



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: «Влияние гроз и шквалов на полёты воздушных судов»

Исполнитель Кустова Алёна Андреевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, профессор  
(ученая степень, ученое звание)

Богаткин Олег Георгиевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

« 05 » июня 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Грозы и шквалы как опасные явления, этапы их возникновения и методы прогноза .....	5
1.1. Возникновение гроз .....	5
1.1.1. Этапы формирования грозовых облаков .....	5
1.1.2. Причины возникновения кучево-дождевой облачности .....	7
1.1.2.1. Тыловая часть циклона .....	8
1.1.2.2. Заполняющаяся депрессия .....	9
1.1.2.3. Западная часть антициклона .....	10
1.1.2.4. Ослабевающий антициклон .....	11
1.1.2.5. Фронтальные кучево-дождевые облака .....	12
1.1.3. Виды гроз .....	13
1.2. Методы прогноза гроз .....	15
1.2.1. Использование данных метеорологического радиолокатора для диагноза и прогноза грозовых очагов .....	15
1.2.2. Прогноз грозовой деятельности методом частицы .....	16
1.2.3. Прогноз гроз по методу Вайтинга .....	17
1.2.4. Метод прогноза грозовой деятельности по Фатееву .....	18
1.2.5. Прогноз гроз по методу Фауста .....	18
1.2.6. Прогноз гроз по методу Г.Д. Решетова .....	19
1.3. Грозы и шквалы как опасные для авиации явления погоды .....	21
1.3.1. Особенности выполнения полётов в зоне грозовой деятельности .....	23
1.4. Возникновение и прогноз шквалов.....	24
2 Исходный материал и методы его обработки .....	31
2.1. Характеристика исходных данных и методика обработки исходной информации .....	31

2.2. Физико-географическое описание аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург.....	32
2.3. Общая климатическая характеристика аэропорта «Пулково» .....	33
3 Влияние гроз на полёты воздушных судов на территории аэропорта «Пулково» .....	37
3.1. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2016 год .....	37
3.2. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2017 год .....	43
3.3. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2018 год .....	48
3.4. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2019 год .....	53
3.5. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2020 год .....	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Грозы – это опасное для авиации комплексное атмосферное явление, связанное с кучевой и кучево-дождевой облачностью, характеризующееся электрическими разрядами в виде молний. Грозы возникают в зонах конвективной деятельности.

Главная характеристика грозы – это молнии. Они возникают в результате образования в кучевой облачности объемных электрических зарядов вследствие электризации капель воды и кристаллов льда [5].

Актуальность темы данной выпускной квалификационной работы заключается в том, что опасные метеорологические явления, которые по своей интенсивности, продолжительности или времени возникновения достигли критических значений порой наносят непоправимый ущерб не только в области населения, экономики, но и в области авиации, а именно, причинение вреда при полёте самолетов и безопасности перелётов.

Объектом исследования является опасное комплексное атмосферное явление в виде гроз и шквалов на территории аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург и в радиусе 100 км от него.

**Целью выпускной квалификационной работы** является исследовать влияние гроз и шквалов на полёты воздушных судов и провести расчеты и анализ продолжительности и количества гроз с 2016 по 2020 год, как факторов, воздействующих на деятельность авиации в условиях грозовой активности.

### **Поставленные задачи выпускной квалификационной работы:**

1. Изучить условия образования гроз и шквалов, причины их возникновения, а также рассмотреть виды гроз;
2. Изучить вопрос опасности гроз и шквалов для авиации;
3. Изучить методологию прогнозирования гроз и шквалов;

4. Провести исследование на количество и продолжительность гроз в районе аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург на основе метеорологических данных за 2016 – 2020 гг.

5. Проанализировать годовой и суточный ход гроз в радиусе аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург на основе метеоданных за 2016 – 2020 гг.

Данная выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения и списка использованных источников.

1 Глава: включает в себя теоретические вопросы, связанные с развитием кучево-дождевой облачности, гроз и шквалов;

2 Глава: заключается в анализе исходного материала;

3 Глава: содержит в себе результаты проведенных исследований.

Вся работа посвящена повышению безопасности полётов авиации России.

# 1 Грозы и шквалы как опасные явления, этапы их возникновения и методы прогноза

## 1.1. Возникновение гроз

Для развития облака, мощность в котором будет достаточной для прогрессивного «рождения» грозовой активности, необходимо наличие обильной влаги вертикальных токов в атмосферном воздухе. В подавляющем большинстве такие облака вырастают вблизи обширных водных поверхностей и горных массивов с помощью поднимающихся потоков воздушных масс с поверхности гор. Для появления таких облаков, нужно чтобы воздух поднялся вверх, огибая различные природные препятствия. Такие облака чаще всего формируются на стыке двух воздушных масс: тёплой и холодной [7].

Таблица 1.1 – Условия формирования гроз

<b>Необходимые условия</b>	
1.	Повышенный коэффициент влажности атмосферного воздуха
2.	Нестабильное состояние атмосферного воздуха
3.	Точка невозврата, толкающая частичку атмосферного воздуха вверх

### 1.1.1. Этапы формирования грозовых облаков

Как известно для того, чтобы облако стало грозовым, ему нужно пройти несколько стадий преобразования. Все они отличаются определёнными характеристиками.

Таблица 1.2 – Характеристики преобразования

1.	Интенсивность конвекции на разных стадиях формирования
2.	Многоуровневая система облачности
3.	Электрические свойства системы состояния

Всеизвестной классификацией этапов формирования грозовой активности является структура деления на три стадии, в каждой из них описываются формирующиеся условия лётной деятельности [1].

### **1. Начальная стадия развития**

Этот этап начинается с возникновения облака и заканчивается выпадением первого дождя. Сначала это обычное кучевое облако, которое плавно переходит в мощное кучевое.

Нижняя граница этих облаков варьируется в пределах 800 - 1500 м, а верхняя - 3-5 км. Восходящие вертикальные токи в облаках могут достигать 15-20 м/с, а нисходящие токи малы по своей величине. Этот этап развития кучево-дождевого облака наименее опасен для полетов. В районе облака иногда наблюдается слабая или умеренная турбулентность, а также слабое или умеренное обледенение в области низких температур.

### **2. Стадия зрелого облака**

Этап зрелого облака начинает реализовываться с момента выпадения первых капель дождя, а это говорит о том, что в облаке начинают появляться кристаллы, и заканчивается первоначальной стадией разрушения. На этой стадии нижняя граница облака опускается до 300-500 м, верхняя граница может достигать высоты 8-15 км или тропопаузы. В верхней части облака формируется наковальня. У земли в это время выпадают интенсивные ливневые осадки, электрические разряды, есть вероятность града. В облаке наблюдается очень сильная турбулентность и обледенение. Восходящие токи в облаке могут до-

стигать 50 м/с, а нисходящие по краям облака - 30 м/с. В передней части кучево-дождевого облака (по ходу его движения) у земли образуется «крутящийся вал», шквал или смерч. В этой стадии грозовое облако наиболее опасно для полетов, и полеты в таких облаках категорически запрещены.

### **3. Стадия рассеяния**

Эта стадия развития облака продолжается от первоначальной стадии разрушения до момента преобразования облака в другие формы. При этом образуются облака различных ярусов, небольшие по вертикальной мощности и не очень опасные для полетов. Вертикальные токи в таких облаках направлены как вверх, так и вниз, но их скорость не превышает 5 м/с.

В такой облачности можно наблюдать слабые турбулентность и обледенение. Средняя продолжительность существования грозового облака составляет примерно 5 ч. Иногда все три этапа развития облака проходят за один час, а иногда грозовое облако сохраняется до 10 ч и более.

Облако электризуется в период его образования. После скопления большого объема электрических зарядов и достижения между облаками или между облаком и землей напряженности электрического поля, превышающей пробивную напряженность, возникают молнии, при этом опасность для авиации чрезвычайно велика.

Представленные выше стадии грозового облака могут развиваться неоднородно и зависят от влагосодержания воздушной массы, контраста температур в зоне атмосферного фронта и рельефа местности, над которой проходят кучево-дождевые облака [1].

#### **1.1.2. Причины возникновения кучево-дождевой облачности**

Физические условия формирования конвекции и связанные с ней явления погоды предопределены аэросиноптическими условиями. В зависимости

от «картины» синоптического положения конвективная облачность, ливни и грозы делят на внутримассовые и фронтальные.

#### 1.1.2.1. Тыловая часть циклона

В тыловой части циклонов, выходящих на материк в теплое время года, можно наблюдать морской арктический (МАВ) или морской умеренный (МУВ) воздух.

При движении над теплой подстилающей поверхностью холодный воздух быстро нагревается и становится неустойчивым. В МАВ из-за низких температур и небольшого влагосодержания атмосферы конвективная облачность не получает достаточного вертикального развития. Ливневые осадки из грозовой облачности могут выпадать при существенном увлажнении, что в большинстве случаев наблюдается весной при передвижении над влажной подстилающей поверхностью (Рисунок 1.1) [6].

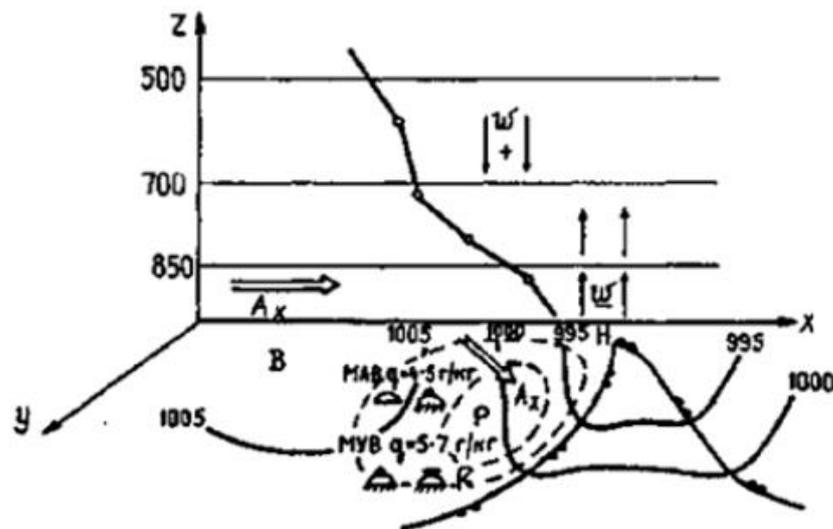


Рисунок 1.1 – Тыловая часть циклона

В МУВ температура воздуха выше и влагосодержание больше, поэтому для данной воздушной массы характерно образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, а при передвижении в южные широты его неустойчивость возрастает и в данном воздухе могут наблюдаться грозы.

#### 1.1.2.2. Заполняющаяся депрессия

Это малоподвижные циклоны, которые значительно заполнились в нижних слоях, но хорошо выражены в средней и верхней тропосфере.

Циклон заполняется так, что при этом появляются разрывы в облачности, в утренние часы наблюдается малооблачная погода. Это ведет за собой быстрый прогрев воздуха. Поскольку верхние слои воздуха подготовлены для развития конвекции, то происходит интенсивное развитие кучево-дождевой облачности.

Однако, вследствие прошедших в предыдущие сутки обложных осадков почва в области депрессии достаточно увлажнена и становится источником бесконечного увлажнения атмосферы. Высокие значения массовой доли водяного пара  $q$  наблюдаются как у поверхности земли (7—12 г/кг), так и на высотах (на поверхности семьсот гектопаскалей она достигает 3—6 г/кг, относительная влажность 60—80 %). В результате действия вышеперечисленных факторов настает продолжительный (от пяти до семи суток) период ливневых дождей и гроз, который охватывает обширные районы местности (Рисунок 1.2) [6].

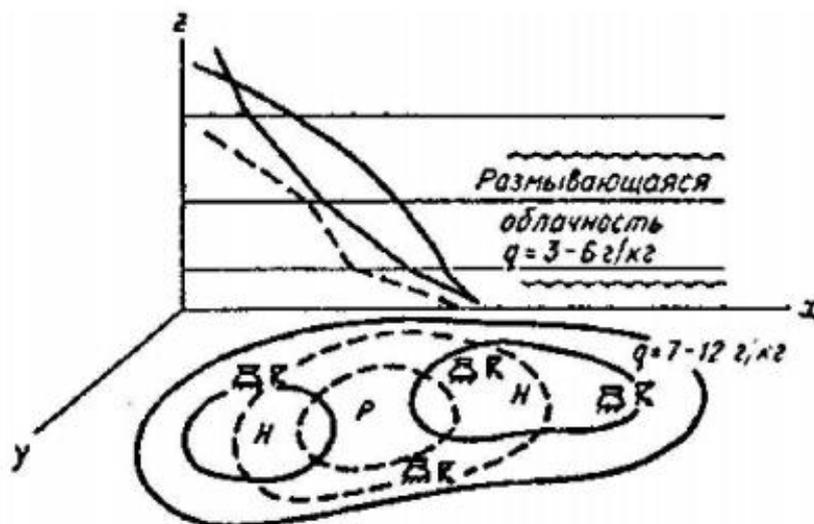


Рисунок 1.2 – Заполняющаяся депрессия

### 1.1.2.3. Западная часть антициклона

В одних случаях характер погоды при данном синоптическом положении наблюдается сухая жаркая погода, в других — погода с ливнями и грозами над значительными территориями. Разнообразный характер погоды можно объяснить различными воздушными массами, наблюдающимися летом. Если по западной периферии антициклона происходит вынос с южных районов морского тропического воздуха (МТВ), летом над материком это теплая неустойчивая воздушная масса.

Данный тип воздушной массы также свойственен для теплого сектора циклона, где может наблюдаться развитие кучевой облачности, ливней и гроз.

Основополагающие факторы, помогающие формированию неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности, ливней и гроз, являются возрастание влажности воздуха как у земли, так и на высотах (относительная влажность от семидесяти до восьмидесяти процентов) и уменьшение адвекции теплого воздуха с высотой (Рисунок 1.3) [6].

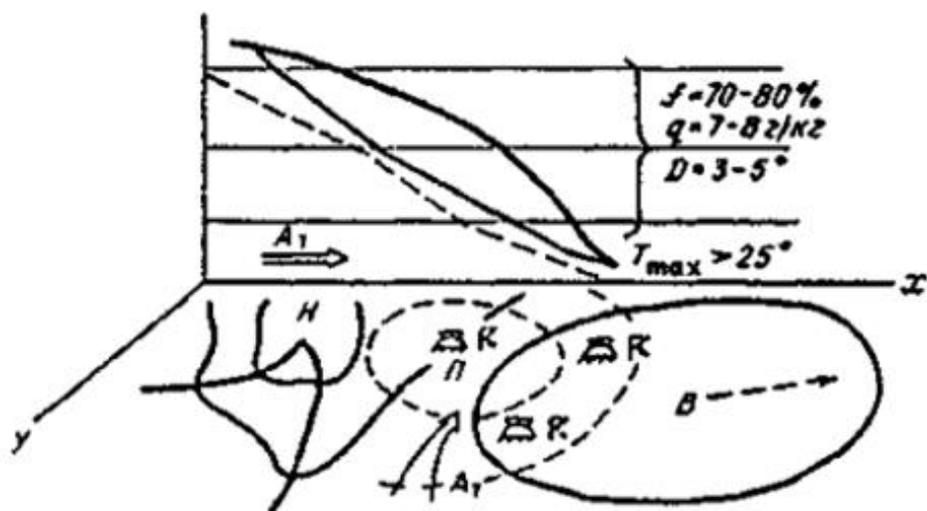


Рисунок 1.3 – Западная периферия антициклона

#### 1.1.2.4. Ослабевающий антициклон

В ослабевающих антициклонах в ряде случаев распространение ливней и гроз носит локальный характер. Только иногда создаются условия необходимые для повсеместного развития ливневых осадков и гроз. Спецификой ослабевающих летних антициклонов является зона высоких температур у земной поверхности, достигающие в дневные часы  $30^{\circ}\text{C}$ . Поэтому основным фактором, приводящим к развитию конвективных образований, является весоное увеличение влажности у поверхности земли с помощью испарения с подстилающей поверхности. Для образования кучево-дождевых облаков необходимо наличие высоких значений точки росы у поверхности земли — не ниже  $14\text{—}16^{\circ}\text{C}$  (Рисунок 1.4) [6].

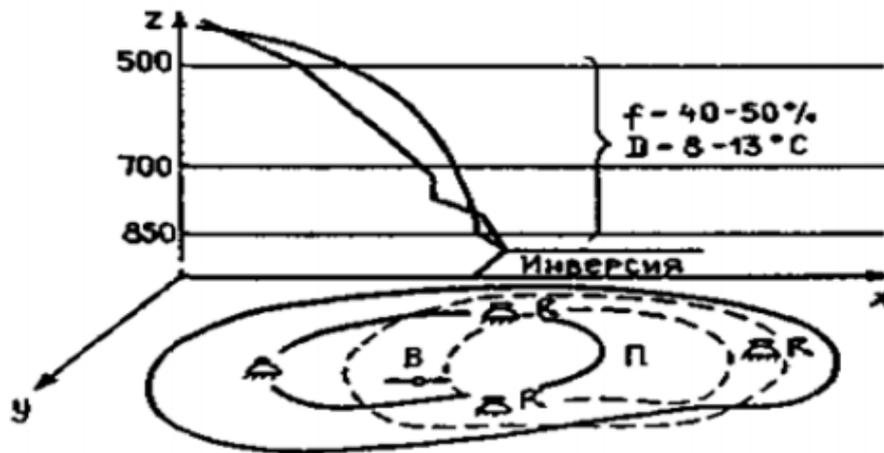


Рисунок 1.4 – Ослабевающий антициклон

#### 1.1.2.5. Фронтальные кучево-дождевые облака

Часто представлены грядами, собранными вдоль линии фронта, и являются более мощными, чем внутримассовые. Фронтальные ливни и грозы в основном связаны с холодными фронтами и фронтами окклюзии по типу холодного.

