

М.К. Олжабаев murat16091973@gmail.com

К.Ж. Исабаев rtv_nk@mail.ru

С.А. Фомичев sergfomichev@mail.ru

Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,

г. Алматы, Республика Казахстан

Б.Б. Имансакипова imansakipova@mail.ru

Университет Сапиева, г. Алматы, Республика Казахстан

ПРИБОРЫ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

В данной статье описывается устройство для регистрации первичной метеорологической информации, получаемой от радиолокационных станций. Это устройство преобразует аналоговые сигналы в цифровые для метеорологического анализа и прогнозирования. Основное внимание уделено функциям и принципам работы метеорологических радиолокационных станций, оснащенных этими устройствами, и их значению для получения точных и достоверных радиолокационных изображений. В статье проведен анализ существующих радиолокационных станций и комплексов для обнаружения и регистрации грозовой активности. Автор рассматривает существующие приемы и методы обнаружения сложных метеоусловий и анализирует преимущества и ограничения каждого подхода. Статья будет интересна не только специалистам в области метеорологии, радиолокации и обработки сигналов, но и студентам, и исследователям, работающим в данной области.

Ключевые слова: приборы, анализ, радар, радиолокационная станция, детекторная группа, запись, грозовая активность, измерение, технология, преимущества, погода, прогноз.

Введение

Сложные метеоусловия и грозовая активность – одно из важнейших метеорологических явлений, оказывающее существенное влияние на все аспекты жизнедеятельности человека и инфраструктуру. Однако точное и эффективное обнаружение и регистрация грозовой активности остается сложной задачей для научного и инженерного сообществ. В данной статье проведен анализ радиолокационных устройств и приборов, которые могут быть использованы для обнаружения и регистрации грозовой активности, определены их основные особенности, преимущества и недостатки.

Методология исследования

Для проведения анализа был проведен обзор литературы и существующих научных публикаций, а также сравнительный анализ существующих и интегрированных радиолокационных станций обнаружения и регистрации грозовой активности. Основными параметрами, учитываемыми при анализе, являлись дальность действия, чувствительность, точность определения погодных условий и локализации гроз, пространственное разрешение, возможность определения типов грозовой активности и другие технические характеристики [1-20].

Результаты и обсуждение

Регистраторы первичной метеорологической информации играют важную роль в обнаружении грозовой активности и предупреждении об опасных явлениях. Эти устройства преобразуют аналоговые сигналы, получаемые от радаров, в цифровой формат для последующей обработки. Основными функциями таких устройств являются усиление, фильтрация, нормализация и дискретизация входного сигнала. Примерами таких устройств являются аналого-цифровые преобразователи и многоканальные регистраторы. Современное оборудование, используемое для регистрации первичной метеорологической информации, отличается высокой точностью, стабильностью и быстродействием, поэтому позволяет получать достоверные данные о грозовой активности в режиме реального времени. Они входят в состав метеорологических радиолокационных станций. [1, 3].

Погодные радиолокационные станции, называемые метеорологическими локаторами (МРЛ), предназначены для зондирования атмосферы с целью обнаружения и исследования облаков и осадков, а основная метеорологическая информация содержится в измеренном радиолокационном отражении. В результате исследования атмосферы с помощью МРЛ в оперативном режиме решаются следующие задачи:

- обнаружение и локализация кучево-дождевых облаков и связанных с ними явлений (ливни, грозы, град);
- заблаговременное оповещение в зависимости от характера гроз, града и ливневых осадков;
- определение скорости и направления движения областей кучево-дождевых облаков и облачных осадков;
- определение верхней границы детектируемых облаков и нижней границы радиоэха облаков без осадков;
- определение изменений радиоэха кучево-дождевых облаков;
- определение изменений радиоэха кучевых и дождевых облаков;
- оценка распределения и интенсивности осадков в регионе [4,5].

