображена вспомогательная цветная полоса, где градиент от темно-фиолетового к белому цвету соответствует значениям оценок вероятности обнаружения от 0 до 1 и точности местоопределения от минимального значения оценки в данной конфигурации до 1500 м.

На рисунке 1 представлены результаты моделирования системы мониторинга грозовой активности, использующей конфигурации из трех датчиков для угломерного метода определения координат.

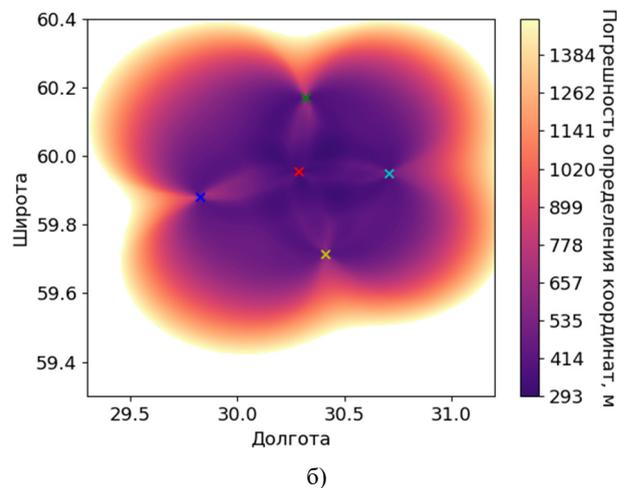
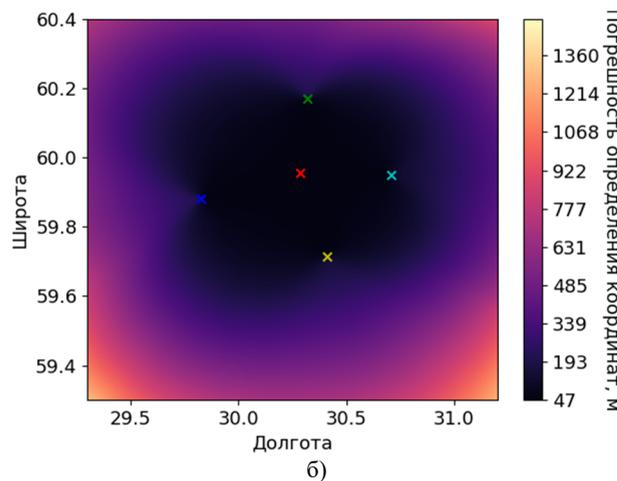
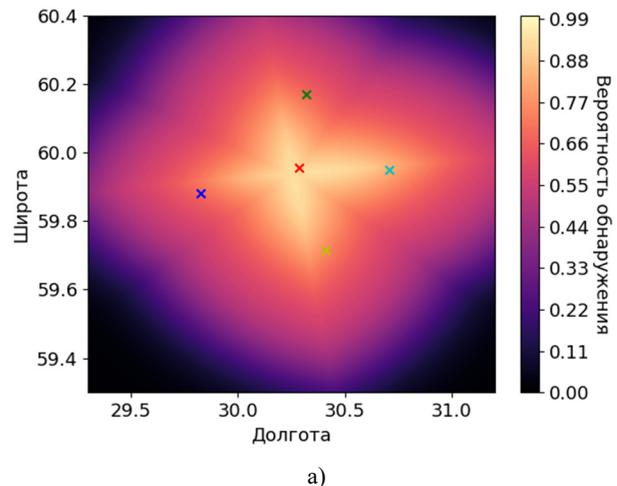
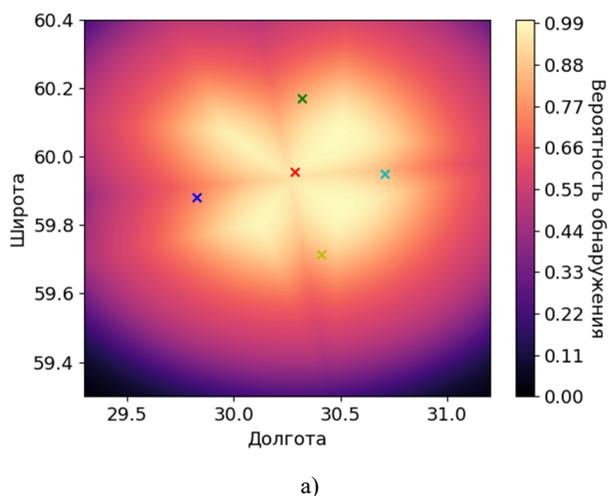