На теплых фронтах и фронтах окклюзии по типу теплого ливни и грозы наблюдаются редко. Это связано с разными условиями образования конвекции в области теплых и холодных фронтов.

Конвективные явления в зоне холодных фронтов имеют конкретно выраженный суточный ход. Днем конвекция увеличивается и достигается максимума после двенадцати часов дня, а ночью - понижается. Условия образования конвекции на холодных фронтах первого и второго рода - разные. Если конвекция на холодном фронте I рода является затопленной, и ливневые осадки выпадают вместе с обложными или сменяются ими, то на холодном фронте II рода, вторичных холодных фронтах кучево-дождевые облака развиваются самостоятельно и сопровождаются такими явлениями, как грозы и шквалы [6].

### 1.1.3. Виды гроз

Существующие виды гроз, представленные в таблице ниже:

Таблица 1.3 – Виды гроз

<b>Внутримассовые</b>	<b>Фронтальные</b>
Тепловые грозы	Грозы теплого фронта
Адвективные грозы	Грозы холодного фронта
Орографические грозы	Грозы фронта окклюзии

**Тепловыми грозами** их называют по причине высоких температур, порядка 22—25 °С у приземного слоя во время их прохождения. Они относятся к малоподвижным и чаще всего развиваются после полудня. Параметры этих гроз малы и скорость их достигает от десяти до пятнадцати метров в секунду, а усиление ветра происходит перед самой грозой. Несмотря на это тепловые грозы влекут за собой другие опасные явления, а также обильные ливни, часто сопровождающиеся молниями и градом. Однако практика показывает, что их нетрудно облететь из-за небольших размеров этих гроз.

**Адвективные грозы** образуются в тыловой части циклона в морской умеренной воздушной массе, развиваясь при это в отрицательных температурах. Имеют характер быстрого перемещения и чаще всего изолированы от других облачных систем.

**Орографические грозы** развиваются в горных массивах, когда существуют природные препятствия, вызывающие подъем вертикальных токов переносимых воздушных масс.

**Грозы на холодном фронте** возникают, обычно растянувшись по линии фронта на пятьдесят, а то и семьдесят километров в ширину и их скорость иногда превышает сто километров в час. При этом они имеют разрывы в десять,

двадцать километров, в следствии чего возможность облёта таких грозových массивов маловероятна и не безопасна. Интересным фактом является усиление формирования их в дневные часы и ослабевание в ночное время суток.

**Грозы на теплом фронте** редкое явление, потому что теплый фронт приводит к образованию слоистой облачности, а не кучевой. Слоистая облачность формирует осадки обложного характера, а не ливневого. Такие грозы возникают из-за образовавшихся над Черным и Средиземным морем южных циклонов, которые в последствии перемещаются на Европейскую территорию России. Воздушные суда в такие грозových очаги попадают случайно, по причине того, что кучевые облака в таком фронте незаметны в общей массе слоистой облачности. Для их определения используют радиолокационную сеть, установленную на борту самолёта. Также следует помнить, что такую облачность нужно облетать выше верхней границы облачности.

Характерной особенностью формирования грозových активности на теплом фронте является их усиление в ночное время и ослабление – в дневное. Было установлено, что это происходит в результате охлаждения верхней границы облачности, которая в течении всего дня претерпевала нагревание. В ходе этого вертикальный градиент температуры в частях облака увеличивает, приводя к неустойчивости системы атмосферного воздуха. После чего начинает развиваться вертикальные токи и кучевая облачность.

**Грозы на фронтах окклюзии** наблюдаются в любое время суток, но чаще всего на фронтах окклюзии по типу холодного в вечерние часы. Данный вид гроз не является повсеместным и поэтому облёт таких гроз не доставляет особенных трудностей [5].

## 1.2. Методы прогноза гроз

### 1.2.1. Использование данных метеорологического радиолокатора для диагноза и прогноза грозových очагов

Наблюдения за грозами на основе метеорологического лоатора проводят на расстоянии менее сорока километров от станции. Если планируется прогноз на дистанционном расстоянии, тогда диаметр радиолокатора может достигать трёхсот километров. С помощью этого радиолокатора определяют форму облачности по волновым частотам. Обнаруженная облачность классифицируется тремя видами.

1. Облака кучево-дождевых форм, содержащие опасность выпадения града.

Облака, из которых выпадают градины размером более одного сантиметра называют градовыми. Если линия одинаковых температур поверхности является нулевой и растягивается на три, четыре километра, град ожидается меньше 1,6-1,8 см. При его выпадении он успевает растаять, не достигнув земли. При образовании данного града облака в таком случае принято называть градоносными. В том случае, если изотерма находится выше полутора, двух километров, град вырастает до таких размеров, что успевает пролететь все облако и выпасть на землю. Из-за того, что радиолокационные сигналы градовых и дождевых облаков отличаются, то и природа их возникновения различна [2].

2. Ливневые осадки, которые содержат опасные для авиации грозовые очаги.

Кучевые облака, которые претерпевают основные этапы грозовой активности, носят разрушительный грозовой характер, при этом отличаясь радиоэхом.

Таблица 1.4 – Волновое отражение сигналов

Внутримассовые облака	Фронтальные облака
Наблюдение от одного часа до двух с половиной часов.	Наблюдение составляет от трёх до шести часов.

Также известно, что радиоэхо кучевой облачности является широким в высоту, при этом являясь больше горизонтальных размеров отражения радиоволн [2].

3. Облака конвективного развития и ливни, не являющиеся опасными.

Имеется в виду, что эти облака имеют характер развития мощно-кучевых и кучево-дождевых, но при этом не успевают достигнуть грозовой стадии, при этом имея резкий рост восходящих потоков, сформировавшуюся турбулентность, осадки. Также благодаря по выбранному виду радиоэха и по необходимой высоте узнают сумму осадков за конкретный временной промежуток, основываясь на статистических данных. А на принципе перемещения вместе с областью облачности формируется прогноз таких явлений, как: осадки, грозы, град. Предварительность прогноза варьируется от часа до двенадцати часов, но чаще всего результаты наиболее удачными выходят при прогнозировании до трёх часов. а прогноз осадков, гроз и града основывается на использовании принципа перемещения этих явлений вместе с зоной радиоэха облачности [2].

#### 1.2.2. Прогноз грозовой деятельности методом частицы

Прогноз гроз методом частицы – общепринятый метод прогнозирования грозовой деятельности.

Схема обусловлена следующим порядком работы, представленным ниже:

- В утренние часы зондируют ветровую и температурную составляющую;
- По этим данным ведется обработка аэрологии и строится кривая состояния;

- Если разница уровней конвекции и конденсации превышает четыре с половиной километра – можно прогнозировать грозу [2].

### 1.2.3. Прогноз гроз по методу Вайтинга

По этому методу ведется расчёт параметра  $K$ , проведённого в утренние часы, представленной в формуле 1.1.:

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700}, \quad (1.1)$$

где  $T$  - температура;  $D$  - дефицит температуры точки росы на определенном уровне.

Далее показатель  $K$  распадается на несколько классификаций:

- коэффициент  $K$  меньше двадцати – риск возникновения исключён;
- коэффициент  $K$  варьируется от двадцати до двадцати пяти – можно ожидать возникновение грозовой локальной грозовой активности;
- а вот если коэффициент  $K$  превышает значение тридцати, то грозовой деятельности не избежать во всех направлениях действия, и требуется наблюдения предстоящих событий.

Результативнее этот метод работает на обширной территории. Составляется карта равных значений этого коэффициента, и максимальное его значение наносят по ходу продвижения потока на двенадцать часов. В том месте, где эта точка окажется, будет гроза. Из-за различий рельефа местности вводится поправка на этот коэффициент. Она указана ниже в таблице 1.5:

Таблица 1.5 – Величина поправки на кривизну приземных изобар

$R, \text{ км}$	$> 1000$	$1000-500$	$500-250$	$< 250$
$Z_{п}$	0	1,0	1,4	2,0
$AZ_{п}$	0	-1,0	-1,4	-2,0

#### 1.2.4. Метод прогноза грозовой деятельности по Фатееву

Метод Фатеева основан на введении параметра  $A$ , показывающего как распространяется влажность по различным высотам, продемонстрированный ниже в формуле 1.2.:

$$A = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500}). \quad (1.2)$$

Если параметр  $A \geq 0$  – можно спрогнозировать предстоящую грозу.

#### 1.2.5. Прогноз гроз по методу Фауста

Прогноз гроз по методу Фауста является разницей температур: температуры испарения и температуры на уровне пяти тысяч метров, представленной в формуле 1.3:

$$\Delta T = T_v - T_{500}. \quad (1.3)$$

Иногда вводят поправку кривизны изобар и поправку  $+1^\circ\text{C}$  и  $-1^\circ\text{C}$  при сходимости и расходимости изобар.

Температуру испарения можно определить по графику 1.2.7.6., где ось по вертикали является температурой воздуха на уровне 850 гектопаскалей, а

по горизонтали – дефицит точки росы на разных уровнях: от 850 до 700 и 500 гектопаскалей [2].

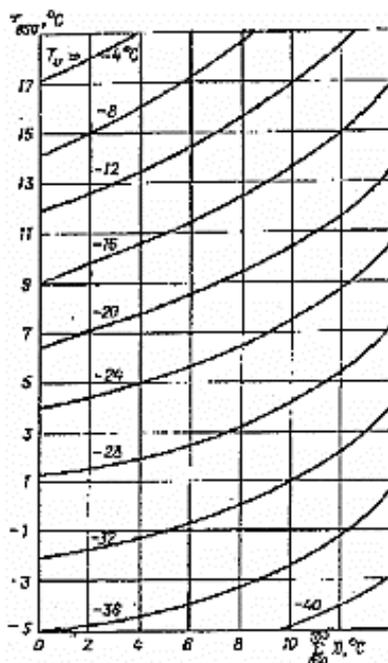


Рисунок 1.5. – График для определения температуры нулевого испарения

Соответственно, если значение нулевого испарения больше нуля, возможно стоит прогнозировать грозовую активность.

#### 1.2.6. Прогноз гроз по методу Г.Д. Решетова

За основу Решетов взял три характеристики, которые отмечена на аэрологической диаграмме, представленных ниже в таблице 1.6:

Таблица 1.6 – Характеристики определения грозы по Решетову

1.	Высота вершин кучево-дождевой облачности;
2.	Значение температуры воздуха на этой высоте и толщина слоя облака;
3.	Его верхней части, в которой просматриваются отрицательные температуры

Вероятность образования гроз определяется по графику, представленному на Рисунке 1.6. На этом графике по горизонтальной оси откладывается температура воздуха, а по вертикальной - величина разности высот.

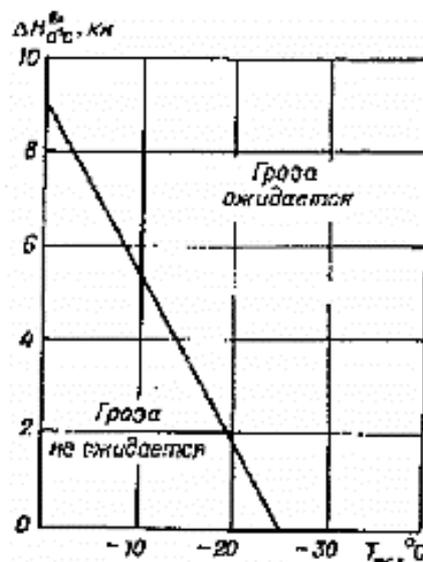


Рисунок 1.6 – График для прогноза гроз (по методу Г.Д. Решетова)

А данные нижеперечисленные условия образуют кучево-дождевые облака, после фиксирования которых следует прогнозировать грозу. К ним относятся факторы, представленные ниже в таблице 1.7 [2]:

Таблица 1.7 – Факторы образования гроз

1.	Наличие фронтальных разделов, особенно холодных фронтов,
2.	Область вблизи вершины волны,
3.	Центральная часть молодого или развитого циклона,
4.	Окрестность точки окклюзии,
5.	Ложбина в теплом секторе циклона,
6.	Малогradientное поле давления на приземной карте и ложбина или очаг холода на высотах.

### 1.3. Грозы и шквалы как опасные для авиации явления погоды

К сожалению, гроза остаётся по сей день одним из самых опасных явлений погоды, которые до сих пор приводит к катастрофическим последствиям. И в чём заключается её риск, продемонстрировано ниже в таблице 1.3.1 [1]:

Таблица 1.8 – Грозовые риски

1.	Интенсивная турбулентность в облаках, которая способна создать сильную болтанку и перегрузки, которые превышают допустимые нормы;
2.	Сильное обледенение на высотах, где температура воздуха ниже 0 °С;
3.	Вероятность поражения самолета молниями;
4.	Интенсивными ливневыми осадками;
5.	Возникновение смерчей и шквалов.

**Смерч** – четко очерченный вертикально-изогнутый поток вихря, диаметр которого составляет десятки и сотни метров над морем и сушей. Его су-

ществование по времени варьируется от нескольких минут до нескольких часов. Образуются при таких же синоптических ситуациях, что и грозы, однако плохо прогнозируются.

**Торнадо** — самое разрушительное и мощное атмосферное явление, достигающее по вертикали до двадцати километров и по горизонтали – десятки километров, при этом скорость движения воздуха от двухсот до трёхсот метров в секунду.

**Шквал** – внезапное усиление ветра с изменением его направления пред выпадением ливневых осадков, достигшее единожды до шестидесяти метров в секунду.

При встрече в полёте с рассмотренными атмосферными вихрями бедствие неизбежно в ста процентах случаев.

**Град** опасен своими ударами о поверхность воздушного судна, поскольку это может привести к вмятинам и разгерметизации салона самолёта.

Данные в практической деятельности в области авиации дали неожиданные результаты, доказав, что самым опасным фактором считается атмосферная турбулентность.

Грозовые облака способствуют различным опасным явлениям как внутри грозовой системы, так и снаружи, поэтому для безопасности совершения полёта необходимо помнить, что влёт в грозовую активность категорически запрещён и облёт грозового очага нужно выполнять на допустимом расстоянии [1].

### 1.3.1. Особенности выполнения полетов в зоне грозовой деятельности

Всему составу работников авиационных подразделений необходимо постоянно придерживаться всех мер предосторожности в области организации и выполнения полётов. Нельзя допускать невнимательность и ошибки «на всём пути» от организации до самого полёта при исполнении лётных предписаний.

Статистика говорит, что грозы являются главной причиной нарушений, связанных с регулярностью полётов, в некоторых областях страны, приводящих к летным происшествиям. Известно, что, воздушные судна часто подвергаются грозам, причем чем больше размер борта и его скорость, тем больше вероятность притяжения атмосферного электричества. Исходя из этого пилотам и работникам авиации необходимо тщательно подходить к обработке метеоинформации и её оценки, что и закреплено в главных регламентирующих документах летной практики. В связи с этим экипаж обязан непрерывно штудировать атмосферные условия погоды и общую «картину» полёта. Если складывается ситуация полёта в грозовых облаках или около неё, возможно сопровождающиеся ливневыми осадками, командиру судна важно рассчитать перспективу дальнейшего маршрута следования самолёта и, заранее оповестив орган управления воздушного движения о проложенном маршруте и последовательности его действий, а также планах взлета, следования и посадки судна, совершить облет этой области. Важно помнить, что, если грозовой очаг с сопутствующими кучево-дождевыми облаками застал самолёт на пути следования – необходимо облетать их в радиусе не менее десяти километров. В свою очередь, если не представляется такого случая, то необходимо совершить визуальный облёт под облаками или выше. Совершать облёт можно днём, при этом в ясной области без предполагаемых осадков. Стоит помнить, что над рельефом земли и искусственными объектами полёт должен совершаться на безопасной высоте. Комфортными условиями для высоты полёта считается: двести метров над равнинными и холмистыми участками земли и шестьсот метров – над горным массивом). Также стоит помнить, что высота до нижней границы облачности должна составлять не менее двухсот метров от высоты полёта самолёта. Если облёт производится над облаками, то расстояние от верхней границы облачности до высоты полёта воздушного судна – не менее пятисот метров. Экипажу авиаборта разрешено обходить мощно-кучевые и кучево-дождевые облака на расстоянии не менее пятнадцати километров от за-

светки, если на борту самолета есть радар. Перелетать между этой облачностью можно только в том случае, если расстояние между засветками составило не менее пятидесяти километров на бортовом компьютере радиолокационной сети. В условиях сильного ливня взлет и посадка являются ключевыми моментами, требующие особого контроля, поэтому пилоты обязаны отчетливо планировать и представлять ход развития ухудшения погодных условий и летных, аэродинамических характеристик воздушного судна. При развитии вертикальных вихрей авиаборт обязан обходить его на удаленности не менее тридцати километров от видимых боковин вихря. Соответственно, если полет сопровождается действующей грозовой деятельностью, необходимо помнить о вытекающих процессах, таких как: сдвиг ветра, молнии, обледенение и др. Все они представлены, в виде перечня явлений и мер безопасности, которые экипаж должен предпринять, и описаны в ряде документации по типу: «Наставление по производству полётов» и «Руководство по летной эксплуатации воздушного судна» того или иного типа [2].

#### 1.4. Возникновение и прогноз шквалов

Как описывалось ранее в параграфе 1.3., шквалом называется мгновенное кратковременное усиление ветра, сопровождающееся изменением его направления. Обычно, шквал на определенной местности не превышает и порядка пары минут. Однако в том случае, если его природа сформирована в районе нескольких часов, он передвигается узкой полоской, достигая пары километров, при этом скорость ветра может варьироваться от тридцати до сорока метров в секунду, а возможно и больше [3].

Факторы, в виде: скачков давления (падения его перед началом шквала, быстрое нарастание во время деятельности и вновь снижение давления после

шквала) и понижения температуры, указывают на приближение и развитие шквала.

Природой образования шквалов являются устойчивые вихри с горизонтальной осью вращения и вовлеченным приземным слоем воздуха, а также мощные кучево-дождевые облака, сопровождающиеся ливневыми осадками (дождём, градом) и грозой в том числе.

