



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (бакалаврская работа)

На тему «Оценка точности данных КРАМС-4»

Исполнитель Князев Григорий Александрович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич
(фамилия, имя, отчество)

«24» мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

Оглавление.....	2
Введение.....	3
1 Метеорологическое обеспечение авиации вчера и сегодня.....	6
1.1 История наблюдений.....	6
1.2 Система КРАМС-4.....	12
2 Измерение дальности видимости на летном поле.....	15
2.1 Дальность видимости.....	15
2.2 Средства измерения и регистрации дальности видимости.....	15
2.2.1 Виды трансмиссометров.....	15
2.2.2 Приборы прямого и обратного рассеяния.....	18
2.2.3 FD12P.....	20
2.2.4 PWD 22.....	24
3 Оценка точности данных КРАМС-4.....	28
3.1 Анализ исходной информации.....	28
3.2 Обработка исходной информации.....	29
3.3 Сравнение показаний fd12p и PWD22.....	37
Вывод.....	41
Заключение.....	42
Список использованных источников.....	44

Введение

Современный аэропорт не может функционировать без метеооборудования. Системы обеспечивают надежность, безопасность взлета, посадки воздушных судов, позволяют снизить зависимость перевозок от неблагоприятных погодных условий. Надежное метеорологическое оборудование в аэропортах существенно сокращает количество задержек рейсов, связанных с плохой видимостью и другими погодными условиями.

Строительство вертолетных площадок, взлетно-посадочных полос, аэропортов, аэродромов, прилегающей инфраструктуры обязательно сопровождается проектированием, подбором необходимого для безопасного функционирования оборудования. Определяющую роль в вопросах эффективного функционирования аэродрома играет своевременное получение метеорологической информации, для этого необходимо грамотно, максимально точно подобранное оборудование, собирающее и передающее данную информацию.

Выполнение каждого полёта в настоящее время невозможно без учёта состояния условий погоды. Также необходим учёт климатических условий при различных видах оперативного планирования полётов. Необходимость учёта вызвана тем, что периодические (суточные, сезонные) и неперiodические (связанные с метеорологической обстановкой) изменения метеоусловий приводят к изменениям состояния лётного поля, подъездных путей к аэродрому, сказываются на условиях эксплуатации авиационной техники.

Важнейшее требование, касающееся международной системы для проведения метеорологических наблюдений на аэродроме и подготовки сводок, состоит в том, что все они должны осуществляться единообразным способом в соответствии со стандартными процедурами. Такая единообразная практика позволяет авиационным пользователям интерпретировать сводки, независимо от языка, как точную информацию о важных для авиации метеорологических условиях в единственно возможном смысле.

Поэтому гидрометеорологические наблюдения являются особо важной составляющей АМСГ, особенно с помощью комплексной радиотехнической автоматической метеорологической станции (КРАМС), так как именно она приводит к повышению точности и достоверности гидрометеорологических наблюдений, а автоматизированные расчеты величин способствуют более быстрому и качественному проведению проективных изысканий и вычислений.

Цель работы: провести оценку точности данных КРАМС-4.

Оценка точности будет проведена на основе данных различных типов и модификаций датчиков метеорологической дальности видимости за 2021 и 2022 гг.

Данные предоставлены институтом радарной метеорологии.

В ходе работы необходимо

- рассмотреть метеорологические параметры, знание которых необходимо для обеспечения нужд авиации;
- подготовить краткое описание станции КРАМС-4, ее функций, состава и решаемых задач;
- изучить принцип работы различных приборов, которые могут входить в измерительный компонент КРАМС-4 для получения данных о видимости;
- выполнить привязку рассматриваемых приборов к ВПП;
- подготовить постустановочные данные по дальности видимости и явлениям погоды для проведения исследования;
- классифицировать явления погоды, зафиксированные системой КРАМС-4 по данным автоматических измерений;
- провести анализ выдаваемой датчиками метеорологической информации;

- провести оценку точности измеренных значений дальности видимости и явлений погоды путем сравнения информации с различных датчиков, установленных в одном месте.

1 Метеорологическое обеспечение авиации вчера и сегодня

1.2 История наблюдений

Необходимость метеорологической информации появляется уже на этапе проектировании любого аэродрома, вертолётной площадки. Такие объекты создаются с учётом очень многих переменных, которые анализируются годами. При отсутствии грамотного сбора информации может возникнуть ситуация, что аэродром простаивает большую часть времени по причине недопустимого направления ветра или низкой видимости из-за образования туманов. Данные проблемы решаются путём изучения климатической информации. Создаётся многолетняя роза ветров, изучение перемещения воздушных масс.

После проектирования и постройки аэродрома появляется воздушный трафик, для которого необходима максимально свежая метеорологическая информация. Она позволяет снизить количество авиакатастроф и задержек в расписании рейсов.

До появления автоматике все данные собирались и анализировались вручную. Дискретность такой информации была сильно ниже, чем сейчас и человеческий фактор являлся основным. При таком сборе данных, человеческий фактор играет роль при сборе, транспортировке и обработке метео информации.

Мониторинг фактических метеорологических условий на аэродроме должен проводиться тщательно и непрерывно в течение всего периода оперативной деятельности. Для сообщения данных о текущих метеорологических условиях на аэродромах проводятся регулярные наблюдения с фиксированными интервалами в один час или в полчаса, если так определено в региональном аэронавигационном (РАН) соглашении. В случаях, когда в интервалах между регулярными наблюдениями происходят оперативно значимые изменения метеорологических условий, проводятся специальные наблюдения и подготавливаются специальные сводки.

Наблюдения за метеорологическими условиями на аэродромах проводятся при помощи приборов и визуальных оценок. Данные метеорологических наблюдений используются метеорологами для прогнозирования погоды, а также пилотами и другим персоналом, обеспечивающим посадку и взлет воздушных судов, навигацию на маршруте и осуществление полетов. Оперативные метеорологические данные, кроме данных наблюдений на аэродромах, могут включать информацию метеорологических радиолокаторов и данные наблюдений с борта воздушных судов (воздушная разведка).

Важнейшее требование, касающееся международной системы для проведения метеорологических наблюдений на аэродроме и подготовки сводок, состоит в том, что все они должны осуществляться единообразным способом в соответствии со стандартными процедурами. Необходимо особое внимание уделять размещению приборов с тем, чтобы обеспечить максимальную репрезентативность данных измерений для условий в тех соответствующих зонах аэродрома или вблизи него, по которым требуются такие измерения.

Там же, где вследствие топографических условий или по другим причинам климатологические значения определенных элементов значительно различаются в разных частях аэродрома, необходимо проводить наблюдения за каждым параметром в двух или более местах. Особую ценность для наблюдений на аэродромах представляют определенные приборы, такие как облакомеры и измерители дальности видимости, которые могут использоваться также на синоптических станциях.

Существующие методы и практика наблюдений за метеорологическими элементами представляют собой следующее:

- 1) Облака

Наблюдения за облаками включают визуальные наблюдения за физическими характеристиками облаков, включая их протяженность в вертикальном и горизонтальном направлении, структуру и форму. Также

используются приборы, определяющие высоту нижней границы облачности. Данный метеорологический параметр является одним из важнейших в авиации.

2) Давление

Для оперативных метеорологических целей атмосферное давление измеряется, как правило, ртутными или anerоидными барометрами (рис. 1.1). Показания барометра берутся до ближайшей десятой доли гектопаскаля и затем приводятся к стандартным условиям. Полученные таким образом значения преобразуются при помощи соответствующих поправок в значения давления на высоте аэродрома и давления, приведенного к среднему уровню моря (СУМ).



