



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

Кафедра метеорологических прогнозов
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Анализ условий образования обледенения в районе прогнозирования
АМСГ Сургут»

Исполнитель Балуев Илья Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)
Волобуева Ольга Васильевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой 
(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 11 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Содержание

Введение.....	3
1. Возникновение обледенения и его воздействие на деятельность воздушных судов	5
1.1 Основные понятия.....	5
1.2 Причины образования обледенения.....	6
1.3 Основные виды обледенения.....	7
1.4 Классификация отложений	8
2. Опасность обледенения для авиации	10
2.1 Методы борьбы с обледенением	11
3. Климатические и географические особенности аэродрома Сургут.....	13
3.1 Климатологическое описание аэродрома г. Сургута.....	14
3.2 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на аэродроме г. Сургута.....	16
4. Анализ случаев обледенения в районе прогнозирования АМСГ Сургут за 2022 г.....	18
4.1 Прогноз обледенения методом Годске.....	23
4.2 Прогноз обледенения методом Абрамовича К.Г.....	27
4.3 Методика Абрамовича К.Г. и Горлач И.А.....	32
4.4 Анализ основных условий для возникновения обледенения в районе прогнозирования АМСГ Сургут при подтвержденных случаях обледенения.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	40
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Одной из нескольких самых значительных опасностей для полетов в холодную погоду является обледенение воздушного судна. Лед нарушает движение плавного потока воздуха, увеличивая непосредственное лобовое сопротивление и одновременно с этим уменьшает способность аэродинамического профиля создавать подъёмную силу. Многим воздушным суднам запрещено летать в условиях обледенения или, более точно, в известных условиях обледенения.

Анализировать прогнозы и использовать различные методы для расчета возникновения обледенения не всегда бывает достаточно, так как его довольно трудно предсказать. Все пилоты должны быть осведомлены об условиях, способствующих обледенению самолета, чтобы уметь их распознавать и реагировать на них в режиме реального времени. После появления, обледенение влияет на управление и эксплуатационные характеристики самолета и бортовые системы самолета. Противообледенительное оборудование может использоваться для предотвращения или даже удаления накопившегося льда.

Целью данной работы является выявление основных факторов, влияющих на процесс обледенения воздушных судов в районе прогнозирования АМСГ Сургут и определении возможных рисков для безопасности полетов, предложение рекомендаций по улучшению существующих процедур по обеспечению безопасности полетов при условиях обледенения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Сформировать архив данных с подтверждёнными случаями обледенения из дневников погоды АВ-6 за период 2016-2022 год.

- Провести анализ климатических условий в районе прогнозирования АМСГ Сургут.

- Определить основные факторы, вызывающие обледенение на самолетах в районе прогнозирования АМСГ Сургут.

- Сделать заключение об успешности существующих методов по прогнозированию обледенения.

- Предложить возможные меры для повышения эффективности процедур и минимизации рисков для безопасности полетов.

1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

1.1. Основные понятия

В первую очередь обледенение связано с низкими температурами и влажностью, самолеты, которые перемещаются в низких температурах перемещаются одновременно и в зоне большой влажности, в частности в облаках, как раз попадая в зону, где может образовываться лед.

Обледенением называется отложение льда на обтекаемых частях летательного аппарата, а также на силовых установках и внешних деталях специального оборудования при полете в облаках, тумане или мокром снеге [1].

Конструкторы и инженеры летательных аппаратов делают все возможное чтобы самолет оставался максимально аэродинамичным, потому что во многом крыло самолета является одним из главных элементов в авиационной технике, так как оно предназначено для формирования аэродинамической подъемной силы.

Лед, который начинает образовываться в первую очередь на передних кромках крыльев и на оперенье, меняет аэродинамику самолета, то есть, крыло, которое было разработано и имеет определенный профиль, этот лед начинает изменять, более того, он создает дополнительное сопротивление и дополнительный вес. Также снижается потолок и максимальная скорость полета, вертикальная скорость набора высоты и изменение аэродинамических свойств, то есть фактически ухудшает качество самолета.

От вовремя спрогнозированного обледенения в значительной мере зависит безопасность и регулярность полетов летательных аппаратов. Обледенение сильной степени может вполне привести к авиационному происшествию.

1.2 Причины образования обледенения

Возникновение обледенения обусловлено наличием на высоте полета переохлаждённых капель, а также отрицательной температурой поверхности воздушного судна [4].

Статистические данные о частоте случаев обледенения летательных аппаратов для различных географических районов Земли показывают, что температурный слой, в котором обледенение воздушного судна (ВС) возникает наиболее часто примерно одинаковый: от 0 до -15°C .

Метеорологическими условиями обледенения являются:

- наличие отрицательной температуры поверхности ВС и наличие в воздухе сконденсированной влаги (облака, осадки);
- температура воздуха от 0 до -20°C ., чаще от 0 до -10°C ;
- дефицит точки росы 3°C и менее;
- облака, состоящие из капель воды или смеси капель с кристаллами льда.

Синоптическими условиями обледенения являются:

- обледенение чаще происходит на атмосферных фронтах, интенсивность обледенения больше, чем при внутримассовой облачности;
- на теплом фронте обледенение возможно при температурах в диапазоне от -10 до -20°C ;
- на холодном фронте 1 рода интенсивность обледенения умеренная, а на холодном фронте 2 рода интенсивность обледенения сильная;
- на фронтах окклюзии обледенение чаще всего наблюдается на холодном фронте в точке окклюзии [5].

Интенсивностью обледенения называется мера скорости и масштаба образования льда на поверхности самолета во время полета в атмосферных условиях низких температур и высокой влажности. [1] Чем выше интенсивность обледенения, тем быстрее и гуще формируется лед на самолете, что может привести к существенному увеличению веса самолета и изменению

его аэродинамических характеристик, интенсивность измеряется в мм/мин и различают слабое обледенение – менее 0,5 мм/мин; умеренное обледенение – от 0,5 до 1,0 мм/мин. и сильное обледенение – более 1,0 мм/мин.

1.3 Основные виды обледенения

Летательные аппараты всех видов подвержены обледенению, даже сверхзвуковые самолеты, потому что при взлете и посадке любой сверхзвуковой самолет летит с небольшой дозвуковой скоростью [4].

Вид и структура отложения льда в полете зависят от микроструктуры облаков, температуры воздуха на эшелоне полета и режима полета. По своему характеру эти отложения могут быть в виде льда, инея или изморози.

Лед может быть: прозрачным, матовым (полупрозрачным, смешанным) и белым (крупнообразным)

Прозрачный лед. Появляется, при полете в облаках, состоящих лишь только из переохлажденных капель, или же облаками в зоне переохлажденного дождя при температурах от 0 до -10°C. Лед отлагается очень активно, большей частью на фронтальных кромках крыла и стабилизатора, на носовом коке самолета и воздухозаборнике. Возникающий лед плавный, густо прилегает к плоскости самолета, удаляется с трудом. Как правило бесцветный лед не слишком заметно искажает профиль несущих поверхностей воздушного судна и недостаточно небезопасен до тех пор, пока толщина льда малая. При значимой толщине это отложение льда становится небезопасным.

Матовый (полупрозрачный, смешанный) лед. Появляется при полете в смешанных облаках, состоящих большущего числа маленьких и больших переохлажденных капель, а еще из ледяных кристаллов и снежинок. Большие капли растекаются и замерзают, а маленькие, сталкиваясь с самолетом, замерзают не растекаясь. Снежинки и кристаллы, прилипая к замерзающей водяной пленке, вмораживаются в нее и образуют ледяное отложение с матовой

шероховатой поверхностью, быстро ухудшающей аэродинамические свойства самолета. Это отложение появляется чаще всего при температуре воздуха от -6 до -10°C и считается наиболее тяжелым и небезопасным видом обледенения.

Белый (крупнообразный) лед. Появляется вследствие замерзания маленьких капель при температуре ниже -10°C . Обледенение такого характера как правило наблюдается в облаках, состоящих из относительно однородных маленьких капель. Возникающий белоснежный пористый лед, неплотно прилипает к поверхности самолета. При длительном полете и повышении плотности льда он имеет возможность представлять серьезную угрозу.

Изморозь. Представляет собой белоснежное крупнозернистое кристаллическое отложение, возникающее при полете в облаках при температуре значительно ниже -10°C . Изморозь появляется при замерзании капель совместно с ледяными кристаллами. Она содержит неровный шероховатый вид, некрепко прилипает к поверхности самолета и сдувается воздушным потоком.

Иней. Для образования инея на самолете температура обшивки самолета обязана быть ниже 0°C . По причине невысокой температуры капли быстро и полностью замерзнут. Представляет собой белоснежный мелкокристаллический налет, образующийся в результате сублимации водяного пара. При вибрации самолета он просто отделяется от его поверхности и как правило не создает проблем для полета. Опасность представляет отложение на остеклении кабины, что создает определенные трудности при визуальном обзоре и как следствие - при управлении самолетом [2].

1.4 Классификация отложений

Ледяные отложения, остающиеся на летательных аппаратах, встречающиеся в полете, можно также классифицировать по форме отложения

льда на поверхности воздушного судна. При классификации ледяных отложений по этому признаку можно выделить следующие виды обледенения:

Профильный вид обледенения. Образуется в облаках с небольшой водностью при температуре воздуха ниже -20°C . Отложение льда соответствует профилю части самолета, на которой отложился лед. Такой лед держится на поверхности очень прочно, но не очень опасен, так как только увеличивает вес самолета и не очень ухудшает его аэродинамические характеристики.

Желобковый вид обледенения. Образуется в облаках с большой водностью при температуре от -5 до -8°C . Капля не успевает замерзнуть сразу, она растекается по поверхности крыла и замерзает на некотором расстоянии от передней кромки. По этой причине «наросты льда» не появляются на передней кромке, создавая вид похожий на желобообразный вид обледенения. Этот вид обледенения наиболее опасен тем, что изменяет форму аэродинамических частей самолета и ухудшает его аэродинамику.

