



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 «Исследование метеорологического режима Ленинградской области в зимний период на примере АДМС Воейково»

Исполнитель **Чупина Елизавета Игоревна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой

(подпись)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

29» мая 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Введение	3
1 Автоматические станции. Правила установки	5
2 Автоматическая автодорожная метеорологическая станция «Vaisala ROSA»	8
2.1 Элементы и датчики, входящие в состав дорожной метеорологической станции	9
2.1.1 Датчик температуры и влажности HMP45A/D	10
2.1.2 Датчик видимости и фактической погоды PWD11/PWD12	13
2.1.3 Датчик измерения параметров ветра (анемометр WAA151, флюгер WAV 151)	15
2.1.4 Датчик состояния дороги DRS511	19
2.1.5 Датчик атмосферного давления PTB100A	21
3 Работа по формированию архива	23
3.1 Исходные данные	23
3.2 Форматирование и первичная обработка архива	24
4 Исследование метеорологического режима Ленинградской области в зимний период на примере АДМС Воейково	27
4.1 Температурный режим	27
4.2 Режим атмосферного давления	32
4.3 Режим изменчивости осадков	34
4.4 Режим относительной влажности воздуха	36
4.5 Направление ветра	38
Заключение	41
Список использованных источников	43

Введение

Все больше автоматических станций появляется на метеорологической сети. Такие станции позволяют обеспечить метеоинформацией различные отрасли: лесную, сельскохозяйственную, транспортную и др. Помимо решения специальных задач по метеообеспечению такие станции дают возможность исследовать метеорологический режим в точке установки. На основе данных станций специального назначения можно проводить исследования метеорологического режима и климатической изменчивости района, проверять точность метеорологических прогнозов и апробировать результаты моделирования.

Наиболее часто можно встретить дорожные автоматические станции, поскольку в современном обществе автотранспорт играет важную роль в жизни людей, а частота установки станций напрямую связана с увеличением точности прогноза появления гололедных явлений на дороге. Особенно это актуально в зимний период, ведь зимние условия эксплуатации дорог значительно усложняют процесс движения и повышают риски для безопасности участников дорожного движения.

Значимость установки метеорологических станций на дорогах заключается в том, что их данные и составленные на их основе прогнозы позволяют предотвратить многие аварии, связанные с непогодой, и обеспечить эффективное управление дорожным движением, что в свою очередь повышает безопасность на дорогах и снижает затраты на обслуживание дорожной инфраструктуры. Метеорологическое обеспечение является важной составляющей безопасности дорожного движения и способствует уменьшению рисков на дорогах в зимний период.

В данной выпускной работе будет проведено исследование метеорологического режима Ленинградской области в зимний период на примере данных дорожной автоматической станции, установленной на экспериментальном полигоне ООО «ИРАМ».

Среди поставленных задач можно выделить следующие:

- изучение задач дорожного метеомониторинга;
- сбор информации о дорожной метеорологической станции, данные которой использованы в работе;
- подготовка описания места установки дорожной станции и средств измерений, входящих в ее состав;
- сбор метеоинформации, ее формирование и подготовка метеоданных для анализа;
- исследование температурного режима, режима давления и осадков, влажности и направления ветра в месте установки станции.

1 Автоматические станции. Правила установки

Автоматические дорожные станции (АДС) – это комплексное оборудование, используемое для сбора, обработки и передачи информации о состоянии дорожных настилов, движении транспорта и других параметрах дорожной инфраструктуры.[1]

Установка АДС на дорогах позволяет управлять транспортным потоком, создавать эффективные системы контроля и улучшать качество дорожной сети.

Установка АДС производится на специальных мачтах или стойках, которые размещаются вблизи автодорог, на каком-то расстоянии от проезжей части, чтобы избежать повреждения устройств автотранспортом (рис. 1.1). Кроме того, метеорологические станции должны быть расположены на открытых поверхностях без препятствий, чтобы обеспечить точность измерений.



Рисунок 1.1 – АДС размещенная вблизи автодороги

В состав АДС могут входить следующие компоненты:

- датчики – используются для измерения температуры, влажности, скорости ветра, уровня осадков и других параметров окружающей среды;
- камеры – позволяют собирать информацию о состоянии дорожного полотна (рис. 1.2) и транспортных средствах, а также определять нарушения правил дорожного движения;
- радиостанции – необходимы для передачи данных между АДС и центральным сервером, а также для организации беспроводной связи между различными компонентами системы;
- блоки питания – обеспечивают электропитание всей системы.

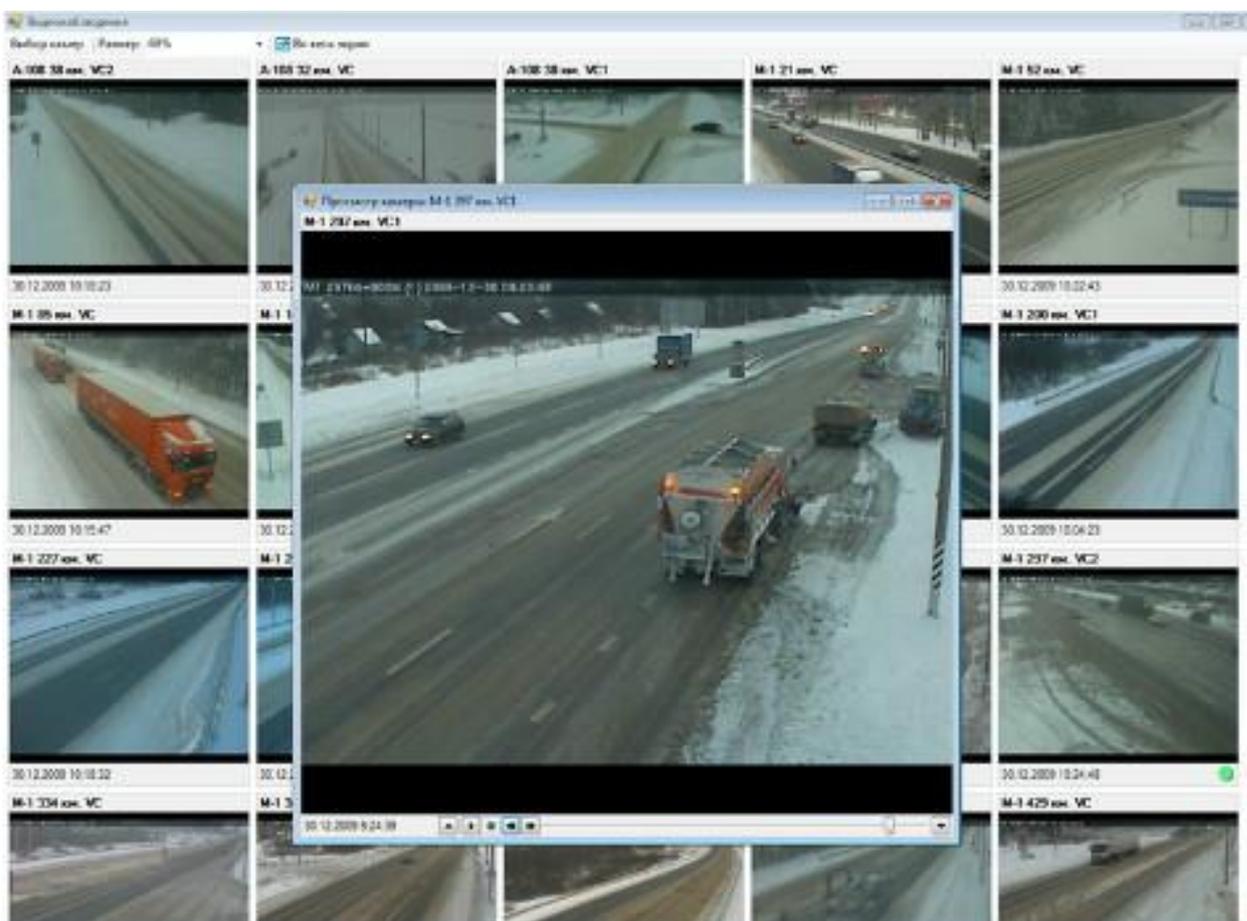


Рисунок 1.2 – Картинка с камер сети АДС

Использование АДС на дорогах дает возможность автоматизировать процесс сбора и обработки информации, что позволяет снизить затраты на обслуживание дорожной инфраструктуры и повысить ее эффективность.

Однако при установке АДС необходимо учитывать многие факторы, такие как географические и климатические особенности, плотность транспортного потока, наличие других дорожных объектов и др., чтобы обеспечить максимальную эффективность и точность работы системы.