Самой опасной для полетов считается передняя часть облака, в связи с тем, что можно встретить образовавшийся «крутящийся вал» с горизонтальной осью вращения - «шкваловым воротом», который и является вестником реального шквала. По краю облака видны нисходящие потоки со скоростью тридцать метров в секунду, переносящие вверх и вниз огромный столб воздуха, который доходит до земной поверхности и начинает закручиваться в «шкваловый ворот» с горизонтальной осью. Этот объём сформировавшегося воздуха начинает «захватывать» обычный сильный ветер, характерный для кучево-дождевой облачности, это и приводит к мгновенному усилению и изменению направления ветра, т.е. к шквалу.

Также существует такое понятие, как сухие шквалы. Это явление, при котором нижний слой воздуха становится «сухим» и осадки не успевают выпасть на поверхность земли.

Можно сказать, что возможно любое нашествие мощной кучево-дождевой облачности должно приводить к образованию шкваловой деятельности, но, как показывает практика, это приводит к усилению ветра не более пятнадцати метров в секунду. По причине того, что станции сети далеки друг от друга, фиксирование данной деятельности может быть некорректной и многие шквалы и их предвестников просто не обнаруживают вовремя. Также отмечается, что вихри с горизонтальной осью в передней части кучевых облаков обнаруживаются в форме грозового вала [3].

К комфортным условиям образования шквалов при устойчивом и интенсивном вертикальном развитии относятся нисходящие потоки холодного воздуха в области ливневого дождя и восходящие потоки теплого воздуха в передней части кучевых облаков.

Статистика показывает, что в большинстве случаев образование конвективного развития шкваловой деятельности преобладает в летний период года над поверхностью суши в дневные часы, а также шквалы можно наблюдать и зимой над теплыми морями.

Все шквалы принято делить на несколько типов:

- внутримассовые;
- фронтальные.

К внутримассовым – относится неустойчивый теплый влажный объем воздуха, формирующийся при образовании грозы (в том числе и ночью), при том, что в холодной неустойчивой воздушной массе шквалы наблюдаются не часто. Зачастую это всего лишь усиление ветра в ходе действия кучевых облаков и ливневых осадков. Также известно, что грозы и шквалы могут выстраиваться вдоль линии неустойчивости, при чем не являясь долговременным процессом и затрудняя обнаружение их на барических картах.

Доказано, что фронтальные шквалы связаны с действием холодных фронтов и фронтов окклюзии холода в том числе. Конечно, если теплая воздушная масса будет влажной и нестабильной, в длину от ста до пятисот километров, при этом находится на расстоянии 50 – 100 километров от линии холодного фронта, то может развиваться грозовая и шкваловая деятельность, но в большинстве случаев, все-таки это связано с прохождением холодного фронта.

Основное место формирования шквала – центр циклона, особенно недалеко от верхних частей теплого сектора в стадиях зарождающегося и молодого циклонов. Это связано с тем, что около его центра влажность повышена и подъем воздуха – упорядочен [3].

## Прогноз шквалов

К сожалению, прогнозирование шквальной деятельности можно давать приблизительно и только локально при наличии соответствующих условий образования процесса.

К ним относятся:

- 1) Величина удельной влажности внутри воздушной массы велика;
- 2) неустойчивость воздушной массы
- 3) повышенная температура воздуха вблизи холодного фронта при большой разности температур (над сушей перед фронтом и за ним – 7 - 10° С и более), существенный рост давления за фронтом (3—5 гПа/3 ч)
- 4) порядок скоростей смещения холодного фронта от тридцати до сорока километров в час и более, и присутствие на нём волновых возмущений;
- 5) дивергенция в области изогипс южных или юго-западных потоков передней, зачастую восточной, части высотной барической ложбины или в тыловой части высотного гребня (говорится о внутримассовых шквалах);
- 6) расходимость изогипс и затухание потоков ветра в струйном течении во фронтальных шквалах, к тому же они встречаются на стороне антициклона струйного течения;
- 7) повышенная сходимости ветра в районе земной поверхности.

С помощью радиолокационных наблюдений и авиаразведки погоды обнаруживают ход шквальной деятельности, после чего данные используют в штормовом предупреждении о шквале, но весьма несвоевременно.

Чтобы повысить эффективность и загодя (хотя бы от трёх до шести часов) стараться спрогнозировать шквал, пытаются найти взаимосвязь в области понижения температурных показателей в процессе выпадения ливня и максимальных показателей скоростей шквального ветра [3].

## **Прогнозирование шкваловой деятельности, разработанное Г. Д. Решетовым**

Состоит из двух ступеней:

1) Сначала выявляют условия, предполагаемые во время прогноза;

2) Если условия располагают к развитию шкваловой деятельности, вычитывают показатели дискриминантных функций L1 и L2. Соответственно, если показатели больше нуля – шквал возможен.

При существовании вероятность нелинейности дискриминантных функций последующие анализирование прогностических связей осуществляется при помощи разграничительных графиков.

Наилучшие результаты вариативного прогноза показали себя при использовании следующих предикторов:

-  $\sum_{850}^{500} (T_a - T)$  – суммы отклонений прогнозируемой линии кривизны состояния атмосферы от кривой линии стратификации на поверхностях 850, 700, 600, 500 гектопаскалей;

-  $(T_{500} - T)$  – средних показателей скорости ветра в системе «земля – поверхность на пятисот гектопаскалей».

При этом средняя скорость ветра высчитывалась по формуле, представленной ниже,

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{4} (V_0 + V_{850} + V_{700} + V_{500}) \quad (1.4)$$

После счёта был составлен прогноз данных, ориентируясь на предикторы, представленные на Рисунке 1.7 [3]:

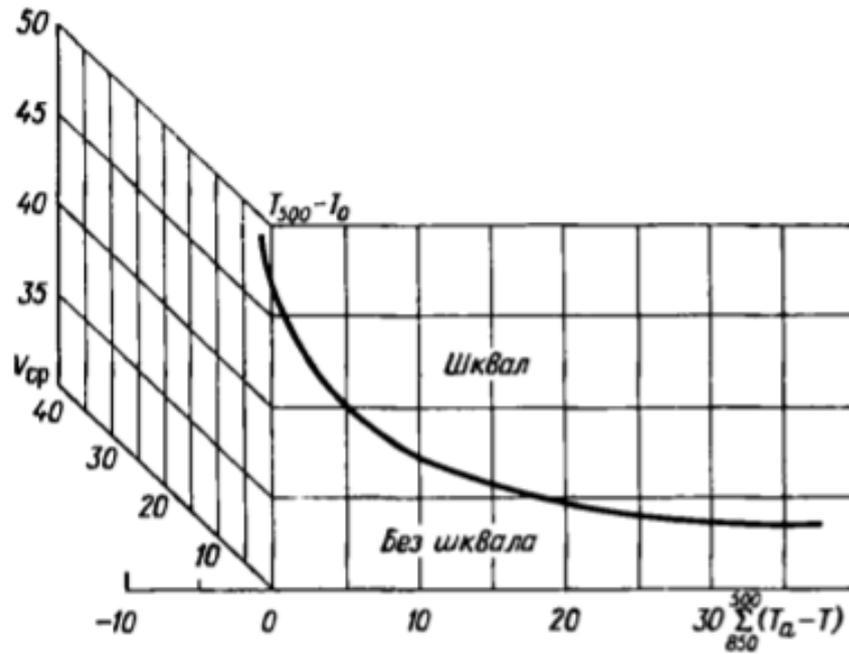


Рис.1.7 – График для альтернативного прогноза шквалов с использованием названных предикторов

### Прогнозирование с применением графика Б.Е. Пескова и А.И. Снитковского

Данный способ прогноза связан с рассмотрением двух характеристик, формирующих шквал: толщина слоя и мощность грозового (кучево-дождевого) облака, и количество скоростей ветра в слое «земля – поверхность пяти-сот гектопаскалей» [3].

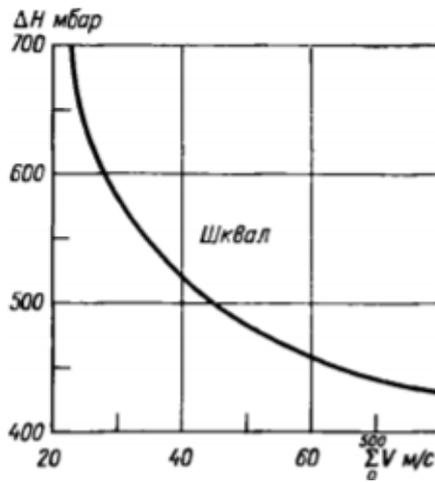


Рисунок 1.8 – График связи мощности облачности и системы скоростей ветра в слое «земля – поверхность 500 гПа»

Глядя на график, можно проследить следующую закономерность: если мощность облака больше, то сумма скоростей ветра меньше в слое «земля – поверхность 500 гПа» и наоборот. Проведена разграничительная линия, показывающая две отделённые друг от друга зоны по типу наличия и отсутствия шквалов. Работа этого графика ясна, если, к примеру, сумма скоростей 40 м/с и мощность облачности 650 гПа – шквал возможен. В тот же момент, если сумма скоростей остается прежней, а мощность равна 500 гПа – соответственно, вероятность развития шквальной деятельности исключена. В заключении, обладая данными (например, радиолокационными) о мощности надвигающейся кучево-дождевой облачности или фронтальной системы облаков, а также зная сумму скоростей ветра в слое «земля – поверхность 500 гПа» можно дать прогноз о предстоящем факте появления шквальной деятельности в данной местности [3].

## 2 Исходный материал и методы его обработки

### 2.1. Характеристика исходных данных и методика обработки исходной информации

Человечество неустанно совершенствует системы, действующие в авиации для предотвращения всевозможных происшествий и катастрофических ситуаций, связанных с непрерывно меняющимися условиями погоды. В процессе создания развиваются авиационные и метеорологические технологии обнаружения новых характеристик атмосферы, влияющих на полёты воздушных судов.

В ходе мониторинга всей грозовой деятельности в целом благополучно применяются разнообразные методики исследования и прогнозирования, представленных выше. В данной выпускной квалификационной работе были применены методы подсчёта продолжительности, количества и хода грозовых очагов и гроз соответственно на территории аэропорта «Пулково» и в радиусе ста километров от него для оценки активности и времени их действия в атмосфере в разные периоды года. Все полученные данные обрабатывались вручную и выводились в табличные значения для дальнейшего анализа. Далее были представлены гистограммами и графиками разного рода. Наиболее демонстрирующим примером хода, продолжительности и количества гроз являются графики, по которым можно проследить за ними в течение одного месяца и года в целом, а также указать достижения их максимальных и минимальных величин, выявляя критические значения. Для анализирования грозовой деятельности аэропорта «Пулково» были исследованы и подсчитаны данные еже-часных метеорологических наблюдений за выбранные пять лет с 2016 по 2020, предоставленные метеорологической службой аэропорта [8].

## 2.2. Физико-географическое описание аэропорта «Пулково» города Санкт-Петербурга

Международный аэропорт «Пулково» (до 1974 года аэродром имел название «Шоссейная») располагается в Северо-западном федеральном округе России и обладает статусом федерального значения.

На сегодняшний день является единственным аэропортом Санкт-Петербурга, который обслуживает официальные рейсы в Российской Федерации, а также по данным 2020 года является четвёртым по объёму пассажиропотока в России.

Простирается в пятнадцати километрах от центра города Санкт-Петербурга в административно – территориальном округе Московского района (длгое время одна из частей взлётно-посадочной южной полосы находилась на территории Ломоносовского района Ленинградской области, но в настоящее время вся территория аэродрома принадлежит Московскому району Санкт-Петербурга). Аэропорт «Пулково» является узловым для авиакомпании «Россия». В распоряжении аэропорта две взлетно-посадочные полосы: полоса № 10R/28L (южная), протяженность которой составляет 3780 метров, и в ширину – 60 метров, и полоса № 10L/28R (северная), протяжённостью – 3397 метров, шириной также 60 метров.

Аэропорт имеет в своём распоряжении три терминала:

«Пулково-1» – терминал, обслуживающий внутренние и международные рейсы;

«Пулково-2» - предназначенный международным рейсам;

«Пулково-3» - терминал обслуживает бизнес-авиацию.

Первый и второй терминалы расположены в 20 км и 17 км от центра города.

Его высота над уровнем моря составляет 24 метра. Географические координаты: 59°58'28" северной широты, 29°11'39" восточной долготы [8].

Аэродром простирается с запада на восток от побережья Финского залива до Ладожского озера на Приневской низменности.

Приневская низменность — равнинная местность, часть из которой заболочена на половину, по ширине в тридцать, пятьдесят километров, в глубину от пятидесяти до ста метров, постепенно снижающаяся к Финскому заливу, где на его последней «ступени» протекает река Нева.

Лесные массивы на территории аэродрома не прослеживаются, однако вблизи одной из взлётно-посадочных полос простирается небольшой перелесок. Также не распространяются и крупномасштабные промышленные предприятия в районе аэропорта «Пулково», однако близлежащий город Санкт-Петербург создаёт особые микроклиматические условия, влияющие на почвенный грунт взлётно-посадочных полос. Лётное поле покрыто равномерно, при этом мягкая почва грунта состоит из тяжелых и средних пылевых суглинков с травяным покровом [9].

### 2.3. Общая климатическая характеристика аэропорта «Пулково»

Климатическая особенность аэропорта «Пулково» заключается в его расположении в переходной зоне двух воздушных масс: морской и континентальной. Исходя из данных наблюдений годовой ход изменчивости температуры воздуха составляет 24,6° [9].

Таблица 2.1 – Среднемесячные многолетние значения температуры воздуха для самого холодного и теплого периода

Холодный период	Теплый период
Январь и февраль с температурными показателями: $-6,7^{\circ}\text{C}$ , $-6,6^{\circ}\text{C}$	Июль с температурным показателем $17,9^{\circ}\text{C}$

Переход через нулевой показатель происходит обычно в октябре и апреле месяце, однако могут наблюдаться и в мае - сентябре, и даже в первой половине июня. В то время как прогрессия положительных температур воздуха наблюдается практически во все месяцы года.

Одной из особенностей климата аэропорта «Пулково» можно считать повышенную влажность, средний относительный показатель которой составляет 78%.

Таблица 2.2 – Средняя многолетняя относительная влажность

<b>Максимальные показатели относительной влажности</b>	<b>Минимальные показатели относительной влажности</b>
84 – 85% в период с сентября по январь	67% в месяце апреле

На территории аэродрома в холодный период преобладает выраженная циклоническая деятельность, поэтому среднее многолетнее значение атмосферного давления составляет 1009,9 гПа.

Повышенный показатель облачности и пасмурных дней приходится на ноябрь – декабрь данной местности, понижение же наблюдается в июле месяце. Круглый год можно видеть осадки в виде дождя, а вот снег (в том числе ливневой) наблюдается с сентября по апрель.

Преобладают ветры южных, юго-западных и западных направлений в секторе от 180° до 270°, однако ветры северо-западных и восточных направлений наблюдают в том числе.

Характерен для летних месяцев бризовый эффект при малоградиентных барических полях: зачастую днем у поверхности земли устанавливается северо-западный ветер (300–320°) [9].

Таблица 2.3 – Различные показатели скоростей ветра аэродрома «Пул-  
КОВО»

<b>Максимальная скорость ветра</b>	<b>Средняя скорость ветра</b>
28 м/с	3,8 м/с, варьируются 1-6 м/с

Максимум повторяемости штилей приходится на июль, наибольшая повторяемость отмечается в августе и сентябре.

Опасные явления погоды:

Максимальное количество дней с туманами наблюдается в сентябре. А вот минимальное их количество приходится на период белых ночей с мая по июнь месяц, когда радиационные туманы не успевают образоваться из-за небольшого периода радиационного выхолаживания, поэтому в данный период образование туманов на аэродроме связано с адвентивными факторами, например, с прохождением теплых фронтов или образованием туманов в теплых секторах циклонов.

Также к интересным фактам относится возникновение в летний период туманов после ливней и гроз. Наиболее длительные по времени туманы наблюдаются в марте в период постоянного таяния снега.

Метели обычно наблюдаются с октября по апрель. Наиболее продолжительные метели с ухудшением метеорологической дальности видимости менее 1000 м и усилением ветра (более 15 м/с) наблюдаются в январе-феврале, связанные в основном с выходом южных циклонов.

Грозовая активность фиксируется с апреля по сентябрь, отдельные грозы наблюдаются в марте и ноябре, известны также грозовые случаи и в зимние месяцы.

Особенности грозовой деятельности на территории аэродрома «Пул-КОВО»:

– развитие гроз над Финским заливом в вечерние часы в конце августа – начале сентября при прохождении холодной воздушной массы. При северо-западных потоках кучево-дождевая облачность может смещаться на территорию аэродрома;

– летом в утренние часы над районом Ладожского озера возникновение кучевой и кучево-дождевой облачности и развитие грозовой активности;

– развитие во второй половине дня теплых фронтов, приходящих с юго-запада или с юга, способствует возникновению активной грозовой деятельности в области фронта [9].

### 3 Влияние гроз на полёты воздушных судов на территории аэропорта «Пул- ково»

#### 3.1. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2016 год

Основными задачами выпускной квалификационной работы являлись: изучить на предмет исследования количество и продолжительность гроз в районе аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург на основе метеорологических данных за 2016 – 2020 гг., в ходе чего провести анализ месячных и годовых распределений, а также суточный ход гроз в радиусе аэропорта «Пулково» г. Санкт-Петербург.