Хаотический вид обледенения. Проявляется при полетах в смешанных облаках и осадках. Наросты льда при этом в буквальном смысле слова «торчат в разные стороны». Этот вид обледенения достаточно опасен и был бы даже опаснее предыдущего, но он очень непрочен и удерживается на поверхности самолета и легко сдувается потоком набегающего воздуха.

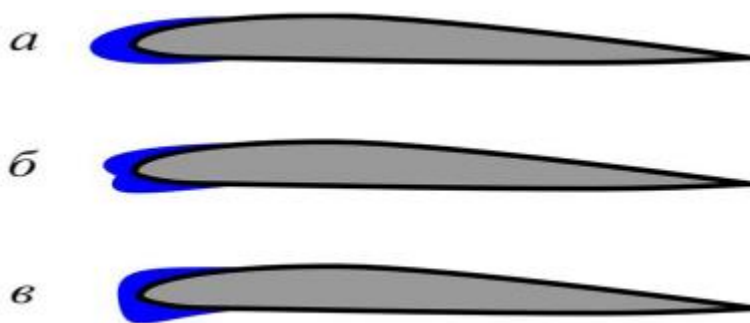


Рисунок 1.4.1 - Формы отложения льда на поверхности воздушного судна

(а) профильная, б) желобообразная, в) хаотическая)

2 ОПАСНОСТЬ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ДЛЯ АВИАЦИИ

Опасность возникновения льда зависит от того, где и в каком количестве этот лед возникает. На земле главная опасность - это скользкая взлётно-посадочная полоса и рулежные дорожки, что грозит самолетам выкатом за пределы полосы. Если обледенение происходит в полете, то последствия могут быть намного более трагичными.

Обледенение крыла и оперения ведет к ухудшению аэродинамических характеристик самолета, ведь лед на кромках меняет профиль крыла таким образом, что поток отрывается почти сразу же на кромке, возникают завихрения при этом падает подъёмная сила и есть большой шанс свалиться или вообще не взлететь. Примеров таких катастроф достаточно много. Далее лед может формироваться на приводах рулей или механизаций, что приведет к их заклиниванию и потере управления самолетом, а это также крайне опасно. Вода, попавшая в какие-либо полости в материале, например в полимерных композитах при замерзании расширяется и может разрушить конструкцию изнутри [3].

Образование льда на входных устройствах турбореактивных двигателей опасно отрывом кусков льда и их дальнейшим всасыванием в двигатель, что приводит к повреждению лопаток вентилятора и первых ступеней компрессора, а это ведет в свою очередь к выходу двигателя из строя. Лед на лобовом стекле ухудшает видимость, а обледенение ПВД (приемника воздушного давления) приводит к их закупориванию и потере экипажа информации о скорости и высоте полета. В условиях недостаточной видимости пилотам будет трудно определить, обледенение-ли это датчиков или реальное изменение скорости, что может привести к ошибочным действиям и последующим крушениям самолета.

2.1 Методы борьбы с обледенением

Обледенение летательных аппаратов в полете так опасно, что буквально на каждом типе самолета и вертолета предусмотрена и используется какая-нибудь противообледенительная система (ПОС). Все методы борьбы с обледенением возможно поделить на несколько групп. Основными из них стали следующие:

Механический способ заключается в механическом удалении образовавшегося льда с лобовых частей самолета, его плоскостей и хвостового оперения. В фронтальных кромках крыла, хвостового оперения и т.д. прокладываются резиновые шланги, сквозь которые время от времени пропускают сжатый воздух.

Протекторы начинают подавать вибрацию, разламывать лед, который на них отложился, а остальное делает воздушный поток, который данный лед сдувает подальше от летательного аппарата. Недостатком данной противообледенительной системы считается несоблюдение аэродинамических характеристик крыла и оперения при вздутии протекторов, а еще их слабая эффективность.

Физико-химический метод реализован на сокращении сцепления льда с поверхностью самолета или же на сокращении температуры замерзания воды. Для сокращения силы сцепления льда с обшивкой самолета или же вертолета применялись всевозможные защитные покрытия в виде лаков, паст или же смазок, а также вещества, не смачиваемые водой (парафин, вазелин, жиры и т.д.), впрочем, эти способы не дали желанного эффекта.

Тепловой (термический) метод реализован на термическом способе удаления льда. Данный метод в настоящее время получил самое обширное распространение. А для удаления льда всего-то надо увеличить температуру обледеневающих плоскостей до значений больше 0°C. С данной целью обширно используются воздушно-тепловые противообледенительные приборы, обеспечивающие нагрев фронтальных кромок крыла и хвостового

оперения, воздухозаборников и остекления кабины экипажа. Воздушно-тепловые системы довольно несложны, впрочем, они имеют один немаловажный дефект. Дело в том, что если после двигателя горячие газы не незамедлительно попадают в выходное сопло, а «гуляют» по самолету (даже делая «доброе дело» - борясь с обледенением), то в данном случае происходит заметная потеря мощности двигателя. В следствие этого в последнее время все большее использование находят электротепловые противообледенительные системы, в коих рабочей частью считается токопроводящий слой. Располагая его меж изоляционными слоями и пропуская ток, возможно гарантировать нагрев обледеневающей плоскости и удаление льда. Подогрев остекления кабины также осуществляется электрическим способом. В стекла кабины встроена тонкая проволока, по которой при надобности пропускают электрический ток. При прохождении тока стекло нагревается и происходит таяние льда.

Комбинированный метод заключается в совместном применении всех 3-х методов, изложенных выше. Впрочем, как правило обычно так не делается. На воздушных судах одного типа, как правило, применяется только какой-нибудь один метод борьбы с обледенением.

Косвенные способы борьбы с обледенением заключаются в всеохватывающем анализе метеорологических критериев на предмет оценки появления обледенения и при возможности - изменения маршрута и профиля полета, а еще в повышении скорости полета.

В случае, если позволяют условия и полетное задание, то возможно поменять маршрут полета, т.е. обогнуть стороной зону вероятного обледенения. При изменении высоты полета экипажу следует или выйти из облаков, или же снизиться так, дабы на высоте полета была положительная температура воздуха, или, напротив, набрать высоту так, чтобы на эшелоне температура воздуха оказалась ниже -20°C . Что же касается наращивания скорости полета, то это очевидный кинетический нагрев, который доводит поверхность ВС до положительных температур [1].

3 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОДРОМА СУРГУТ

Географические координаты контрольной точки аэродрома Сургут (КТА): 61°20',37,9" северной широты и 073°24',07,7" восточной долготы [8].

Метеоплощадка (основной пункт наблюдений - ОПН) расположена на территории аэродрома на расстоянии 170 метров от оси ВПП и 327 метров от торца ВПП с магнитным курсом 253°.

Абсолютная высота аэродрома над уровнем моря 57 м.

Метеорологическое обеспечение осуществляется по всемирному скоординированному времени (ВСВ). Разность между поясным (местным) и ВСВ составляет «минус 5 часов».

Магнитное склонение + 17 градусов.

Аэродром г. Сургута имеет одну взлетно-посадочную полосу (ВПП) с искусственным покрытием. Длина ВПП 2790 м, ширина – 45 м. Магнитные курсы посадки 253° и 73°.

Светосигнальное оборудование ОВИ фирмы «IDMAN» с МК 253 и МК 73 для взлета и посадки.

Аэродром относится к классу Б, допущен к приёму воздушных судов по метеоминимуму 1 категории.