Рисунок 1.1 – Барометр anerоид

3) Температура

Авиацию интересует прежде всего температура на уровнях воздухозаборников двигателей над взлетно-посадочной полосой, однако проводить регулярные наблюдения за температурой в таких местах

невозможно. Поэтому важно размещать термометрическую будку (рис. 1.2) таким образом, чтобы наблюдения за температурой проводились как можно ближе к тому месту, по которому требуются данные. Данные о температуре, как правило, требуются в целых градусах Цельсия; поправки вносятся перед округлением показаний.



Рисунок 1.2 – Термометрическая будка

4) Влажность

В авиации не существует требования относительно особых методов измерения влажности. Влажность воздуха на большинстве аэродромов измеряется термодинамическим методом с использованием специальных электронных датчиков, или путем использования данных сухого и смоченного термометров, по психрометрическим таблицам. Данные о влажности используются для расчета температуры точки росы, которая сообщается для целей аэронавигации в целых градусах Цельсия.

5) Ветер

Авиацию интересует направление (действительное), с которого дует приземный ветер, сообщаемое в градусах, округленных до ближайших десяти градусов. Используемые для обозначения скорости ветра единицы измерения — это узлы или километры в час (км/ч), что всегда указывается в сводках погоды.

Направление, скорость и порывистость ветра лучше всего измерять при помощи приборов, однако в тех случаях, когда определение при помощи приборов невозможно, например, в случае поломки прибора, эти параметры могут быть рассчитаны. Для подготовки синоптических и аэродромных метеорологических сводок с данными наблюдений, которые распространяются за пределами аэродрома и в которых следует указывать среднее направление ветра за 10-минутный период, желательно использовать анемограф. Это позволит также рассчитывать средние значения за двухминутные периоды, которые необходимы для сводок для взлета и посадки. Для целей авиации желательно обеспечение дистанционного считывания показаний прибора, и этот прибор должен обладать способностью реагировать на быстрые изменения направления ветра при минимуме излишних переходов (связанных с тенденцией флюгера переходить под воздействием инерции за правильное положение после изменения направления ветра).

6) Атмосферные осадки

В авиации нет каких-то особых требований в отношении специальных методов измерения атмосферных осадков. Наиболее важными аспектами таких атмосферных явлений, как осадки и покрытие льдом, с точки зрения авиации, являются уменьшение видимости, вызываемое осадками, и влияние на состояние взлетно-посадочных полос.

Наиболее важным в этом плане является знание о состоянии взлетно-посадочных полос, т. е. влажные ли они, есть ли на них стоячие лужи воды и покрыты ли они льдом или снегом (рис. 1.3). Толщину ледяного или снежного покрытия на взлетно-посадочных полосах, как правило, измеряет персонал аэропорта;



Рисунок 1.3 – Слой воды на ВПП

7) Видимость

Необходимо вести наблюдения за горизонтальной видимостью и значительными изменениями по направлениям. Горизонтальная видимость определяется непосредственно наблюдателем (рис. 1.4), который смотрит на

выбранные объекты с определенными характеристиками на известных расстояниях.

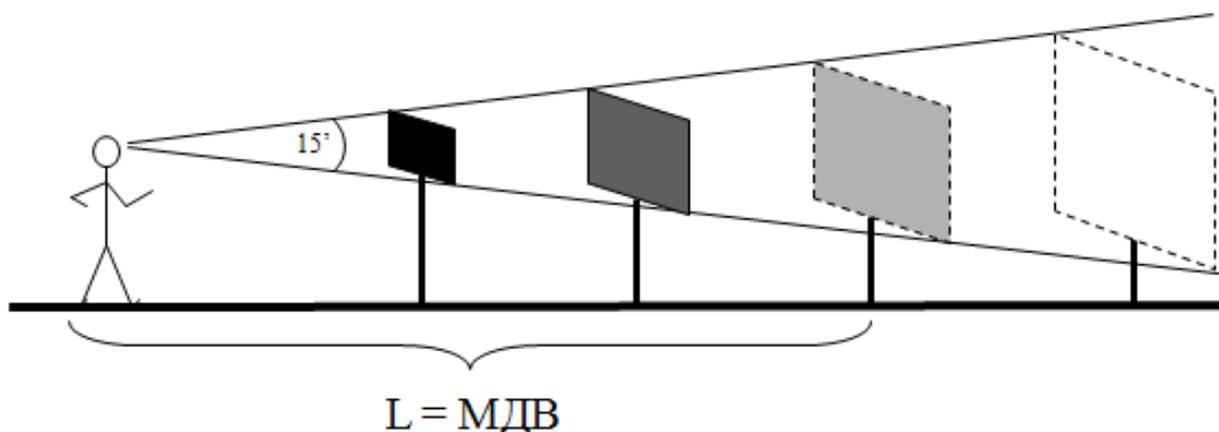


Рисунок 1.4 – Определение видимости наблюдателем

Для инструментальных частей наблюдений все шире применяются автоматизированные системы приземных наблюдений. Автоматизированные системы освобождают наблюдателя от большей части рутинных и требующих времени операций по проведению наблюдений, однако увеличивают его ответственность в плане мониторинга функционирования автоматизированной системы.

1.2 Система КРАМС-4

Для упрощения сбора всей метеорологической информации в аэропорту, была создана комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция, далее КРАМС – 4.

Принцип действия КРАМС-4 основан на использовании сертифицированных датчиков метеорологических параметров атмосферы и состояния подстилающей поверхности, быстродействующей и надежной вычислительной техники и совершенного базового и специального

программного обеспечения, которое позволяет полностью автоматизировать не только обработку и преобразование измерительных сигналов метеорологических величин, но и формирование и передачу метеорологической информации, а также обеспечивать постоянный контроль за работой станции. Такая работа КРАМС-4 облегчает труд оператора (техника-метеоролога) и расширяет возможности системной связи человека и машина.

Как измерительная система по нормативно-техническим документам России, КРАМС-4 состоит из измерительного, связующего и вычислительного компонентов, а также средств отображения, регистрации и представления метеоинформации.

Измерительный компонент – средство измерений: измерительный прибор, измерительный преобразователь, мера, измерительный коммутатор. Измерительный компонент состоит из датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеорологических величин.

Большим преимуществом КРАМС-4 является возможность использования в измерительном компоненте любых сертифицированных датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеорологических величин, подтвержденных Сертификатом типа метеорологического оборудования аэродромов, выданным Межгосударственным авиационным комитетом.[5,6]

Связующий компонент – техническое средство либо часть окружающей среды, предназначенное или используемое для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента системы к другому. В КРАМС-4, размещаемых на аэродромах, каналами связи являются аэродромные линии связи, по которым производится передача измерительных сигналов от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей в вычислительный компонент.[5,6]

Вычислительный компонент – цифровое вычислительное устройство (или его часть), которое совместно с программным обеспечением выполняет функции обработки результатов наблюдений, переводя результаты измерений в число или соответствующий ему код. Вычислительный компонент КРАМС-4 представлен центральной системой (рис. 1.5) и является одним из наиболее важных узлов станции.[5]

Обслуживание и разработка программного обеспечения занимается ИТкомпания “Институтом радарной метеорологии” (ИРАМ).



Рисунок 1.5 – Оборудование вычислительного компонента станции

2 Измерение дальности видимости на летном поле

2.1 Дальность видимости

Одной из самых важных метеорологических величин является метеорологическая дальность видимости (MOR). Данная метеорологическая величина входит в важнейшее значение, минимум погоды. Данное понятие, также, затрагивает значение ВНГО.

Минимум погоды был создан для безопасного взлёта и посадки в различных аэропортах. Данные значения присваиваются к конкретным экипажам и типам воздушных судов.