Рис. 1. Модельные оценки СМГА для конфигураций из трех датчиков: а) вероятность обнаружения МР; б) ТМ МР при использовании угломерного метода

На рисунке 2 представлены результаты моделирования системы мониторинга грозовой активности, использующей конфигурации из четырех датчиков для разностно-дальномерного и угломерного методов определения координат.



ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

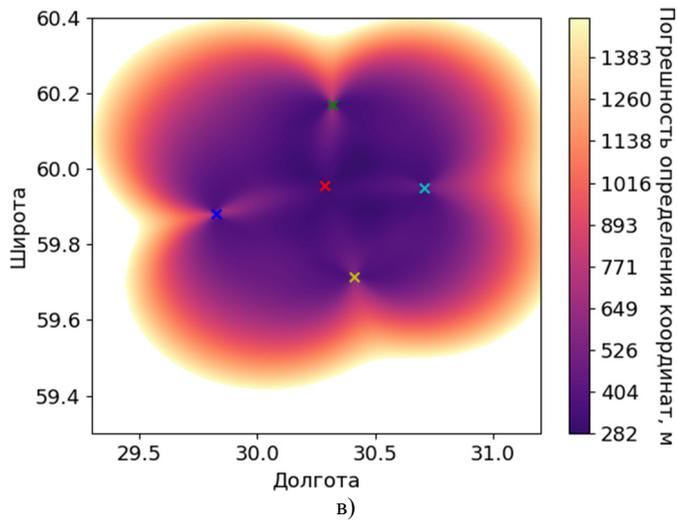


Рис. 2. Модельные оценки СМГА для конфигураций из четырех датчиков: а) вероятность обнаружения МР; б) ТМ МР при использовании разностно-дальномерного метода; в) ТМ МР при использовании угломерного метода

Стоит отметить, что полученные оценки учитывают при расчете только инструментальную погрешность датчиков. При получении оценок экспериментальным путем воздействие внешних факторов может значительно повлиять на результат определения координат [10]. Для того, чтобы при моделировании получаемые оценки были приближены к экспериментальным, одним из возможных решений является передача на вход модели значений погрешности определения параметра положения датчиками, которые были получены при анализе экспериментальных данных.

На рисунке 3 представлены оценки точности местоопределения для системы, использующей конфигурации в составе трех и четырех датчиков, с погрешностью определения параметра положения для угломерного метода, равной 5 градусам и для разностно-дальномерного способа равной 1 мс. Для наглядности верхняя граница диапазона оценок увеличена до 3500 м.