Районы прогнозирования (площади) АМСГ Сургут представлены в рисунке 3.1

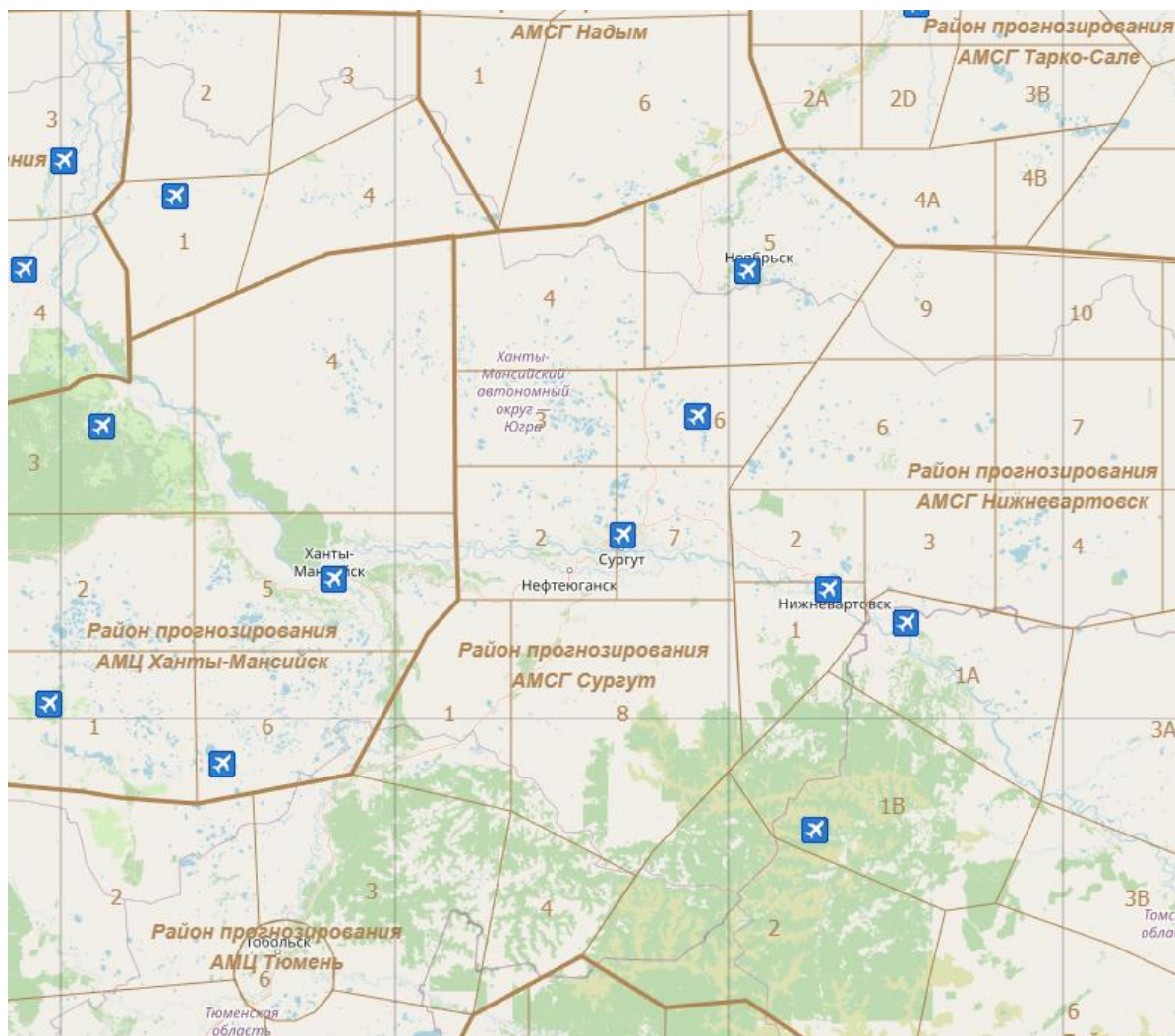


Рисунок 3.1 - Район прогнозирования АМСГ Сургут

АМСГ Сургут имеет приписное подразделение АМСГ Когалым и обеспечивает выпуск прогнозов погоды в формате TAF по своему аэродрому и по приписному аэродрому Когалым.

3.1 Климатологическое описание аэродрома г. Сургута

Аэродром г. Сургут расположен в зоне континентального климата Западной Сибири. Беспрепятственное проникновение арктического холодного воздуха с севера и прогретого тропического и умеренного воздуха с юга способствуют свободному воздухообмену, осуществлению меридиональной циркуляции, вызывающей резкие изменения погоды. Характерны суровая

продолжительная зима с сильными ветрами и метелями, весенние возвраты холодов, короткий безморозный период, довольно теплое короткое лето.

В холодный период года преобладает антициклональный тип погоды, обусловленный воздействием отрога Сибирского максимума. Циклоны, в основном, проходят вдоль побережья Северного Ледовитого океана с вытянутыми на юг ложбинами. Фронты, перемещаясь с запада на восток, приводят к ухудшению погоды: наблюдаются снегопады, метели, низкая облачность. Эта типичная циркуляция нередко нарушается меридиональной циркуляцией: выходом южных циклонов, вызывающих оттепели, сильные метели, гололед, а также вторжением арктических воздушных масс с Карского моря (вторжение антициклона по ультраполярной оси), которые обуславливают низкие температуры воздуха и морозные туманы.

Весной все синоптические процессы отличаются большой интенсивностью и скоростью перемещения, что обуславливает резкие смены погоды. Наблюдается наибольшее количество в году быстро перемещающихся циклонов и антициклонов. Почти ежегодно в апреле-мае случаются прорывы южных циклонов, вызывающих резкое потепление и таяние снега, на смену которым обычно вторгается холодный арктический воздух.

Летние процессы протекают значительно медленнее зимних, циклоны не так глубоки. Ветры не так сильны, как зимой и в переходный период, за исключением случаев шквального ветра при грозах. Циклоны, в основном, перемещаются с запада на восток, но имеют место и циклоны с ЕТР, поступающие через Южный Урал, а также «ныряющие» циклоны с Баренцева и Карского морей. В конце июня и первую половину июля за счет влияния Азорского максимума нередко устанавливается ясная и теплая погода.

Осенью часто наблюдается активизация Исландского минимума, а к концу осени восстановление Сибирского максимума. Прохождение циклонов, образующихся над Атлантикой, вызывает затяжное ухудшение погоды, при этом часты низкая облачность, метели, гололед, туманы [6]

3.2 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на аэродроме г. Сургут

В зимний период, с установлением антициклональной погоды, из-за местных особенностей в районе аэродрома Сургут создаются особенно сложные условия погоды для полетов авиации. На юго-востоке от аэродрома находится ГРЭС с пятью трубами высотой 240-280 м. В азимутах 130-140° на удалении 5-7 км имеется теплое незамерзающее водохранилище ГРЭС. В морозные дни близость промышленной зоны города в южной части горизонта (азимуты 120-150°), дымление труб ГРЭС и парение теплого водоема создают особо благоприятные условия для возникновения радиационных дымок, туманов, морозных туманов и низкой слоистой подинверсионной облачности. При этом туман образуется не всегда. Это зависит от различных факторов, одним из которых является понижение нижней границы подинверсионной облачности до земли при взлете и посадке воздушных судов.

В работе «Анализ случаев образования тумана и низкой облачности в результате влияния на погоду аэродрома Сургут местных особенностей (ГРЭС) в ОЗП 2012-2015 гг.» было рассмотрено 39 случаев, когда наблюдались условия равные минимуму аэропорта Сургут или ниже этого минимума (минимум аэродрома 800/60). В 18 случаях, т.е. в половине из числа рассмотренных, отмечалось только образование облачности 60 м и менее, в 18 случаях, кроме того, образовался туман [6].

По результатам наблюдений были сделаны следующие выводы:

- наибольшее число случаев образования опасных явлений наблюдалось при смещении области высокого давления с северо-запада;
- основными условиями для образования низких слоистых облаков и тумана в результате местных особенностей явилось наличие мощного слоя инверсии или изотермии, низкие отрицательные температуры воздуха и слабый ветер;

- туман с максимальной продолжительностью (13,2 часа) наблюдался при температуре у земли $-40...-45^{\circ}\text{C}$. При этом на высотных картах прослеживался слой инверсии: на высоте 1000 м температура -26°C , на 1500 м - температура -21°C ;
- высота нижней границы облачности 60 м и менее может образоваться уже при температуре у земли ниже -15°C . Но в большинстве случаев низкая слоистая облачность образовалась в диапазонах температур от -20 до -25°C и от -35 до -40°C . В этих же диапазонах наблюдалось наибольшее число случаев одновременного образования низкой облачности и тумана;
- решающее значение при данных условиях погоды имеет направление ветра в слое от земли до 300 м, т.е. в слое, где распространяется дым из труб ГРЭС и водяной пар под задерживающими слоями. Наибольшее число случаев образования низкой слоистой облачности и тумана приходилось на «тихо», а также северо-восточное и восточное направление ветра у земли $0 - 90^{\circ}$;
- по продолжительности высота нижней границы облачности 60 м и менее и тумана - наибольшее число случаев приходится на диапазон времени от 1 до 5 часов;
- высота нижней границы облачности 60 м и менее может образоваться в любое время суток. Максимальное число случаев образования наблюдалось в период 15-18 часов;
- относительная влажность, при которой наблюдалась высота нижней границы облачности 60 м и менее и образование тумана в зимнее время составляла от 60 до 89 %.

4 АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ОБЛЕДЕНЕНИЯ, ВОЗНИКАВШИХ В РАЙОНЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АМСГ СУРГУТ ЗА ПЕРИОД ЯНВАРЬ 2016 – ДЕКАБРЬ 2022 ГОДА

В районе прогнозирования АМСГ Сургут за период январь 2016 – декабрь 2022 года отмечалось 386 случаев обледенения, из них: обледенение слабой интенсивности составило всего 27% (104 случаев). Умеренная интенсивность наблюдалась в 62% (241 случай). Повторяемость случаев сильного обледенения составила всего 11 % (41 случай). То есть больше всего за выбранный период отмечалось случаев с умеренным обледенением (Рисунок 4.1-4.2).

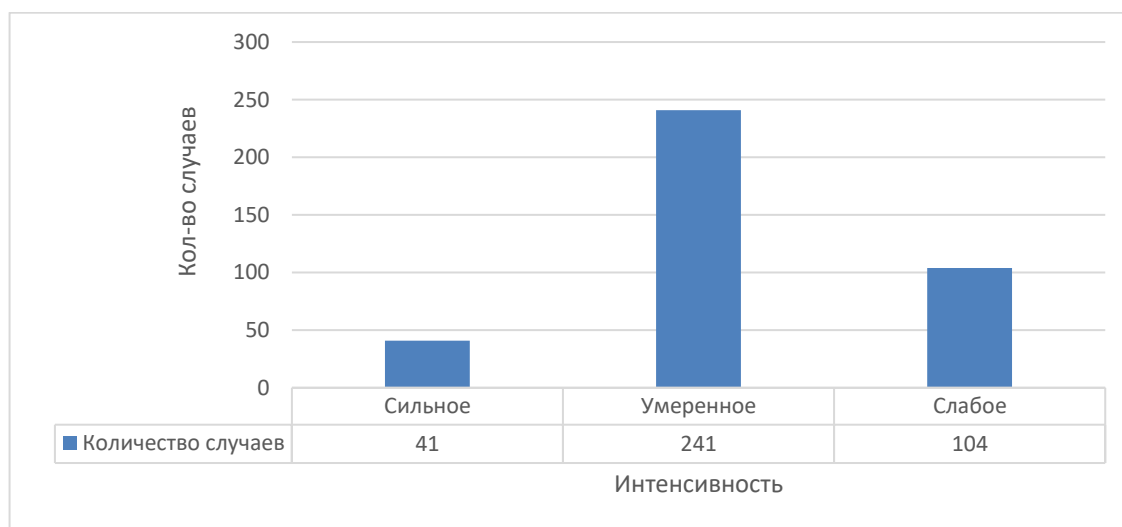


Рисунок 4.1 - Распределение количества случаев обледенения за период 2016 – 2022 год по району прогнозирования АМСГ Сургут