Например: если в свидетельстве пилота написано “Допущен к полётам командиром ВС Ту-154 по метеоминимуму 80x1000 взлёт 400”, это означает, что пилоту при управлении самолётом соответствующего типа разрешено заходить на посадку при высоте нижней границы облаков 80 м и видимости на ВПП 1000 м, если минимум аэродрома (и самолёта) не хуже указанных параметров, и, кроме того, разрешается взлетать с аэродрома, если видимость на ВПП составляет не менее 400 метров. [2]

2.2 Средства измерения и регистрации дальности видимости

Для измерения и регистрации дальности видимости в составе станции КРАМС-4 могут использоваться различные модификации двух основных типов приборов: трансмиссометры и нефелометры. [23]

2.2.1 Виды трансмиссометров

Существуют два типа трансмиссометров, принципиальные схемы которых показаны на рисунке 2.1:

а) трансмиссометры двухконечные, которые состоят из передатчика и приемника, установленные в разных блоках на расстоянии, равном длине измерительной базы.

б) трансмиссометры одноконечные, в которых передатчик и приемник совмещены в одном блоке, а излучаемый передатчиком луч отражается зеркалом или призмным отражателем, находящимся на определенном расстоянии, равном половине измерительной базы (световой измерительный луч проходит расстояние до отражателя и обратно к излучателю).

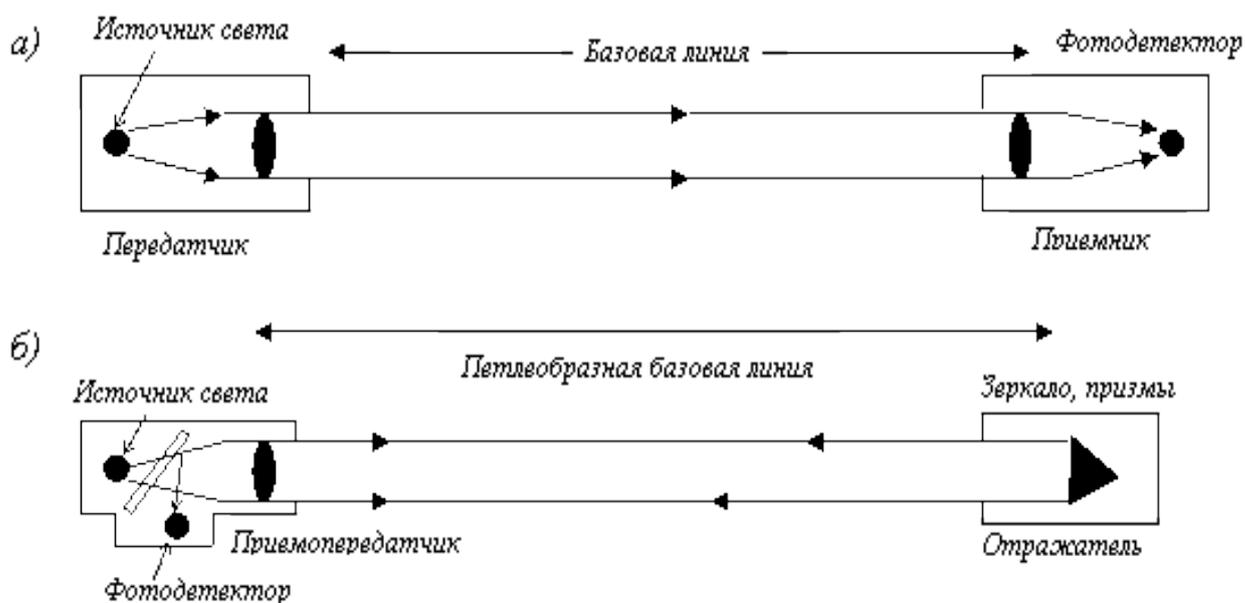


Рисунок 2.1 - Принципиальные схемы двух типов трансмиссометров

а) двухконечный, б) одноконечный

Для измерения MOR применяются оба варианта: двухконечный (Mitras, Flamingo, «Пеленг СФ-01») и одноконечный (ФИ-1). Имеются и смешанные трансмиссометры, совмещающие двухконечный и одноконечный варианты (ФИ-2 и ФИ-3). [26,27]

Преобразование измеренного трансмиссометром коэффициента пропускания в метеорологическую оптическую дальность сопряжено с некоторыми особенностями, связанными с логарифмической зависимостью между ними, что не обеспечивает преобразование коэффициента пропускания с одинаковой точностью во всем диапазоне измерения. В результате диапазон

и точность измерения MOR зависят, как от длины измерительной базы, так и от точности измерения коэффициента пропускания (рис. 2.2). [27]

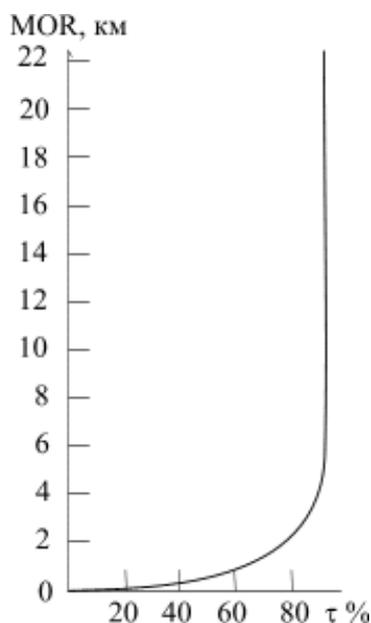


Рисунок 2.2 – Зависимость результата определения MOR от значения коэффициента пропускания

Для расширения диапазона измерения и снижения нижнего предела измерения метеорологической оптической дальности применяется двухбазовый метод измерения. В двухбазовых трансмиссометрах между передатчиком и приемником устанавливается еще один приемник (отражатель) на более короткой базе, например на расстоянии 10м (Mitras), или 15 м (Flamingo), или 20 м (ФИ-1). Диапазоны и погрешности определения MOR двухбазовым трансмиссометром при базовом расстоянии 75 метров указаны в таблице 2.1.[31]

Диапазоны и погрешности определения MOR двухбазовым
трансмиссометром (75 м) при точности измерения коэффициента
пропускания τ не более $\pm 1\%$ и $\pm 2\%$

Точность измерения коэффициента пропускания не более $\pm 1\%$		Точность измерения коэффициента пропускания не более $\pm 2\%$	
Предел допускаемой погрешности измерения MOR, %	Диапазон измерения MOR, м	Предел допускаемой погрешности измерения MOR, %	Диапазон измерения MOR, м
± 15	От 7 до 10	± 50	От 7 до 10
± 10	Св. 10 до 20	± 15	Св. 10 до 13
± 5	Св. 20 до 1000	± 10	Св. 13 до 23
± 10	Св. 1000 до 2600	± 5	Св. 23 до 75
± 15	Св. 2600 до 4000	± 10	Св. 75 до 1500
± 20	Св. 4000 до 7000	± 15	Св. 1500 до 2000
		± 20	Св. 2000 до 2600

Из вышеизложенного следует:

а) диапазон и точность определения метеорологической дальности зависят от длины измерительной базы и точности измерения коэффициента пропускания;

б) нижний предел диапазона определения MOR при погрешности ее определения не более $\pm 20\%$ равен $3/4$ длины измерительной базы, верхний – 30 длин измерительных баз при точности измерения коэффициента пропускания не более $\pm 2\%$;

в) для расширения диапазона определения MOR следует использовать двухбазовые трансмиссометры.

2.2.2 Приборы прямого и обратного рассеяния

Показатель ослабления s , как следует из определения этого термина, является мерой ослабления светового потока, вызванного рассеянием света в атмосфере.