Основными задачами дорожного метеорологического обеспечения являются:

- мониторинг климатических условий вдоль автодороги;
- сбор данных о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна;
- выявление критических метеоусловий (лед, снег, сильный дождь, туман, дым, сильные порывы ветра);
- автоматическое предупреждение о метеоусловиях и состоянии дорожного полотна служб организации дорожного движения и дорожных служб;
- незамедлительное информирование водителей посредством информационных табло, знаков ограничения скорости и других предупреждающих знаков об ухудшении погодных условий, наступления опасных явлений погоды, появления гололеда и других факторов, снижающих сцепление колес с дорогой.

Установка метеорологических станций на дорогах должна производиться в соответствии с нормами и правилами, установленными соответствующими органами. Кроме того, станции должны быть оборудованы надежными системами питания, защитой от перегрузок и коротких замыканий, а также местными системами резервирования, которые позволят продолжать работу станции в случае отключения центрального питания.

2 Автоматическая автодорожная метеорологическая станция «Vaisala ROSA»

Дорожная метеорологическая станция «Vaisala ROSA» (рис. 1.1) – это метеорологическая станция, специально разработанная для установки на дорогах и обеспечения информацией о погодных условиях для управления дорожным движением и обслуживания дороги. [2]



Рисунок 2.1– Дорожная метеостанция ROSA

Vaisala ROSA поставляется в различных конфигурациях, в зависимости от требований заказчика. Она может быть оснащена датчиками для измерения температуры воздуха, влажности, наличия и интенсивности осадков, температуры поверхности дороги и прочих важных параметров.

Кроме того, ROSA может быть дополнена системами видеонаблюдения, которые позволяют получать видеоизображение дороги и транспорта и использовать его для контроля за состоянием дороги и общей ситуацией на дороге.

ROSA оснащена уникальной технологией Vaisala для измерения температуры дорожного покрытия, что позволяет обеспечить высокую точность измерений и надежность работы. Кроме того, ROSA использует дополнительные параметры, такие как индекс опасности скольжения, для выдачи специфических предупреждений о погодных условиях и рекомендаций для организаций, управляющих дорожным движением.

Станция может использоваться как часть сети метеорологической информации или автономно обеспечивать мониторинг погоды.

Метеорологическая станция ROSA может быть подключена к централизованной системе управления дорожным движением, что позволяет операторам дорожного движения моментально реагировать и снижать риск аварийности на дорогах. В целом, ROSA обеспечивает эффективный и точный мониторинг погодных условий для управления дорожным движением, повышения безопасности и комфорта на дорогах, а также сохранения дорожной инфраструктуры.[1]

2.1 Элементы и датчики, входящие в состав дорожной метеорологической станции

Средства измерения метеорологических параметров крепятся на жестко закрепленной на основании металлической конструкции (метеомачте). Там же размещается металлическая коробчатая конструкция (аппаратурный шкаф) для размещения программируемых контроллеров съема информации с метеодатчиков, преобразователей и защиты питания, интерфейсной платы, оборудования коммутации и связи, системы термостатирования и электроснабжения. Пакеты прикладных программ, необходимые для

измерения реализации алгоритмов, осуществляющих полный анализ состояния поверхности дорожного покрытия, содержит интерфейсная плата DRI521/DRI511.В состав системы ROSA входит комплект датчиков, указанный в таблице 2.1. [2]

Таблица 2.1

Состав датчиков станции ROSA

датчик влажности и температуры	HMP 45A и HMP45D
датчик видимости и фактической погоды	PWD11, PWD12
датчик параметров ветра	анемометр WAA151, флюгер WAV 151
датчик состояния дороги	DRS511
датчик атмосферного давления	PTB100A

2.1.1 Датчик температуры и влажности HMP45A/D

Датчик температуры и влажности HMP45A/D (рис.2.2) – это высокоточный метеорологический датчик. Он является одним из самых точных датчиков своего класса и широко применяется в автоматизированных метеорологических станциях, а также автономно в научных и исследовательских целях.

Датчик оборудован фильтрами для уменьшения воздействия солнечного излучения и других шумовых сигналов, которые могут повлиять на точность измерений. Имеет компактный и прочный корпус, который позволяет ему работать в самых разных условиях: как внутри помещений, так и на открытом воздухе. Использует цифровой интерфейс (I2C) для связи с другими устройствами и имеет низкое энергопотребление, что позволяет ему работать длительное время.

Конструктивно измеритель выполнен в виде пластмассового зонда, включающего головную часть и рукоятку с кабелем длиной до 3,5 м и

объединяющего преобразователи относительной влажности и температуры и вторичного измерительного блока. [3]



Рисунок 2.2– Датчик температуры и влажности НМР45А/Д

В качестве вторичного, для преобразования результатов измерений, может быть применен любой измерительный блок, осуществляющий прием информации от первичного измерителя. Вторичный блок должен иметь пределы допускаемого значения погрешности по каналу относительной влажности не более $\pm 0,1\%$ и по каналу температуры не более $\pm 0,001\text{C}$. Так же, в качестве вторичного преобразователя могут использоваться вольтметры и омметры, соответствующие этим требованиям.

Датчик относительной влажности (табл. 2.2)– сорбционно-емкостной сенсор HUMICAP180, изготовленный из тонкой полимерной пленки. В качестве датчика температуры (табл. 2.2) применен платиновый термометр сопротивления Pt100(для модификации НМР45Д), Pt1000(для модификации НМР45А), помещенный в керамический изолятор и заключенный в защитный корпус из нержавеющей стали.

Измерители НМР45А и НМР45Д имеют одинаковые выходы для влажности 01В, но выход для температуры в НМР45А активный(выход

напряжения 0-1В) и пассивный в НМР45D(выход сопротивления Pt100).
Измерение сопротивления датчика Pt100 могут проводиться по 4-х или 3-х проводной схеме.[3]

Таблица 2.2

Основные технические характеристики

Наименование характеристики	Значение характеристики	
	НМР45А	НМР45D
Диапазон измерений относительной влажности воздуха, %	0,8 ... 100	
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности по каналу относительной влажности, В при: специальной градуировке от 0,8 до 90 % свыше 90 до 100 % стандартной градуировке от 0,8 до 90 % свыше 90 до 100 %	± 1,0 ± 2,0 ± 2,0 ± 3,0	
Дополнительная абсолютная погрешность канала относительной влажности, обусловленная изменением температуры, %/°С, не более	± 0,05	
Диапазон измерений температуры воздуха, °С	минус 40 ... 60	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности по каналу температуры, °С при -40...20 °С 20...60 °С	± (0,3 – 0,005t) ± (0,1 + 0,005t)	¼ допуска кл.В по ГОСТ 6651-94 ±(0,1+0,005 t)
Выходной сигнал:	0 – 1 В	0 – 1 В; выход сопротивления Pt 100
Время установления сигнала при температуре 20 °С, не более	15 с	
Габаритные размеры, не более, мм длина диаметр	240 24	
Масса, не более, кг	0,35	
Напряжение питания, В	7 ... 35	
Потребляемая мощность, Вт	0,14	
Срок службы, лет	6	
Условия эксплуатации: диапазон температуры окружающего воздуха, °С диапазон атмосферного давления, кПа относительная влажность, не более, %	от 0 до +50 от 80 до 110 98	

где t – измеряемая температура, °С

2.1.2 Датчик видимости и фактической погоды PWD11/PWD12

Датчики видимости и фактической погоды PWD11/ PWD12 (рис.2.3)– это метеорологические датчики, которые предназначены для определения текущих погодных условий на дорогах и в аэропортах. Оба датчика имеют компактный и прочный дизайн, который позволяет им длительное время работать в сложных погодных условиях и могут быть легко установлены и настроены для работы в соответствии со специфическими требованиями.

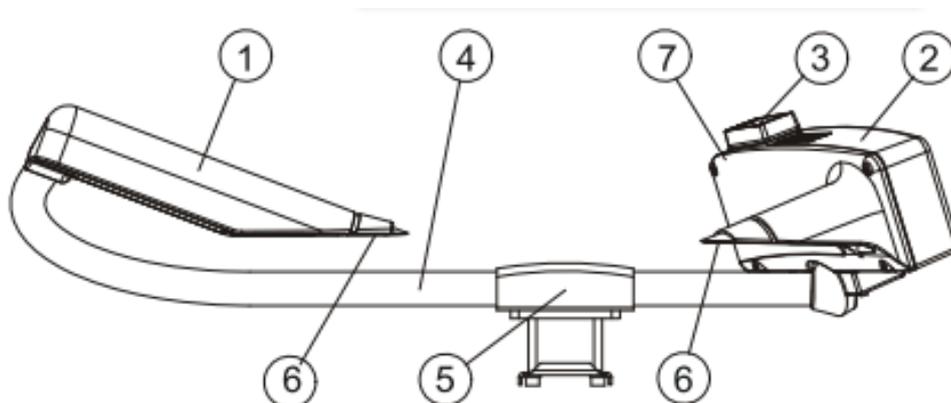


Рисунок 2.3 – Датчик текущей погоды PWD12

1. Передатчик; 2. Контроллер/ приемник;
3. Датчик дождя PWR111 Vaisala RAINCAP Rain Sensor
4. Датчик температуры Pt-100 в трубе; 5. Крепчайший зажим
6. Нагреватели колпака (дополнительно)
7. Место для датчика яркости фона Vaisala PWL111 (дополнительно)

Датчик PWD11 измеряет видимость (в диапазоне от 10 м до 2 км), интенсивность дождя и температуру воздуха. Он имеет обзорное поле в 25°, оснащен специальными сенсорами, которые могут обнаруживать дождь, снег и туман, и автоматически изменять свои настройки для определения текущих погодных условий на дороге.