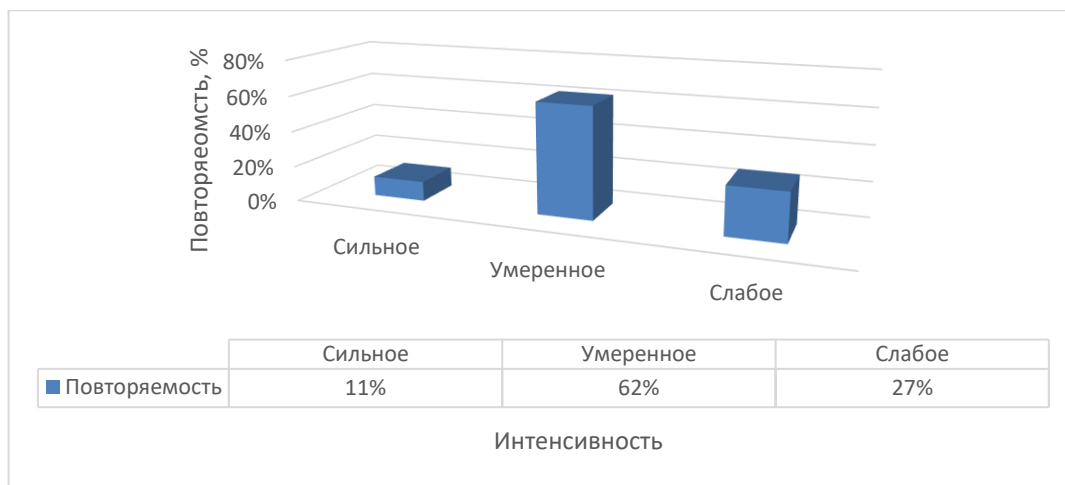


Рисунок 4.2 – Распределение повторяемости обледенения по интенсивности по району прогнозирования АМСГ Сургут за период 2016-2022 год

Годовое распределение по месяцам за весь период исследования показал повторяемость обледенения в осенне-зимний период более высокую, всего 278 случаев - 72% (Рисунок 4.3).

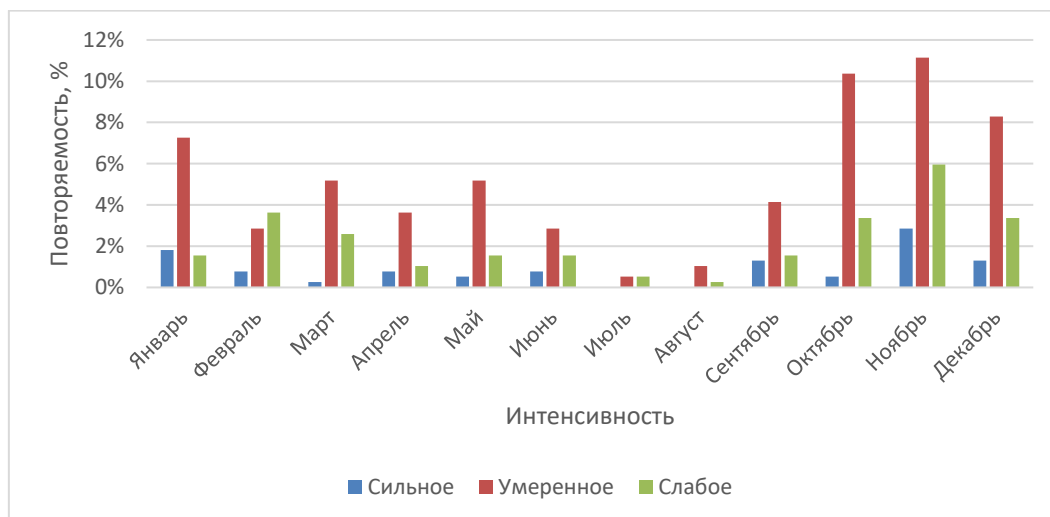


Рисунок 4.3 – Годовой ход распределения случаев обледенения по интенсивности по району прогнозирования АМСГ Сургут за период 2016 - 2022 гг.

Этот период характерен обилием осадков в виде дождя, снега, мороси, ледяного дождя, снежной крупы, большой влажностью и температурой окружающего воздуха в диапазоне от 0°C до минусовых значений. В теплый период обледенение отмечается намного реже - в 28% или 108 случаев.

От уровня земли до высоты 600 метров было зафиксировано 37 случаев обледенения, повторяемость составила всего 10%. В слое от 600 до 1500 метров, повторяемость составляет 28% (109 случаев). Повторяемость на высотах 1500 - 3000 метров составила 43% (165 случаев). Выше 3000 метров отмечено также всего 19% (73 случаев). Т.е. в основном обледенение наблюдалось в слое от 1500 до 3000 метров (Рисунок 4.4).

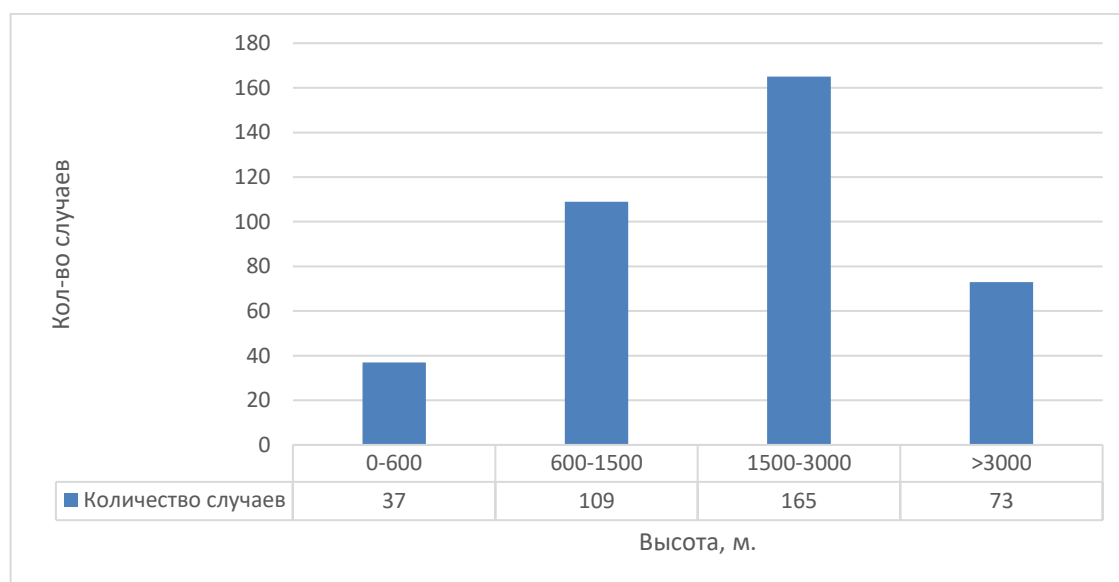


Рисунок 4.4 – Количество случаев обледенения по высоте за период 2016 – 2022 гг. по району прогнозирования АМСГ Сургут

Из рисунка 4.5 можно сделать вывод, что количество случаев обледенения на АМСГ Сургут существенно увеличивается с увеличением высоты полета.

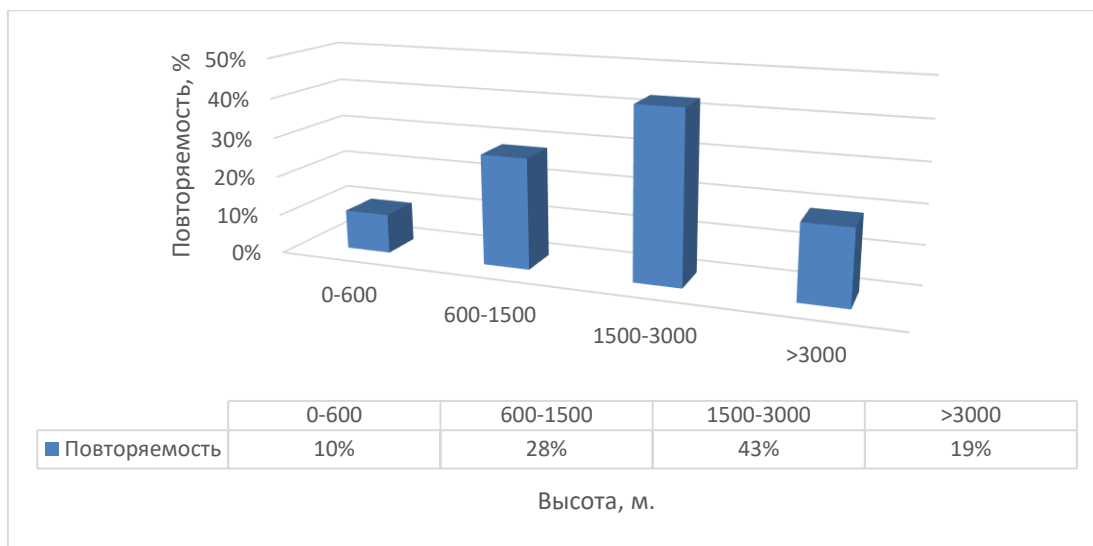


Рисунок 4.5 – Повторяемость случаев обледенения по высоте за период 2016 – 2022 года по району прогнозирования АМСГ Сургут

На высоте 0-600 метров количество случаев обледенения составляет около 10%, на высоте 600-1500 метров – около 28%, на высоте 1500-3000 метров – около 43%, на высоте выше 3000 метров – около 19%. Эти данные говорят о том, что при полете на высоких высотах существует высокий риск обледенения. Поэтому важно принимать соответствующие меры предосторожности, включая регулярную проверку обледенения во время полета и использование специальных систем обледенения, чтобы обеспечить безопасность полетов.