Были рассмотрены данные за пятилетнюю выборку лет с 2016 по 2020 год, которые представлены на гистограмме Рисунок 3.1:

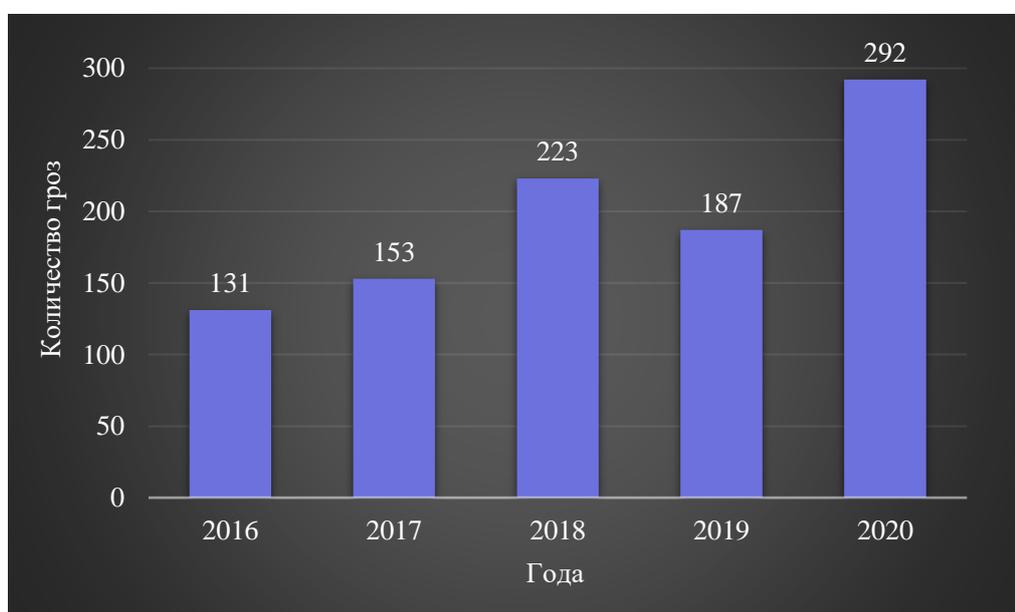


Рисунок 3.1 – Годовой ход количества гроз 2016-2020 гг. в аэропорту «Пулково»

По полученным расчётам максимальный показатель продемонстрирован за 2020 год и составил 292 случая гроз, а минимальное количество пришлось на 2016 год и составил 131 случай. Необходимым уточнением является факт подсчёта продолжительности грозовой деятельности. По проанализированным данным был сделан вывод о том, что в 2016 и 2017 годах счёт производился каждые пятнадцать минут, чего нельзя сказать об остальных годах. С 2018 года подсчёт уже производился в районе 1-2 минут, поэтому есть вероятность, что данные 2018-2020 года точнее.

Для более детального рассмотрения случаев гроз мной было проанализировано месячное распределение очагов гроз по каждому году выборки.

Для начала продемонстрируем сезонный ход гроз за 2016 год, представленный на Рисунке 3.2:

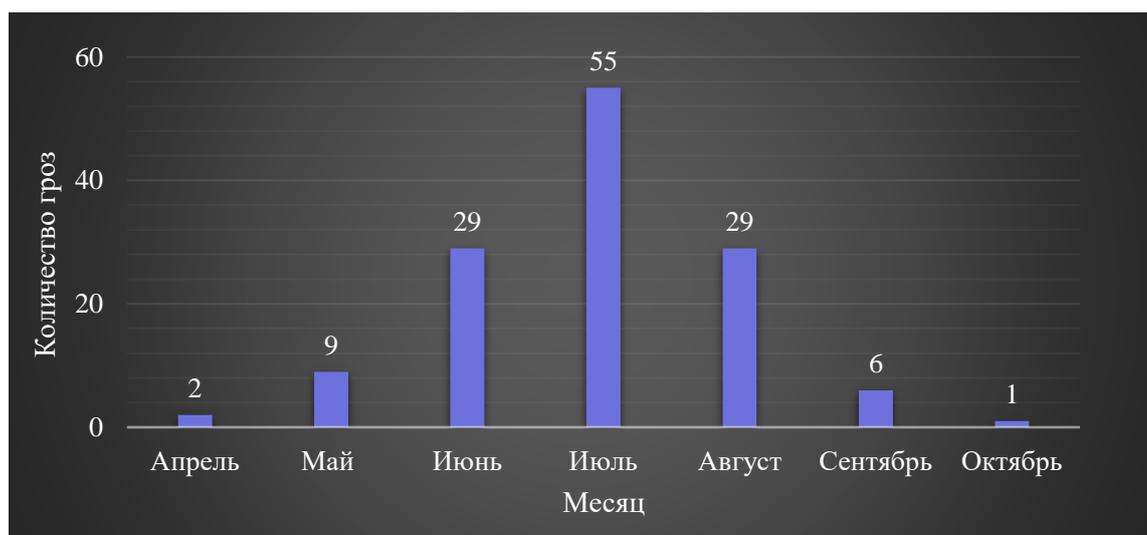


Рисунок 3.2 – Сезонный ход количества гроз в 2016 году в аэропорту «Пулково»

В ходе которого было выяснено следующее:

- максимальное количество гроз за 2016 год приходится на июль в количестве 55 очагов гроз и гроз соответственно, а также средними показателями обладают такие месяцы как июнь и август, имеющиеся в количестве 29 случаев фактической грозовой деятельности;

- тогда минимальным случаем очагов является октябрь месяц с показателем 1 в силу того, что в данное время года развитие конвективной облачности уменьшается на зимний период.

Для демонстрации всего хода в течении месяца был выбран самый интенсивный месяц по максимальным показателям. В 2016 году таким месяцем стал июль.

Так, мы можем наглядно проследить периодичность возникновения грозовых очагов, представленных на Рисунке 3.3

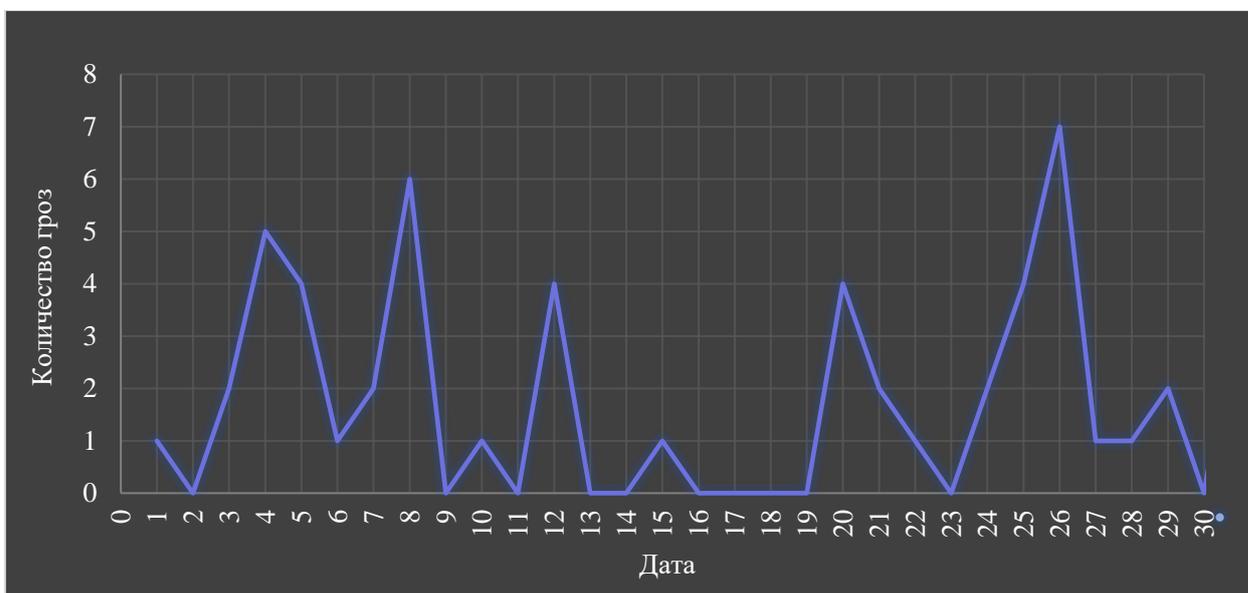


Рисунок 3.3 – График количества гроз в июле в 2016 году в аэропорту «Пулково»

По графику количества можно сделать вывод, что самым грозовым днём по количеству случаев пришлось на последние числа месяца, а именно на 26 июля и составило по количеству семь фактических значений гроз, а самым не грозовым днем – считается 1 июля, всего лишь один зафиксированный случай.

Также была проанализирована продолжительность июльских гроз 2016 год. Она представлена на Рисунке 3.4:

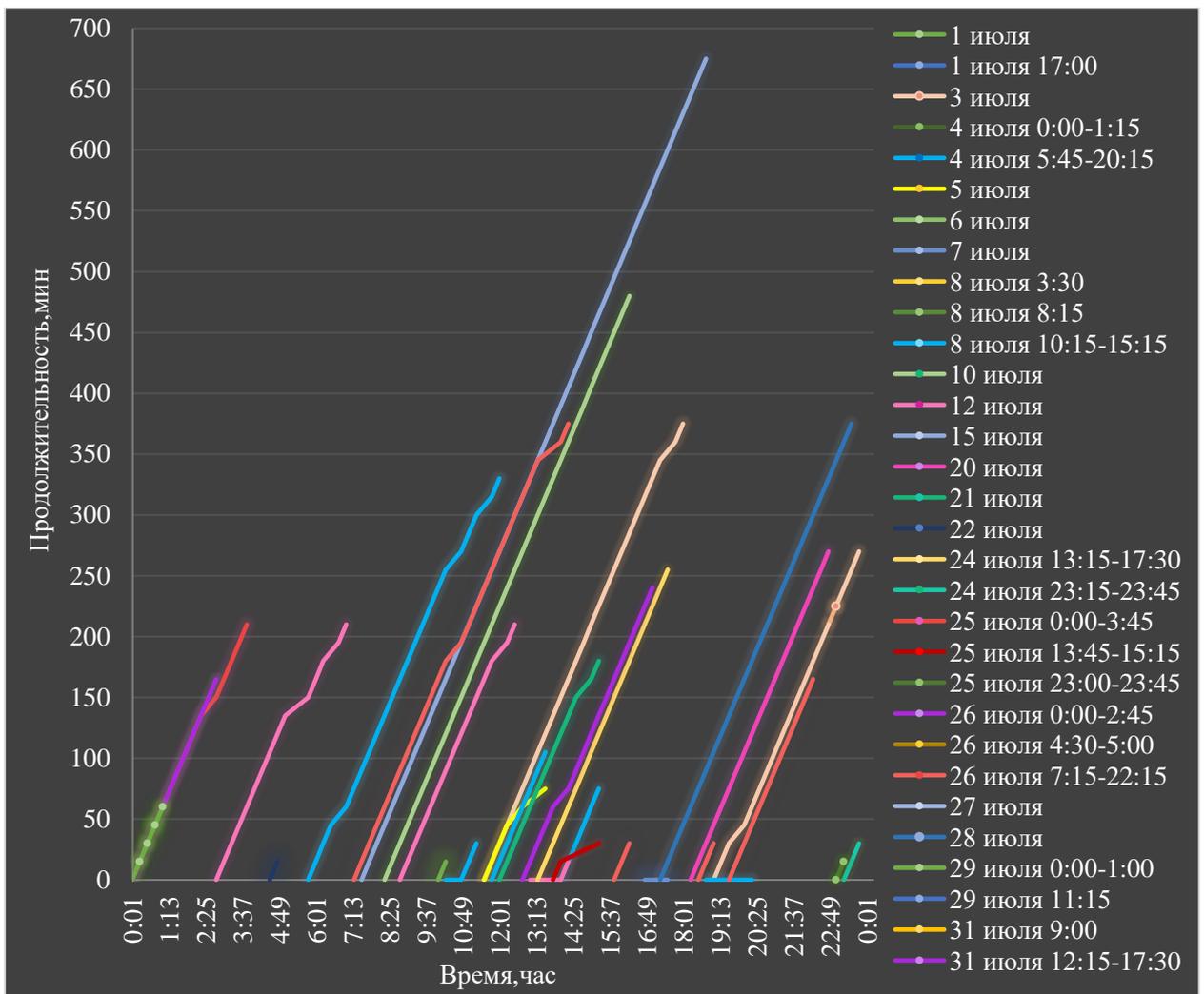


Рисунок 3.4 – График продолжительности гроз в июле 2016 года в аэропорту «Пулково»

Наглядно видно, что самой продолжительной является гроза за 15 июля 2016 года и её деятельность составляла ровно 675 минут. Необходимо отметить, что этот случай уникален и в течении пяти исследуемых лет является единственным по такой долгой продолжительности. Гроза в этот день шла с 7:30 часов утра до 18:45 часов вечера по московскому времени.

Далее был проанализирован суточный ход гроз по часам в течении всего месяца. Были рассмотрены следующие временные градации: 00:00-4:00; 4:00-8:00; 8:00-12:00; 12:00-16:00; 16:00-20:00; 20:00-24:00, которые представлены ниже на Рисунке 3.5.

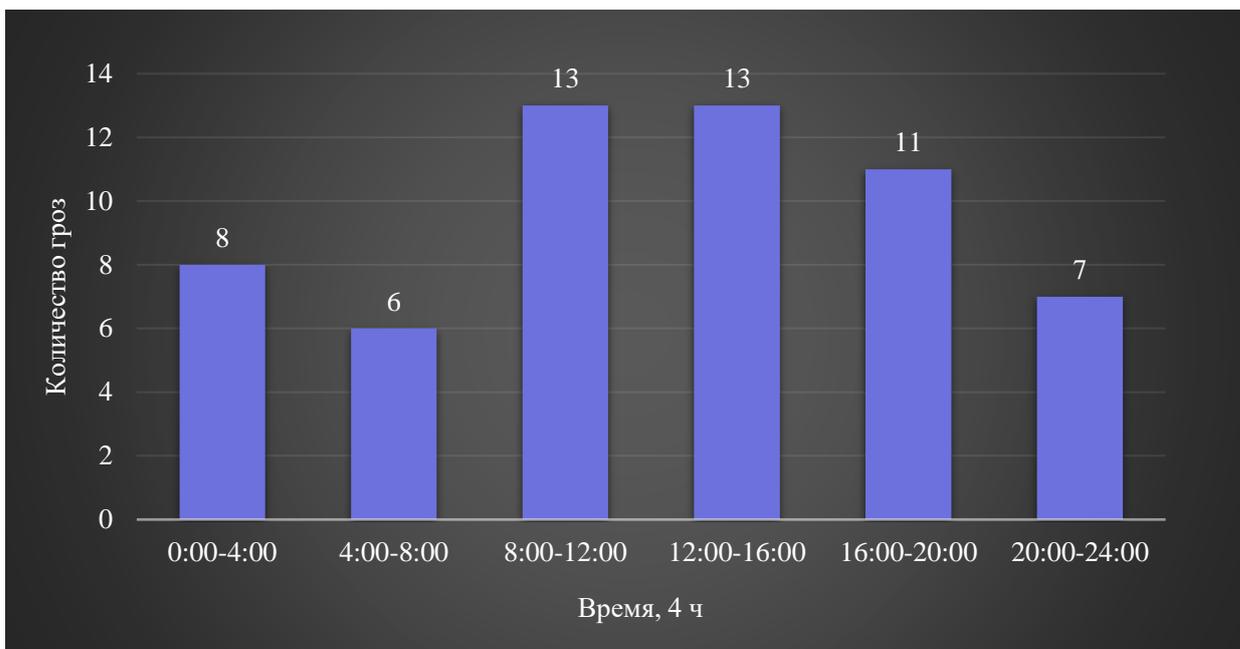


Рисунок 3.5 – Суточный ход гроз по часам в июле 2016 года в аэропорту «Пулково»

По данному графику можно сделать вывод, что большее количество гроз приходится на дневные часы, а именно число зарегистрированных случаев приходится на 8:00-12:00 и на 12:00-16:00 часов, это связано с тем, что грозы на холодных фронтах усиливаются во второй половине дня и ослабевают ночью.

В конечном счёте, также анализировалась продолжительность грозы и возникающих очагов в минутном эквиваленте, которая представлена ниже на графике (Рисунок 3.6).

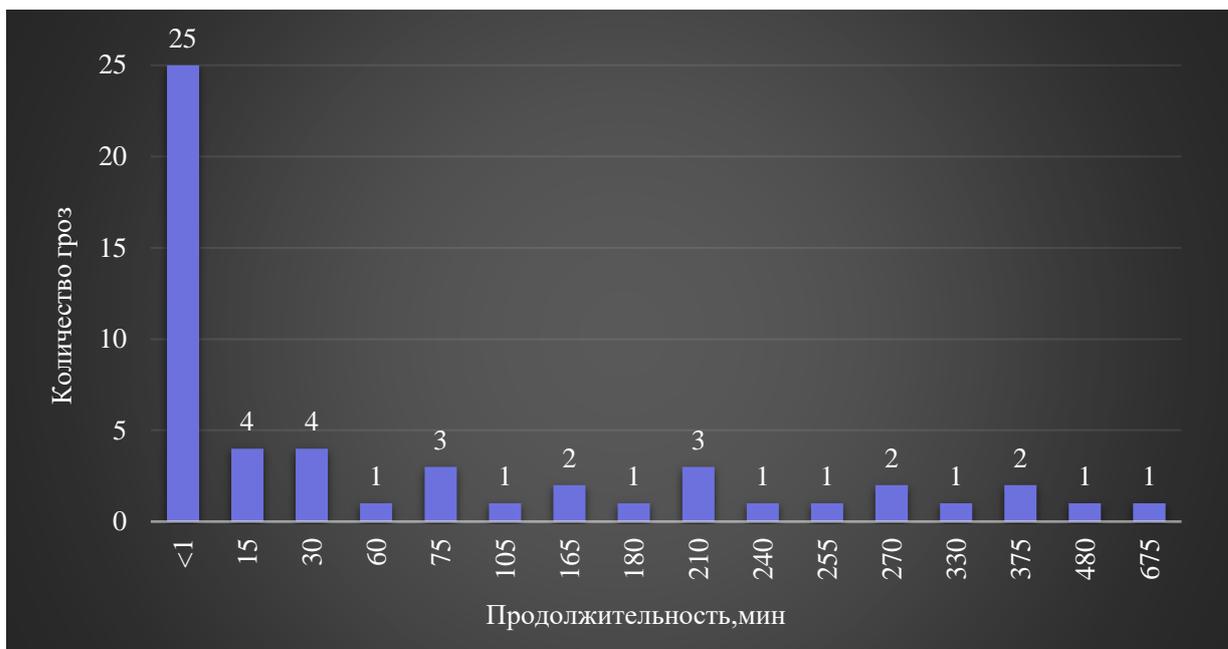


Рисунок 3.6 – График зависимости количества гроз от продолжительности в июле 2016 года в аэропорту «Пулково»

На нём показана зависимость количества гроз от продолжительности и продемонстрировано, что большинство приходится на нулевые значения времени. В моём понимании, такая минимальная продолжительность связана с неустойчивым вертикальным развитием облачности, т.е. с тем, что облако по мощности не превысило необходимый порог значений, при котором возможно дальнейшее развитие грозовой деятельности кучево-дождевого облака. Соответственно, минимальными значениями по количеству обладают самые большие по продолжительности грозы.