В отличие от предыдущего, датчик PWD12 (табл. 2.3) имеет обзорное поле в 360° и может измерять осадки любого типа в течение 10 минут. PWD12 также оснащен системой сбора данных и передачи, позволяющей транслировать информацию о погодных условиях в реальном времени. [6]

Таблица 2.3

Основные технические характеристики

Измеряемые параметры	4 типа осадков (снег, морозящий дождь, снег с дождем, снег). Туман, смог, мгла (из-за копоты или песчаная буря), ясно
Отчеты	WMO 4680 (SYNOP), табличные коды NWS, 39 кодов, соответствующих табличными кодами WMO 4680
Измерение осадков	
Измеряемые параметры	Интенсивность осадков, количество осадков, количество нового снега
Пороговое значение чувствительности датчиков	0,05 мм/ч или менее, в течение 10 минут
Измерения видимости	
Принцип работы	Измерение по средствам рассеивания луча вперед
Диапазон измерений	10 ... 2000 м (32 ... 6500 футов)
Точность измерений	± 20 % в диапазоне измерений 10 ... 20 000 м
Параметры окружающей среды	
Рабочая температура	-40 ... +60 °C (-40 ... +140 °F)
Влажность	0 ... 100 %RH

Выходом прибора PWD12 является либо цифровой последовательный интерфейс, либо аналоговый токовый сигнал. Возможны два режима цифрового последовательного интерфейса: датчик может посылать цифровые сообщения автоматически через заданный интервал времени, либо он может отпрашиваться хост-компьютером. Та же самая последовательная линия используется также в качестве интерфейса оператора. [5]

Аналоговый токовый сигнал может использоваться для передачи информации о преобладающей видимости. В основе принципа работы три схемы управления реле, которые будут срабатывать в зависимости от определенного порога по дальности видимости.

Оператор управляет прибором и контролирует его параметры с помощью терминала обслуживания, где предусмотрен набор команд и тестирующих процедур для конфигурации и мониторинга различных функций.

В стандартных сообщениях с данными имеется символ состояния для обозначения неисправности, обнаруженной программой внутренней диагностики. Если состояние ошибки установлено, оператор может посмотреть специальное сообщение о состоянии, в котором представлены подробные результаты диагностики и описание неисправности. Получив эту информацию, оператор может сам принять меры по установлению отказа или дать совет обслуживающему персоналу.

2.1.3 Датчик измерения параметров ветра (анемометр WAA151, флюгер WAV 151)

Анемометр WAA151 (рис.2.4)– это метеорологический прибор, который предназначен для измерения скорости ветра в любых условиях. Это малоинерционный анемометр, рабочие элементы которого изготовлены из термопластичного полиамида, армированного углеродным волокном. Материал корпуса – легированный кремнием и магнием алюминий, устойчив к воздействию неблагоприятных природных факторов.

Три легковесные, конические чашки, установленные на чашечной вертушке, обеспечивают превосходную линейность во всем рабочем диапазоне до 75м/с. Вращаемый перфорированный диск, установленный на валу вертушки, прерывает луч инфракрасного света 14 раз за оборот, в результате датчик генерирует импульс на выходе фототранзистора.



Рисунок 2.4 – Анемометр WAA151

Анемометр имеет бесшумную конструкцию и небольшой размер, что делает его удобным при использовании. Он может быть легко установлен на заданной высоте и может быть использован как для наземных, так и для подвесных измерений скорости ветра. Характеристики анемометра указаны в таблице 2.4.[7]

Анемометр имеет выходные сигналы для подключения к другим устройствам, таким как компьютер или контроллер. Это позволяет пользователям получать и обрабатывать данные о скорости ветра в реальном времени и использовать их для принятия решений в различных приложениях и областях.

Основные технические характеристики

Vaisala WAA151 — Анемометр с подогревом.

- Диапазон измерения: 0,4 ... 75 м / с
- С обогреваемым валом
- Пусковой порог: 0,35 — <0,5 м / с
- Выходной сигнал прямоугольной формы 0 ... 750 Гц
- Точность: $\pm 0,17$ м / с (стандартное отклонение)
- Постоянное расстояние: 2,0 м
- Рабочий источник питания: $U_{in} = 9,5 \dots 15,5$ В постоянного тока, 20 мА типично
- Источник питания обогрева: 20 В постоянного / переменного тока, 10 Вт, номинальное значение 500 мА.
- Рабочая температура: -50 ... +55 ° С

Для предотвращения негативных воздействия низких температур анемометр оборудован системой обогрева подшипника вала. Электроэнергия на элемент подогрева подается по команде термостата, который замыкает сеть питания при снижении температуры ниже +4°С.

Произведенные испытания доказали устойчивость анемометра к вибрации, повышенной влажности и воздействию солевого тумана.

Прибор WAV151с точно определяет направление ветра, дующего со скоростью 0,4 м/с и более, с помощью малоинерционного уравновешенного низкорогового оптоэлектронного флюгера (рис.2.5). Корпус прибора изготовлен из коррозионно-устойчивого алюминиевого сплава.

Измерение направление ветра обеспечивается с помощью ИК фотопар. Инфракрасные светодиоды и фототранзисторы смонтированы на шести орбитах с каждой из сторон 6-битового диска с кодом Грея. Поворачиваемый флюгером диск вносит изменения в принимаемый фототранзисторами код.



Рисунок 2.5 – Флюгер WAV151

Разрешение выходного кода и другие характеристики флюгера показаны в таблице 2.6.[8,9]

Таблица 2.6

Основные технические характеристики

Направление ветра	
Диапазон измерений при скорости ветра 0.4 ... 75 м/с	0 ... 360°
Порог чувствительности	<0.4 м/с
Разрешение	±2.8°
Коэффициент затухания	0.19
Коэффициент превышения	0.55
Расстояние задержки	0.4 м
Точность	лучше ±3°

Для работы при пониженных температурах, устройство оснащено обогревом втулки вала. В кронштейне датчика установлен термостат,

который обеспечивает включение элемента подогрева, при снижении температуры ниже +4°C.

Надежность датчика подтверждена испытаниями в аэродинамической трубе, проверкой работы в условиях солевого тумана и вибрации.

Датчики направления ветра WAV151 могут быть использованы как самостоятельное оборудование, а могут включаться в состав комплексной метеорологической системы.[10]

2.1.4 Датчик состояния дороги DRS511

Дорожный датчик DRS511 (рис.2.6), в составе метеостанций является частью дистанционной системы мониторинга условий для предупреждений возникновения гололеда и формирования прогнозов. Такая система может использоваться как в дорожном мониторинге, определения состояния покрытия на искусственных сооружениях, например, мостах (модель DRS511B), так и для определения состояния полос на аэродроме. Эта прочная конструкция выдерживает тяжелые нагрузки дорожного трафика, позволяя установку датчика в колеи. Датчик может изнашиваться на 35-мм без внешней корректировки.

DRS511 – это мультисенсорный блок, в котором используется термический пассивный принцип, т.е. без искусственного подогрева или охлаждения использования энергии, которые могут изменить параметры измеряемой среды.

Особенностью конструкции датчика является применение углеродного волокна, электродов и волоконно-оптических технологий. Чувствительные элементы формируются в прочный сенсорный блок, состоящий из эпоксидного состава со свойствами соответствующими дороге, по теплопроводности и излучения.



Рисунок 2.6 – Датчик состояния дороги

Уникальная технология измерения Vaisala позволяют получить точный анализ состояния покрытия дороги, наличия снега и льда в области измерения, образования и толщины водяной пленки и противообледенительных химических веществ. Результаты измерений обрабатываются анализатором.