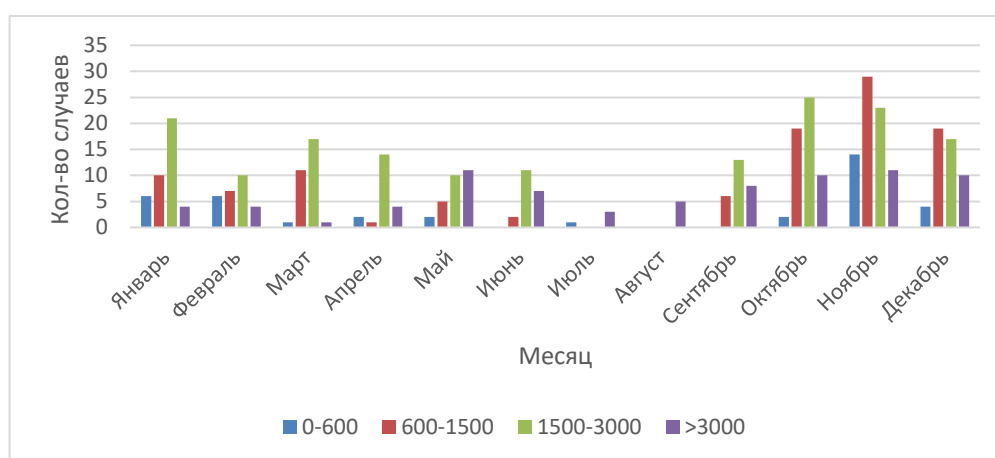


Рисунок 4.6 – Годовой ход повторяемости случаев обледенения по высоте по району прогнозирования АМСГ Сургут за период 2016- 2022 гг.

По распределению случаев обледенения разной интенсивности по высоте полета, следует, что обледенение на высотах от 1500-3000 метров чаще происходит в осенне-зимние месяцы и максимальное количество случаев образуется в ноябре. Наименьшее количество случаев в мае, июле и августе.

На представленной диаграмме (рисунок 4.7) изображена повторяемость синоптических ситуаций по району прогнозирования АМСГ Сургут, с подтвержденным бортовой погодой обледенением разной интенсивности.



Рисунок 4.7 – Повторяемость синоптических ситуаций по району прогнозирования АМСГ Сургут за 2022 год

На фронтах окклюзии, где как правило облачная с осадками погода, повторяемость составила 32%. В тыловой части антициклона, повторяемость составила 17%. В зоне теплых фронтов, чаще всего в теплом воздухе в интервале температур от -10 до -20°C, повторяемость составляет 13%. На вторичном холодном фронте повторяемость составила 11%. В остальных барических образованиях повторяемость обледенения не больше 10%.

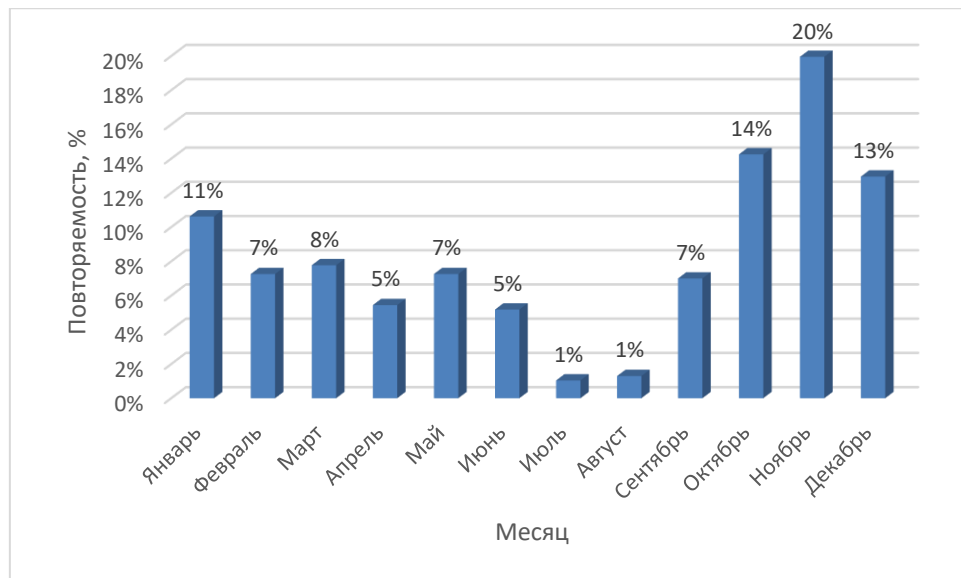


Рисунок 4.8 – Годовое распределение повторяемости по району прогнозирования АМСГ Сургут за период 2016-2022 гг.

Анализируя данные АМСГ Сургут за последние несколько лет, можно сделать вывод о годовом распределении обледенения. Наиболее вероятным месяцем для обледенения является ноябрь, когда средняя температура воздуха в районе Сургута опускается до -18°C . В январе и феврале также достаточно высока вероятность обледенения, при температурах около -20°C . Весной обледенение не так часто встречается, но все же может наблюдаться в апреле, особенно в первой половине месяца. Летом и осенью обледенение не типично для данного региона, но возможно при сложных метеорологических условиях.

4.1 Прогноз обледенения методом Годске

По подтвержденным данным бортовой погоды с 2016 по 2022 год были произведены расчеты оправдываемости возможности возникновения обледенения по району прогнозирования АМСГ Сургут методом чешского физика Годске по формуле 4.1:

$$T_{н.л.} = -8D = -8 (T(z) - T_d(z)), \quad (4.1)$$

где: $T_{н.л.}$ – температура насыщения над льдом
 D – дефицит температуры точки росы
 $T(z)$ – температура
 $T_d(z)$ – температура точки росы

Возникновение обледенения возможно, если температура насыщения над льдом будет больше температуры воздуха. Данный метод следует использовать до высоты 2000 метров [7].

Далее был создан архив подтвержденных случаев обледенения от поверхности земли до высоты 600 метров в пределах от 0°C до -20°C.

Таблица 4.1 - Расчеты оправдываемости прогноза обледенения методом Годске по данным АМСГ Сургут за период с 2016 года по 2022 год

Дата	$T(z)$	$T_d(z)$	D	$T_{н.л.}$	Интенсивность
16.01.2022	-6,6	-8,0	1,4	-11,2	Умеренная
24.01.2022	-15,0	-16,8	1,8	-14,4	Умеренная
24.02.2022	-0,2	-0,6	0,4	-3,2	Умеренная
07.11.2022	-3,0	-3,7	0,7	-5,6	Слабая
09.11.2022	-1,5	-2,5	1,0	-8,0	Умеренная
06.02.2021	-2,4	-2,4	0,0	0,0	Слабая
26.03.2020	-0,5	-0,5	0,0	0,0	Слабая
22.10.2020	-5,0	-5,1	0,1	-0,8	Умеренная
24.11.2020	-7,5	-7,6	0,1	-0,8	Слабая
25.11.2020	-7,5	-7,6	0,1	-0,8	Слабая
07.12.2020	-4,8	-5,0	0,2	-1,6	Умеренная
10.12.2020	-9,9	-11,0	1,1	-8,8	Умеренная
04.01.2019	-7,3	-7,6	0,3	-2,4	Умеренная

13.02.2019	-6,7	-7,8	1,1	-8,8	Умеренная
01.12.2019	-7,7	-13,2	5,5	-44,0	Умеренная
08.12.2019	-2,1	-2,1	0,0	0,0	Умеренная
10.12.2019	-0,3	-0,3	0,0	0,0	Умеренная
15.01.2018	-3,1	-5,0	1,9	-15,2	Умеренная
16.01.2018	-3,5	-5,4	1,9	-15,2	Умеренная
01.11.2018	-7,4	-10,4	3,0	-24,0	Слабая
08.11.2018	-21,2	-23,5	2,3	-18,4	Слабая
12.12.2018	-8,9	-9,0	0,1	-0,8	Умеренная
13.11.2017	-10,2	-10,8	0,6	-4,8	Умеренная
18.11.2017	-7,7	-7,7	0,0	0,0	Умеренная
21.11.2017	-0,5	-0,5	0,0	0,0	Слабая
02.02.2016	-6,0	-7,2	1,2	-9,6	Умеренная
13.02.2016	-7,2	-7,9	0,7	-5,6	Умеренная

После отбора случаев обледенения было получено 27 подходящих под критерии (температура воздуха 0, -20°C, высота 0-600 м) случая. Распределение количества случаев обледенения представлено на рисунке 4.9.

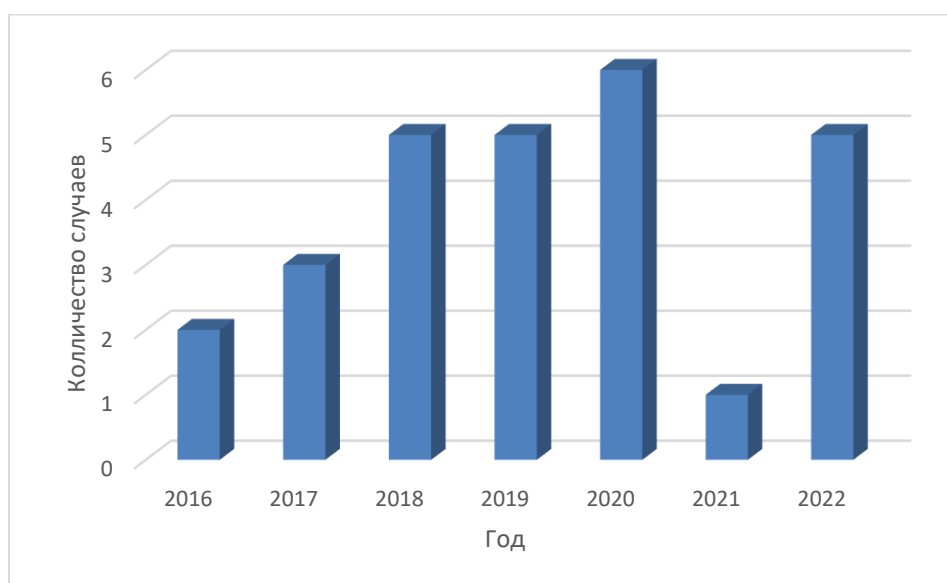


Рисунок 4.9 - Количество случаев обледенения за период 2016-2022 гг. по району прогнозирования АМСГ Сургут (в слое 0-600 м)

Из рисунка 4.9 можно сделать вывод о том, что количество случаев непрерывно росло из-за увеличения количества выполняемых рейсов вплоть до 2021 года, с дальнейшим резким падением в 2021 году в связи с вспышкой коронавируса и уменьшением пассажиропотока [8], что отображено в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Пассажиропоток за период 2016 – 2022 года, млн

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
↗ 1,489	↗ 1,723	↗ 1,758	↗ 1,868	↘ 1,299	↗ 1,847	↗ 1,93

Общая оправдываемость по методу Годске (рис. 4.10) составила 60% за весь период исследования. С ростом количества случаев обледенения, прогноз становится более успешным. Оправдываемость по годам представлена также на рисунке 4.10, из него можно сделать вывод о том, что с большим количеством подтверждённых случаев обледенения оправдываемость метода на высоте 0-600 метров становится более стабильной и показательной.