Приборами прямого и обратного рассеяния измеряется рассеяние света в определенном исследуемом объеме воздуха, освещенном коллимированным пучком от осветительной лампы (передатчика). В качестве передатчика используются фотодиодные мониторы интенсивного излучения. В качестве приемника (приемников) используются фотодетекторы. Передатчик и приемник устанавливаются на едином креплении на расстоянии 1-2 м (например, приборы прямого рассеяния (FD12/FD12P)).

В международной авиационной практике для измерения MOR используются приборы прямого рассеяния (рис. 2.3,а-б).

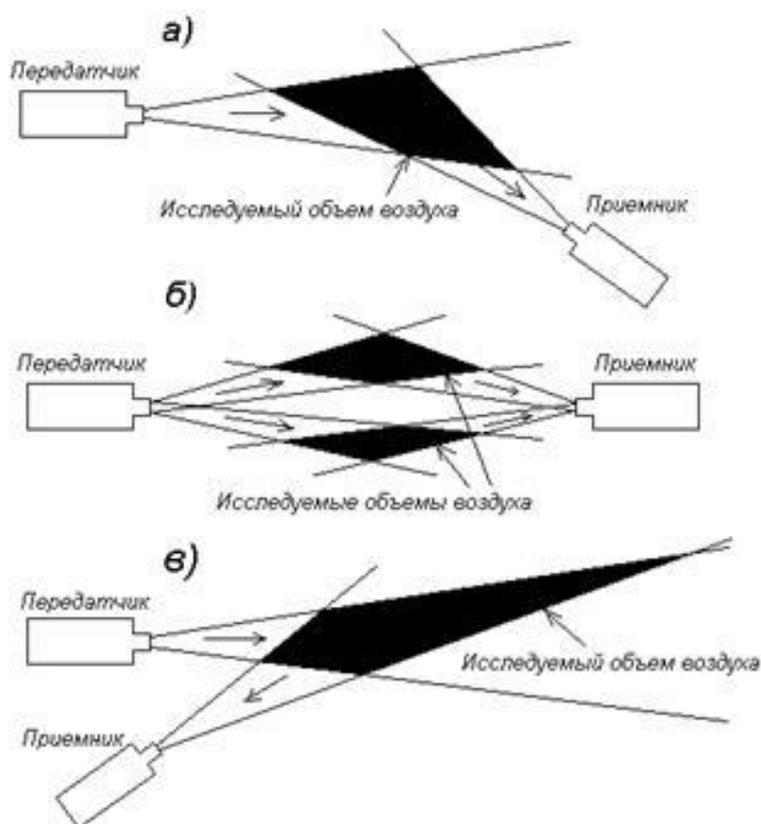


Рисунок 2.3 - Метод прямого и обратного рассеяния
а-б) метод прямого рассеяния, в) метод обратного рассеяния

Приборы для измерения прямого рассеяния называются нефелометрами и включают в себя передатчик и приемник с углом между лучами от 20 до 50 градусов (рис. 2.3,а). Или же предусматривается установка между передатчиком и приемником одной либо двух диафрагм (рис. 2.3,б), каждая из которых расположена на небольшом расстоянии от передатчика или приемника. [32]

В приборах для измерения обратного рассеяния (рис. 2.3,в) луч света направляется на небольшой объем воздуха перед передатчиком, а приемник помещается в том же блоке и ниже источника света. На практике для измерения MOR он не используется, так как корреляция между коэффициентом обратного рассеяния и MOR оказалась неудовлетворительной.

Приборы для измерения рассеяния по широкому углу (интегрирующие нефелометры) для измерения MOR, как правило, не применяются, а используются для измерения количества загрязняющих веществ.

Связь между показателем ослабления и метеорологической оптической дальностью вытекает из закона Бугера-Ламберта и выражается формулой “Кошмидера”. Однако с помощью приборов прямого и обратного рассеяния показатель ослабления непосредственно не измеряется.

Измерители прямого рассеяния в отличие от трансмиссометров (фотометров) производят измерения в значительно меньшем объеме воздуха и в относительно узком диапазоне углов. Предполагается, что измеряемый коэффициент рассеяния τ пропорционален показателю ослабления s при игнорировании влияния поглощения светового потока.

2.2.3 FD12P

Принцип действия нефелометра FD12P (рис. 2.4) основан на оценке показателя ослабления светового потока в атмосфере. Это оптический прибор,

в котором излучатель и приемник крепятся на кронштейне напротив друг друга. При этом оптические оси излучателя и приемника имеют угол наклона к горизонтальной плоскости в 33 градуса. Кронштейн крепится на мачте высотой 2.5 м, которая устанавливается на бетонном фундаменте.



Рисунок 2.4 –Нефелометр FD12P

Излучатель нефелометра (табл. 2.2) состоит из инфракрасного светодиода, стабилизатора интенсивности светодиода, схемы контроля и компенсации загрязненности окна. Приемник (табл. 2.2) состоит из фотодиода типа PIN 6 DI, усилителя, фильтра, А/D конвертера, стабилизатора интенсивности фотодиода, контроллера, схемы контроля и компенсации загрязненности окна. В излучателе и приемнике линзы защищены от осадков козырьками. Линзы и козырьки, оборудованы встроенным обогревом. Интенсивность принятых импульсов светового потока измеряется и преобразуется в данные МОД с помощью запатентованного алгоритма фирмы «VaisalaOyj».[3,6]

Нефелометры FD12P управляются контроллером типа Intel 8031 и имеют набор встроенных команд и последовательных тестов для

корректировки конфигурации и контроля функций для проверки системных параметров. В приборе может быть дополнительно установлен блок LM11 определяющий яркость фона, дающий информацию о режиме работы день/ночь.

Таблица 2.2

Характеристики излучателя и приемника света

<u>Передатчик света</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Источник света: светодиод ближнего инфракрасного диапазона. - Пиковая длина волны: 875 нм. - Частота модуляции: 2,3 кГц. - Диаметр объектива передатчика: 71 мм. - Эталонный фотодиод: для управления источником света. - Фотодиод обратного рассеяния: для измерения загрязнения и блокировки.
<u>Приемник света:</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Фотодиод: PIN 6 DI - Спектральная характеристика: максимальная чувствительность при 850 нм, 0,55 А/Вт - Диаметр приемной линзы: 71 мм - Источник обратного рассеяния: вблизи -инфракрасный светодиод для измерения загрязнения и блокировки.

Нефелометр FD12P выпускаются в двух исполнениях FD12, FD12P. В исполнении FD12P установлен детектор дождя типа RAINCAP, который в совокупности с измерением МДВ дают информацию о типе погоды (табл. 2.3) в кодированном виде.[3]

Нефелометр FD12P работают круглосуточно, данные о проведенных измерениях (табл. 2.4) передаются через определенные временные интервалы или по запросу. Для обмена информацией имеются последовательные

интерфейсы RS-232, RS-485. [3,6] При использовании модемов нефелометр FD12P может быть удалены от обслуживающего терминала или ПК на расстояние до 10 км.[3]

Таблица 2.3

Технические характеристики датчиков погоды

Чувствительность обнаружения осадков	- 0,05 мм/ч
Идентификация типа погоды:	- 11 различных типов осадков - туман и дымка (дым, песок)
Измерение интенсивности осадков:	- диапазон 0,00 - 999 мм/ч - точность при жидких осадках ± 30 % (в диапазоне 0,5 - 20 мм/ч)
Диапазон рабочей влажности:	- до 100 % относительной влажности
Скорость ветра:	- до 60 м/с (стандартная мачта)
Ориентация на солнце:	следует избегать попадания прямых и отраженных солнечных лучей в светоприемник

Таблица 2.4

Характеристики измерения видимости

Диапазон измерения метеорологической дальности видимости:	10 - 50 000 м по порогу контрастности 5 %
Погрешность:	10 %, диапазон 10 - 10 000 м 20 %, диапазон 10 000 - 50 000 м
Постоянство прибора:	±4 %
Интервал обновления:	15 секунд

2.2.4PWD 22

Принцип действия нефелометров PWD 22 (рис. 2.5) основан на измерении интенсивности рассеянного излучения в атмосфере. Интенсивность рассеянного излучения обратно пропорциональна МДВ.