Датчик DRS511 (табл. 2.7) содержит средства, чтобы оптически определить участок поверхности дороги. Это приведет к взвешенному измерению толщины водной пленки во влажных условиях и гололеде и обнаружении участка снежного покрытия.[11]

Электрическая проводимость и электрохимические измерения поляризации важны в определении количества химического реагента для удаления льда на поверхности дороги. Вместе с температурой и измерением толщины водной пленки датчик точно определяет температуру замерзания и риск формирования гололеда.

Проводимость исчезает для монокристаллического льда (blackice). Таким образом, датчик оснащен встроенным детектором «черный лед»,

который измеряет характеристики емкости поверхности дорожного покрытия.

Измерение температуры производится с помощью прецизионных Pt-100 элементов датчика и четырех проводного метода. Эти измерения имеют решающее значение в определении риска появлений участков скользких условиях.

Все измеренные данные, включая атмосферные измерения температуры воздуха, влажности и осадков используются в определении дорожных условий.

Таблица 2.7

Основные технические характеристики

Температурный диапазон измерения	-40 °C до +60 °C
Измерение толщины водной пленки. Диапазон измерений	0...8 мм
Точность измерений	0.1 мм в диапазоне 0.0...1.0 мм
Размеры DRS511	75x84x30 (основание38) мм ³
Размеры DRS511B	50x84x30 (основание 38) мм ³
Длина кабеля	20, 30, 50, 100, 150 или 200 м
Вес кабеля на 50 м кабеля	3.1 кг.

2.1.5 Датчик атмосферного давления РТВ100А

РТВ100А (рис. 2.7)– это датчик атмосферного давления, производимый компанией Vaisala. Он предназначен для измерения атмосферного давления в областях высокой точности и высокой стабильности. Датчик использует тонкий кремниевый диафрагму, которая обеспечивает чувствительность к

изменениям давления в атмосфере. Для обработки сигнала датчика используется электронный микроконтроллер.[12]

РТВ100А имеет широкий диапазон рабочих температур от -40 до +85 градусов Цельсия, прочный корпус из нержавеющей стали и различные типы выходных сигналов, включая аналоговые и цифровые интерфейсы. Датчик может использоваться в метеорологии, авиации, оборудовании для измерения высоты и других приложениях, где требуется высокая точность измерения атмосферного давления.



Рисунок 2.7 – Датчик атмосферного давления РТВ100А

3 Работа по формированию архива

3.1 Исходные данные

Данные дипломной работы были выданы Институтом Радарной Метеорологии (рис.3.1).



Рисунок 3.1- Метеорологическая станция в ООО «ИРАМ»

Основной продукцией предприятия являются современные технологии метеорологического обеспечения различных отраслей народного хозяйства.

Номенклатура выпускаемых изделий позволяет полностью реализовать эти технологии на практике. Выполняют установку «под ключ» системы метеорологического обеспечения аэропортов III категории ИКАО, системы метеообеспечения укрупненного центра УВД, системы метеообеспечения дорожной администрации субъекта Федерации, системы метеорологических наблюдений областного Гидрометцентра.

Всего за время деятельности Институтом радарной метеорологии (с 1991г.) поставлено в субъекты РФ и страны СНГ более 1000 изделий для метеорологических систем различного назначения.

Для выпускаемого оборудования имеются все необходимые лицензии, сертификаты и разрешения Межгосударственного авиационного комитета, Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Росстроя, Министерства транспорта и Росгидромета.

При разработке и производстве изделий функционирует система менеджмента качества, которая сертифицирована на соответствие международным и национальным требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001.

ООО «ИРАМ» находится в поселке Воейково (рис.3.2).

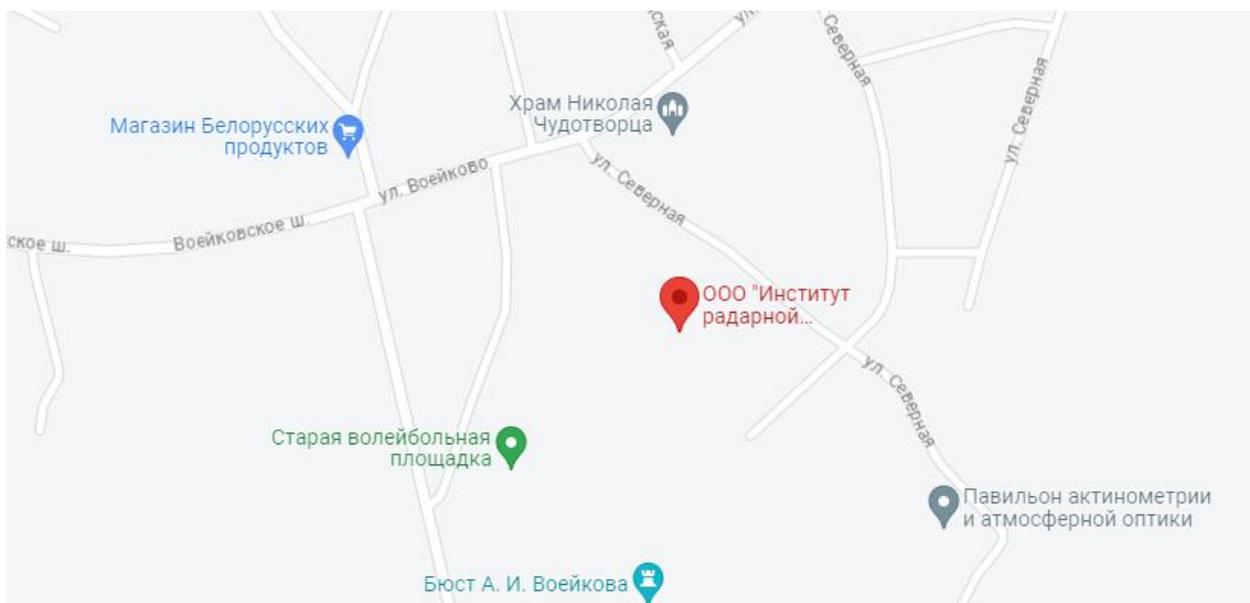


Рисунок 3.2 –Место нахождения ООО «ИРАМ»

3.2 Форматирование и первичная обработка архива

ООО «ИРАМ» предоставили архив данных за три года (2019, 2020, 2021 гг.) в виде текстовых документов (рис. 3.3).

AI_01_00 – Блокнот									
Файл Правка Формат Вид Справка									
E0304229_N595702									
01-01-2020	T1	RH1	TD1	WS1	WD1	PR	RI	VI	
00:00	-4.8	75	-8.5	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:01	-4.8	76	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:02	-4.8	76	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:03	-4.8	75	-8.5	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:04	-4.7	75	-8.5	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:05	-4.7	75	-8.5	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:06	-4.7	75	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:07	-4.7	75	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:08	-4.8	76	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:09	-4.8	75	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!
00:10	-4.7	75	-8.4	99999.0	99999	1.5	0.0	2000	!

Рисунок 3.3 – Пример архива данных в текстовом документе за 01.01.2020

При переводе данных в пакет Excel, в исходных текстовых документах было обнаружено отсутствие некоторых метеорологических параметров. На рисунке 3.3 значения «99999.0» и «99999» в столбцах «WS1» и «WD1» говорят об отсутствии данных. Из-за этого эти параметры были исключены из дальнейшего анализа (рис. 3.4).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-3.7	82	-6.3	WS1	WD1	1.5	0.0	2000
2	-2.1	86	-4.1			1.5	0.0	2000
3	-2.4	89	-4.0			1.5	0.0	2000
4	-2.4	94	-3.2			0.0	0.0	2000
5	-0.7	93	-1.6			0.0	0.0	2000
6	0.1	95	-0.7			0.0	0.0	2000
7	0.7	91	-0.6			0.0	0.0	2000
8	0.5	95	-0.2			0.0	0.5	2000
9	0.4	100	0.4			0.4	0.2	2000
10	0.4	100	0.4			0.9	0.1	2000
11	1.4	100	1.4			1.2	0.5	2000
12	1.9	100	1.9			1.5	0.4	2000

Рисунок 3.4 – Пример архива данных с изменённой дискретностью в 10 минут за 01.01.2020

Полученные исходные данные шли с дискретностью в 1 минуту, чтобы сократить количество данных использовался Макрос с изменением дискретности до 10 минут (рис. 3.4). Для изменения периодичности всех исходных характеристик было необходимо поочередно прогонять через программу каждую из них.

4 Исследование метеорологического режима Ленинградской области в зимний период на примере АДМС Воейково

4.1 Температурный режим

На основе использования предоставленных данных был построен график межгодовой изменчивости температур в зимний период за 2019,2020,2021 года (рис.4.1).