Метеорологическая интерпретация (анализ) полученных радиолокационных данных основана на детерминированных, т.е. заранее заданных определениях радиолокационных характеристик метеорологических объектов для классификации облаков и облачных систем, на единичных или комплексных физико-статистических критериях распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучевыми облаками, на оценке мгновенной интенсивности осадков на основе использования корреляций для оценки мгновенной интенсивности осадков. Весь процесс радиолокационных наблюдений за облачностью и осадками и метеорологической интерпретации полученных данных можно разделить на два основных этапа: общая оценка метеорологической обстановки и определение типа обнаруживаемых облачных систем; локализация опасных метеорологических явлений, связанных с кучевыми облаками [6].

Сканирование атмосферы, осуществляемое с помощью метеорологических радиолокационных станций, позволяет получать информацию о метеорологических объектах стохастической природы, что обусловлено спецификой радиометеорологических методов.

Одной из основных особенностей метеорологических радиолокационных станций является то, что они предназначены для количественного измерения силы сигналов, отраженных от облаков и осадков. Для этого необходимо специальное оборудование (приборы) для измерения силы отраженного сигнала. Точное измерение силы отраженного сигнала требует калибровки радара как метеорологического прибора и контроля потенциала в процессе измерения. Контроль потенциала включает в себя контроль излучаемой мощности и чувствительности приемника [7].

Другой особенностью метеорологических радаров является широкий динамический диапазон приемника, который обусловлен широким диапазоном значений мощности радиолокационных сигналов, отраженных от метеорологических объектов. При учете возможных значений ЭПР метеорологических объектов динамический диапазон достигает 100-120 дБ. Таким же диапазоном должны обладать и приемники метеорологических радаров. Для того чтобы с достаточной точностью обнаруживать малоотражающие облака и осадки, метеорологические радары должны обладать высоким потенциалом, что обеспечивается использованием достаточно мощных передатчиков и высокочувствительных приемников.

Для метеорологических радаров важным является выбор длины волны излучаемой электромагнитной энергии. При этом учитываются как рассеивающие, так и ослабляющие свойства атмосферы, в которой находится метеорологический объект. Погодные радары могут наблюдать метеорологические объекты как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях и имеют для этого соответствующие режимы управления антенной и устройства формирования изображения [7-10].

Основными частями метеорологического радиолокатора (МРЛ) являются антенная система, включающая в себя облучатель (1) и металлическое зеркало-отражатель (2), передатчик (3), приемник (4), антенный переключатель (5), индикаторы (6), синхронизатор (7), волноводно-фидерный тракт (8), блоки управления антенной (9) и энергетического питания (10) [1].