Рисунок 2.5 –Нефелометр PWD22

Нефелометры PWD выпускаются в следующих модификациях: PWD10, PWD12, PWD20, PWD22, PWD50 и PWD52. Модификации отличаются чувствительностью приемника и, соответственно, диапазоном измерений МДВ (табл. 2.5), а также наличием дополнительных сервисных функций.

В нефелометрах излучатель и приемник крепятся на кронштейне напротив друг друга так, чтобы их оптические оси были направлены под углом 42 градуса к горизонтальной плоскости. Кронштейн крепится на мачте, которая устанавливается на фундаменте.

Нефелометры PWD состоят из измерительного блока, интерфейсного блока, мачты. Излучатель (табл. 2.6) состоит из инфракрасного светодиода, стабилизатора интенсивности светодиода, схемы контроля и компенсации загрязненности окна. Приемник представляет собой фотодиод типа PIN 6 DI, с усилителем, оптическим фильтром, А/D конвертером, стабилизатором интенсивности фотодиода, контроллером, схемой контроля и компенсации загрязненности окна. В излучателе и приемнике линзы защищены от осадков козырьками. Линзы и козырьки оборудованы встроенным обогревом. [1]

Таблица 2.5

Характеристики измерения видимости

Диапазон измерения метеорологической дальности видимости:	10 - 20 000 м
Точность:	10 %, диапазон 10 - 10 000 м 15 %, диапазон 10 000 -20 000 м
Постоянство прибора:	+5 %
Интервал обновления:	5 секунд

Таблица 2.6

Характеристики излучателя и приемника PWD 22

Источник света:	светодиод ближнего инфракрасного диапазона
Пиковая длина волны:	875 нм
Эталонный фотодиод:	для управления источником света
Фотодиод обратного рассеяния:	для измерения загрязнения и блокировки

Интенсивность принятых импульсов светового потока измеряется и преобразуется в данные МОД встроенным программным обеспечением «PWD22H.108» с помощью запатентованного алгоритма фирмы «VaisalaOyj». Далее, данные МДВ передаются в интерфейсный блок для передач на обслуживающий терминал или ПК.

Нефелометры PWD работают круглосуточно, сообщения о проведенных измерениях (табл. 2.7) передаются через определенные временные интервалы или по запросу. Для обмена информацией имеются последовательные интерфейсы RS-232, RS-485. При использовании модемов нефелометры PWD могут быть удалены от обслуживающего терминала или ПК на расстояние до 10 км. [1]

Таблица 2.7

Технические характеристики датчиков погоды

Чувствительность обнаружения осадков	- 0,05 мм/ч
Измерение интенсивности осадков:	- диапазон 0,00 - 999 мм/ч
Точность при жидких осадках	$\pm 30\%$ (в диапазоне 0,5 - 20 мм/ч)
Диапазон рабочей влажности:	- до 100 % относительной влажности
Скорость ветра:	-до 60 м/с (стандартная мачта)
Ориентация на солнце:	следует избегать попадания прямых и отраженных солнечных лучей в светоприемник.

3 Оценка точности данных КРАМС-4

3.1 Анализ исходной информации

Полученные данные за 2021 год от Института радарной метеорологии по различным датчикам метеорологической дальности видимости, расположенных на двух ВПП находящихся параллельно друг другу. Датчики имеют различную дискретность (рис. 3.1).

1. fd12p (15 сек)
2. pwd 22 (15 сек)
3. fs11 (15 сек)
4. lt31(15 сек)
5. pwd22(5 сек)
6. cf01 (15 сек)
7. cf01 (5 сек)
8. cs120 (15 сек)

Рисунок 3.1 – Источники исходной информации: датчики МДВ и дискретность их данных

После анализа полученных данных было выделено два датчика, которые при самоанализе выдавали сбой, PWD 22 (под номером 2) и cs120. Данные датчики были исключены из анализа и обработки данных, так как могут выдавать некорректные данные.

Самыми интересными датчиками оказались FD12P и PWD 22 (под номером 5) которые помимо дальности видимости, фиксируют также погодные явления.

Датчики fs11 и fs31показывают видимость на одной ВПП.

3.2 Обработка исходной информации

После преобразования данных в удобную форму для анализа и восприятия мы получили таблицу более чем на 2000000 строк. Дискретность данных составила 5 и 15 секунд.

Данное количество было невозможно анализировать с помощью excel. Выходом из данной ситуации стала программа, написанная на языке программирования“Python”. Убрав некорректную излишнюю информацию, мы получили данную таблицу по датчику fd12p (рис. 3.2).

	Д.База	Сред 10	Сред 02	Сред 08	Явление	Состояние	Time
0	1553.0	1405.3	1513.6	1374.8	0.0	НОРМА	2021-01-01 00:00:10
1	1605.0	1413.5	1506.4	1387.4	0.0	НОРМА	2021-01-01 00:00:25
2	1546.0	1419.2	1496.3	1397.5	0.0	НОРМА	2021-01-01 00:00:40
3	1457.0	1422.3	1491.8	1402.7	0.0	НОРМА	2021-01-01 00:00:55
4	1336.0	1421.7	1485.9	1403.7	0.0	НОРМА	2021-01-01 00:01:10
...
2101471	50000.0	49728.5	49834.3	49698.8	0.0	НОРМА	2021-12-31 23:58:45
2101472	50000.0	49728.5	49834.3	49698.8	0.0	НОРМА	2021-12-31 23:59:00
2101473	50000.0	49728.5	49834.3	49698.8	0.0	НОРМА	2021-12-31 23:59:15
2101474	50000.0	49728.5	49834.3	49698.8	0.0	НОРМА	2021-12-31 23:59:30
2101475	50000.0	49728.5	49834.3	49698.8	0.0	НОРМА	2021-12-31 23:59:45

Рисунок 3.2 – Результат представления программой данных fd12p

У fd12p нет ближней и дальней базы так как принцип действия нефелометра не подразумевает наличие ближней и дальней базы, но программа написана для разных приборов и шаблон заполнения одинаковый для нефелометров и трансмиссометров. По этой причине МДВ показывается в столбце “Д.База”. Первый столбец показывает порядковый номер изменения за текущие сутки. Столбцы “сред 10”, “сред 02”, “сред 08” показаны средние

значения за 2, 8 и 10 сроков наблюдения. В столбце явления, кодирует погодные. Столбец состояние показывает корректность работы данного прибора и состояние и датчика.

Из полученных данных был выделены данные столбца погодных явлений, по которому было построена таблица 3.1.