### 3.2. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2017 год

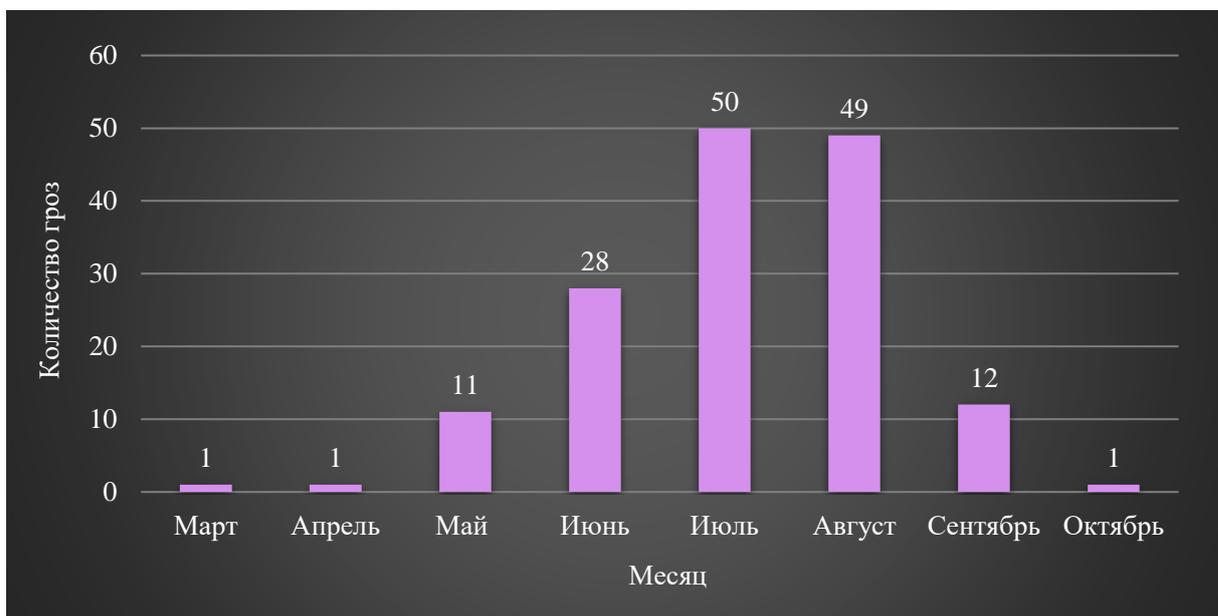


Рисунок 3.7 – Сезонный ход количества гроз в 2017 году аэропорту «Пулково»

2017 год показал стандартную ситуацию сезонного хода гроз, где максимальные значения принадлежат летним месяцам, а минимальные – весне и осени, дав следующие показатели:

- пятьдесят гроз зафиксировано в июле месяце, что стало наибольшим значением за 2017 год;

- позицию с наименьшими значениями заняли три месяца: март, апрель и октябрь, и составили по одному случаю возникновения грозовой активности.

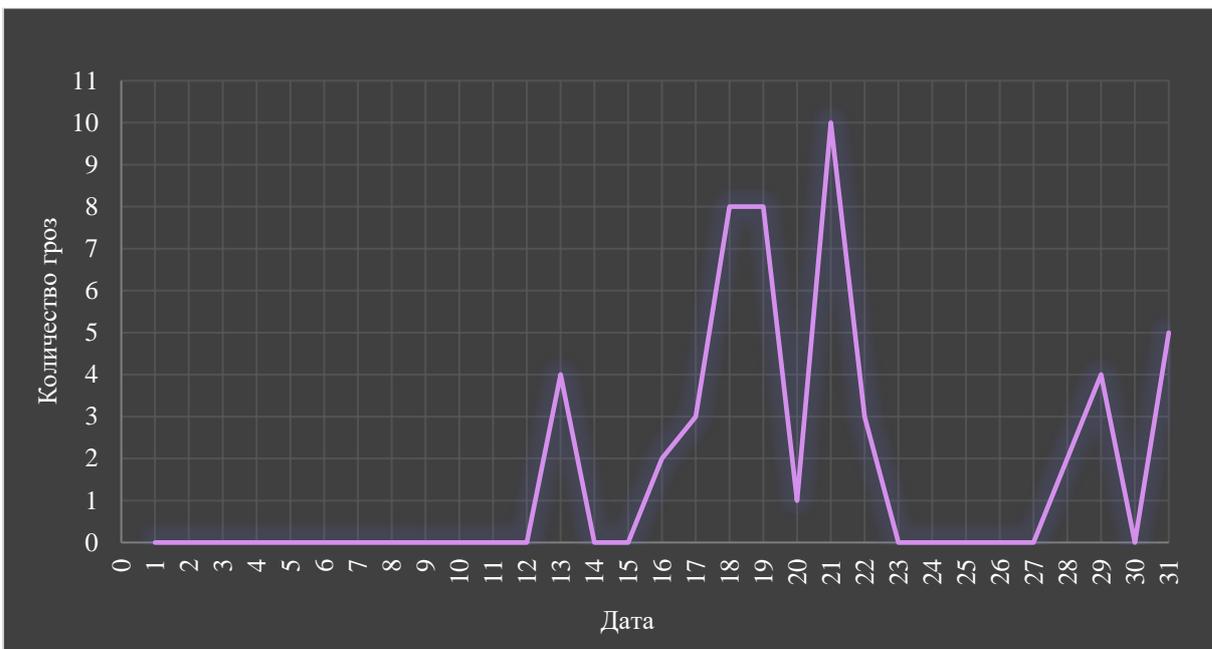


Рисунок 3.8 – График количества гроз в июле 2017 года в аэропорту «Пулково»

Количественная характеристика, представленная на графике выше, демонстрирует, что активность повышается в середине и в конце июля месяца. День с наибольшим числом случаев гроз считается 21 июля, где было зафиксировано порядка десяти случаев возникновения грозовой деятельности за пройденные сутки. По представленным данным, наименьшее количество случаев активности грозовой деятельности является 20 июля. (Рисунок 3.8)

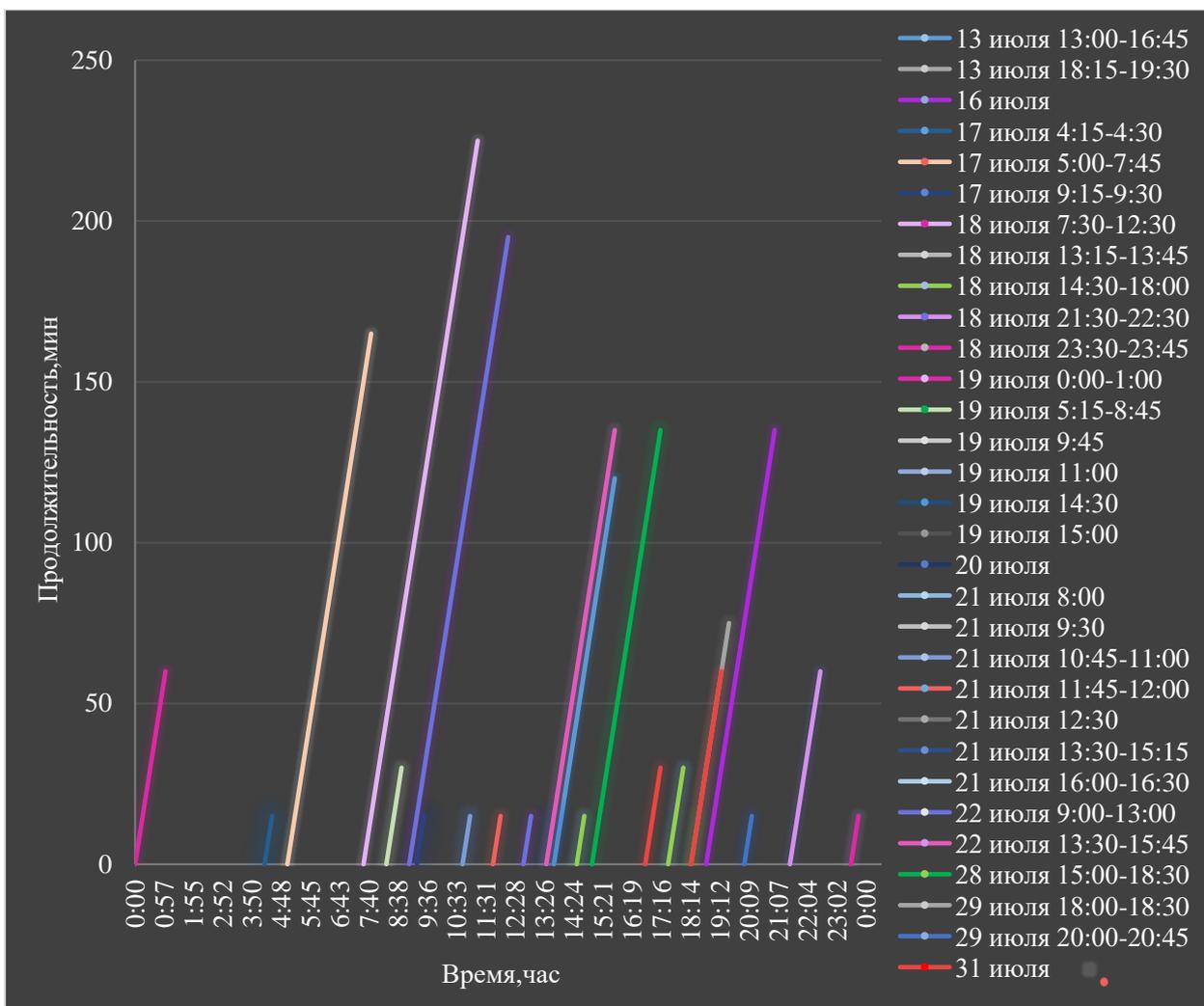


Рисунок 3.9 – График продолжительности гроз в июле 2017 года в аэропорту «Пулково»

Несмотря на то, что 21 июля – самый грозовой по количеству случаев день, самым большим по показателям продолжительности стало 18 июля и составило 225 минут грозовой активности, длившейся с 7:30 утра до 12:30 дня. (Рисунок 3.9)

На втором месте по длительности оказалась гроза, которая отгремела 22 июля и составила 195 минут своей деятельности с 9:00 утра до 13:00 дня.

Рейтинг завершает, гроза прогремевшая, 17 июля, с длительностью 165 минут с 5:00 утра до 7:45 утра данных суток.

Надо отметить, что все продолжительные грозы случились в середине июля и в утренние и дневные часы. Это говорит о том, что создались синоптические условия (например, в виде фронта) благоприятные для образования вертикального развития и гроз в целом.

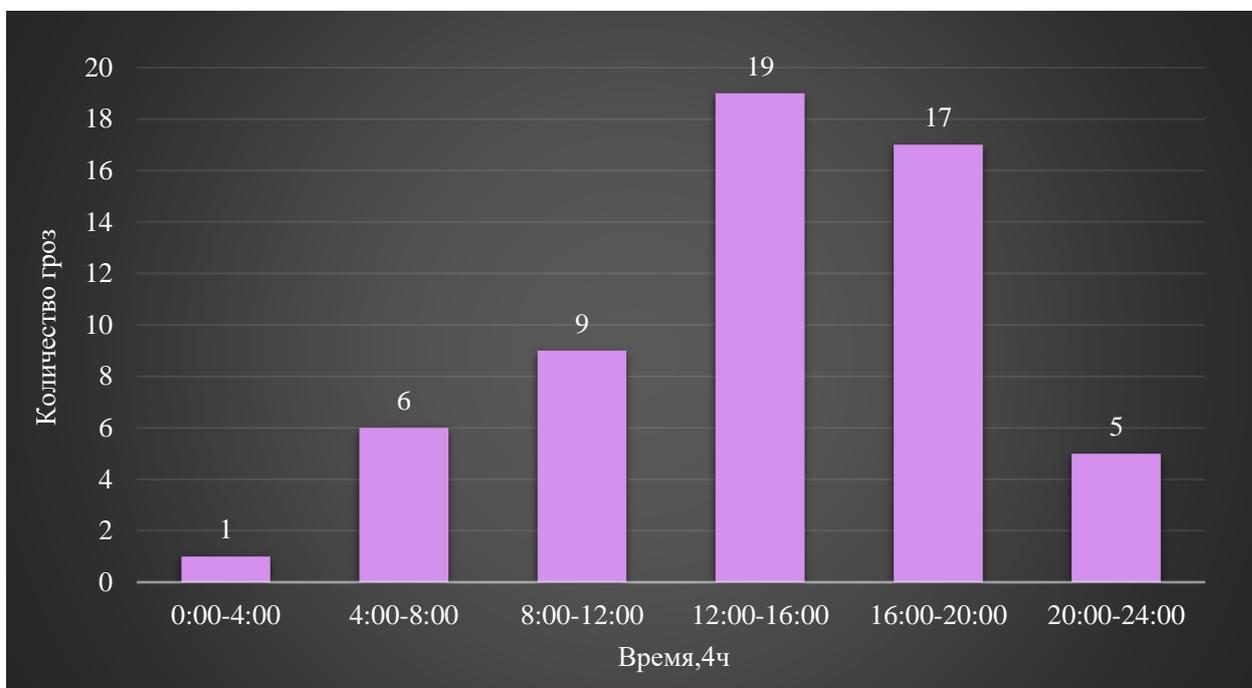


Рисунок 3.10 – Суточный ход гроз по часам в июле 2017 года аэропорта «Пулково»

Суточный ход на рисунке 3.2.10 демонстрирует следующую «картину»: что максимальное количество гроз гремит в дневные часы (с 12:00 дня до 16:00 дня) и составило 19 случаев грома, о чём говорилось и ранее, когда вероятность развития конвективной облачности повышена. А минимальное значение присуще раннему утру, который фиксирует по одному случаю грозовой активности с 0:00 до 4:00.

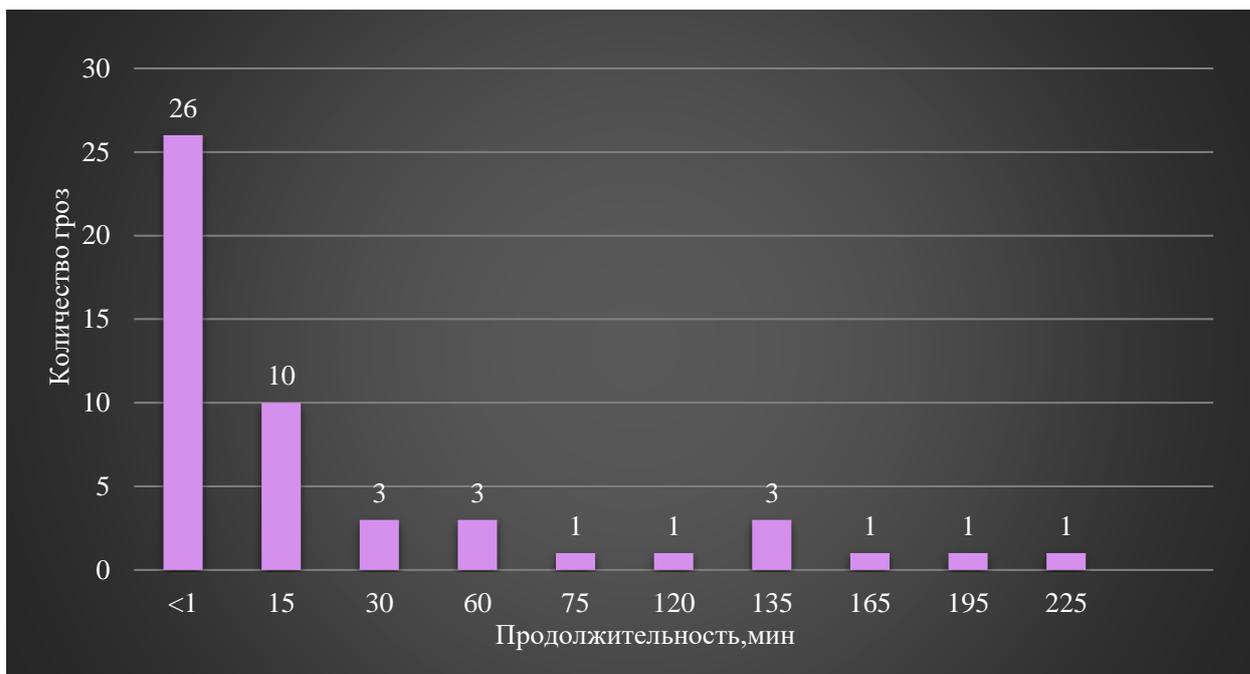


Рисунок 3.11 – График зависимости количества гроз от продолжительности в июле 2017 года в аэропорту «Пулково»

График зависимости количества гроз от продолжительности показывает, что максимальное значение соответствует самым непродолжительным грозам (меньше одной минуты), представленных 26 случаями.

Далее следует среднее значение в количестве 10 случаев, продолжительность которых составляет пятнадцать минут.