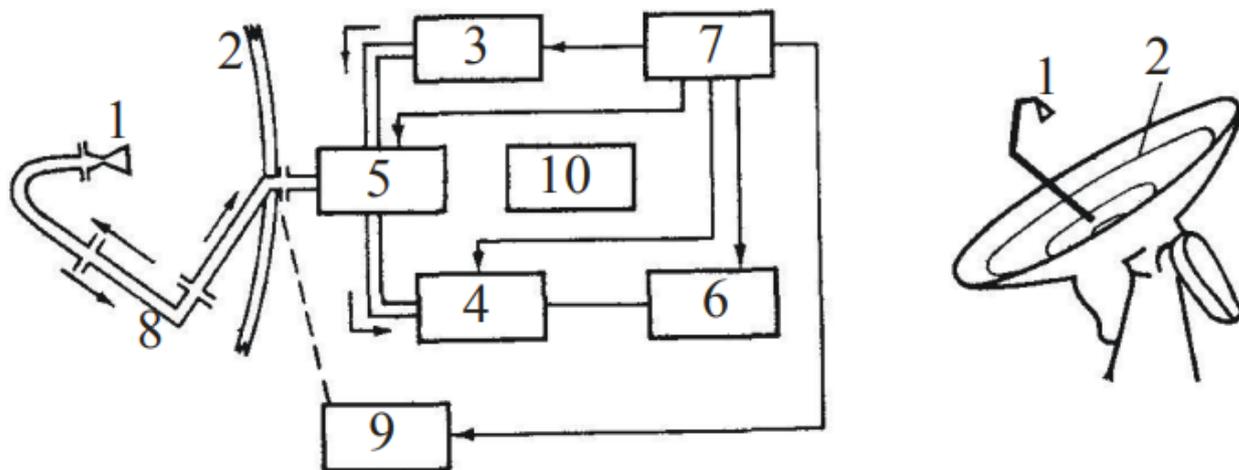


Рисунок 1 – Обобщенная схема метеорологической РЛС

Передатчик импульсного МРЛ генерирует мощные электромагнитные СВЧ-колебания в виде периодически повторяющихся зондирующих импульсов, которые с помощью антенной системы распространяются в сторону метеорологического объекта. В паузах между зондирующими импульсами отраженный от метеорологического объекта информационный сигнал принимается той же антенной системой и по волноводному тракту поступает на вход приемника, где усиливается и направляется на дисплей радара для определения координат и физических характеристик метеорологического объекта.

Волноводный фидерный тракт отвечает за передачу высокочастотных импульсов от передатчика к антенне и от антенны к приемнику. Антенные переключатели поочередно подключают антенну к передатчику или приемнику, так что для передачи и приема используется одна и та же антенна. При работе передатчика переключатель замыкает передатчик через волноводный питающий тракт на антенную систему, отключает вход приемника и защищает его от сильных импульсов передатчика, а в период между двумя зондирующими импульсами антенный переключатель замыкает вход передатчика, и вся энергия информационного сигнала (радиоэхо) направляется на приемник.

Для визуального отображения метеоусловий в метеорологических радиолокаторах могут использоваться всенаправленные (ACV), вертикальные (дальность-высота (VAR)) и амплитудные (AA) индикаторы [11, 12].

Во всенаправленном индикаторе пространственное положение метеорологического объекта определяется в полярных координатах (дальность наклона и азимутальный угол); в ДВС используется радиально-круговое сканирование, при котором луч одновременно (синхронно) переводится радиально вперед-назад от центра к периферии экрана при повороте антенны по азимуту. В результате на дисплее ИСР можно наблюдать размещение, взаимное расположение и размеры метеорологических объектов.

На дисплее ИДВ развертка электронного луча синхронизируется с азимутальным поворотом антенны, что позволяет получить изображение наблюдаемого метеорологического объекта в вертикальном сечении. В метеорологических радарх могут использоваться комбинированные индикаторы с функциями ICO и IDV; работа передатчика, приемника и индикатора МРЛ синхронизируется триггерным или тактовым импульсом, формируемым системой синхронизации. Система синхронизации также обеспечивает формирование масштабированных сигналов дальности, поступающих на дисплей

метеорологической РЛС. Выбор технических характеристик МРЛ производится целенаправленно, с учетом требуемой дальности, точности определения координат, скорости оценки, характеристик отражения и других характеристик метеорологического объекта [13].

Основные принципы работы МРЛ не отличаются от принципов работы импульсной РЛС, однако задачи, которые решает МРЛ, влияют на ее структуру. Для формирования игольчатой диаграммы направленности (ДН) используется антенное устройство, состоящее из двух параболических зеркал. Если используется одно зеркало, то частотное разделение сигналов достигается за счет волноводов с разными размерами поперечного сечения.

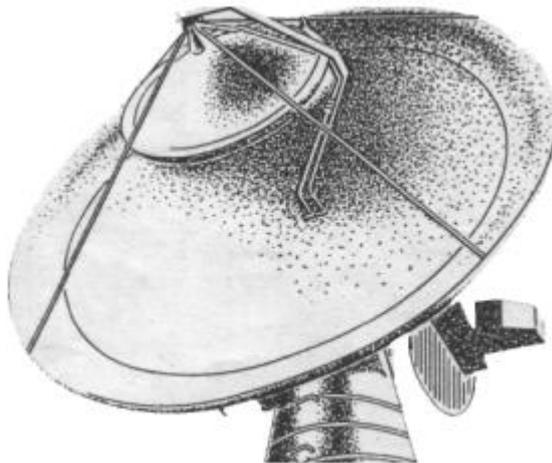


Рисунок 2 – Параболические антенны МРЛ

Всенаправленный режим. В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости с частотой 6 об/мин и в вертикальной плоскости с фиксированным углом наклона. На индикаторе кругового обзора (ИКО) отображается обзор атмосферных условий в районе станции [13, 14].