Таблица 3.1

Явления погоды (fd12p)

Явление	fd12p							
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
0	1507094	19100	2562	106	20000	20000	20000	20000
4	141	14714	7067	961	7283	20000	20000	20000
10	169524	6276	3105	85	3814	6291	8373	20000
30	2107	475	252	117	288	431	594	2003
31	453	4736	7420	143	518	1277	2277	20000
32	3167	657	394	131	414	583	816	4930
33	5889	458	306	115	263	331	576	2645
34	9125	540	777	85	288	449	672	20000
40	3398	11838	6422	225	6076,75	11137	20000	20000
41	12390	6893	5883	222	2517,25	4302,5	9572,75	20000
42	346	1400	852	320	885,75	1193,5	1745,5	11741
51	39738	13682	6279	184	7994	15048	20000	20000
52	18567	9685	4818	998	5798	9047	12712,5	20000
53	118	5866	2022	3406	4304	4960	7444,25	10559
54	3020	4873	4226	328	2333,75	3326	5801,5	20000
61	61041	10223	5406	173	5986	8953	13785	20000
62	13429	4862	2069	558	3377	4558	5965	20000
63	1661	2038	903	145	1423	1988	2623	6630
64	1607	4972	5619	205	1255	2453	6610	20000
65	45	1648	1134	134	816	946	2963	3461
67	8033	4978	3758	202	2610	3684	5988	20000
68	815	3148	1475	564	2203	2917	3793	11553
71	186917	5870	4995	128	1985	4071	8504	20000
72	9550	617	198	80	480	594	730,75	2857
73	2426	356	97	105	290	354	419	838
74	5645	3249	2692	80	1562	2374	3953	20000
75	425	806	334	336	547	766	964	2557
77	30410	10285	5715	224	5282	9704	14614,5	20000
78	4339	13652	5277	432	10129,5	13840	19412	20000

В таблице 3.1 представлены 27 явлений погоды, которые фиксирует данный датчик. Первый столбец показывает значение кода, под которым подразумеваются явления погоды. Во втором столбце (“count”), показывается сколько раз данное погодное явления зафиксировал датчик за 2021 год. В третьем столбце (“mean”) показано среднее значение дальности видимости за время наблюдения данного явления. В четвёртом столбце (“sdt”) показано среднеквадратичное отклонение от среднего значения. В пятом столбце (“min”) представлены минимальные значения дальности видимости при данном явлении. В столбцах шесть, семь и восемь (25,50,75) представлены значения квантилей. В девятом столбце (“max”) представлены максимальные значения дальности видимости при данном явлении.

Из полученных данных была построена диаграмма (рис. 3.3), показывающая, насколько сильно погодные явления влияют на МДВ. Данная диаграмма помогает визуализировать разницу в распределении значений видимостей и средних значениях, показанных в таблице 3.1.

На диаграмме показаны значения квантилей, 25% - нижняя граница бокса, 50% - полоска в боксе, 75% - верхняя граница бокса. Сплошная вертикальная линия показывает разброс по дальности видимости. Белые ромбы показывают среднее значение дальностей видимости. Чёрные ромбы показывают “выбросы”.

По диаграмме явно видно, что среднее значение МДВ, погодного явления с кодировкой 68 имеет сильно меньшее среднее значение дальности видимости явления 31 (на 1588 м.). Если сравнивать данные по квантилям, то можно заметить, что 50% значений у явления 68 с большей видимостью. Из этого мы можем понять, что небольшое количество “выбросов” в 31 явлении сильно поднимают среднее значение видимости, тогда как 68 явления 50% значений и среднее значение дальности видимости находится сильно ближе друг к другу с разницей всего в 231 метр и показывают более точную картину.

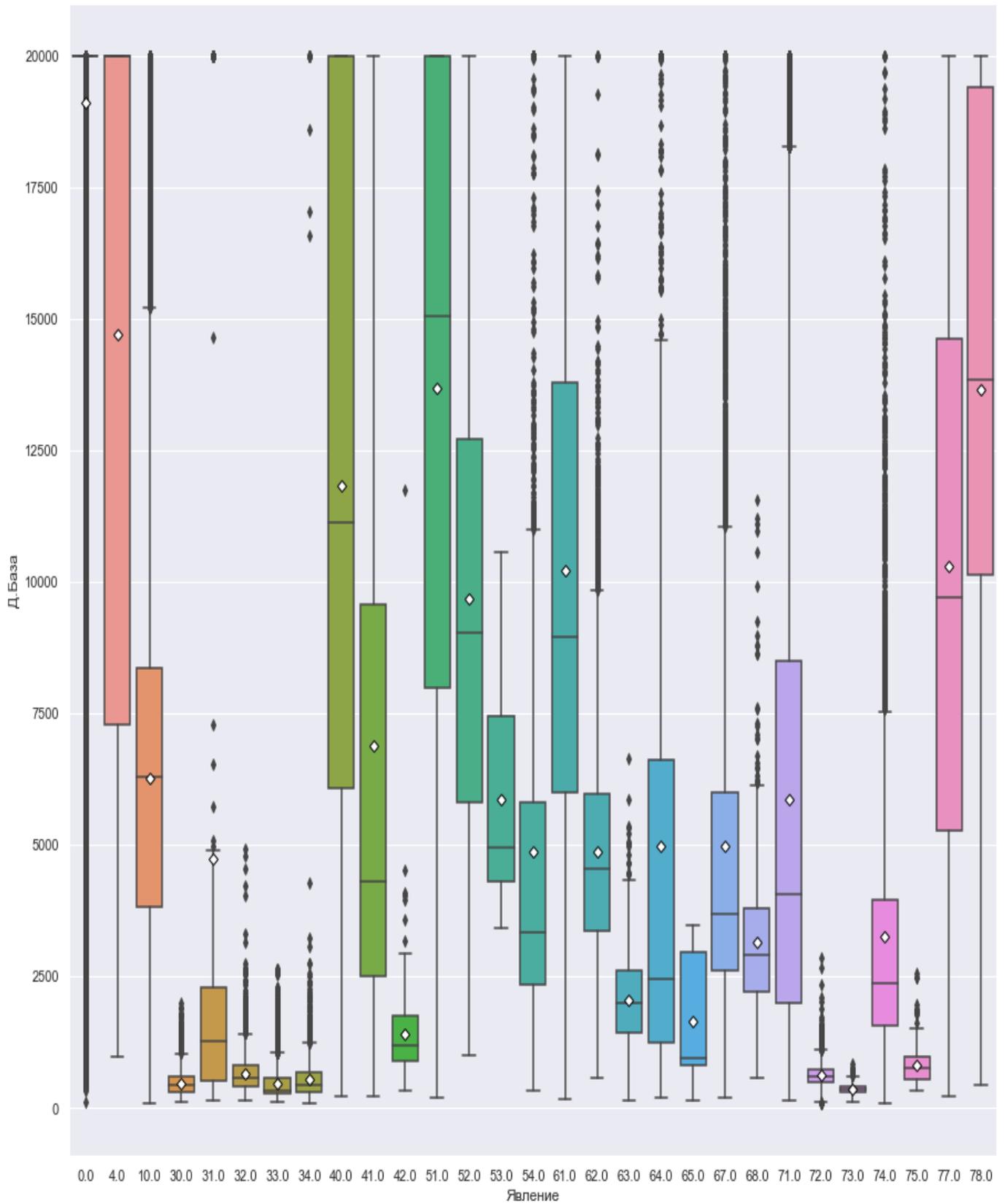


Рисунок 3.3 – Диаграмма явлений погоды зафиксированных fd12p за 2021 г.

Обработка данных с датчика PWD22 проходила схожим способом. Все данные были собраны в таблицу (рис. 3.4), столбцы которой полностью совпадают с таблицей по датчику fd12p (рис. 3.2). Основным отличием является дискретность, которая составляет у данного датчика 5 секунд. По этой причине, количество данных превысило 8 000 000 строк.