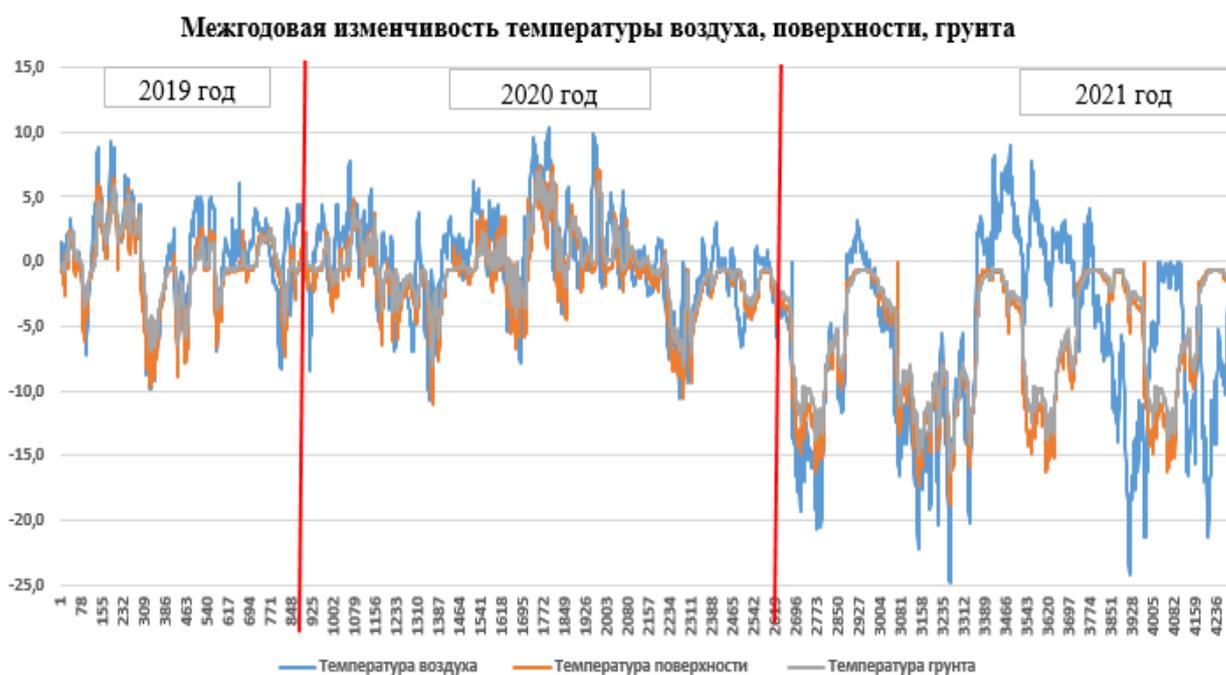


Рисунок 4.1 – График межгодовой изменчивости температуры воздуха, поверхности, грунта

Анализируя график, можно сказать, что во всех годах температура воздуха, температура поверхности и температура грунта отличается на $\pm 2-3^{\circ}\text{C}$. Заметно, что 2021 год отмечен наибольшим разбросом значений. Если в 19-20 гг. температурные параметры изменяются в диапазоне 20 градусов, то в 2021 году разброс значений за зимний период составил 35 градусов. За все три периода наибольшие колебания заметны у значений температуры воздуха, тогда как температуры поверхности и грунта менее разбросаны.

Особенно это заметно по температурному режиму грунта (наименьшие колебания, более плавный ход), что соответствует характерному ходу температуры грунта в зимний период, т.к. она меньше подвержена внешним воздействиям.[12]

В 2019 году рассматриваем два месяца: ноябрь и декабрь. Сделав описательную статистику через анализ данных (табл.4.1), можно увидеть, что сделанные выше выводы подтверждаются.

Таблица 4.1

Характеристики температурного режима за ноябрь 2019 г.

<i>Температура воздуха</i>		<i>Температура поверхности</i>		<i>Температура грунта</i>	
Среднее	0,290023202	Среднее	-0,43171	Среднее	0,24907
Стандартная ошибка	0,209257334	Стандартная ошибка	0,18086	Стандартная ошибка	0,14648
Медиана	0,8	Медиана	-0,5	Медиана	0,1
Мода	0,8	Мода	-0,6	Мода	-0,5
Стандартное отклонение	4,344295136	Стандартное отклонение	3,7591	Стандартное отклонение	3,04454
Дисперсия выборки	18,87290023	Дисперсия выборки	14,1308	Дисперсия выборки	9,26923
Эксцесс	-0,448606346	Эксцесс	-0,26636	Эксцесс	-0,50538
Асимметричность	-0,319475331	Асимметричность	-0,57848	Асимметричность	-0,45347
Интервал	19,2	Интервал	16,2	Интервал	12,8
Минимум	-9,9	Минимум	-9,7	Минимум	-6,9
Максимум	9,3	Максимум	6,5	Максимум	5,9
Сумма	125	Сумма	-186,5	Сумма	107,6
Счет	431	Счет	432	Счет	432

В начале ноября максимальная температура воздуха составляла $9,3^{\circ}\text{C}$, к концу ноября температура опускается до $-9,9^{\circ}\text{C}$. Максимум температуры поверхности и грунта отличаются $0,6^{\circ}\text{C}$. Минимум температуры поверхности составил $-9,7^{\circ}\text{C}$. Интересно, что при наименьшем разбросе значений, среднее значение температуры поверхности имеет отрицательное значение ($-0,4^{\circ}\text{C}$), тогда как у температуры воздуха и грунта оно положительное, и, несмотря на самый большой (для воздуха) и самый маленький (для грунта) разброс, практически одинаковы ($0,29^{\circ}\text{C}$ и $0,25^{\circ}\text{C}$).

В конце ноября и начале декабря 2019 года (табл.4.2) температура поверхности опустилась до $-8,9^{\circ}\text{C}$, при этом температура воздуха и грунта

были в пределах $-5,5^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха наблюдалась в середине декабря $6,1^{\circ}\text{C}$. Теперь среднее значение у температуры воздуха снова в положительном секторе ($0,47^{\circ}\text{C}$), а у температуры грунта ушло в отрицательную область ($-0,59^{\circ}\text{C}$). Наименьшее среднее значение снова фиксируется у температуры поверхности.

Таблица 4.2

Характеристики температурного режима за декабрь 2019 г.

<i>Температура воздуха</i>		<i>Температура поверхности</i>		<i>Температура грунта</i>	
Среднее	0,4690745	Среднее	-0,874492	Среднее	-0,58758
Стандартная ошибк	0,141209	Стандартная ошибка	0,112137	Стандартная ошибка	0,08163
Медиана	1	Медиана	-0,6	Медиана	-0,4
Мода	2,4	Мода	-0,6	Мода	-0,4
Стандартное отклон	2,972105	Стандартное отклонение	2,3602102	Стандартное отклонени	1,71819
Дисперсия выборки	8,833408	Дисперсия выборки	5,5705922	Дисперсия выборки	2,95218
Эксцесс	0,2245371	Эксцесс	0,8237291	Эксцесс	1,01699
Асимметричность	-0,801509	Асимметричность	-1,025173	Асимметричность	-0,92329
Интервал	14,4	Интервал	11,6	Интервал	8,9
Минимум	-8,3	Минимум	-8,9	Минимум	-6,5
Максимум	6,1	Максимум	2,7	Максимум	2,4
Сумма	207,8	Сумма	-387,4	Сумма	-260,3
Счет	443	Счет	443	Счет	443

На основании проведенных расчетов можно отметить, что в 2019 г. температурный режим не имел ярко выраженного максимума (отрицательный эксцесс) и не имел нормального распределения, поскольку наибольшее количество значение меньше среднего (отрицательная асимметрия).

Посмотрим немного подробнее (рис. 4.2). Хорошо видно, что в ночное время поверхность часто остывала больше воздуха и грунта, что говорит о характерном выхолаживании при отсутствии облаков. Именно за счет этого среднее значение температуры поверхности несколько ниже остальных параметров. В середине ноября, в дневное время видно преобладание наиболее высоких температур у воздуха, но особенности радиационного

режима в холодный период не позволяют прогреться поверхности. Надо отметить, что прослеживается характерная тенденция запаздывания температур поверхности и грунта за изменениями температурного режима воздуха. Наиболее четко это видно в конце декабря.