Режим ступенчатого обзора. В этом режиме антенна вращается в горизонтальной плоскости, а наклон в вертикальной плоскости изменяется после каждого поворота антенны. Величина изменения наклона антенны после каждого поворота может быть задана в диапазоне 0-5°. Таким образом, в этом режиме наклон антенны в вертикальной плоскости изменяется в диапазоне 1-11°. При этом на ИКО формируется обзор атмосферных условий в локальной зоне с различных ракурсов.

Режим вертикального обзора. Антенна качается в вертикальной плоскости два раза в минуту под фиксированным азимутальным углом. На ИМТ отображается вертикальный срез 76 атмосферных образований под выбранным азимутальным углом [1, 15].

Режим вертикального обнаружения. В этом режиме антенна неподвижна, но может быть установлена в любом направлении в горизонтальной плоскости и под любым углом в пределах 1-105°. В этом режиме радар видит выбранный узкий участок пространства.

Визуальный дисплей снабжен тремя типами индикаторов. Круговой обзор (ESV), дальность–высота (RA) и амплитуда (AA) (рис. 21б) ESV дают представление о погодных условиях вокруг РЛС при фиксированном или переменном угле наклона антенны по одной из выбранных шкал. Круговой символ на дисплее ESV используется для измерения дальности, а шкала на внешнем кольце ИКО – для измерения азимута. В режиме прямой видимости ИКО формирует изображения под разными углами места, т.е. в разных масштабах, что позволяет определять состояние атмосферы [1, 16].

IDV позволяет получить вертикальное изображение поперечного сечения антенны в различных масштабах при ее вращении вокруг позиции с фиксированным азимутальным углом. Изображение строится в координатах: горизонтальная ось – угол наклона, вертикальная ось – высота. Радар расположен в начале координат. Дальность действия обозначается концентрическими метками. По изображению этого индикатора можно

определить распределение облаков по высоте, их относительную плотность, высоту верхней и нижней границ [17, 18].