	Д.База	Сред 10	Сред 02	Сред 08	Явление	Сост	Time
0	1857.0	1818.0	2097.5	1746.0	10.0	НОРМА	2022-01-01 00:00:00
1	1857.0	1817.8	2090.5	1747.5	10.0	НОРМА	2022-01-01 00:00:05
2	1857.0	1817.5	2083.4	1748.9	10.0	НОРМА	2022-01-01 00:00:10
3	2008.0	1817.5	2081.0	1749.1	10.0	НОРМА	2022-01-01 00:00:13
4	2008.0	1818.7	2073.0	1753.1	10.0	НОРМА	2022-01-01 00:00:15
...
8403876	20000.0	20000.0	20000.0	20000.0	0.0	НОРМА	2022-12-31 23:59:44
8403877	20000.0	20000.0	20000.0	20000.0	0.0	НОРМА	2022-12-31 23:59:47
8403878	20000.0	20000.0	20000.0	20000.0	0.0	НОРМА	2022-12-31 23:59:49
8403879	20000.0	20000.0	20000.0	20000.0	0.0	НОРМА	2022-12-31 23:59:55
8403880	20000.0	20000.0	20000.0	20000.0	0.0	НОРМА	2022-12-31 23:59:59

Рисунок 3.4 – Результат представления программой данных PWD22

Первый столбец показывает порядковый номер изменения за текущие сутки. Второй столбец показывает дальность видимости за определённый срок. Столбцы “сред 10”, “сред 02”, “сред 08” показаны средние значения за 2, 8 и 10 сроков наблюдения. В столбце явления, кодирует погодные. Столбец состояние показывает корректность работы.

Для удобства последующего сравнения, было решено понизить максимально допустимую дальность видимости данного датчика до 20 000метров (Все значения, превышающие данное значения, были приведены к 20 000м).

Выделенные данные по погодным явлениям вынесены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Явления погоды (PWD22)

Явление	PWD22							
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
0	6173152	19348,3	2037,792	0	20000	20000	20000	20000
1	16	10457,81	9251,146	0	1375,25	10340,5	20000	20000
2	22	552,6364	167,3549	77	471,75	549	688	772
3	1	494		494	494	494	494	494
4	36722	6796,162	3068,192	26	4610	6996	8800	20000
5	2831	712,6341	430,3473	338	534,5	678	840	20000
6	2	2291	179,6051	2164	2227,5	2291	2354,5	2418
7	24	2202,792	1397,592	2	779	2366	3557	4295
8	9	11202,22	10433,94	0	200	20000	20000	20000
10	557788	6091,342	3039,296	119	3668	6004	8226	20000
30	64118	580,5638	550,6812	112	352	497	729	17113
41	208	14838,23	4940,489	4225	11270,5	14628,5	20000	20000
51	143230	12802,83	7233,283	264	5407	14254	20000	20000
52	19016	15538,75	6222,064	716	9963	20000	20000	20000
53	287	10546,37	7218,568	2151	4115	7006	20000	20000
54	2827	6236,432	4878,255	1133	3224	4284	7046,5	20000
61	407690	11828,08	6204,765	215	6618	11173,5	19273	20000
62	35761	4799,388	2970,881	411	2779	4008	5888	20000
63	4861	1846,593	1576,823	312	1039	1450	2234	20000
64	1364	8237,575	5971,21	1583	3424	5394	12115	20000
67	52758	9982,194	6228,486	298	4732	8127	15524	20000
68	3573	3320,402	1420,579	896	2128	3135	4372	8772
71	851052	8180,042	6716,156	200	2385	5442	13793	20000
72	35094	759,3024	212,3267	233	603	740	898	1807
73	10053	399,3606	103,4041	116	327	397	470	793
74	919	3690,423	3621,506	1525	2140	2665	3769	20000
86	1	389		389	389	389	389	389

В таблице 3.2 представлены 27 явлений погоды в строках. Первый столбец показывает значение кода, под которым подразумеваются явления погоды. Во втором столбце (“count”), показывается сколько раз данное

погодные явления зафиксировал датчик за 2021 год. В третьем столбце (“mean”) показано среднее значение дальности видимости за время наблюдения данного явления. В четвертом столбце (“sdt”) показано среднеквадратичное отклонение от среднего значения. В пятом столбце (“min”) представлены минимальные значения дальности видимости при данном явлении. В столбцах шесть, семь и восемь (25,50,75) представлены значения квантилей. В девятом столбце (“max”) представлены максимальные значения дальности видимости при данном явлении.

В таблице 3.2 есть 2 явления, с кодировками 3 и 86, которые были зафиксированы всего 1 раз за год. Данные квадратичного отклонения у таких явлений отсутствуют.

Из полученных данных была построена диаграмма (рис. 3.5), показывающая, насколько сильно погодные явления влияют на МДВ. Данная диаграмма помогает визуализировать разницу в распределении значений видимостей и средних значениях, показанных в таблице 3.2.

В данной диаграмме можно увидеть, диапазон дальностей видимости при каждом явлении большой. Сильно выделяется явление с кодировкой 74, в котором среднее значения видимостей находится очень близко к 75% квантилю, что показывает, что почти 75 % значений являются меньше среднего, но также, есть и значения сильно больше среднего, благодаря которым и возникает данная ситуация.

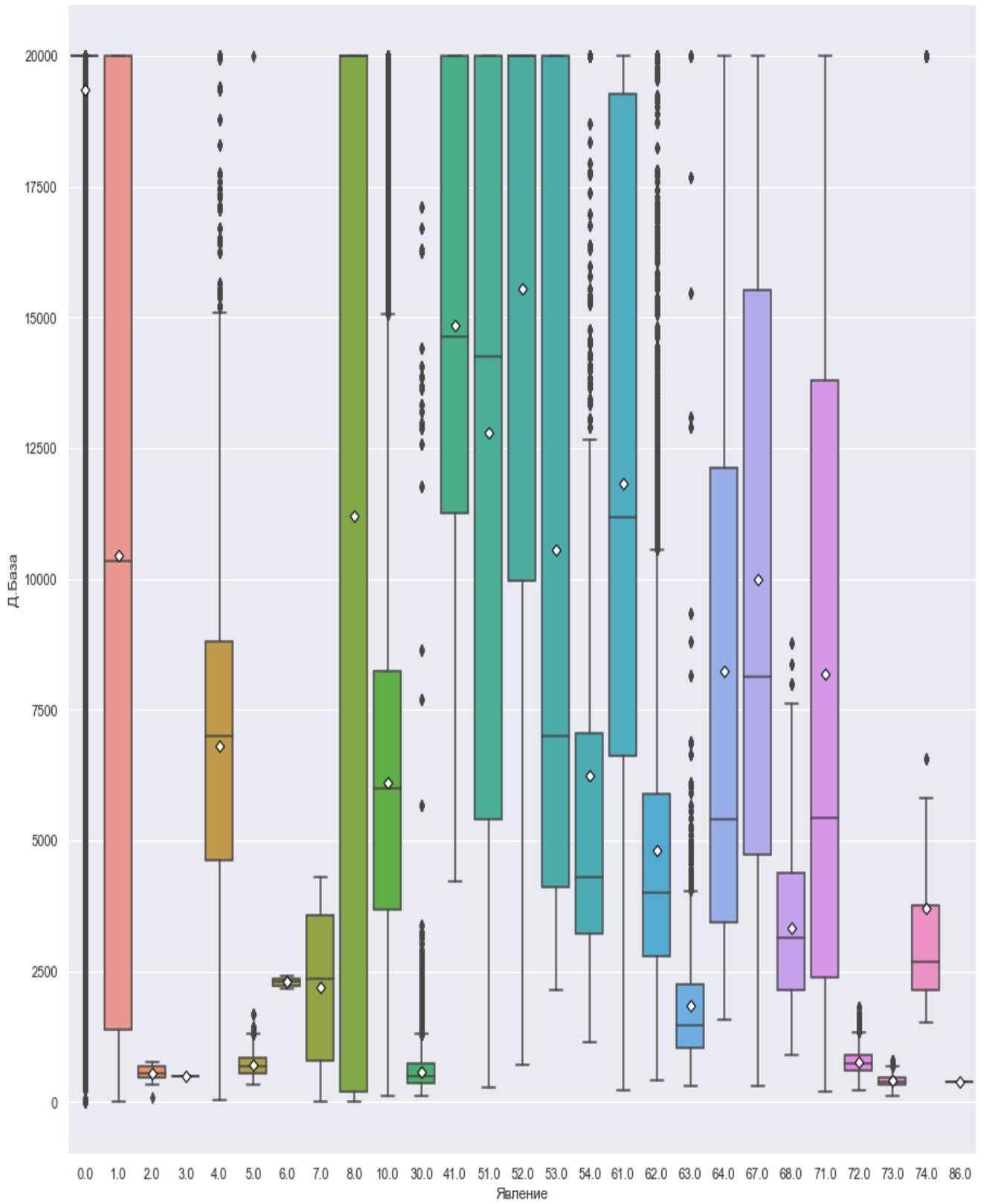


Рисунок 3.5 – Диаграмма явлений погоды зафиксированных PWD22 за 2021 г.