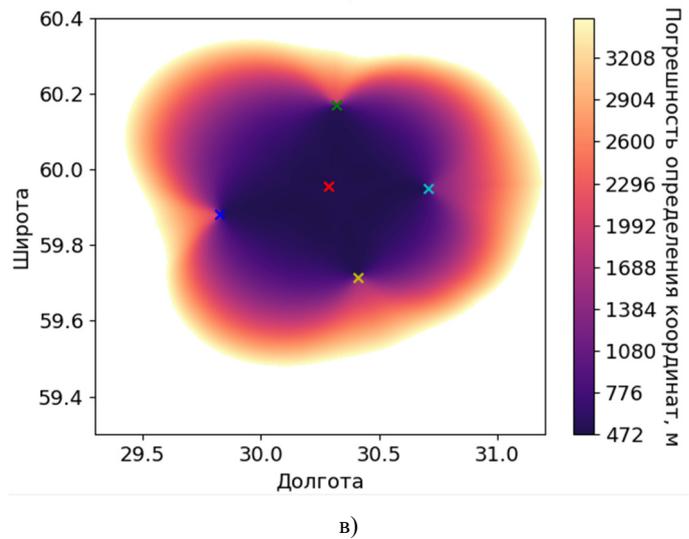
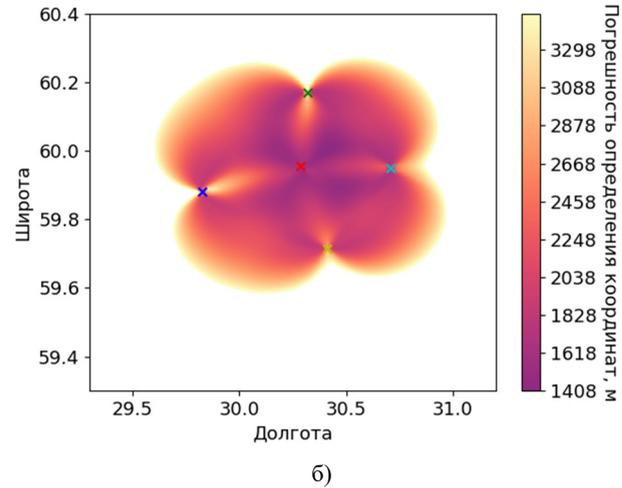
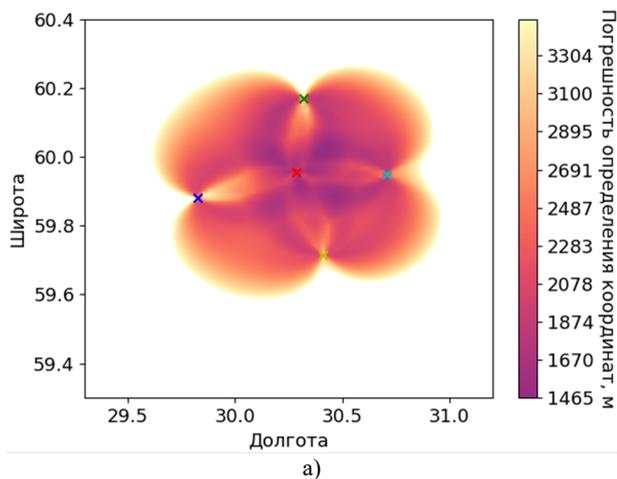


Рис. 3. Модельные оценки точности определения координат МР СМГА: а) для конфигурации трех датчиков, использующей угломерный метод; б) для конфигурации четырех датчиков, использующей угломерный метод; в) для конфигурации четырех датчиков, использующей разностно-дальномерный метод

Получаемые с помощью модели СМГА оценки позволяют сформировать рабочие зоны, в которых удовлетворяются предъявляемые к системе требования [11].

На рисунке 4 изображены рабочие зоны сети, в которых оценка точности местоопределения без учета влияния внешних факторов не превышает 500 м, а оценка вероятности обнаружения не ниже 0.9.

Как видно из рисунка 4, увеличение количества методов и используемых датчиков в конфигурациях может расширить рабочую зону сети в местах, где одна конфигурация может не удовлетворять требованиям. При необходимости расширения рабочей области возможным решением является увеличение чувствительности датчиков, участвующих в сети.

На рисунке 5 представлена рабочая зона системы, использующая угломерный и разностно-дальномерный методы определения координат для конфигураций троек и четверок датчиков с повышенной чувствительностью, равной 7 В/м.