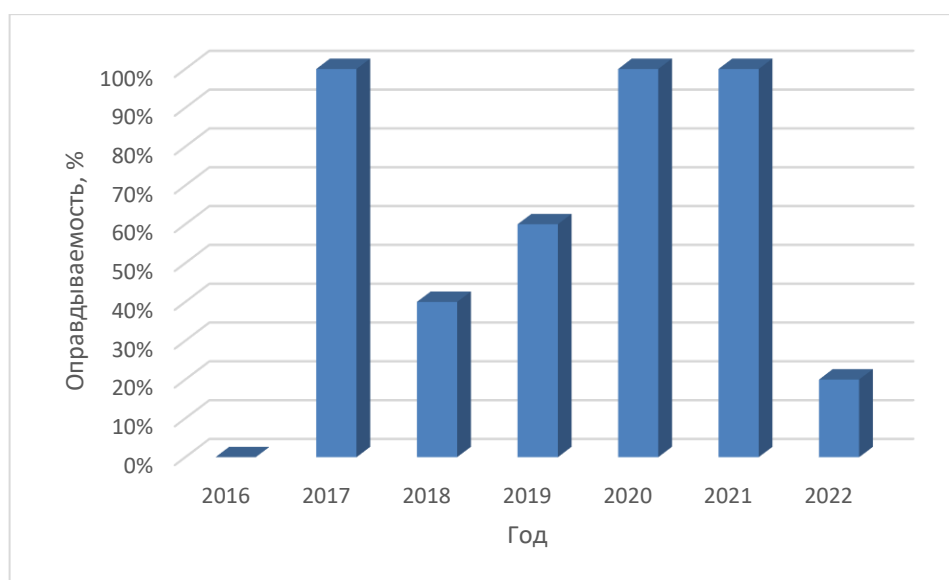


Рисунок 4.10 - Оправдываемость метода Годске (высота 0-600 м) за период 2016 – 2022 гг. по району прогнозирования АМСГ Сургут

Использование метода Годске для прогноза обледенения на рассматриваемой высоте 0-600 метров является оправданным, поскольку он доказал свою эффективность в условиях низких температур и высокой влажности воздуха. На гистограмме было предоставлено, что по данному методу оправдалось 60% (16 случаев), фактически случаев обледенения было зафиксировано 26.

Кроме того, обледенение, вызванное низкими температурами, является частой проблемой в зимний период, и метод Годске позволяет быстро решать эту проблему без использования дополнительных ресурсов. Благодаря своей простоте и эффективности, метод Годске представляет собой надёжный способ прогнозирования, что делает его оправданным и рекомендуемым для использования в зимний период времени.

4. 2 Прогноз обледенения методом Абрамовича К.Г.

Для определения возможности возникновения обледенения в соответствии с подходом, разработанным под руководством К.Г. Абрамовича, используется следующая дискриминантная функция 4.2:

$$L^* = -0,017 H_{\text{нго}} - 0,488 T_{\text{нго}} + 0,875 \quad (4.2)$$

где: $H_{\text{нго}}$ - высота нижней границы облаков, дам

$T_{\text{нго}}$ - температура воздуха на нижней границе облаков, °С

Если значение L^* составляет 0 или больше, то вероятность возникновения умеренного или сильного обледенения значительно высока. В случае, если L^* меньше 0, то можно либо не ждать обледенения, либо ожидать только слабое обледенение.

График на рисунке 4.11 был построен на основании этой формулы и может быть использован для прогнозирования обледенения при наличии

фронтальных облаков и внутримассовых облаков St-Sc, которые имеют большую мощность, примерно 1 километр, и облаков типа Ac с толщиной более 600 метров. Область на графике без обледенения в облаках и область умеренного и сильного обледенения разделены наклонной линией, которая соответствует уравнению $L^* = 0$ [9].

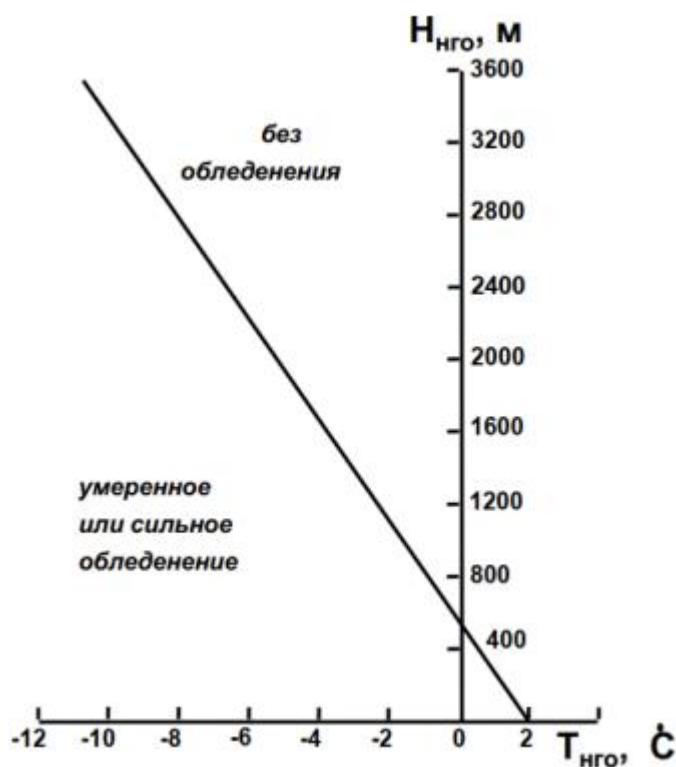


Рисунок 4.11 Прогноз обледенения в облаках

По данным бортовой погоды были выбраны подтвержденные случаи обледенения за 2022 год и представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Подтвержденные случаи обледенения различных интенсивностей за 2022 год по району прогнозирования АМСГ Сургут

Дата	Интенсивность	ВНГО	T ВНГО	L*
07.01.2022	Умеренная	180	-8	4,473
16.01.2022	Умеренная	420	-8	4,065

22.01.2022	Слабая	1050	-12	4,946
23.01.2022	Умеренная	900	-9	3,737
24.01.2022	Умеренная	150	-10	5,5
21.02.2022	Умеренная	540	-7	3,373
23.02.2022	Умеренная	180	-7	3,985
24.02.2022	Умеренная	180	-4	2,521
25.02.2022	Слабая	420	-5	2,601
28.02.2022	Слабая	3000	-14	2,607
03.03.2022	Умеренная	600	-7	3,271
17.03.2022	Слабая	690	-9	4,094
18.03.2022	Слабая	900	-8	3,249
21.03.2022	Слабая	240	-10	5,347
30.03.2022	Умеренная	240	-3	1,931
06.04.2022	Умеренная	600	0	-0,145
18.04.2022	Умеренная	2000	-11	2,843
19.04.2022	Умеренная	2000	-10	2,355
20.04.2022	Умеренная	1500	-5	0,765
05.05.2022	Слабая	390	1	-0,276
06.05.2022	Умеренная	270	-1	0,904
02.06.2022	Слабая	480	-2	1,035
03.06.2022	Сильная	750	-5	2,04
04.06.2022	Умеренная	510	-2	0,984
06.06.2022	Слабая	1200	-3	0,299
29.06.2022	Умеренная	150	7	-2,796
01.07.2022	Слабая	1200	9	-5,557
23.07.2022	Умеренная	1500	3	-3,139
16.08.2022	Умеренная	1200	4	-3,117
26.08.2022	Умеренная	1200	7	-4,581
08.09.2022	Умеренная	660	6	-3,175

11.09.2022	Умеренная	930	0	-0,706
26.09.2022	Слабая	1170	-9	3,278
27.09.2022	Умеренная	750	-9	3,992
29.09.2022	Слабая	1200	-7	2,251
10.10.2022	Умеренная	480	5	-2,381
19.10.2022	Умеренная	240	2	-0,509
20.10.2022	Умеренная	150	2	-0,356
24.10.2022	Умеренная	1170	-5	1,326
25.10.2022	Слабая	210	-3	1,982
28.10.2022	Умеренная	270	-5	2,856
29.10.2022	Умеренная	1260	-7	2,149
30.10.2022	Умеренная	1050	-6	2,018
01.11.2022	Умеренная	270	-3	1,88
02.11.2022	Умеренная	90	2	-0,254
04.11.2022	Умеренная	900	-5	1,785
07.11.2022	Слабая	120	-7	4,087
09.11.2022	Умеренная	210	-5	2,958
10.11.2022	Слабая	70	-4	2,708
11.11.2022	Слабая	90	-5	3,162
13.11.2022	Сильная	150	-8	4,524
14.11.2022	Сильная	210	-7	3,934
24.11.2022	Умеренная	1020	-16	6,949
29.11.2022	Слабая	330	-16	8,122
04.12.2022	Умеренная	600	-10	4,735
20.12.2022	Сильная	480	-13	6,403
24.12.2022	Умеренная	120	-4	2,623
25.12.2022	Умеренная	120	-4	2,623
29.12.2022	Умеренная	120	-11	6,039

Всего в 2022 году было 60 подтвержденных случаев обледенения, для каждого был из них был произведен расчет интенсивности на основе формулы (4.2), впоследствии была предоставлена гистограмма с оправдываемостью интенсивности обледенений в 2022 году.