3.3 Сравнение показаний fd12p и PWD22

Для сравнения получившихся данных с двух датчиков была составлена таблица 3.3, которая содержит только те погодные явления, которые могут зафиксировать оба датчика.

Таблица 3.3

Данные фиксации явлений погоды fd12p и PWD22

Явление	Среднее значение		резница	Среднеквадратичное отклонение		резница
	fd12p	pwd22		fd12p	pwd22	
4	14714	6796	7918	7067	3068	3999
10	6276	6091	184	3105	3039	66
30	475	581	105	252	551	299
41	6893	14838	7945	5883	4940	942
51	13682	12803	879	6279	7233	955
52	9685	15539	5853	4818	6222	1404
53	5866	10546	4680	2022	7219	5197
54	4873	6236	1364	4226	4878	652
61	10223	11828	1605	5406	6205	798
62	4862	4799	62	2069	2971	902
63	2038	1847	191	903	1577	673
64	4972	8238	3266	5619	5971	352
67	4978	9982	5004	3758	6228	2471
68	3148	3320	172	1475	1421	55
71	5870	8180	2310	4995	6716	1721
72	617	759	143	198	212	14
73	356	399	44	97	103	6
74	3249	3690	442	2692	3622	929

В первом столбце таблицы 3.3 представлены значения код погодного явления погоды. Во втором и третьем столбце приведены средние значения МДВ при определённом явлении с датчиков fd12p и PWD22 (в метрах). В четвёртом столбце приведен разрыв между средними значениями датчиков. В пятом и шестом столбце представлены среднеквадратическое отклонение. В

седьмом столбце приведён разрыв между среднеквадратическими отклонениями датчиков.

Для более лёгкого восприятия данных, по таблице было построено две диаграммы и один график.

На рисунке 3.6 по горизонтальной оси представлены коды явлений погоды. По вертикальной оси показаны средние значения дальности видимости. Синим цветом показываются данные с датчика fd12p. Бордовым цветом показываются данные с датчика PWD 22.



Рисунок 3.6 – Средние значения видимости и соответствующие ей явления погоды по датчикам fd12p и PWD 22

По данной диаграмме видно, что в большинстве случаев среднее значения на датчике PWD 22 превышает среднее значение датчика fd12p. Однако, в явление с кодировкой 4, среднее значение дальности видимости на датчике fd12p сильно превышает среднее значение на датчике PWD 22. По

данной причине можно сделать вывод, что различие в определении среднего значения видимости не является линейным и датчик fd12p не всегда показывает результат меньше датчика PWD 22.

В диаграмме (рис. 3.7) по горизонтальной оси показаны коды метеорологических явлений. По вертикальной оси показывается среднеквадратичное отклонение. Синим цветом показываются данные с датчика fd12p. Бордовым цветом показываются данные с датчика PWD 22.



Рисунок 3.7 – Среднеквадратичное отклонение и явления погоды по датчикам fd12p и PWD 22

По данной диаграмме также можно заметить, что среднеквадратичное отклонение в большинстве меньше у датчика fd12p.

Данная диаграмма показывает, что датчик PWD 22 фиксирует явления погоды в большем диапазоне. В данной диаграмме явным исключениям

является явление с кодировкой 4, в котором датчик fd12p имеет сильно большее среднеквадратичное отклонение.

На графике (рис. 3.8) по горизонтальной оси показаны коды метеорологических явлений. По вертикальной оси расхождения в значениях (в метрах). Синим цветом показывается расхождение в среднем значении дальности видимости. Бордовым цветом показывается расхождение среднеквадратического отклонения.



Рисунок 3.8 – Расхождения показаний датчиков fd12p и PWD 22

Данный график (рис. 3.8) показывает нам, что расхождение среднего значения дальности видимости, чаще всего, больше, чем в среднеквадратичном отклонении.

Вывод

При анализе датчиков метеорологической дальности видимости fd12p и PWD 22 были замечены некоторые различия в получаемых данных. Оба датчика фиксируют различные погодные явления, по возникают различия, при определении дальности видимости. Датчик fd12p в большинстве случаев показывает меньшее среднее значение дальности видимости при определённом явлении. Также, данный датчик начинает фиксировать погодные явления при меньшей видимости чем PWD 22.

Из этого можно сделать вывод, что датчик PWD 22 при меньшем ухудшении видимости начинает фиксировать погодные явления, что может позволить немного раньше принять защитные меры. Однако, точность датчика PWD 22 является меньше, чем у fd12p.

Датчик fd12p может не зафиксировать слабое погодное явление, диапазон дальности видимости у данного датчика по зафиксированном погодном явлении является меньше, из чего следует, что он точнее может определить видимость при погодных явлениях, которые сильно ухудшают видимость.

Оба датчика хорошо выполняют свою задачу и корректно определяют дальности видимости.

Заключение

Каждый датчик, подключаемый к КРАМС-4 определяет метеопараметр по-своему. Даже датчики, имеющие схожий принцип работы, могут выдавать различные значения.

В работе были выделены два датчика и проанализированы данные, полученные с них. Оба датчика корректно определяют метеорологические явления, и отображают дальность видимости. Но нужно понимать, что КРАМС-4 является аэродромной станцией, что подразумевает необходимость получение максимально оперативной информации. Чем раньше будет зафиксировано то или иное погодное явление, тем лучше будет возможность начать принимать защитные меры и оповещение лётного состава.

В оперативности определения погодных явлений, лучшим образом показал себя датчик PWD 22. По этой причине, датчик PWD 22 лучше подходит для КРАМС – 4 чем fd12p.

При выполнении оценки точности КРАМС-4 были

- рассмотрены основные метеорологические параметры необходимые для нужд авиации и системы, собирающие и обрабатывающие данные параметры;
- изучен принцип работы различных приборов, которые могут входить в измерительный компонент КРАМС-4 для получения данных о видимости;
- подготовлены постустановочные данные по дальности видимости и явлениям погоды для проведения исследования;
- выявлены и классифицированы основные явления погоды, определявшиеся датчиками станции;
- на основе исследования архивной информации за 2021 год проведён подробный разбор и анализ датчиков, определяющих дальность видимости и выявлены положительные и отрицательные стороны каждого из них;

- проведена оценка точности измеренных значений дальности видимости и явлений погоды путем сравнения информации с различных датчиков, установленных в одном месте;
- даны рекомендации по использованию датчика, наиболее подходящего для размещения в КРАМС.

Список использованных источников

1. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений, Издание 2008 г. Обновлено в 2010 г.
2. Свидетельство об утверждении типа средств измерений № 49528, 2017 год — 46 с
3. Weather Sensor FD12P user's guide m210296en-A .May 2002 — 25 с
4. Приложение к свидетельству № 66549 об утверждении типа средств измерений — 1 с
5. Л.И. Дивинский, А.Д. Кузнецов, А.С. Солонин, Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС-4, 2010 год, - 80 с.
6. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова. — Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 170 с.
7. Руководство по определению дальности видимости на ВПП Издание 2006 г. – 28 с.