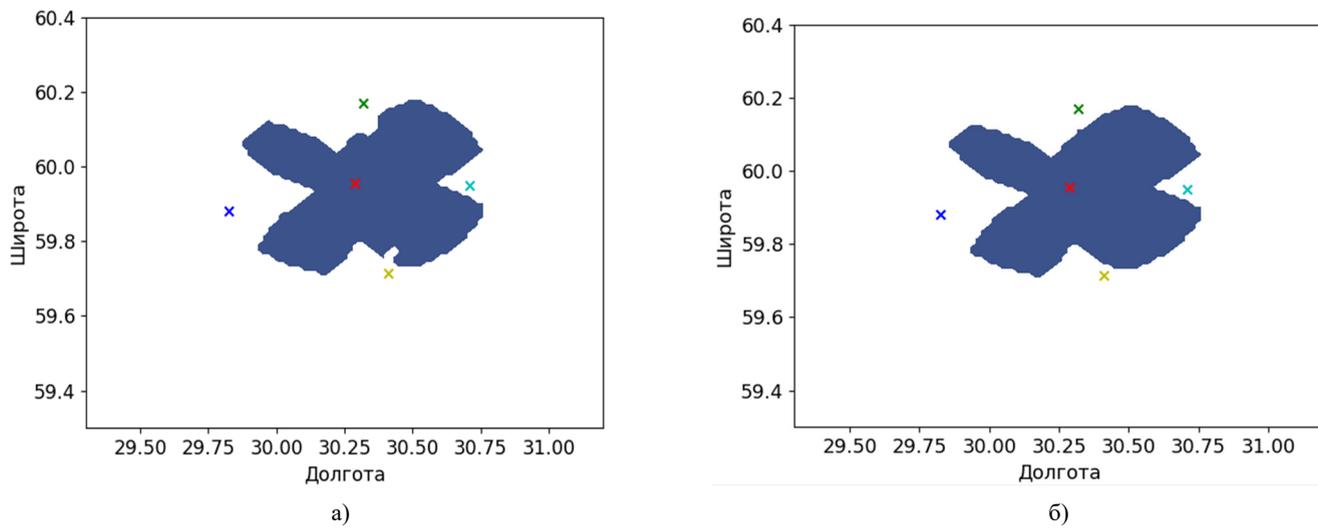
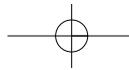


Рис. 4. Рабочая зоны системы: а) для конфигураций в составе 3 датчиков, использующих угломерный метод; б) для конфигураций в составе 3 и 4 датчиков, использующих угломерный и разностно-дальномерный методы

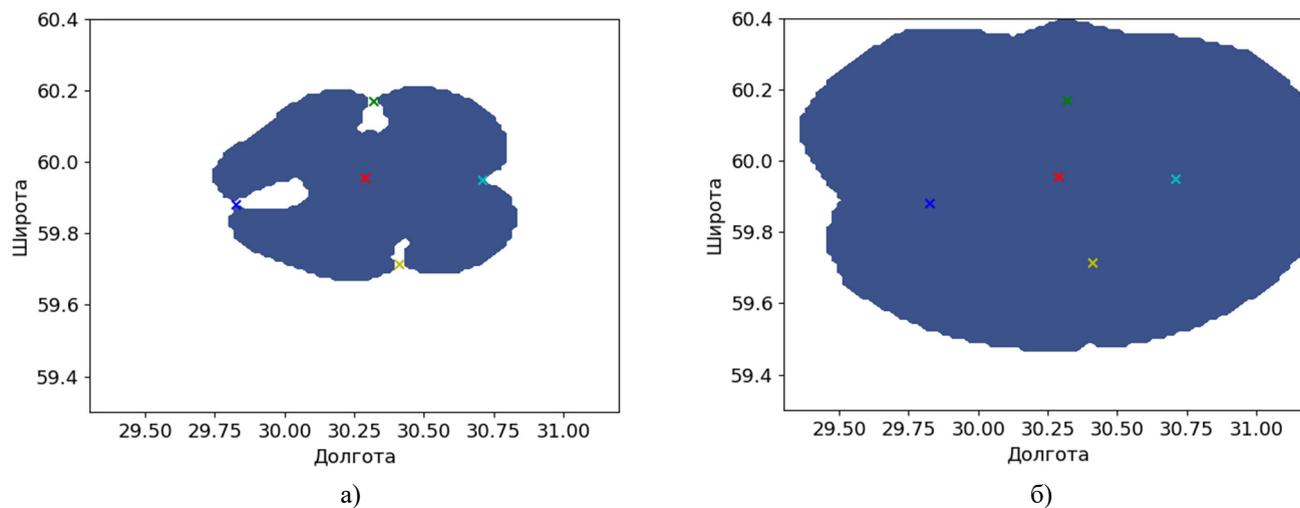


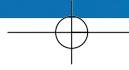
Рис. 5. Рабочая зоны системы: а) для конфигураций троек датчиков, использующих угломерный метод; б) для конфигураций в составе 3 и 4 датчиков, использующих угломерный и разностно-дальномерный методы