На рисунке 3.11 видно, что число гроз по продолжительности в 30, 60 и 135 минут равны трём. Причём интересно, что показатель длительностью 135 минут был не единственным. На рисунке 3.2.9 можно проследить закономерность возникновения этих гроз в середине и конце июля месяца (16, 22 и 28 июля) в дневные и вечерние часы.

### 3.3. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2018 год

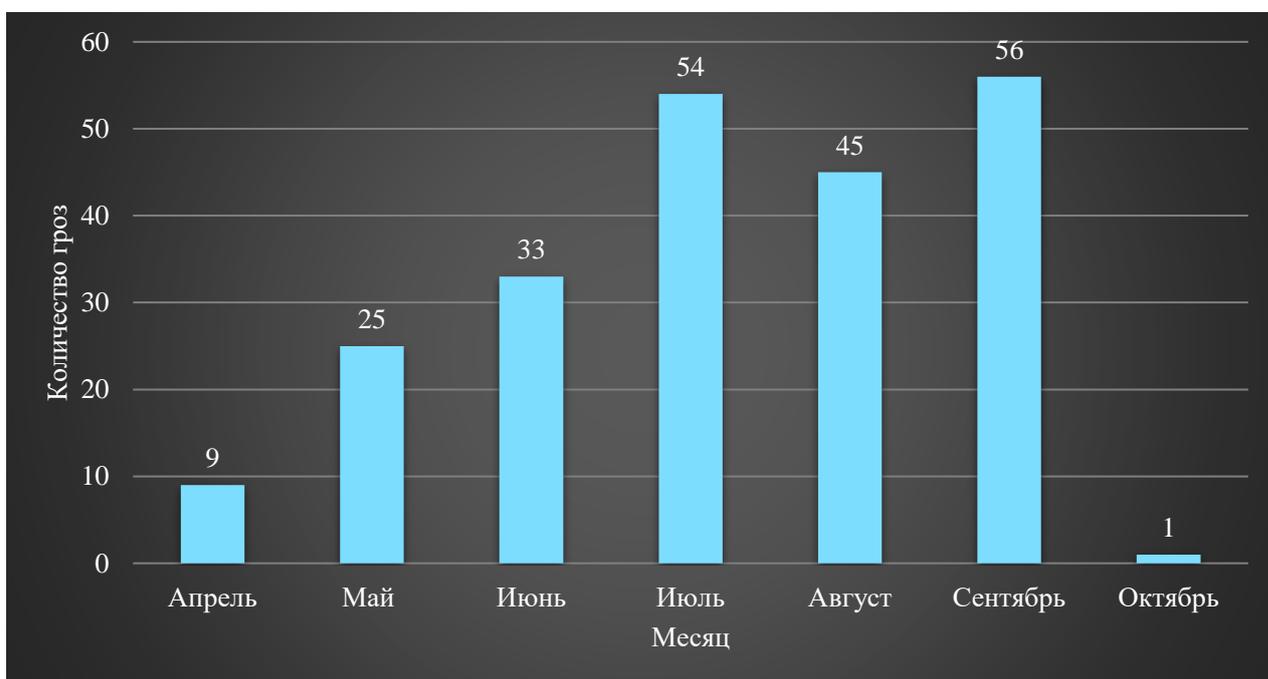


Рисунок 3.12 – Сезонный ход количества гроз за 2018 год аэропорта «Пулково»

Сезонный ход 2018 года даёт неожиданные результаты. По проведенным исследованиям стало известно, что максимальных значений достиг осенний месяц сентябрь. Наибольшее количество зафиксированных случаев составило 56 гроз в то время, как в июле – всего 54 случая. Октябрь стал месяцем с минимальным показателем гроз (один случай).

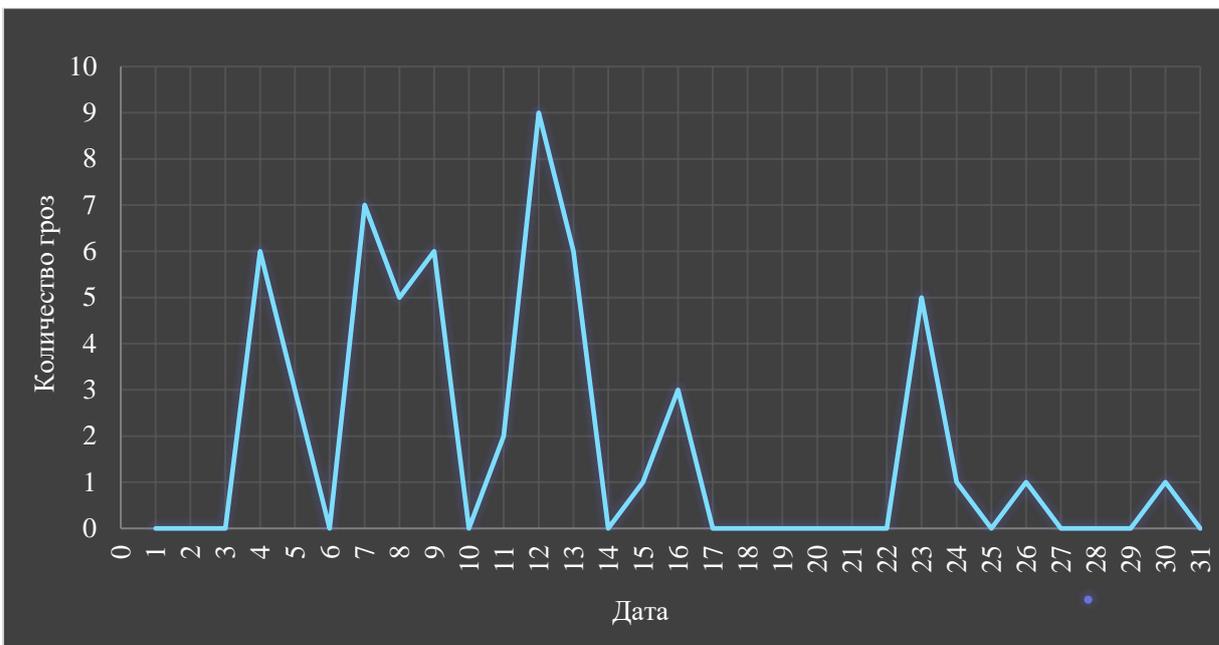


Рисунок 3.13 – График количества гроз в сентябре 2018 года в аэропорту «Пулково»

График количества гроз анонсировал, что большее количество гроз прогремело в первой половине месяца, максимальный показатель – 12 сентября в количестве девяти случаев грозовой активности. Естественно, минимальное значение можно наблюдать в конце месяца. Единичные случаи произошли 26 и 30 сентября 2018 года (Рисунок 3.13).

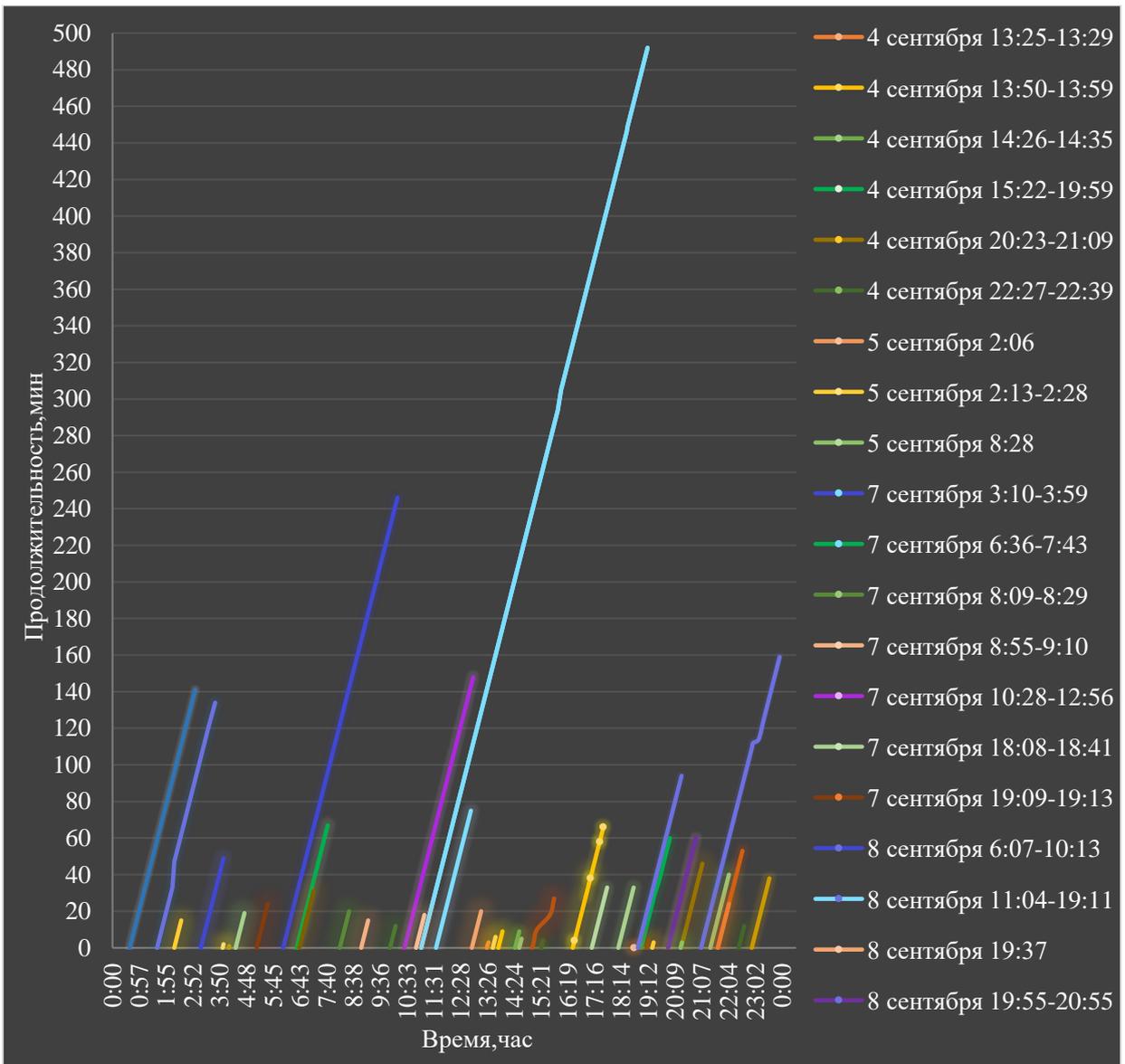


Рисунок 3.14 – График продолжительности гроз в сентябре 2018 года в аэропорту «Пулково»

Не менее удивительный результат, проведённых исследований, дал график продолжительности гроз за сентябрь 2018 года. Этот месяц был не только самым грозовым в году, но и сопровождался затяжными грозами. Самая продолжительная гремела 8 сентября целых 492 минуты с 11:04 утра до 19:11 вечера.

Также второй по продолжительности являлась гроза с длительностью 246 минут, коротая прогремела в тот же день с 6:07 утра до 10:13 часов утра.

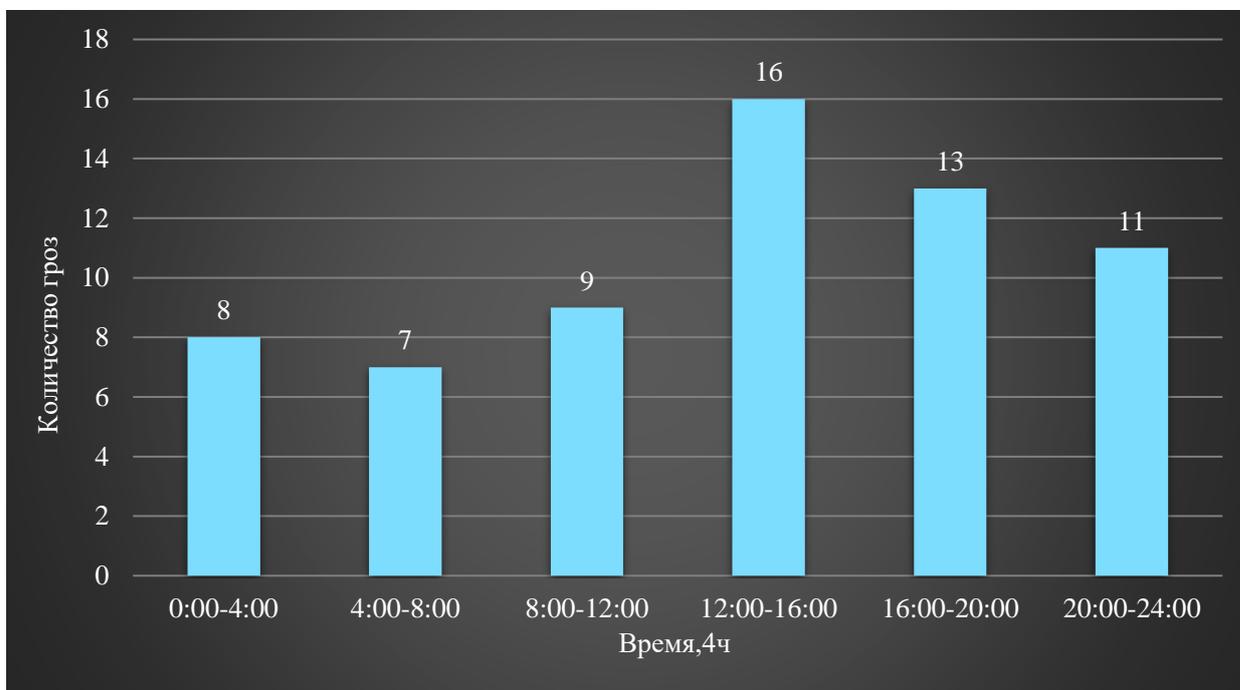


Рисунок 3.15 – Суточный ход гроз по часам за сентябрь 2018 года аэропорта «Пулково»

По суточному ходу за сентябрь 2018 года можно наблюдать следующее:

- что максимальное значение грозовой активности присутствует в дневные часы (с 12:00 дня до 16:00 дня), составившего 16 случаев грозовой деятельности, при вертикальном развитии облачности и образовании кучево-дождевых облаков.

- утреннее время по-прежнему составило минимальное количество в виде 7 случаев (Рисунок 3.15).

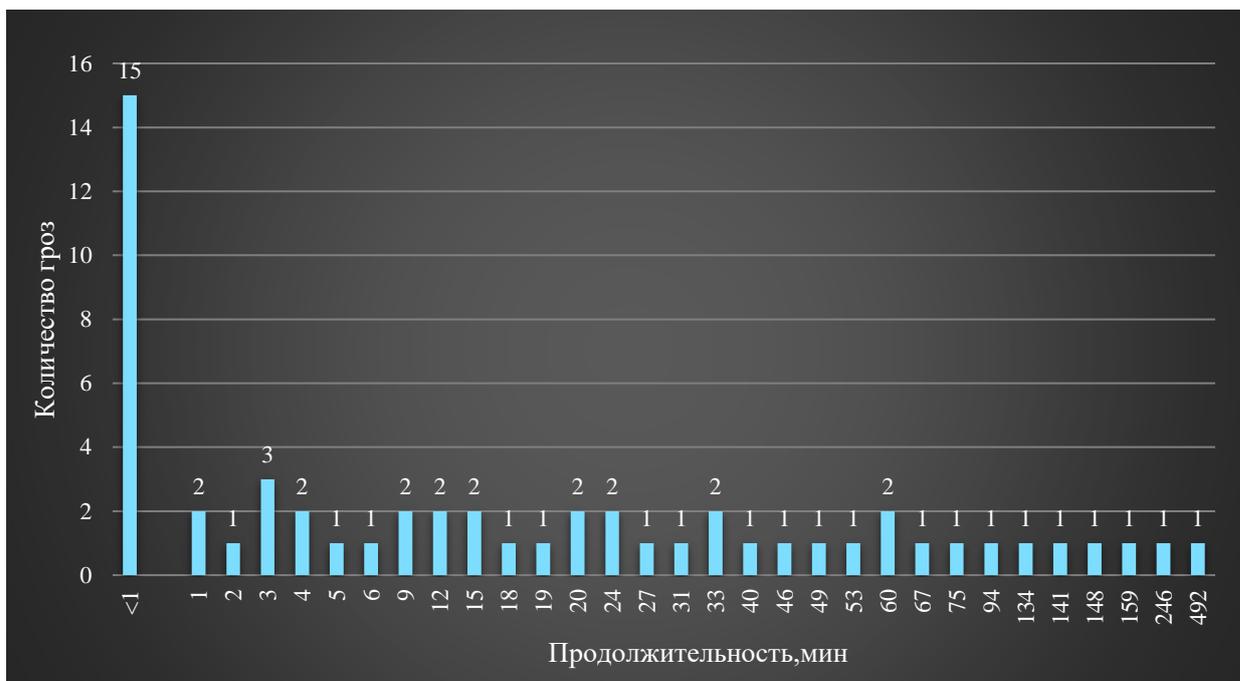


Рисунок 3.16 – График зависимости количества гроз от продолжительности в сентябре 2018 года в аэропорту «Пулково»

Рисунок 3.16 вновь описывает ситуацию, когда гроз со значением меньше одно минуты насчитывалось 15.

Но здесь случай интересен следующим: количество гроз, больших по времени обычно единичны, чего нельзя сказать об этом месяце 2018 года по сравнению с предыдущими годами. Их повторяемость выросла и составляла 2-3 случая определённого времени.