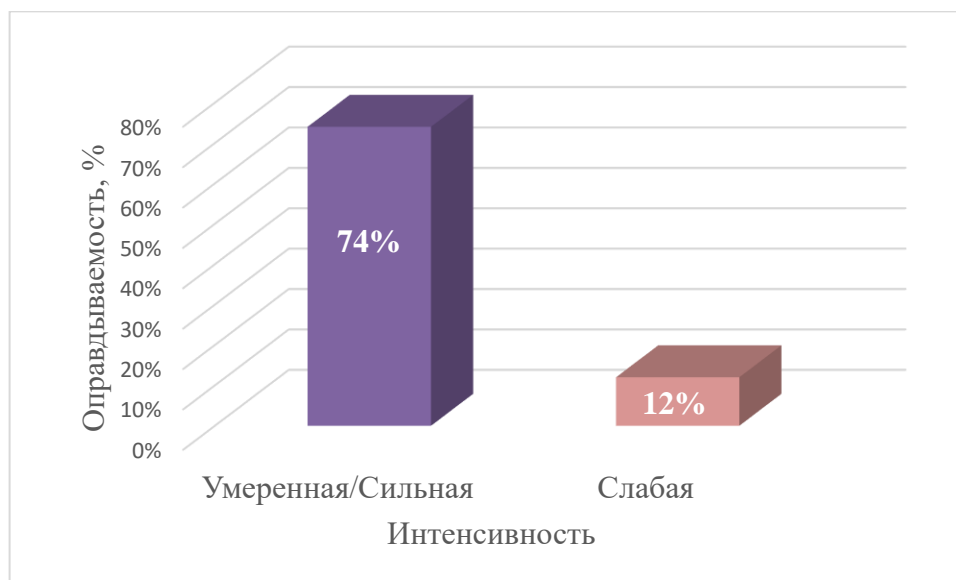


Рисунок 4.12 - Оправдываемость расчета интенсивности обледенения в 2022 году по району прогнозирования АМСГ Сургут

Оправдываемость умеренной и сильной интенсивности составила 74% (32 случая), слабой – 12% (2 случая). Применение графика удобно для прогнозирования условий обледенения в облаках. Также была предоставлена диаграмма годового хода, наиболее высокая оправдываемость на общем фоне была предоставлена в зимний период года и составляла 36% (12 случаев), самая низкая оправдываемость была в летний период года и составила 9% (3 случая).

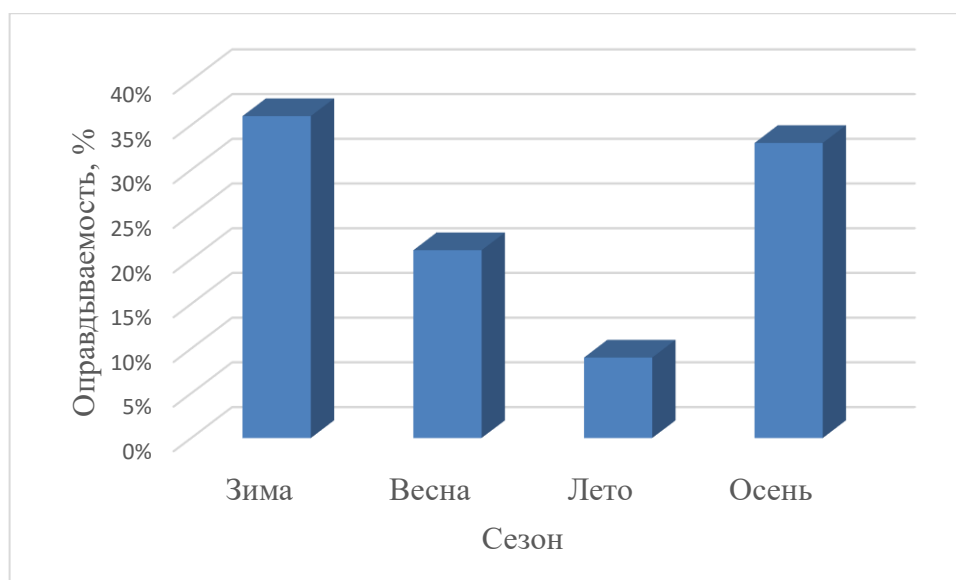


Рисунок 4.13 – Оправдываемость методом Абрамовича К.Г. по сезонам для подтверждённых случаев обледенения за период 2016 – 2022 гг. по району прогнозирования АМСГ Сургут

Путем учета данных о температуре и высоте нижней границы облачности можно быстро определить зону обледенения. В случае района прогнозирования АМСГ Сургут низкая оправдываемость интенсивности методом Абрамовича К.Г. заключается в отсутствии точных данных о температуре по высотам из-за отсутствия данных температурно-ветрового зондирования.

4.3 Методика Абрамовича К.Г. и Горлач И.А.

Если данные радиозондирования отсутствуют, то для прогнозирования обледенения можно использовать методику, разработанную К.Г. Абрамовичем и И.А. Горлач, основанную на анализе карт AT_{850} , AT_{700} и AT_{500} . Потенциальное развитие слоистообразной облачности, которая может привести к обледенению, определяется с помощью дискриминантных функций при выполнении условия, что температура находится в диапазоне от -25°C до 0°C . Дискриминантные функции имеют следующий вид:

$$L850 = 0,239T(z) + 1,701 (T(z)-Td(z)) - 2,046q - 1,751 \quad (4.3.1)$$

$$L700 = 0,091T(z) + 0,654 (T(z)-Td(z)) - 1,313q - 1,011 \quad (4.3.2)$$

$$L500 = 0,102T(z) + 0,675 (T(z)-Td(z)) - 2,301q - 0,256 \quad (4.3.3)$$

где: $T(z)$ - температура окружающего воздуха на измеряемом уровне, °С
 $Td(z)$ - температура точки росы на измеряемом уровне, °С
 q - массовая доля водяного пара на измеряемом уровне, г/м³

В зоне прогнозирования АМСГ Сургут не производится температурно-ветровое зондирование, поэтому данные для расчётов были получены с помощью интерполяции значений метеорологических параметров близлежащих станций (Ханты-Мансийск, Нижневартовск, Ноябрьск). Значения массовой доли водяного пара были определены с применением бланка аэрологической диаграммы. Результаты представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Результаты вычислений возможности обледенения по методу Абрамовича К.Г. и Горлач И.А. в районе прогнозирования АМСГ Сургут за 2022 год

Дата	L850	L700	L500	Высота полета
24.01.2022	-7,4	-1,7	3,9	0-600
21.02.2022	17,5	6,9	-3,9	1500-3000
24.02.2022	-8,1	-1,5	-0,8	0-600
25.02.2022	-6,0	-3,1	-0,1	1500-3000
28.02.2022	-7,5	-0,1	6,6	1500-3000
03.03.2022	-6,7	-1,0	1,9	600-1500
17.03.2022	-6,8	-3,9	-3,9	1500-3000
18.03.2022	-8,4	5,3	-1,6	600-1500

21.03.2022	-7,4	-4,0	-3,8	1500-3000
30.03.2022	-3,6	1,6	-3,2	1500-3000
06.04.2022	-7,0	-3,9	-1,7	>3000
18.04.2022	-6,6	-2,5	-0,1	1500-3000
19.04.2022	-1,5	-1,6	-1,0	1500-3000
20.04.2022	-1,2	-4,3	-3,4	1500-3000
05.05.2022	6,7	-3,0	-2,8	>3000
06.05.2022	4,9	-3,1	-3,2	1500-3000
02.06.2022	-6,8	4,2	-0,4	1500-3000
03.06.2022	-7,1	-2,0	-7,3	1500-3000
06.06.2022	-2,9	3,9	4,1	1500-3000
29.06.2022	-5,4	-1,0	5,6	>3000
01.07.2022	-11,3	-1,0	2,0	>3000
23.07.2022	-12,6	-7,2	-6,0	>3000
26.08.2022	-5,9	14,5	10,3	>3000
08.09.2022	-9,9	-3,3	-1,1	>3000
27.09.2022	-2,4	0,6	12,8	1500-3000
29.09.2022	-2,3	-1,9	-0,3	1500-3000
10.10.2022	-3,5	-1,7	-1,6	>3000
19.10.2022	-1,0	-3,9	7,1	>3000
20.10.2022	-6,5	-2,8	-0,2	1500-3000
24.10.2022	6,5	-2,5	-0,3	1500-3000
25.10.2022	-4,4	4,6	-2,2	0-600
28.10.2022	9,9	6,4	1,7	600-1500
01.11.2022	18,3	-0,7	-1,5	>3000
02.11.2022	-6,4	-3,3	-1,0	>3000
07.11.2022	-2,4	-1,6	1,2	0-600
10.11.2022	-4,9	-1,8	1,2	600-1500
11.11.2022	-6,4	1,9	7,1	600-1500

14.11.2022	-2,6	0,4	1,0	600-1500
24.11.2022	5,1	0,2	-0,9	1500-3000
29.11.2022	0,0	0,0	1,2	600-1500
20.12.2022	-6,4	-4,3	-3,6	1500-3000
29.12.2022	-0,6	-0,4	5,2	>3000

Если в результате расчетов знак функции становится отрицательным, то это означает, что наблюдается развитие слоистообразной облачности, что может привести к обледенению. Модель успешно предсказала появление обледенения на высотах 850 гПа, 700 гПа и 500 гПа. Прогноз возможности возникновения обледенения для уровня 850 гПа составлялся для высот 0-1500 м, что потом было подтверждено данными бортовой погоды. Качество физико-статистического метода прогнозирования и успешность прогноза зон с обледенением зависят от качества и количества первичной информации.