Анализ полученных оценок с использованием модели системы мониторинга грозовой активности, реализующей угломерный и разностно-дальномерный методы определения координат, для конфигураций в составе трех и четырех датчиков позволяет сделать вывод, что вне зависимости от используемого метода местоопределения и количества используемых датчиков в конфигурациях наилучшие оценки точности определения координат и вероятности обнаружения молниевых разрядов находятся внутри периметра сети, формируемого местами расположения крайних датчиков системы. Наилучшая оценка точности при использовании инструментальных и экспериментальных погрешностей определения параметра положения была получена для системы, реализующей разностно-дальномерный метод.

Сравнивая рисунки 3б,в, можно заметить, что разностно-дальномерный метод обладает более схожими оценками точности внутри периметра сети в диапазоне около 500-700 м, в отличие от угломерного метода, при использовании которого отмечается пространственная изменчивость оценок, где

погрешности находятся в диапазоне приблизительно 1500-2500 м. Особенно хорошо это наблюдается вблизи баз системы – отрезков прямой, соединяющей пункты наблюдений. При этом в зависимости от количества датчиков, участвующих в конфигурациях с использованием угломерного метода, отличается скорость изменения оценок, как следует из рисунков 2а и 2б, на которых видно, что при использовании конфигураций в составе четырех датчиков изменение оценок происходит медленнее. Также, сравнивая рисунки 1б с 3а и 2в с 3б, видно, что сохраняется пространственная структура полученных оценок при использовании конфигураций с одинаковым количеством датчиков, что обусловлено передачей на вход модели равного значения погрешности измерения параметра положения для всех датчиков сети.

При формировании рабочих зон существуют области, где разностно-дальномерный метод ещё позволяет определить местоположение молниевых разрядов, тогда как угломерный метод уже не удовлетворяет требованиям. Таким образом, при совместной реализации методов определения координат



ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

становится возможным сформировать рабочую зону, где в случае использования одной из конфигураций ее формирования было бы невозможным, как следует из рисунков 4а и 4б. Также влияние чувствительности датчиков может в значительной степени повлиять на площадь рабочей области системы, как следует из рисунков 5а и 5б.

Заключение

Благодаря использованию моделей оценки ВО и ТМ как компонентов в модели системы мониторинга грозовой активности становится возможным вычисление параметров СМГА, важных для конечного пользователя при заданных характеристиках датчиков и способе определения координат. Использование предлагаемой модели СМГА в сфере мониторинга грозовой активности позволит проводить совместный учет параметров вероятности обнаружения и точности местопредопределения молниевых разрядов для существующих сетей. Так, модель СМГА позволила сформировать рабочие зоны действующей системы мониторинга, развернутой в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Также модель может быть использована для определения конфигурации проектируемых систем мониторинга.

Немаловажным свойством модели является ее гибкость. В случае использования отличных от угломерного или разностно-дальномерного методов определения координат, пользователю модели необходимо заменить функцию линии положения для получения оценки ТМ.

Модель СМГА имеет потенциал развития в виде оптимизации вычислительной сложности. Так, исходя из выражения (1), можно вычислить значение модуля градиента функции линии положения используемого метода определения координат один раз для выбранной конфигурации датчиков внутри зоны оценивания и, при условии сохранения мест расположения датчиков, использовать в качестве коэффициентов в последствии умножая на величину погрешности измерения параметра положения, таким образом производить вычисление ошибки формируемой линии положения, что может быть полезно при повторном моделировании работы системы.