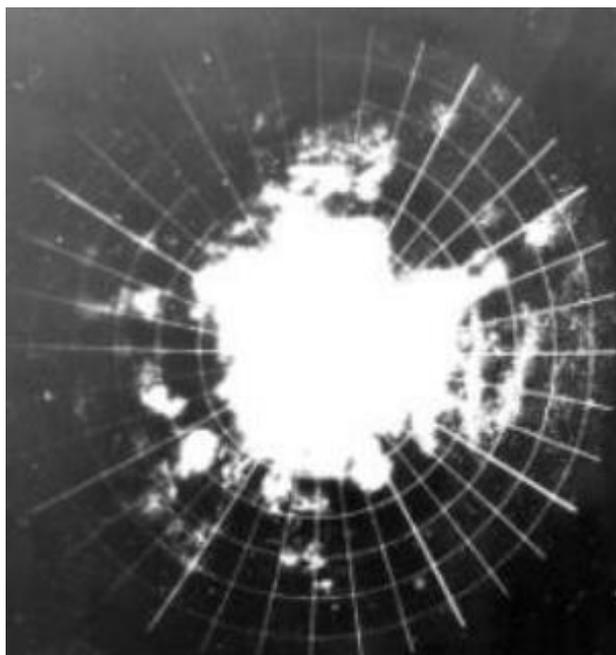


Рисунок 3 – Вид облачности на индикаторе кругового обзора

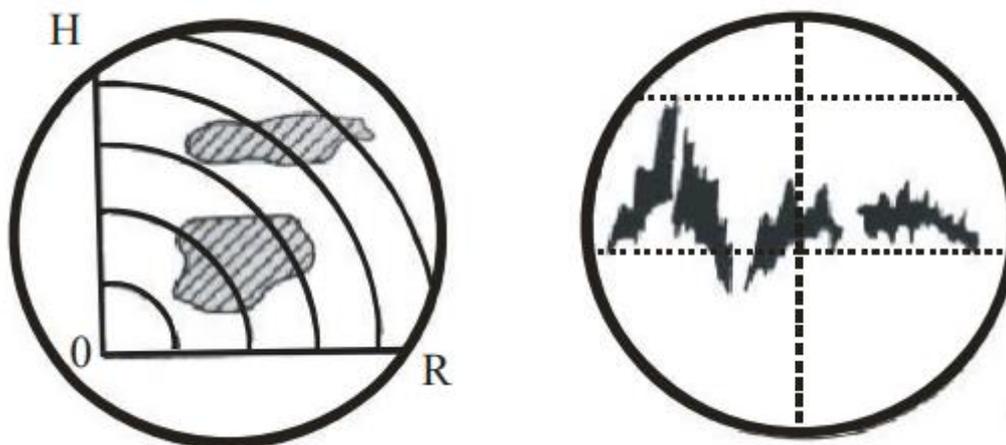


Рисунок 4 – Изображение сигналов от облачности на индикаторе дальность–высота и амплитудном индикаторе

По мере развития атмосферного рельефа по дальности он вызывает вертикальное отклонение луча ИА, а величина отклонения указывает на силу атмосферного рельефа; ИА является двухлучевым прибором, что означает возможность одновременного наблюдения двух каналов или использования второго скана для наблюдения увеличенного изображения района цели. Поскольку яркость изображения метеорного потока зависит от интенсивности сигнала, то по этому параметру изображения можно определить характер и относительную интенсивность метеорного потока. Визуально это возможно по яркости изображения наблюдаемого образования или по амплитуде сигнатур на ИА. Более точно эта задача может быть решена путем обработки специальных номограмм, показывающих зависимость силы сигнала от различных плотностей осадков на разных расстояниях от их источника. Сила отраженного сигнала снимается с измерителя мощности, где сигнал снимается во времени. Поскольку сила сигнала зависит от силы зондирующего участка и коэффициента шума приемника, то в процессе наблюдения эти параметры контролируются измерителем мощности и коэффициента шума обоих каналов. Соотношение уровней принимаемого

сигнала в разных каналах позволяет определить размер частиц града. Для этого в двух каналах имеется устройство обработки, называемое изоэхо, которое формирует дифференциальный сигнал изоэхо, который воспроизводится на ДВС и показывает грозовую активность в виде светлых пятен на изображении атмосферного образования.

Наблюдения за атмосферой с помощью МРЛ позволяют обнаруживать метеорологические события, важные для авиации. К таким явлениям относятся конвективные облака и опасные погодные явления, связанные с осадками [19, 20].

Заключение

Метеорологические радиолокаторы сантиметрового диапазона обычно не обнаруживают грозовые разряды, а вероятность обнаружения сигналов от молний ничтожно мала из-за их кратковременности и использования узких диаграмм направленности при зондировании атмосферы. Наличие осадков определяется по наличию радиоэха вблизи поверхности земли, но вероятность этого ограничена радиусом 90–100 км, где угол возвышения антенны близок к нулю. Кроме того, с помощью МРЛ не всегда удается получить четкую характеристику типа осадков (твердые или жидкие).

Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут сосредоточиться на улучшении точности определения местоположения грозы, снижении помех и шумов, а также разработке более компактных и автономных систем обнаружения и регистрации грозовой активности. Это может в свою очередь повысить эффективность систем предупреждения и мониторинга грозовых явлений, что является важным шагом для обеспечения безопасности и улучшения прогнозирования погоды.