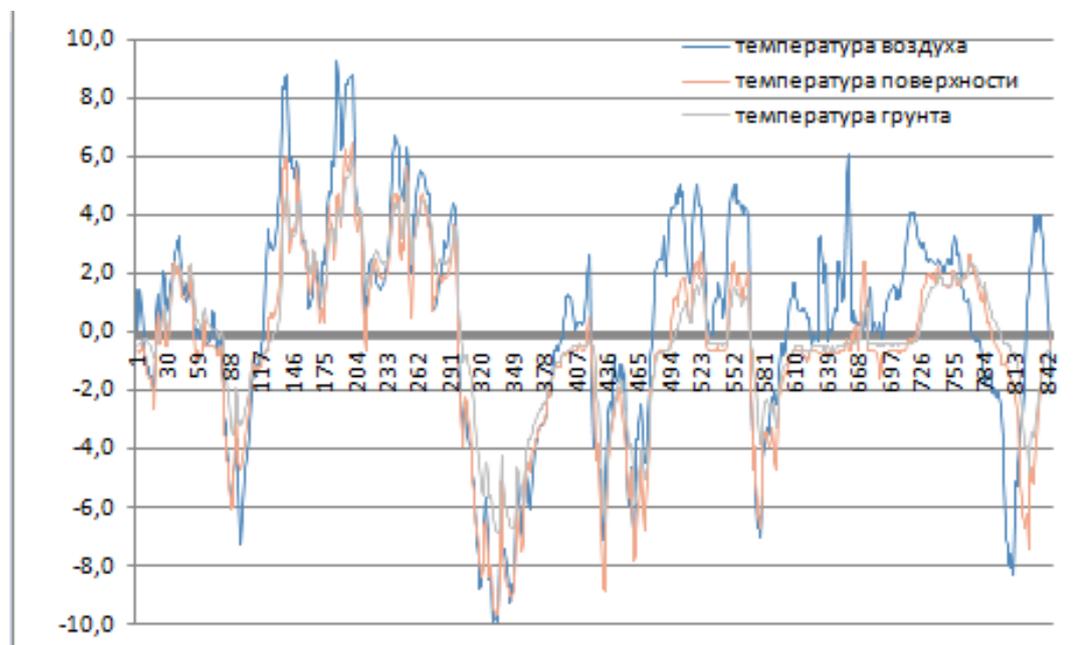


Рисунок 4.2 – Температурный режим в холодный период 2019 г.
(ноябрь, декабрь)

В 2020 году рассматривали январь, февраль, ноябрь, декабрь (рис. 4.1). Все три кривые накладываются друг на друга, что значит сильных различий нет в температурах. Если посмотреть анализ данных(табл.4.3)и график за 2020 год (рис. 4.1)можно увидеть, что минимум произошел в конце января и начале февраля, где температура воздуха была равна -10,6, температура поверхности -11,0 и температура грунта -8,2, так же еще один минимум температур видим в середине декабря. Самые высокие положительные температуры наблюдаются в ноябре, как и в 2019 г. Их значения достигли: в воздухе 10,3°C, на поверхности 7,5°C, в грунте 6,9°C.

Характеристики температурного режима за холодный период 2020 г.

<i>Температура воздуха</i>		<i>Температура поверхности</i>		<i>Температура грунта</i>	
Среднее	-0,018057143	Среднее	-0,95217	Среднее	-0,44829
Стандартная ошибка	0,083800032	Стандартная ошибка	0,06902	Стандартная ошибка	0,05756
Медиана	-0,1	Медиана	-0,8	Медиана	-0,6
Мода	-0,1	Мода	-0,7	Мода	-0,6
Стандартное отклонени	3,505606829	Стандартное отклонение	2,88729	Стандартное отклонени	2,40784
Дисперсия выборки	12,28927924	Дисперсия выборки	8,33646	Дисперсия выборки	5,79771
Эксцесс	0,337560877	Эксцесс	1,42934	Эксцесс	1,49012
Асимметричность	0,106581037	Асимметричность	-0,14055	Асимметричность	0,1891
Интервал	21	Интервал	18,5	Интервал	15,1
Минимум	-10,7	Минимум	-11	Минимум	-8,2
Максимум	10,3	Максимум	7,5	Максимум	6,9
Сумма	-31,6	Сумма	-1666,3	Сумма	-784,5
Счет	1750	Счет	1750	Счет	1750

Тенденция разброса значений тут такая же как за рассматриваемый период 2019 г. Правда есть небольшие различия. Например, поменялось распределение: тут оно близко к нормальному, имеет ярко выраженный пик (эксцесс положительный) и для всех параметров, кроме температуры поверхности большая часть значений выше среднего (положительная асимметрия).

В 2021 году рассматриваем январь, февраль, ноябрь и декабрь. По графику (рис. 4.1) и статистическому анализу (табл.4.4) видно, что в январе кривые температуры воздуха, поверхности и грунта, как и в предыдущих годах повторяют друг друга. С середины февраля температура воздуха поднимается до 8,9°C. Так же виден плавный переход температур с положительных до минусовых в период конца ноября по начало декабря. Температуры поверхности и грунта весь период в минусовых пределах.

По данным расчетов хорошо видно, что распределение температур воздуха, поверхности и грунта похоже на их распределение в 2019 г. (отрицательные асимметрия и эксцесс).

Характеристики температурного режима за холодный период 2021 г.

<i>Температура воздуха</i>		<i>Температура поверхности</i>		<i>Температура грунта</i>	
Среднее	-6,397776442	Среднее	-6,81316	Среднее	-6,07356
Стандартная ошибка	0,177198205	Стандартная ошибка	0,12353	Стандартная ошибка	0,10883
Медиана	-5,75	Медиана	-6,4	Медиана	-5,9
Мода	0	Мода	-0,7	Мода	-0,7
Стандартное отклонение	7,228296844	Стандартное отклонение	5,06169	Стандартное отклонение	4,45928
Дисперсия выборки	52,24827527	Дисперсия выборки	25,6207	Дисперсия выборки	19,8852
Эксцесс	-0,97120588	Эксцесс	-1,38007	Эксцесс	-1,42482
Асимметричность	-0,171634775	Асимметричность	-0,23259	Асимметричность	-0,21403
Интервал	33,7	Интервал	18,2	Интервал	15,8
Минимум	-24,8	Минимум	-18,8	Минимум	-16,4
Максимум	8,9	Максимум	-0,6	Максимум	-0,6
Сумма	-10645,9	Сумма	-11439,3	Сумма	-10197,5
Счет	1664	Счет	1679	Счет	1679

Как видно по среднему значению, холодный период 2021 г. оказался почти на 5°C холоднее предыдущих лет

4.2 Режим атмосферного давления

Так же из полученных данных построили график межгодовой изменчивости атмосферного давления (рис. 4.3). Чтобы проанализировать и понять, почему изменяется давление, отметим то, что если давление падает, то ожидается пасмурная дождливая погода, если повышается, то сухая погода без осадков, с потеплением летом и с похолоданием зимой.

На графике изменчивости атмосферного давления (рис. 4.3) мы видим, что у нас есть ярко выраженные пики. Первый пик появляется в 2019 году в ноябре. Детально проанализировав временной ряд и посмотрев график температуры воздуха (рис 4.1). Видим, что давление повышается, когда температура воздуха была минимальна, что характерно для холодного периода в северном полушарии. Изучив описательную статистику атмосферного давления за 2019 год (табл. 4.5), видим, что максимум этого пика 1030,2 гПа. Минимальное падение давления

пришлось на начало декабря, что составило 972 гПа (табл. 4.5), когда температура поднялась до +5,0°C (рис. 4.1).



Рисунок 4.3 – График межгодовой изменчивости атмосферного давления

Таблица 4.5

Характеристики атмосферного давления за холодный период 2019,2020,2021 ГОДОВ

<i>Давление 2019г</i>		<i>Давление 2020г</i>		<i>Давление 2021г</i>	
Среднее	1001,28493	Среднее	1000,76	Среднее	1002,31
Стандартная ошибка	0,143081345	Стандартная ошибка	0,10834	Стандартная ошибка	0,09656
Медиана	999,7	Медиана	1002,1	Медиана	1005,2
Мода	993,8	Мода	1012,9	Мода	1012,8
Стандартное отклонени	13,27884308	Стандартное отклонение	14,3528	Стандартное отклонени	12,8455
Дисперсия выборки	176,3276735	Дисперсия выборки	206,003	Дисперсия выборки	165,007
Экссесс	-0,608419076	Экссесс	-0,16607	Экссесс	0,04699
Асимметричность	0,266165023	Асимметричность	-0,54702	Асимметричность	-0,6665
Интервал	58,2	Интервал	62,5	Интервал	66,1
Минимум	972	Минимум	963,7	Минимум	964,4
Максимум	1030,2	Максимум	1026,2	Максимум	1030,5
Сумма	8624067,1	Сумма	1,8E+07	Сумма	1,8E+07
Счет	8613	Счет	17552	Счет	17699

В 2020 году в январе атмосферное давление варьировалось от 978 гПа до 1014 гПа, значительных перепадов не было, потому что температура воздуха была от -5.0°C до $+5.0^{\circ}\text{C}$. В феврале и ноябре давление опускалось до минимума 963,7 гПа, температура в эти периоды была в основном положительной, что не очень характерно для региона. В холодный период 2020 г. давление шесть раз опускалось до минимального значения. При этом оно достаточно быстро возрастало почти на 60 гПа. Поэтому можно говорить о более интенсивной атмосферной циркуляции в 2020 году. В начале декабря было самое высокое атмосферное давление за 2020 год, оно составило 1026,2 гПа (таб. 4.5). Так же высокий пик в 1026 гПа в этот период пришелся на конец февраля и начало ноября, когда температура опустилась до -8.0°C .