Также при повторном моделировании в случае изменения параметров хотя бы одного из датчиков положительно повлияет на скорость вычислений расчет оценок не для всей области действия сети, а только для зон оценивания тех конфигураций, в которых датчик используется при вычислении оценок. При проектировании СМГА учет требований к вероятности обнаружения также позволит ограничить зону, для которой необходимо провести оценивание точности определения координат, областью, где оценка вероятности обнаружения

молниевых разрядов датчиками не превышает указанную величину, однако для этого по-прежнему необходимым является получение оценок ВО.

Применение модели в направлении разработки алгоритмов поиска оптимальной структуры системы мониторинга грозовой активности позволит на качественно новом уровне проектировать сети, а также находить более оптимальные конфигурации для уже существующих систем вследствие расширения возможностей анализа.

Литература

1. *Гайворонский А.* Актуальные проблемы молниезащиты ВЛ110-500 кВ // *Новости электротехники*. 2019. №1(115). С. 18-23.
2. *Иванова Г.А., Иванов В.А., Мусохранова А.В., Онучин А.А.* Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири // *Сибирский лесной журнал*. 2023. № 6. С. 6-16. DOI: 10.15372/SJFS20230602
3. *Вознесенская К.В., Соловьев А.В.* Комбинированная система обнаружения гроз // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2012. Т. 55. № 8-3. С. 186-187.
4. *Денисенков Д.А., Коровин Е.А.* Универсальный датчик системы мониторинга грозовой активности // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2016. № 653. С. 164-168.
5. *Пострыбайло М.В., Татарникова Т.М.* Модельные оценки параметров пассивных радиотехнических систем мониторинга грозовой активности // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2024. Т. 67. № 4. С. 368-374.
6. *Сайбель А.Г.* Основы теории точности радиотехнических методов местоопределения. М.: Оборонгиз. 1958. 56 с.
7. *Кононов И.И., Петренко И.А., Снегуров В.С.* Радиотехнические методы местоопределения грозовых очагов. Ленинград гидрометеоздат. 1986. 225 с.
8. *Ворошилин Е.П., Миронов М.В., Громов В.А.* Определение координат источников радиоизлучения разностно-дальномерным методом с использованием группировки низкоорбитальных малых космических аппаратов // *Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники*. 2010. № 1-2 (21). С. 23-28.
9. *Готюр И.А., Коровин Е.А., Чернышев С.В., Щукин Г.Г., Юсупов И.Е.* Экспериментальная сеть датчиков мониторинга грозовой активности // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского*. 2022. № S685. С. 66-74.
10. *Готюр И.А., Коровин Е.А., Кулеилов Ю.В., Чернышев С.В., Щукин Г.Г., Юсупов И.Е.* Результаты работы экспериментальной системы мониторинга грозовой активности // *Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству. Материалы конференции*. Санкт-Петербург, 2023. С. 186-192.
11. *Пострыбайло М.В.* Модельные оценки рабочих зон системы мониторинга грозовой активности // *Гидрометеорология и физика атмосферы: современные достижения и тенденции развития. Материалы II Международной научно-практической конференции*. Санкт-Петербург, 2024. С. 237-241.

MODELING OF THUNDERSTORM ACTIVITY MONITORING SYSTEMS: METHOD AND RESULTS

Makar V. Postrybaylo, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia

Tatyana M. Tatarnikova, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia, tm-tatarn@yandex.ru