### 3.4. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2019 год

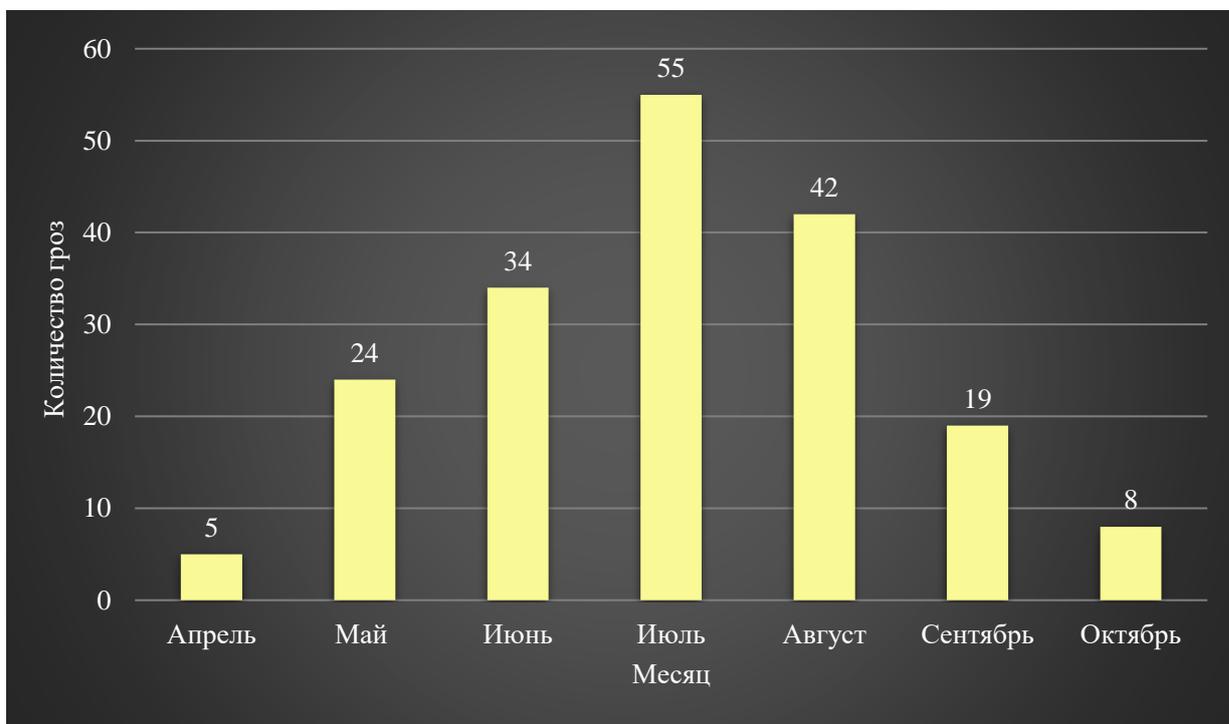


Рисунок 3.17 – Сезонный ход количества гроз в 2019 году аэропорта «Пулково»

Характер 2019 года был сформирован по классическому сценарию описания сезонного хода, где максимальные значения пришли на летний месяц июль, а минимальные показатели – на апрель. (Рисунок 3.17)

Однако в этот раз значения шкалы минимумов приобрели не единичное значение, а в количестве пяти гроз. Максимальные значения достигли 55 случаев грозовой активности.

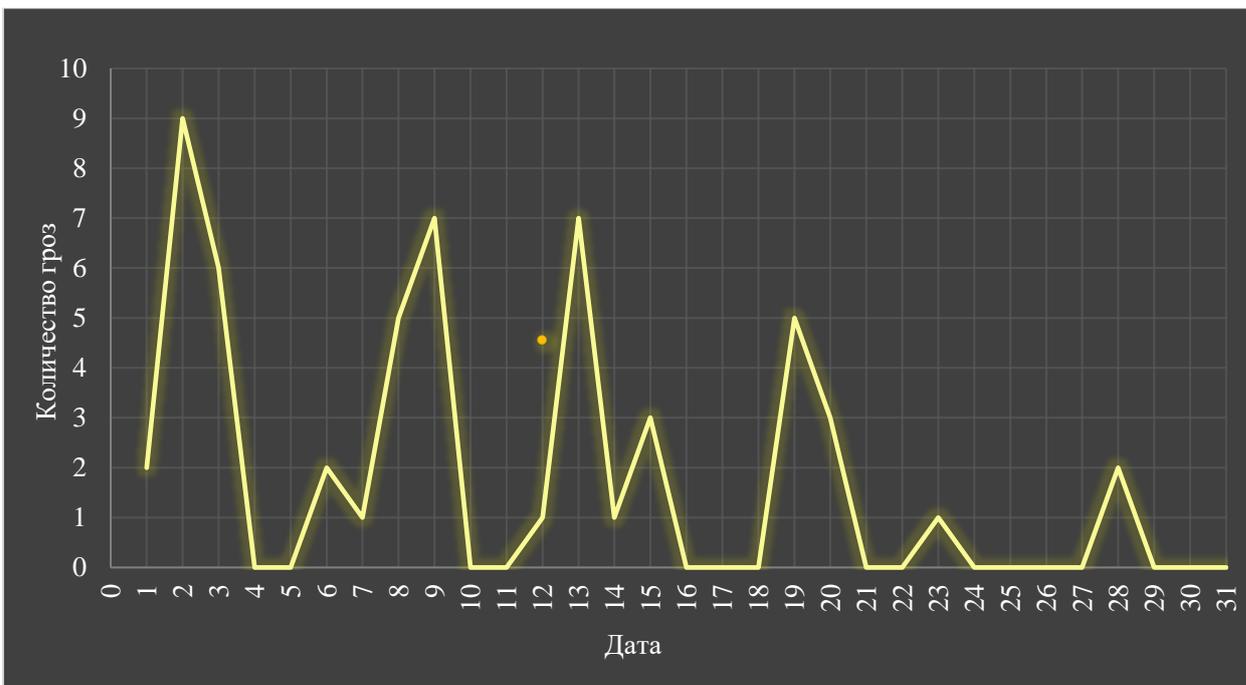


Рисунок 3.18 – График количества гроз в июле 2019 года в аэропорту «Пул-  
КОВО»

По количественному описанию грозы преобладали в первой половине месяца, его начало было беспокойно грозовым. В следствие чего, максимальных значений в этот месяц они достигли 2 июля и составили 9 грозовых случаев за предложенные сутки, а минимальных – 23 июля в единичном случае.

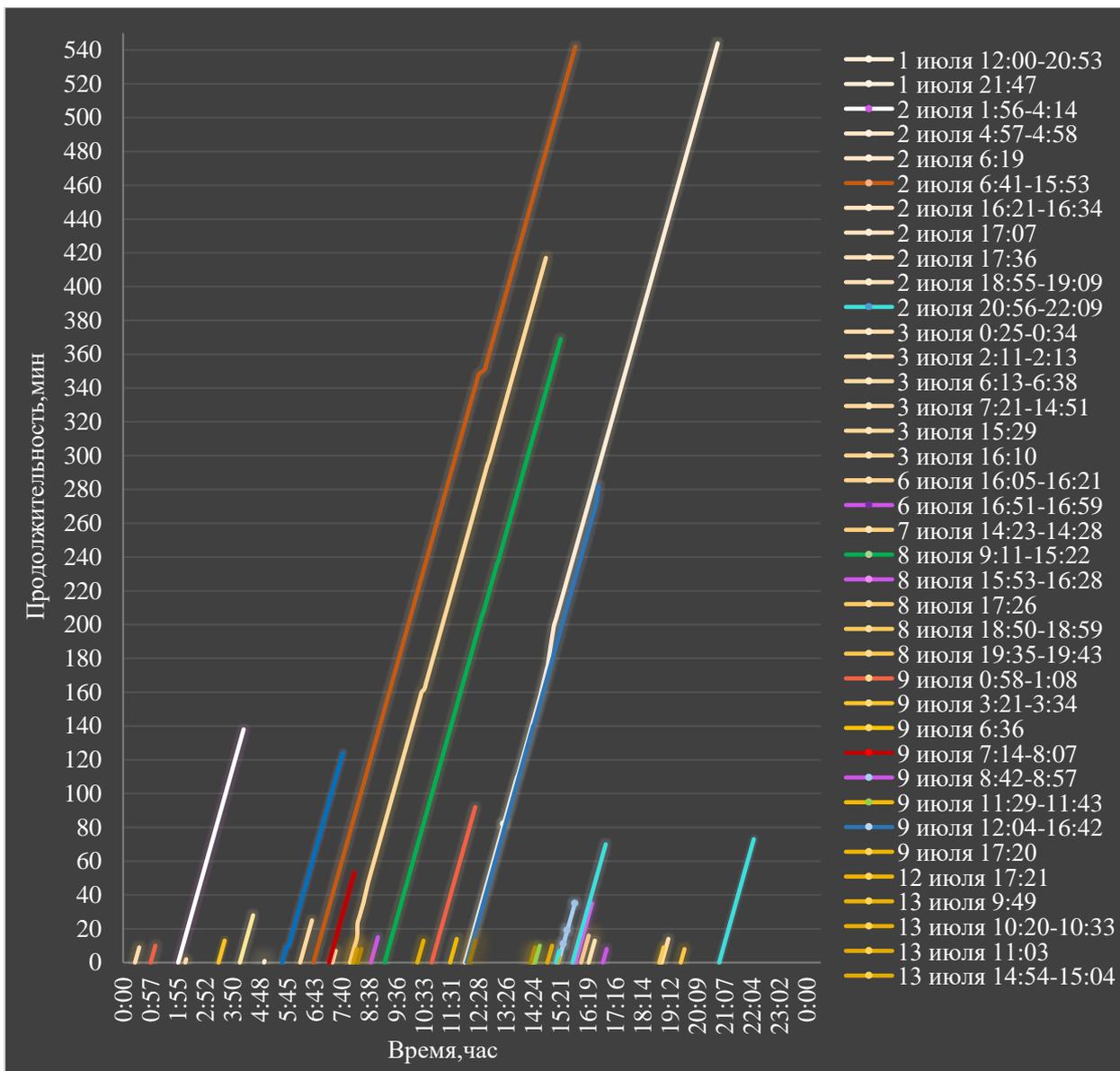


Рисунок 3.19 – График продолжительности гроз за июль 2019 года в аэропорту «Пулково»

Также данный год отличился и являлся одним из немногих, продолжительность которых претерпевала максимальных значений.

Так, самая длительная активность отметилась в 544 минуты 2 июля с 6:41 утра до 15:33 дня. Второй по продолжительности стала гроза в 542 минуты 1 июля с 12:00 дня до 20:53 вечера (Рисунок 3.19).

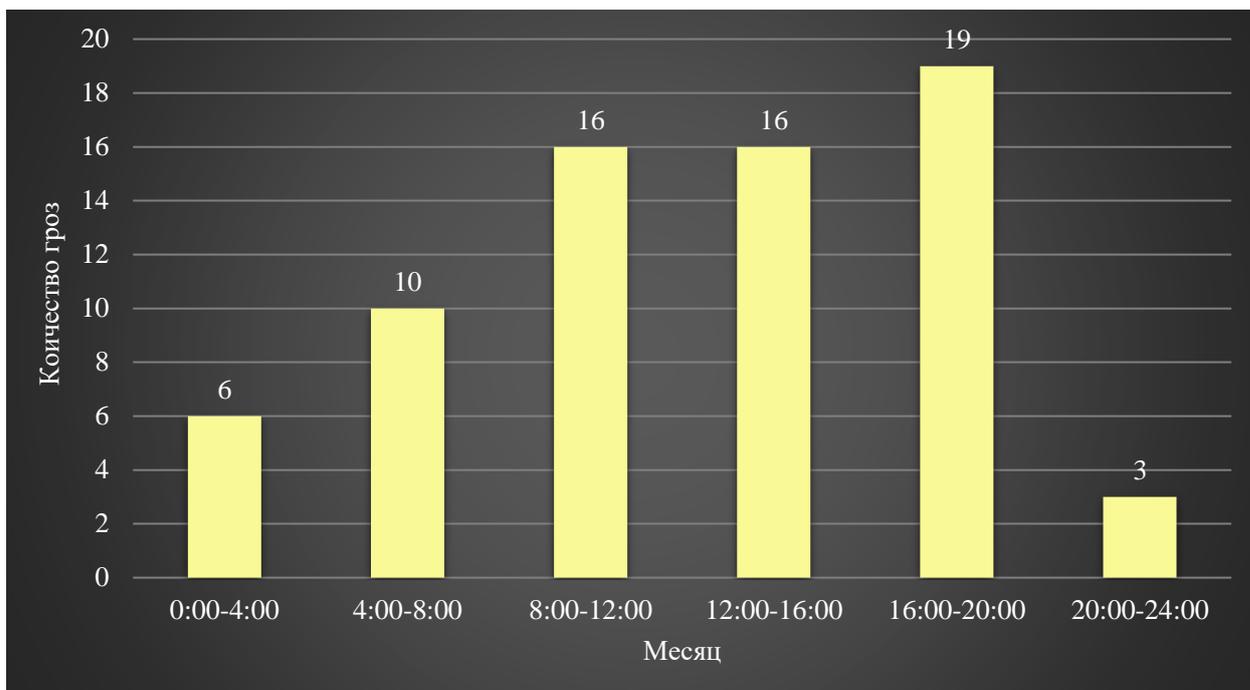


Рисунок 3.20 – Суточный ход гроз по часам в июле 2019 года аэропорта «Пулково»

Данный показатель увеличения количественных характеристик во второй половине дня (16:00-20:00), предположительно говорит лишь об одном: грозы на холодных фронтах усиливаются во второй половине дня и ослабевают ночью. При чём эта закономерность прекрасно прослеживается, поскольку показатели с 16:00 до 20:00 намного выше и составляет 19 случаев (что является максимальным значением), а вот уже 20:00-24:00 показатели резко падают до трёх (что относится к минимальному показателю).

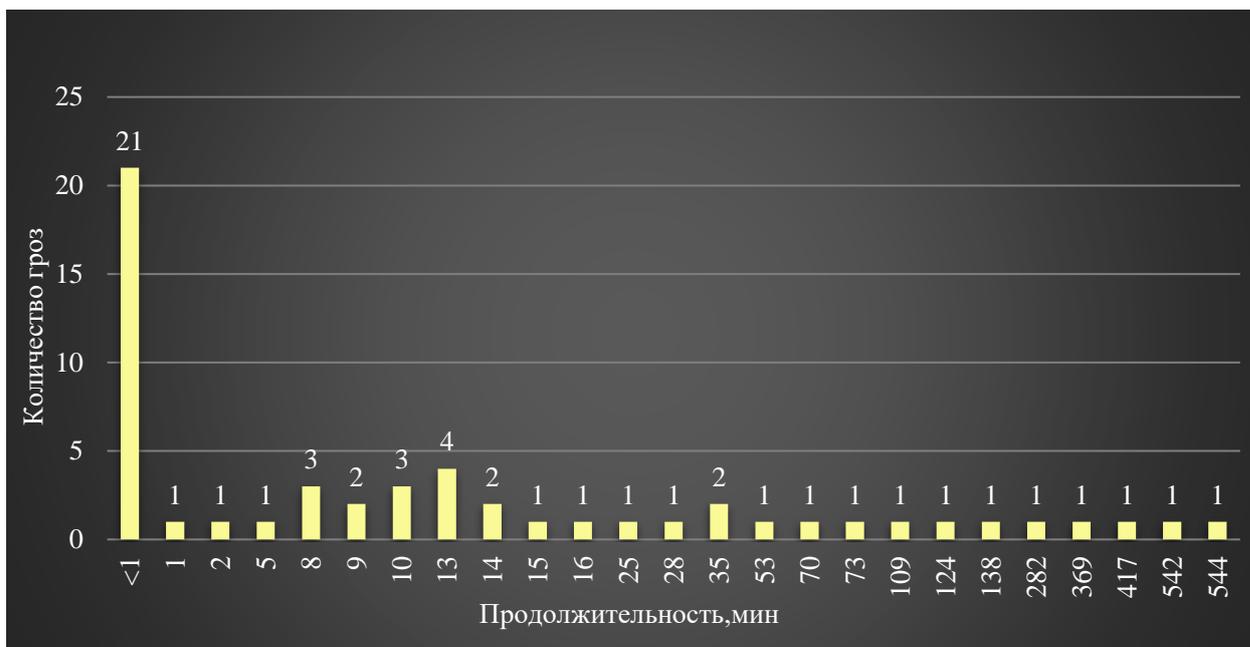


Рисунок 3.21 – График зависимости количества гроз от продолжительности в июле 2019 года в аэропорте «Пулково»

Основными показателями продолжительности были грозы, продолжавшиеся не более одной минуты и составили 21 случай грозовой активности за июль 2019 года, количественные скачки также наблюдались в временной стезе от восьми до четырнадцати минут, когда случай повторения варьировался от двух до четырёх случаев.

### 3.5. Ход, количество и продолжительность гроз в аэропорту «Пулково» за 2020 год

2020 год стал самым удивительным, не только по случаю коронавирусной инфекции (COVID-19) и пандемии, шокирующей весь мир, но и по своим грозовым рейтингам, представленным на Рисунке 3.22.