Таблица 4.5 – Оценка качества физико-статистического метода

Прогнозируемая зона возникновения обледенения	Оправдываемость обледенения методом Абрамовича К.Г. и Горлач И.А.
850 гПа ± 500 м	91%
700 гПа ± 500 м	92%

В целом, методика Абрамовича является эффективным и точным способом расчета обледенения на разных изобарических поверхностях.

4.4 Анализ основных условий для возникновения обледенения в районе прогнозирования АМСГ Сургут при подтвержденных случаях обледенения

Рассмотрим статистику на полном интервале наблюдений: с 01.01.2016 по 31.12.2022 в периоды, когда авиационная метеорологическая служба аэропорта фиксировала обледенение ВС. Метеорологической службой аэропорта за рассматриваемый период времени отмечен 386 случаев обледенения ВС. Наибольшее число таких событий зафиксировано в 2020 году — 79, наименьшее число было зафиксировано в 2016 году – 37. В диапазоне высот 0-600 метров было зафиксировано всего 37 случаев обледенения.



Рисунок 4.14 - Повторяемость абсолютной влажности за период с 2016 по 2022 год по району прогнозирования АМСГ Сургут

На рисунке 4.14 приведен график, отражающий процент отмеченных службой обледенений ВС в зависимости от влагосодержания, также видно, что в рассматриваемый период времени значения абсолютной влажности варьировались в широком диапазоне: от 0,1 г/м³ до 21,1 г/м³. График распределения абсолютной влажности в периоды обледенения ВС Максимальная повторяемость соответствует интервалу значений Q: 1,3–

6,1 г/м³. При относительно низком содержании водяного пара ($Q \leq 1$ г/м³) вероятность обледенения ВС близка к нулю.

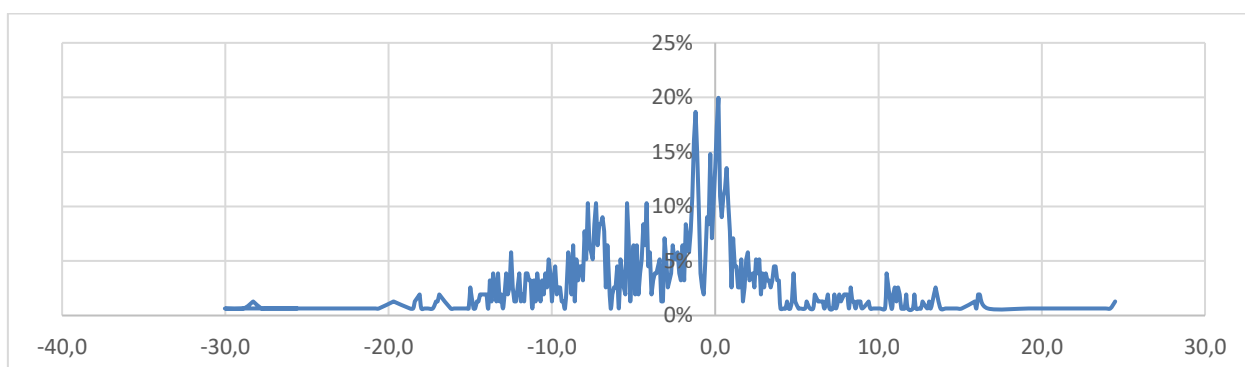


Рисунок 4.15 – Повторяемость температуры воздуха за период с 2016 по 2022 гг. по району прогнозирования АМСГ Сургут

Из графика распределения температуры обледенения можно сделать вывод, что чем ближе температура к нулю градусов (то есть, к точке замерзания воды), тем больше вероятность образования обледенения. Также можно заметить, что распределение имеет пик в районе -1,2 градуса и 0,2 градуса, что свидетельствует о наибольшей вероятности образования льда при такой температуре. Однако, в целом, можно сказать, что чем ниже температура, тем выше вероятность образования льда и чем выше температура, тем меньше вероятность его образования.

На основании проведенного статистического анализа данных можно сформулировать количественный критерий возникновения в атмосфере условий, приводящих к обледенению ВС:

$$\text{При } Q \geq 1,3 \text{ г/м}^3, -15,2^\circ\text{C} \leq T(z) \leq 1^\circ\text{C}$$

Данные условия являются научными основами нового способа дистанционного определения условий обледенения ВС с использованием радиометрии реального времени.



Рисунок 4.16 – Повторяемость ВНГО за период с 2016 года по 2022 год по району прогнозирования АМСГ Сургут

Хорошо известно, что обледенение ВС с большей вероятностью будет наблюдаться в облаках и в подоблачном слое. Анализ данных архив АВ-6 за период с 2016 года по 2022 год, показывает, что обледенение ВС происходит в основном в облаках. Таким образом, количественный критерий необходимо дополнить информацией о высоте нижней границы облачности, что существенным образом улучшит качество прогноза обледенения ВС.

На рисунке 4.16 показаны пространственные зоны обледенения воздушных судов в облачном слое по данным архива АВ-6 за период с 2016 года по 2022 гг.

Из распределения высоты нижней границы облаков в случаях обледенения можно сделать вывод, что большинство облаков имеют низкую высоту нижней границы, примерно до 100 метров. Однако, есть также значительное количество случаев с высотой нижней границы свыше 100 метров и до 600 метров. Также можно отметить, что наиболее часто встречающаяся высота нижней границы облаков составляет примерно 1,2 км. Это может быть полезной информацией для планирования и проведения метеорологических исследований и прогнозов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения безопасности полетов во время наибольшей вероятности образования обледенения в районе аэродрома Сургут необходимы высококачественные и эффективные прогнозы. Для этого необходимо анализировать и прогнозировать расположение облачных систем в пространстве и выделять слои, где температура может стать достаточно холодной для образования обледенения.

Проведен анализ случаев обледенения в различных метеорологических условиях. В районе прогнозирования АМСГ Сургут было обнаружено, что обледенение с большей частотой образуется на фронтах окклюзии, где как правило облачная с осадками погода, повторяемость составила 32%. В тыловой части антициклона повторяемость составила 17%. В остальных барических образованиях повторяемость обледенения составила не более 15%.

В районе прогнозирования АМСГ Сургут за период январь 2016 – декабрь 2022 года отмечалось 386 случаев обледенения, из них обледенение слабой интенсивности составило всего 23% (104 случая). Это может быть вызвано низкой скоростью полета ВС, так как данные о фактическом обледенении передаются в основном на взлете или посадке, когда воздушные суда находятся в зонах переохлажденных осадков на короткий период времени.

За период исследования в районе прогнозирования АМСГ Сургут преобладает умеренная интенсивность обледенения, из общего числа умеренная интенсивность наблюдалась в 65% (241 случаев). Количество случаев сильного обледенения было зафиксировано в 12% (41 случай).

Годовое распределение по месяцам за весь период исследования показал повторяемость обледенения в осенне-зимний период более высокую, всего 278 случаев – около 72%. Этот переходный период характерен обилием осадков в

виде дождя, снега, мороси, ледяного дождя, снежной крупы, большой влажностью и температурой окружающего воздуха в диапазоне от 0 °С до минусовых значений. В теплый период обледенение отмечается намного реже – 28% или 108 случаев. На годовое распределение влияет континентальный климат и смещение фронтов с запада на восток в холодный период года.

На юго-востоке от аэродрома находится ГРЭС с пятью трубами высотой 240-280 метров. На удалении 5-7 километров имеется теплое незамерзающее водохранилище ГРЭС. В морозные дни близость промышленной зоны города в южной части горизонта, дымление труб ГРЭС и парение теплого водоема создают особо благоприятные условия для возникновения радиационных дымок, туманов, морозных туманов и низкой слоистой подынверсионной облачности, что может являться дополнительным фактором образования обледенения в нижних слоях слоистой облачности, выше нулевой изотермы.

Из распределения обледенения по высоте можно сделать вывод, что количество случаев обледенения по району прогнозирования АМСГ Сургут существенно увеличивается с увеличением высоты полета. На высоте от поверхности земли до 600 метров количество случаев обледенения составляет около 8%, на высоте 600-1500 метров – 2%, на высоте 1500-3000 метров – 62%, на высоте выше 3000 метров – 18%. Эти данные говорят о том, что при полете на высоких высотах существуют высокий риск обледенения.

Проанализировав методы прогнозирования обледенения, пришли к выводу возможности применения метода Годске в осенне-зимний период, а методики разработанной К.Г. Абрамовичем и И.А. Горлач во все периоды, как дополнительные методы расчета для прогнозирования обледенения к основному методу – синоптическому.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. - 339 с.
2. Обледенение летательных аппаратов. [Электронный ресурс]. URL: <http://avia-simply.ru/obledenenie-letateljnih-apparatov/t> [Электронный ресурс]
3. Опасность обледенения. [Электронный ресурс]. URL: https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/icing_stuff/icing/icing.htm
4. Физическая сущность обледенения ВС. [Электронный ресурс]. https://studwood.net/1646622/tehnika/fizicheskaya_suschnost_obledeneniya_osobennosti_posledstviya_obledeneniya
5. Flymeteo. [Электронный ресурс]. URL: <https://flymeteo.org/stat/icing.php>
6. Климатологическое описание аэродрома Сургут 2006 – 2015 – г. Сургут, 2017. – 184 с.
7. Богаткин О. Г., Топтунова О. Н., Волобуева О. В., Иванова И. А. Практикум по авиационной метеорологии: Учебное пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 154 с.
8. Международный аэропорт Сургут имени Ф.К. Салманова. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airport-surgut.ru/>
9. Абрамович К.Г. «Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации», К. Г. Абрамович, А.А. Васильев – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с