Литература

1. Метеорологические радиолокаторы и радионавигационные системы управления воздушным движением: учеб. пособие / Н.И. Толмачева, О.Ю. Булгакова; Перм. ун-т.— Пермь, 2007.— 54 с.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные и радионавигационные системы / П.А. Бакулев, А.А. Сосновский. — М.: Радио и связь, 1994. —296 с.
3. Булгин, Д. В. Алгоритм дистанционной регистрации грозовых разрядов / Д. В. Булгин, В. И. Федоров, В. С. Волков // Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы VI Международной научно-практической конференции. В 3 частях. —Воронеж, 21—22 декабря 2020 года. Т.1 Часть I. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. — С. 176—181.
4. Васильев, Р. В. Анализ грозовой активности в приполярной области по ОНЧ- сигналам атмосфера с приемников РWING / Р. В. Васильев, А. В. Ойнац, Ю. В. Калашников // Климатические риски и космическая погода: Тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, Иркутск, 14—17 июня 2021 года. — Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. — С. 36.
5. Горлова, И. Д. Изучение грозовой активности средствами космического и наземного базирования / И. Д. Горлова // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды : Материалы VI Всероссийской научной конференции, Санкт-Петербург, 16—18 сентября 2020 года. — Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2020. — С. 211—213.
6. Грозовая активность / М. С. Пермяков, П. В. Журавлев, С. С. Капач, З. Ю. Лешневский // Российско-вьетнамские океанологические исследования в Южно-китайском море. — Владивосток : Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, 2020. — С. 91—98.
7. Грозовая активность и вихревые структуры в атмосфере / Н. И. Ижовкина, С. Н. Артеха, Н. С. Ерохин, Л. А. Михайловская // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2022. — Т. 19, № 1. — С. 267—276.

8. Дацук, Д. Г. Система и методы регистрации грозových разрядов и определения мест перекрытия воздушной линии / Д. Г. Дацук // Теория и практика современной науки. — 2022. — № 2(80). — С. 80—83.
9. Дугин, Г. С. Влияние грозových явлений на безопасность полетов / Г. С. Дугин // Проблемы безопасности полетов. — 2020. — № 3. — С. 15—23.
10. Елисеев, А. А. Грозовая энергетика и грозовые электростанции, перспективы развития / А. А. Елисеев // ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ науки и ОБРАЗОВАНИЯ : сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 ноября 2020 года. — Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. — С. 24—26.
11. Керефова, З. М. Технические средства контроля и регистрации грозových явлений / З. М. Керефова // Перспектива—2022 : МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ, Нальчик, 22—30 апреля 2022 года. Т. 4. — Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2022. — С. 251—254.
12. Кононов, И. И. Трековый метод отображения грозовой активности / И. И. Кононов, И. Е. Юсупов // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы: доклады конференции, Нальчик, 08—10 сентября 2021 года. — Нальчик: Изд-во «Принт Центр», 2021. — С. 334—340.
13. Наблюдения за грозовой активностью и параметрами молниевых разрядов на территории юга европейской части России / А. Х. Аджиев, Н. В. Юрченко, Г. В. Куповых, Т. В. Кудринская // Распространение радиоволн: Труды XXVII Всероссийской открытой научной конференции, Калининград, 28 июня — 03 2021 года. — Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. — С. 828—832.
14. Направления совершенствования пассивных радиотехнических средств мониторинга грозовой активности / И. И. Кононов, Е. А. Коровин, Г. Г. Щукин, И. Е. Юсупов // Метеорология и гидрология. — 2022. — № 12. — С. 108—115.
15. Регистрация спектральных характеристик верхней атмосферы над регионами с грозовой активностью / А. С. Баден, А. А. Мукушев, Г. Сагатдинова, В. Ф. Грищенко // Современные техника и технологии в научных исследованиях: сборник материалов XIII Международной конференции молодых ученых и студентов, Бишкек, 28—30 апреля 2021 года. — Бишкек: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, 2021. — С. 33—37.
16. Системы обнаружения грозовой активности. P1. Электронный ресурс URL: <https://radiocom—review.blogspot.com/2014/06/1—3—avionics—systems.html>
17. Туев, Д. Д. Энергия за счет грозových электростанций / Д. Д. Туев // E—Scio. — 2023. — № 2(77). — С. 367—370.
18. Экспериментальная сеть датчиков мониторинга грозовой активности / И. А. Готюр, Е. А. Коровин, С. В. Чернышев [и др.] // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. — 2022. — № S685. — С. 66—74.
19. Thunderstorm Detection. Электронный ресурс URL: <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms/detection/>
20. Weather radar. Электронный ресурс URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_radar