В 2021 году тоже можно говорить о частой смене атмосферных процессов. В ноябре наблюдается плавное понижение атмосферного давления, а в декабре плавное повышение. С января до февраля давление плавно понижалось до 977 гПа. С начала февраля давление начало плавно подниматься, но резко опустилось до 964.4 гПа, при этом температура воздуха резко поднялась до $+8,9^{\circ}\text{C}$. Такие скачки в давлении наблюдались весь февраль. Так же в феврале был отмечен максимум 1030.5 гПа.

4.3 Режим изменчивости осадков

В целом можно отметить, что режим осадков за три холодных сезона достаточно разнообразен (рис. 4.4). Если зимой 2019 г. наблюдался самый высокий снежный покров (5,4 см), то в 2020 зафиксирована наибольшая сумма осадков (10,5 мм). В 2021 г. не было таких обильных снегопадов, как в 2019, зато снег выпадал более часто и равномерно.

В 2019 году в начале ноября по графику межгодовой изменчивости осадков (рис. 4.4), можно увидеть, что осадков выпало 4.0 мм, и высота снежного покрова составила 2.0 см. К середине ноября из-за повышения

температуры воздуха (рис. 4.1) снег растаял, и высота снежного покрова равняется 0, осадков не наблюдается. В конце ноября и начале декабря сумма осадков составила 6.1 мм, а высота снежного покрова достигла 5.4 см, что стало максимальным значением в 2019 году. В середине декабря высота снежного покрова снова равна 0 см, а сумма осадков 3.5 мм, поскольку наблюдался дождь.



Рисунок 4.4 – График межгодовой изменчивости осадков

С конца декабря 2019 года и по середину февраля 2020 года сумма осадков была в пределах 4.2 мм, а высота снежного покрова в районе 1.8 см. В середине февраля видим пик осадков в размере 10.0 мм, при этом высота снежного покрова 3 мм, значит шел снег с дождем. В начале ноября видим выпадения осадков, без снежного покрова, значит в этот период были дожди. В середине ноября высота снежного покрова составила 3.4 см, к концу плавно убывал. С начала декабря видим плавный рост снежного покрова до 3.2 см.

В 2021 году в январе видим обильное выпадение снежных осадков в течение всего месяца. Максимум за период составил 3.5 см. К середине февраля осадки продержались до 3.0 см. С середины февраля

преимущественно шел дождь. В начале ноября сумма осадков составила 5.9 мм. С середины ноября по декабрь высота снежного покрова достигала 2.8 см.

4.4 Режим относительной влажности воздуха

Относительная влажность воздуха в зимний период может быть достаточной высокой — 60-70%.

При высокой влажности воздуха, воздух насыщен водяным паром и может больше не содержать дополнительного пара, который нужен для поддержания водяных капель или кристаллов льда. Поэтому, когда влажность воздуха высокая, вероятность образования осадков возрастает.

Однако, другие факторы, такие как температура воздуха атмосферное давление, ветер, также могут влиять на возникновение осадков. Например, если воздух находится на большой высоте и достигает точки росы, влага начинает конденсироваться, что приводит к образованию облаков. Если эти облака становятся достаточно тяжелыми, они начинают выпадать в качестве осадков, таких как дождь, снег, и т.д.

По графику на рисунке 4.5 видно, что зимой 2020 года относительная влажность была наиболее изменчива, чем в 2019 и 2021 гг. Четыре раза за период значения влажности опускались до 50%.

Проанализировав графики (рис.4.1, 4.5) можно сказать, что при понижении температуры, влажность воздуха уменьшается и по межгодовой изменчивости осадков (рис. 4.4) можно увидеть, что в моменты понижения влажности и температуры, сумма осадков и высота снежного покрова были минимальны.

В 2019 году в ноябре наблюдаются минимум 62%, это связано с повышением температуры до +8,9°C, а высота снежного покрова была минимальна в районе 1.0-2.0 см. Следом идет второй минимум 61% и

резкое повышение влажности до 100% из-за выпадения снежного покрова до 5.4 см. В декабре значения влажности варьируются от 100% до 80%.

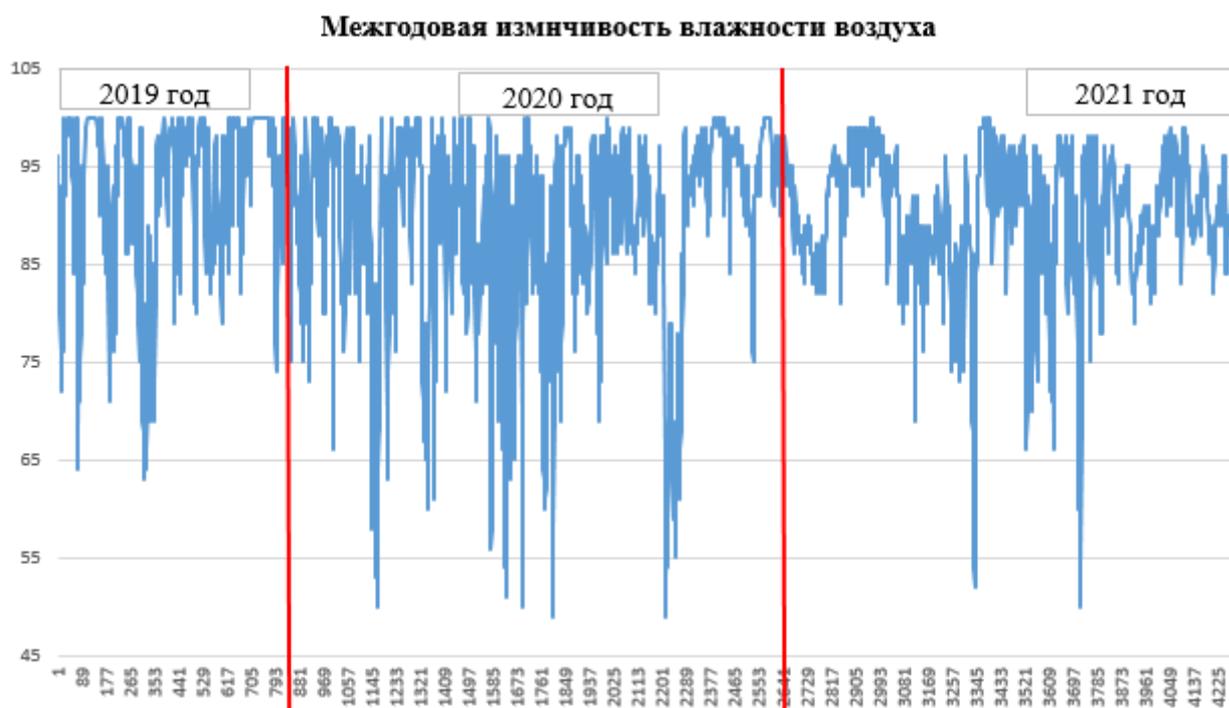


Рисунок 4.5 – График межгодовой изменчивости влажности воздуха

В 2020 году в январе влажность опускается 50% это связано с резким повышением температуры до +7°C. В феврале влажность была от 97% до 43%. Такие скачки были вызваны постоянной сменой атмосферных процессов. В результате на февраль приходился пик осадков в размере 10.0 мм, при этом высота снежного покрова составила 3 см, также можно отметить скачки температуры от отрицательной до положительной. В ноябре влажность была в пределах нормы до 73%. В начале декабря влажность резко опустилась до 43%, но если смотреть график осадков и температуры, температура была -10, а осадки в виде снега наоборот возрастали.

В 2021 году в январе влажность менялась не сильно от 100% до 83%. В конце февраля влажность опустилась до 53%, так как температура в этот

период составила $+8.9^{\circ}\text{C}$. Так же в ноябре 2021, как и в феврале были скачки температуры и выпадения осадков. В декабре влажность была без резких перепадов.

4.5 Направление ветра

В пакет Excel через Макрос были вставлены данные по направлению ветра и построена Роза ветров (рис.4.6), из которой можно понять, что наиболее частое направление ветра за 3 зимних периода – 270° (западное направление 9000 случаев) и 225° (юго-западное направление 8000 случаев). Наиболее редко за три зимы встречался ветер восточных направлений (менее 4000 случаев). Данные анализа соответствует климатическим данным, согласно которым в регионе в зимний период преобладают ветра западных направлений.