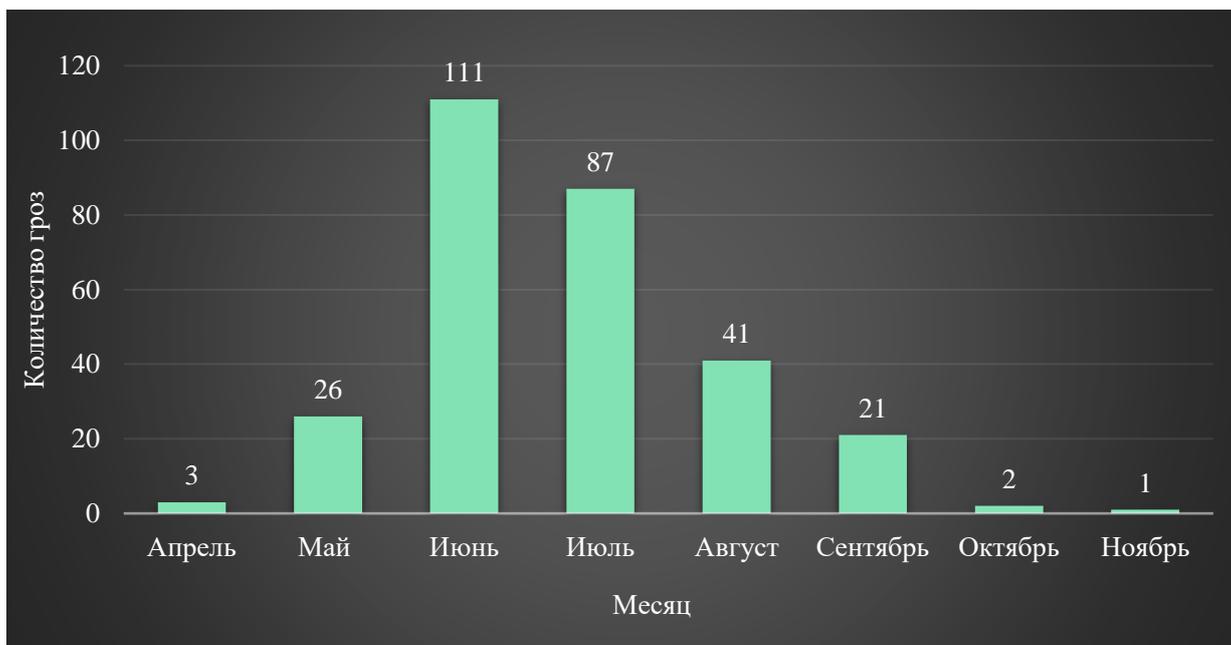


Рисунок 3.22 – Сезонный ход количества гроз в 2020 году в аэропорту «Пулково»

Так, на этот месяц, по исследованным подсчётам, пришлось 111 грозовых случаев. Кроме всего прочего, в сравнении с другими ныне описанными годами, в 2020 году месяцев с грозовой активностью насчитывалось не 6-7, а 8 и минимальное значение приходится на ноябрь месяц в единичном случае. Показатели развития грозовой деятельности в зимний период года безусловно известны, фактически ноябрь 2020 года это ярко продемонстрировал. Грозовая активность развилась в охладевшей атмосфере.

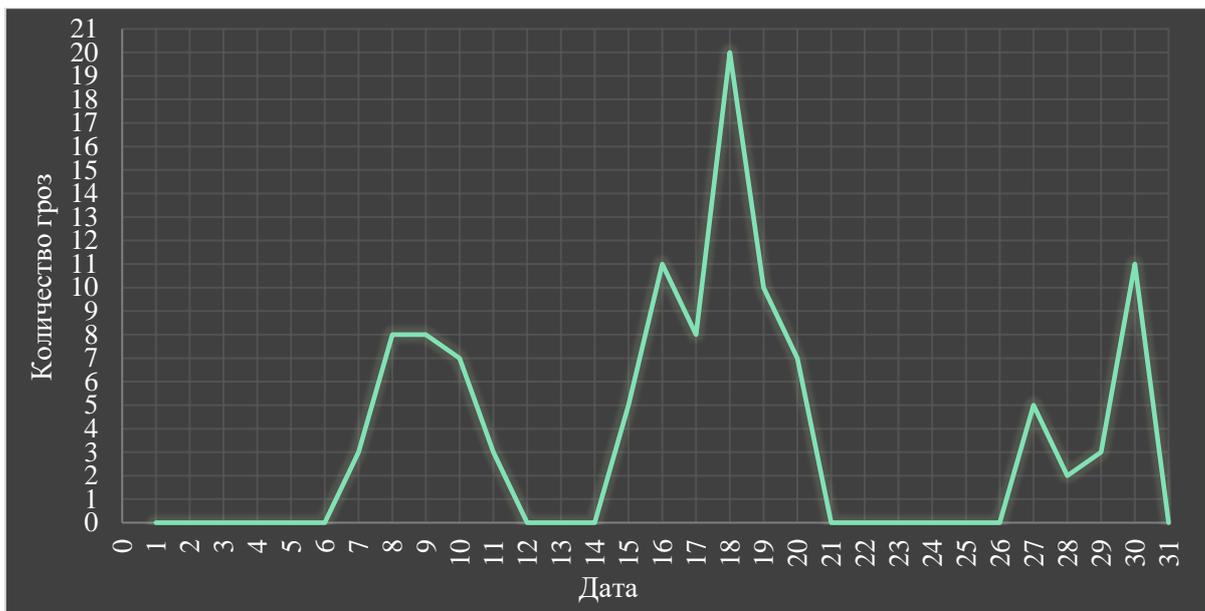


Рисунок 3.23 – График количества гроз в июне 2020 года в аэропорту «Пулково»

Количественные показатели также смогли выделиться по сравнению со всей пятилетней выборкой 2016-2020 гг. (Рисунок 3.23).

18 июня 2020 года было зарегистрировано рекордное значение гроз и грозовых очагов в количестве 20 случаев развития активности, и оно является максимальным (при этом средний показатель за предыдущие года 9 – 10 гроз в сутки).

Минимальным же стало 28 июня: всего 2 случая (опять же по сравнению с предыдущими годами значение показателя больше, так как зачастую минимальным является единичный случай).

А вот по данным продолжительности 2020 год оставался стандартным (Рисунок 3.24):

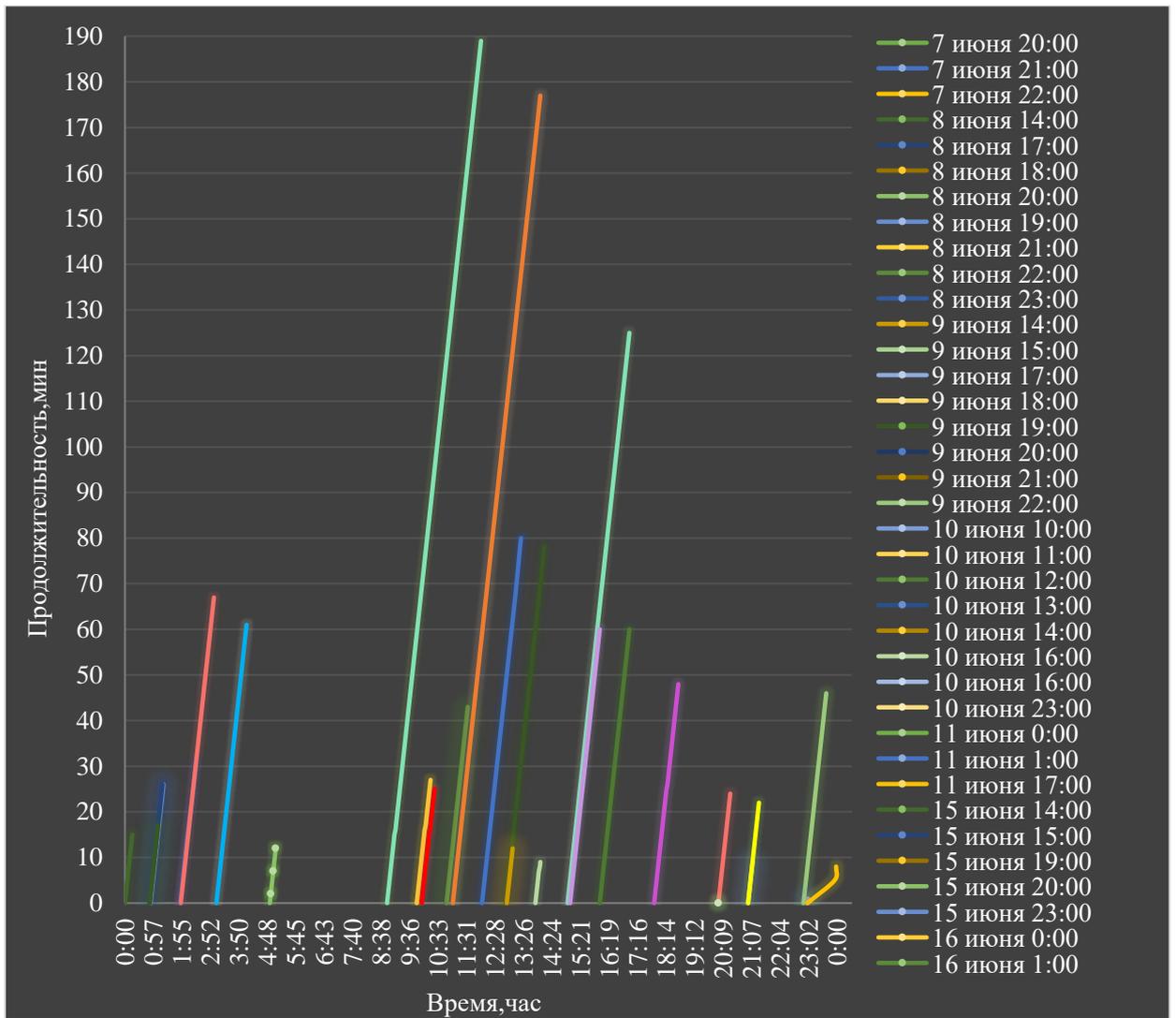


Рисунок 3.24 – График продолжительности гроз в июне 2020 года в аэропорту «Пулково»

Максимальная продолжительность составила 189 минут 16 июня с 8:50 утра до 12:00 часов дня, что является одним из многих длительных грозовых случаев.

На втором месте активность с показателем 177 минут сформировалась 27 июня с 11:03 утра до 14:00 часов дня.

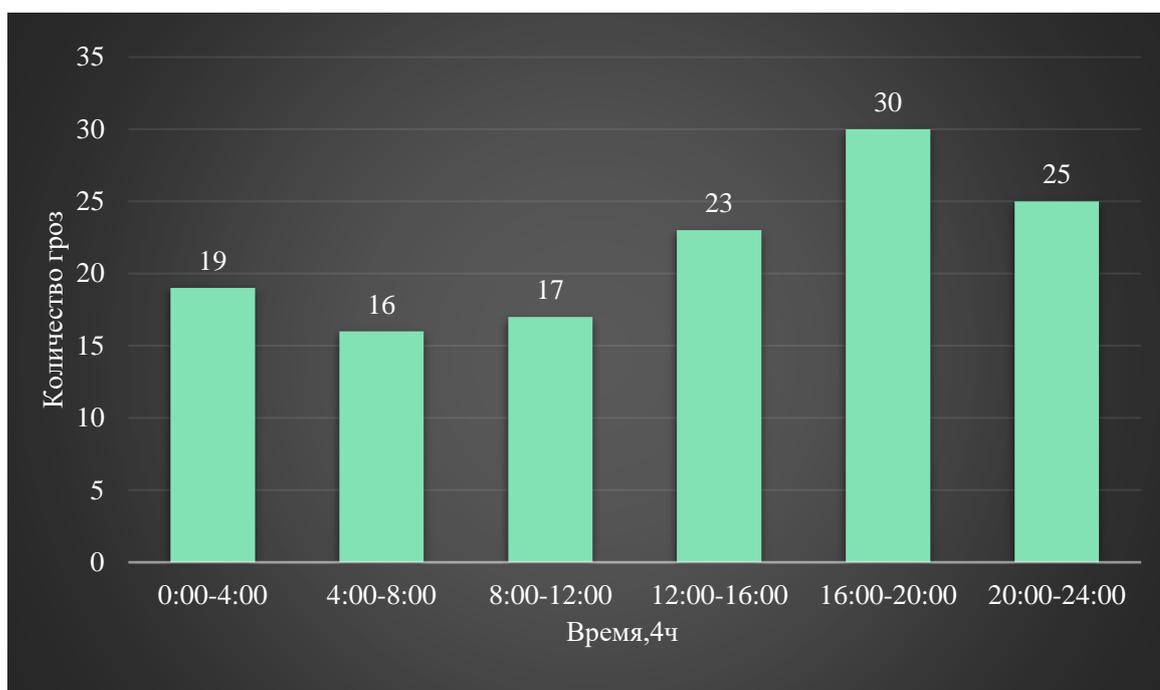


Рисунок 3.25 – Суточный ход гроз по часам в июне 2020 года в аэропорту «Пулково»

Соответственно, в результате повышенных показателей количественных характеристик, представленных на Рисунке 3.23, число случаев повторяемости грозовой деятельности в сутках увеличилось до 30 и преобладали в вечернее время с 16:00 до 20:00 часов. Это говорило о возможном прохождении холодного фронта, поскольку опять же преобладающее количество в вечернее время и затухание процессов образования гроз в ночное время (20:00-24:00 часов).

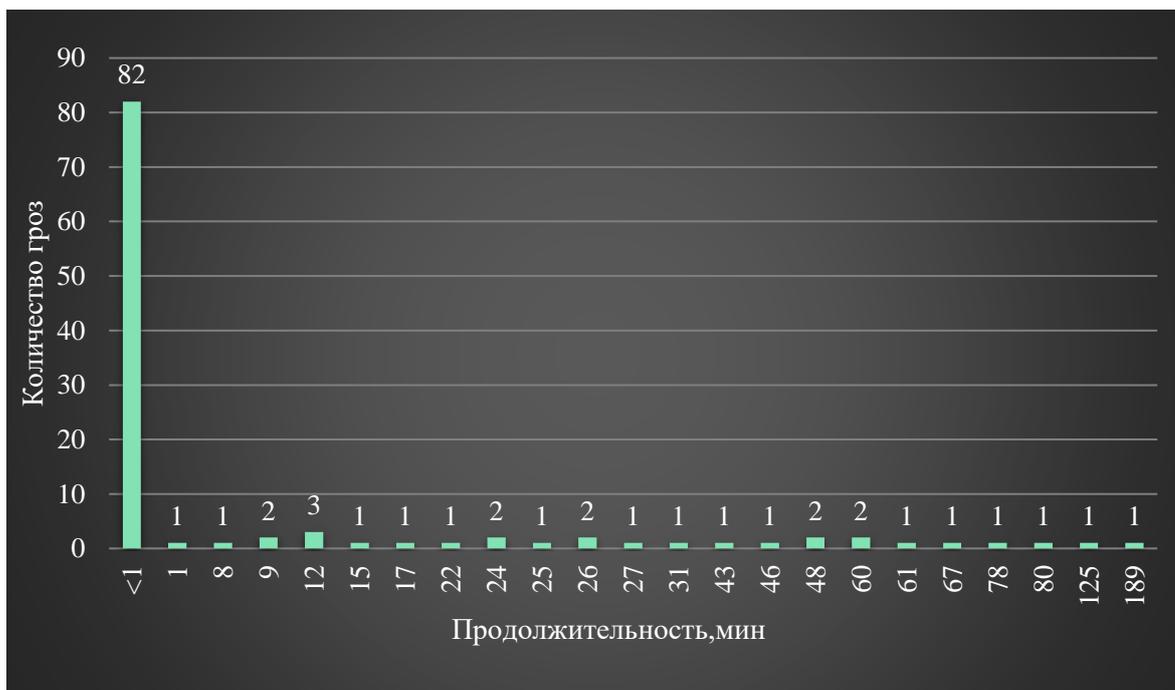


Рисунок 3.26 – График зависимости количества гроз от продолжительности в июне 2020 года в аэропорту «Пулково»

Показатели грозовой активности повысились до 82 случаев в результате увеличения количества гроз в целом, длясь в большинстве своём меньше одной минуты. Все прочие случаи не имели повышенной повторяемости по времени и составляли 1-3 случая.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы были изучены причины появления кучево-дождевой облачности, образование гроз и шквалов и их стадии развития для понимания природы данного комплексного опасного атмосферного явления.

Рассмотрены виды гроз: тепловые, адвективные и орографические, и шквальная деятельность в целом. Было выяснено, какую опасность представляют грозы и шквалы для полётов самолётов и авиации в целом. Какие погодные условия при этом могут вызвать необратимые последствия, а также при какой синоптической ситуации возможен перелёт даже в условиях грозы с использованием ранее предложенных методов прохождения этих опасных участков с минимальным ущербом для всего воздушного судна, экипажа и возможных пассажиров.

К сожалению, грозы опасны в любом их проявлении как для человека и его жизни, так и для гражданской и военной авиации. Чтобы постараться предотвратить возможные последствия, были изучены методы прогнозирования гроз разными способами: радиолокационный, метод частицы, метод Фатеева и Вайтинга, Фауста и Решетова. А также прогноз шквальной активности методами Решетова, и Песковой, Снитковского.

Предмет данной выпускной квалификационной работы описан и показан в разнообразных его проявлениях. Пункты поставленных задач выполнены. Актуальность данной тематики остается открытой, поскольку данное метеорологическое явление возможно только прогнозировать и находить новые еще не изученные методы прогноза. Проявлять бдительность сотрудников авиации для предотвращения подобных катастроф, связанных с природной стихией и усовершенствовать инновации в сфере авиации, в том числе для борьбы с последствиями гроз.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. [Текст] / О.Г. Богаткин; СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339с.
- 2) Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. Учебное пособие [Текст] / О.Г. Богаткин, 2-е изд., стереотипное. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 288с.
- 3) Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Учебное пособие. [Текст] / А.С. Зверев, Издание 2-е, перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
- 4) Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Учебник. [Текст] / Л.Т. Матвеев – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752с.
- 5) Сафонова Т.В. Авиационная метеорология. Учебное пособие. [Текст] / Т.В. Сафонова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. – 215 с.
- 6) Elib.rshu.ru: электронно-библиотечная система: сайт. – 2009. – URL: [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/rid\\_0e12f5f437c74991af48e235719e4158.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_0e12f5f437c74991af48e235719e4158.pdf)
- 7) Naturae.ru: сайт. – 2015. – URL: <https://naturae.ru/atmosfera-zemli/atmosfernyye-yavleniya/groza.html> / (дата обращения 15.05.2020).
- 8) Ru.Wikipedia.org: интернет-энциклопедия: сайт. – 2001. – URL: [https://ru.Wikipedia.org/wiki/Пулково\\_\(аэропорт\)](https://ru.Wikipedia.org/wiki/Пулково_(аэропорт)) / (дата обращения: 24.04.2021)
- 9) Ppt-online.org: сайт. – 2010. – URL: <https://ppt-online.org/380823> / (дата обращения 05.05.2021)