Abstract

The problem of using mathematical modeling to ensure the main characteristics of the projected thunderstorm activity monitoring systems, such as the probability of detection and the accuracy of determining coordinates for the selected work area, is discussed. The aim of the study is to develop a model capable of estimating the probability of detection and the accuracy of determining the coordinates of lightning discharges. A comprehensive model is proposed that allows designing the configuration of a system capable of providing specified characteristics by obtaining model estimates and their subsequent analysis. The created model of the thunderstorm activity monitoring system consists of two main components: a component for assessing the probability of detecting discharges and a component for assessing the accuracy of location. The model is used to estimate the probability of detection and the accuracy of determining the coordinates of a lightning discharge, various configurations of the taking into account the uncorrelation of measurement errors by an experimental network deployed in St. Petersburg. The work includes the results of modeling monitoring system, the results of which are presented in the form of graphic materials. Each figure shows the results of calculating estimates for various parameters of the system and its individual components. Based on the data obtained, the formation of the working zones of the system was carried out, where the requirements for the accuracy of determining coordinates and the probability of detecting lightning discharges were met. In conclusion, the prospects for the development of the proposed model are discussed, including the possibility of further improving algorithms for finding optimal monitoring system structures. A further study of the dependence of the estimates obtained on the input parameters of the complex model is proposed. The scope of the model covers tasks related to forecasting and analyzing thunderstorm activity, and can also be used to develop new monitoring systems or optimize existing solutions.

Keywords: thunderstorm activity, lightning discharge, monitoring system, geometric error, position line, accuracy of coordinate determination.

References

- [1] A. Gaivoronsky, "Actual problems of lightning protection of 110-500 kV power lines," *Electric Engineering News*, 2019, no. No.1(115), pp. 18-23 (in Russian)
- [2] G.A. Ivanova, V.A. Ivanov, A.A. Onuchin, "Forest fires and the causes of their occurrence in Central Siberia," *Siberian Forest Journal*, 2023, no. 6, pp. 6-16 (in Russian)
- [3] O.K. Voitsekhovskaya, O.V. Egorov, D.E. Kashirsciy, "Absorption and radiation properties of the sulfur-containing gaseous compounds," *Izvestiya vuzov. Fizika*, 2012, vol. 55, no. 8-3, pp. 186-187 (in Russian).
- [4] D.A. Denisenkov, E.A. Korovina, "Universal sensor for thunderstorm activity monitoring system," *Proceedings of the A.F. Mozhaisky Military Space Academy*, 2016, no. 653, pp. 164-168 (in Russian)
- [5] M.V. Postrybaylo, T.M. Tatarnikova, "Model estimates of parameters of passive radio systems for monitoring lightning activity," *Journal of Instrument Engineering*, 2024, vol. 67, no. 4, pp. 368-374 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-4-368-374.
- [6] A.G. Saibel, "Fundamentals of the Theory of Accuracy of Radiotechnical Methods of Positioning," Moscow: Oborongiz, 1958, 54 p. (in Russian).
- [7] I.I. Kononov, I.A. Petrenko, V.S. Snegurov, "Radio engineering methods for determining the location of thunderstorm centers," Leningrad: Hydrometeoizdat, 1986, 225 p.
- [8] E.P. Voroshilin, M.V. Mironov, V.A. Gromov, "The estimation of radio source positioning by means of the range-difference method using the multi-position passive satellite system," *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki*, 2010, no.1-2 (21), pp. 23-28.
- [9] I.A. Gotyur, E.A. Korovin, S.V. Chernyshev, G.G. Shchukin, I.E. Yusupov, "Experimental network of sensors for monitoring thunderstorm activity," *Proceedings of the A.F. Mozhaisky Military Space Academy*, 2022, no. S685, pp. 66-74 (in Russian)
- [10] I.A. Gotyur, E.A. Korovin, Yu.V. Kuleshov, S.V. Chernyshev, G.G. Shchukin, I.E. Yusupov, "Results of the experimental system for monitoring thunderstorm activity," *Proceedings of the IX All-Russian Scientific Conference on Atmospheric Electricity. Conference Proceedings*. St. Petersburg, 2023, pp. 186-192 (in Russian)
- [11] M.V. Postrybaylo, "Model estimates of working zones of the thunderstorm activity monitoring system. Hydrometeorology and atmospheric physics: modern achievements and development trends," *Proceedings of the II International scientific and practical conference*. St. Petersburg, 2024, pp. 237-241.

Information about authors:

Makar V. Postrybaylo, St. graduate student, Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Institute of Information Technology and Programming, St. Petersburg, Russia

Tatyana M. Tatarnikova, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Institute of Information Technology and Programming, St. Petersburg, Russia