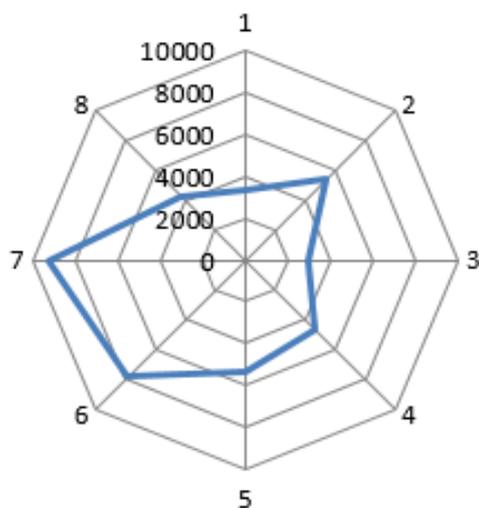


Рисунок 4.6 – Роза ветров за три зимних периода

Роза ветров за 2019 год (рис. 4.7) показывает, что частое направление ветра приходилось на 0° (северное направление), так же на 225° (юго-западное направление) по полторы тысячи случаев. Наиболее редко дули ветра северо-западного и восточного направления (по 500 случаев).

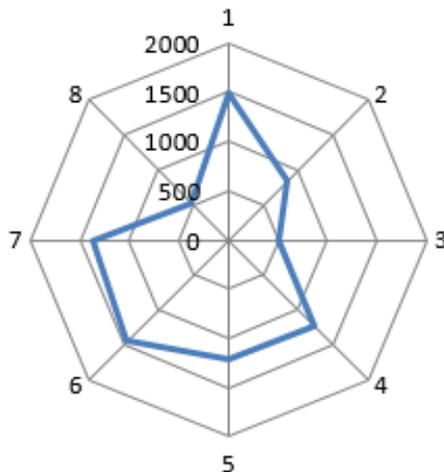


Рисунок 4.7 – Роза ветров за 2019 год

В 2020 году наиболее частое направление ветра изменилось на западную сторону (270°) (рис. 4.8). Ветер северных направлений наблюдался редко. Это может быть из-за силы Кориолиса (учитывает влияние вращения Земли надвигающийся воздух), силы тяжести, силы градиента давления и центробежной силы. Воздух перемещается из областей высокого давления в область низкого давления. Сохранилось и большое количество случаев ветров юго-западного направления (225°).

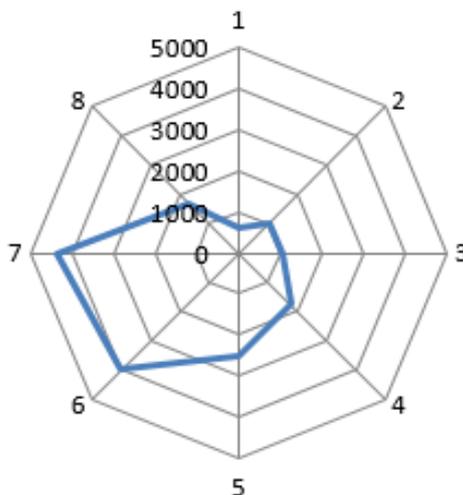


Рисунок 4.8 – Роза ветров за 2020 год

Зимой 2021 года (рис. 4.9) преобладало северо-восточное направление ветра (45°) и западное направление (270°) ветра, по 3 тысячи пятьсот случаев. Реже всего фиксировался ветер северного и восточного направлений, по 1500 случаев.

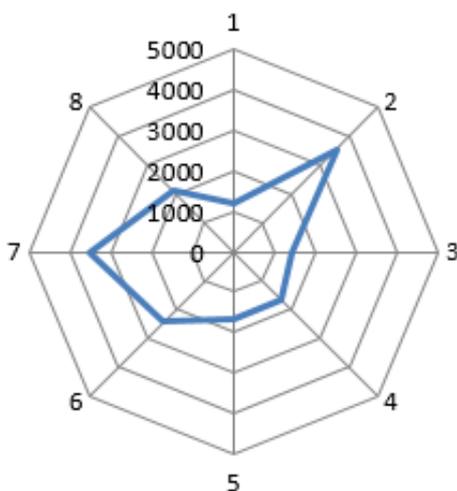


Рисунок 4.9 – Роза ветров за 2021 год

Заключение

Как известно, эффективное метеорологическое обеспечение автомобильных дорог в зимний период является важным элементом обеспечения безопасности движения и улучшения условий эксплуатации транспортных средств. Регулярный мониторинг погодных условий и оперативное реагирование на изменения погоды помогают снизить количество аварий и обеспечить комфортное путешествие для автолюбителей.

Повышение инфраструктуры метеорологического дорожного обеспечения имеет серьёзный вклад в безопасность и комфорт автомобильных дорог в зимний период, в процесс накопления метеорологических данных и в повышение плотности метеорологической сети. Данные дорожных станций могут использоваться не только для целей дорожного метеомониторинга и эффективной работы обслуживающих дорожную инфраструктуру организаций, но и для исследования метеорологического режима района установки станции или его климатической изменчивости.

В результате исследования были выявлены особенности метеорологического обеспечения автомобильных дорог в зимний период. Особое внимание было уделено метеостанции «Vaisala ROSA», которая может быть использована для измерения параметров погоды в реальном времени: функциям, задачам, комплектности.

Подготовлено описание места установки дорожной станции и средств измерений, входящих в ее состав.

Подробно рассмотрены датчики автоматической станции: внешний вид, назначение, устройство, технические характеристики и условия эксплуатации.

Проведен сбор, формирование метеоданных дорожной станции для проведения изменчивости метеопараметров.

Выполнено исследование температурного режима, режима атмосферного давления и осадков, влажности воздуха и направления ветра в месте установки станции.

В заключении можно сказать, что метеорологическое обеспечение автомобильных дорог является сложным процессом, требующим огромных затрат, ресурсов и технологий. Однако, благодаря использованию современных методов и технологий, таких как метеостанция «Vaisala ROSA», это становится возможным.

Список использованных источников

1. Автоматическое метеорологические станции. Часть 1. Тактико-технические характеристики, К.Л Восканян, А.Д Кузнецов, О.С Сероухова, стр 168, Санкт-Петербург, РГГМУ, 2016г
2. Сертификат системы анализа состояния поверхности дорог ROSA, фирма "VaisalaOyj", Финляндия (FI)(электронный ресурс). Режим доступа: <http://media.belgim.by/grsi/9692.pdf>
3. ALL-Pribors.ru (электронный ресурс), Датчик влажности и температуры HMP45A/D, Режим доступа: <https://all-pribors.ru/opisanie/18634-99-hmp45a-d-13321>
4. ТРАССКОМ, PWD10/12 датчик видимости и состояния погоды (электронный ресурс). Режим доступа: <https://trasscom.ru/produkty/pwd10-12-datchik-vidimosti-i-sostoyaniya-tekushhej-pogody/>
5. Vaisala руководство пользователя (электронный ресурс). Датчик текущей погоды PWD12. Режим доступа: <https://vaisala.nt-rt.ru/images/manuals/PWD12.pdf>
6. Раймет (электронный ресурс), WAA151 Датчик скорости ветра (Анемометр) Vaisala. Режим доступа: [https://raimet.ru/catalog/product/datchik-skorosti-vetra-\(anemometr\)-waa151-vaisala](https://raimet.ru/catalog/product/datchik-skorosti-vetra-(anemometr)-waa151-vaisala)
7. Эко Сфера Комплексные решения (электронный ресурс), VaisalaWAA151- Анемометр с подогревом. Режим доступа: <https://ekosf.ru/product/vaisala-waa151/>
8. Vaisala (электронный ресурс), Комплект датчиков ветра WA15 для эффективного измерения параметров ветра. Режим доступа: <https://skymaxinnovations.kz/upload/userfiles/files/WA15.pdf>
9. Vaisala руководство пользователя. Комплект датчиков ветра WA15 для эффективного измерения параметров ветра.

- 10.Трасском. DRS511/DRS511В дорожный датчик
- 11.Vaisala (электронный ресурс), Приборы для контроля физических параметров воздушной среды и метеорологии, РТВ100.Режим доступа: [https://xena-
vaisala.ru/products/tovari_snjatie_s_proizvodstva/ptb100/](https://xena-
vaisala.ru/products/tovari_snjatie_s_proizvodstva/ptb100/)
12. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Матвеев Л.Т,
стр 858., Гидрометеорологическое издательство, 1965г.